АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

М.А.ГУКОВСКИЙ

МЕХАНИКА
ЛЕОНАРДО
ДА
ВИНЧИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
АКАДЕМИИ
НАУК СССР

М.А.ГУКОВСКИЙ

МЕХАНИКА
ЛЕОНАРДО
ДА
ВИНЧИ





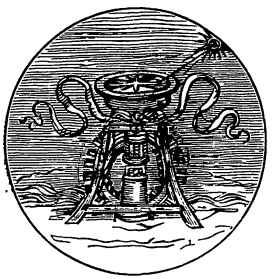
ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ
(автопортрет)

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

М. А. ГУКОВСКИЙ

МЕХАНИКА ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА · ЛЕНИНГРАД
1 9 4 7

Под общей редакцией Комиссии АН СССР
по изданию научно-популярной литературы.
Председатель Комиссии президент Академии Наук СССР
академик *С. И. ВАВИЛОВ*
Зам. председателя член-корр. АН СССР *П. Ф. ЮДИН*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Механика Леонардо да Винчи не может считаться неизученной или даже малоизученной научной проблемой. Уже в конце XVIII века Джан Баттиста Вентури,[1] первый обративший внимание на научную ценность тетрадей Леонардо, высказал ряд правильных соображений об исключительном значении его записей, относящихся к механике.

Однако, несмотря на это, в течение всего XIX в. механика и вообще физико-математические изыскания Леонардо не являлись объектом особого внимания. Тем более замечательно, что Энгельс в старом введении к «Диалектике природы» обратил внимание на научное творчество Леонардо, назвав на первом месте его работы в области математики и механики.[2] В начале следующего столетия крупный французский физик Пьер Дюхем[3] посвятил ряд своих работ изучению творчества великого винчианца, и в первую очередь его механике. В работах Дюхема впервые были широко использованы опубликованные к этому времени части рукописей Леонардо и впервые же поставлено творчество его в области механики в связь с предшествующим

---

[1] G. B. Venturi. Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Léonardo da Vinci. Paris, 1797.

[2] Маркс и Энгельс. Соч., т. XIV, стр. 476.

[3] Pierre Duhem. Les origines de la statique. Paris, 1905—1906 (2 тома), и особенно «Etudes sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu». Paris, 1906—1914 (3 тома)

и последующим развитием науки. Во многих отношениях эти работы, благодаря огромному использованному в них материалу, явились откровением, в них неоспоримо было доказано исключительное значение научного творчества Леонардо, но в то же время они отличаются рядом чрезвычайно серьезных недостатков. Первый и главный из них — ярко реакционная, можно сказать поповская, тенденциозность автора. Дюхем, убежденный католик и мракобес, хотя и признает, что его любимый герой Леонардо да Винчи внес значительный вклад в науку, но старается доказать, что бóльшая часть научных достижений Леонардо базируется на сочинениях схоластических парижских ученых XIII в. и что поэтому современная наука создана фактически благочестивыми профессорами Сорбонны, т. е. католицизмом. Не приходится говорить об абсурдности такого подхода, сводящего на-нет весь обильный и часто весьма важный материал, которым оперирует Дюхем. К тому же работы Дюхема столь хаотично построены, что и с внешней стороны пользование ими представляется делом более чем трудным.

В 1915 г. вышла первая специальная работа, посвященная только механике Леонардо да Винчи. Работа эта — докторская диссертация Эрлангенского университета — принадлежит перу ученика известного арабиста Видемана — Фрица Шустера.[1] Останавливаясь только на некоторых вопросах механики Леонардо да Винчи (закон рычага, блоки, строительная механика), Шустер ставит своей задачей развенчание Леонардо. Сравнивая отдельные, произвольно вырванные из большого числа аналогичных, записи винчианца с соответствующими высказываниями античных, средневековых и, особенно подробно, арабских писателей, Шустер приходит к выводу, что Леонардо мало оригинален, мало внес нового в науку и только местами более подробно развил то, что было дано его предшественниками, главным образом арабскими учеными. В ходе рассмотрения отдельных высказываний Леонардо Шустер нередко дает пра-

[1] Fritz Schuster. Zur Mechanik Leonardo da Vinci. Erlangen, 1915.

вильные, детальные и тонкие толкования весьма трудных текстов, но общий вывод его, основанный к тому же на далеко неполном знакомстве даже с опубликованной частью научного наследия Леонардо, совершенно неправилен, а самый подход к теме, диктующий рассмотрение отдельных деталей вне учета всей научной системы, глубоко порочен.

В 1925 г. английский популяризатор Ивор Харт[1] выпустил специальную монографию, посвященную механике Леонардо. Не ставя себе никаких исследовательских задач, довольствуясь в значительной мере материалом из вторых рук, Харт дает полезную сводку, написанную в несколько панегирическом стиле, не разрешая, однако, ни одной из проблем, которые ставит перед нами научное творчество Леонардо.

Наконец, в 1932 г., уже после того как настоящая работа была начата и наполовину выполнена, появилась монография крупного итальянского математика Роберта Марколонго,[2] сведшая воедино ранее появившиеся в печати мелкие статьи автора и впервые давшая попытку полного изложения всей системы механики Леонардо. Как член редакционного комитета, издающего сочинения винчианца, Марколонго блестяще и подробно знает все рукописное наследие его, а как крупный математик имеет все возможности надлежащим образом интерпретировать трудные математические тексты. И несмотря на это, являясь, несомненно, значительным шагом вперед в деле изучения научного творчества Леонардо, книга Марколонго может претендовать только на роль предварительной, черновой работы, намечающей, но не разрешающей большинства вопросов, в чем, впрочем, отдает себе отчет и сам автор. Как и все названные выше авторы, Марколонго рассматривает не всю систему механики Леонардо как некое целое, а отдельные высказывания его, причем, сравнивая эти высказывания с трудами

[1] Yvor B. Hart. The Mechanical Investigations of Leonardo da Vinci. London, 1925.

[2] Roberto Marcolongo. La meccanica di Leonardo da Vinci. Napoli, 1932. Оттиск из Atti d. R. Accademia delle Scienze fisiche e matematiche di Napoli, vol. XIX, ser. 2, № 2.

античными и средневековыми, приходит к выводу, диаметрально противоположному выводу Шустера. Для Марколонго, патриотически настроенного итальянца, Леонардо — величайший ученый, предвидевший почти все позднейшие открытия в механике. Обосновывая это положение, Марколонго часто не может удержаться от явных преувеличений, а иногда, очевидно в спешке и увлечении, впадает и в довольно серьезные ошибки. Кроме того, Марколонго освещает далеко не все вопросы механики, находящие место в записях Леонардо; так, он совсем не касается вопроса об ударе, очень суммарно говорит о динамике и т. д.

Таким образом, несмотря на наличие работ, посвященных механике Леонардо, тема эта может считаться далеко не исчерпанной. Высокая оценка, которую дает механике Леонардо Энгельс, не слишком щедрый на похвалы, заставляет советского историка внимательно подойти к этому сложному вопросу, пересмотреть и проверить работы буржуазных историков, по пытаться дать свое решение. Настоящая работа как по объему, так и по своему построению, довольно значительно отличается от всех, названных выше. Первое, что отличает ее, — это отказ от малодоказательного и малоплодотворного метода разбора отдельных высказываний Леонардо, выяснения, какие из них оригинальны и какие нет, кого переписал или кого, наоборот, предвосхитил художник из Винчи. Такой метод ни к чему, кроме совершенно произвольных утверждений, привести не может, как мы и видели на примере хотя бы Шустера и Марколонго.

Основной задачей настоящей работы является восстановление системы механики Леонардо да Винчи как некоего целого и выяснение исторических корней и исторической роли этой системы. Механика Леонардо рассматривается нами не как собрание отдельных более или менее замечательных записей, а как определенный этап в общем развитии науки. Не вопросы первенства Леонардо в том или ином открытии занимали нас, а бесконечно более важный вопрос о создании новой науки, о грандиозном перевороте в миропонимании, происходившем

в XV — XVI вв., который Энгельс называл «величайшим прогрессивным переворотом, пережитым до того человечеством». [1]

Леонардо-ученый интересовал нас не как любопытная, красочная фигура (хотя и эта сторона его личности учитывалась нами), а как наиболее яркий выразитель этого переворота, как, пожалуй, единственный творец, самый характер работы которого позволяет нам заглянуть в лабораторию создания новой науки, новой идеологической системы. Не случайное и анекдотичное, а закономерное и главное являлось объектом нашего изучения.

В связи с таким подходом стоит и другая особенность нашей работы: в отличие от предыдущих исследователей, рассматривавших высказывания Леонардо в статике как нечто определенное и законченное, мы стремились восстановить научную систему его в ее динамике, в постепенном ее становлении, старались проследить, через какие этапы проходила творческая мысль ученого, прежде чем она достигла того или иного результата. Не следует забывать того, что научные записи Леонардо дошли до нас в полном беспорядке, так что, не учитывая последовательного развития той или иной научной идеи, легко можно впасть в грубую ошибку, основываясь на высказывании черновом или раннем, затем превзойденном в процессе дальнейшей работы.

Наконец, все перечисленные выше исследования рассматривали научное творчество Леонардо только в его связях с научной традицией. Никакого учета «социального заказа», который властно предъявляла Леонардо современная ему действительность, мы в этих трудах не найдем. Мало учтена в них также роль личности Леонардо в формировании его научных идей. Мы сочли необходимым подробно разобрать и то и другое.

Благодаря этому наша работа, естественно, распалась на четыре части. Первая разбирает научных предшественников

[1] Старое введение к «Диалектике природы».

Леонардо, ту научную традицию, из которой он мог черпать, и действительно черпал, материал. Вторая восстанавливает эпоху, определившую собой все творчество Леонардо, отмечая в первую очередь социальные сдвиги, наложившие на это творчество особый отпечаток. Третья посвящена выяснению личности Леонардо как ученого, и, наконец, четвертая, основная, дает реконструкцию системы механики его.

Приступая к работе, автор полагал, что первые три части будут нести чисто вспомогательные функции и, следовательно, будут достаточно кратки. В процессе работы, однако, выяснилось, что не только на русском языке, но и вообще не существует истории механики догалилеевского периода, что с точки зрения связи между социальными сдвигами и изменениями в области техники и науки эпоха Возрождения почти совершенно не изучена и что в многочисленных биографиях Леонардо да Винчи формированию и развитию его научного творчества уделено далеко не достаточное внимание. Поэтому каждая из вводных частей разрослась в самостоятельное исследование, что значительно увеличило размеры книги.

Достаточно большой оказалась и последняя, главная часть работы. Автор стремился в ней учесть все доступные ему высказывания Леонардо по механике, привлечь сравнительно недавно опубликованные рукописи, часто дающие весьма ценный материал (например, «Кодекс Арундель»), охватить все вопросы, занимавшие Леонардо. Стремление это объясняется, с одной стороны, упомянутой выше необходимостью рассматривать механику Леонардо как систему, а не как конгломерат отдельных заметок, с другой же стороны — тем, что, выступая с критикой солидных буржуазных работ, автор считал важным в смысле охвата материала и вообще в смысле техники научной работы быть возможно более скрупулезным

* * *

Осуществление книги потребовало весьма большого количества справок и консультаций, привлечения ряда малодоступных изданий. И то и другое могло быть осуществлено только

благодаря помощи ряда лиц и учреждений. Так, академик С. И. Вавилов и покойный академик А. Н. Крылов постоянно помогали автору весьма ценными советами, академик С. И. Вавилов взял на себя большой труд по редактированию книги и передал автору несколько ценных изданий, необходимых для ее окончания. Государственная публичная библиотека им. Салтыкова-Щедрина предоставляла возможность пользоваться своими ценнейшими материалами в особо благоприятных условиях.

* * *

Законченная полностью в конце 1936 г. книга по ряду причин задержалась в производстве и была сверстана только к весне 1941 г. Варварское нападение германского фашизма на нашу страну сначала сделало невозможным напечатание ее, а затем и погубило уже совсем подготовленный к печати ее набор.

После того как под гениальным руководством великого Сталина Советский Союз и его Советская Армия одержали невиданную в истории победу над врагом, автору было сделано предложение вновь подготовить работу к печати. Перед ним встал серьезный вопрос, как отнестись к тексту, законченному уже почти десятилетие тому назад. С одной стороны, изложение несколько устарело и в некоторых своих частях уже не вполне удовлетворяло автора, с другой же — полностью переработать столь большое исследование совершенно не представлялось возможным. Был избран промежуточный путь — книга была тщательно пересмотрена, все устарелое вычеркнуто или переработано, в ряде мест включены данные, заимствованные из новых исследований, но вся основная конструкция оставлена без изменений.

Когда и эта работа была закончена, автору удалось познакомиться с вышедшим в 1940 г. в Италии и подготовленным Артуро Уччели изданием всех записей Леонардо да Винчи по механике.[1] Издание это, весьма добросовестно объединившее

[1] Leonardo da Vinci. I libri di Meccanica nella ricostruzione ordinata di Arturo Uccelli. Milano, 1940

бóльшую часть (но не все) соответствующих заметок и снабдившее их историческим введением и рядом комментариев, конечно, значительно облегчило бы автору его работу, если бы попало в его руки в первой стадии исследования, но ни в какой мере не избавило бы от необходимости непосредственного обращения к первоисточникам и, что самое главное, отнюдь не изменило бы ни аргументации, ни выводов настоящей работы.

Отдавая последнюю на суд советского читателя, автор прекрасно понимает, какую серьезную ответственность налагает на него как трудность избранной им темы, так и момент, в который книга выходит в свет, но он полагает, что книга эта, конечно, не лишенная многих серьезных недостатков, все же двигает вперед наши представления как о «титане Возрождения» Леонардо да Винчи, так и о становлении современной науки, и это определяет ее право на существование.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

МЕХАНИКА

*

Глава 1

АНТИЧНОСТЬ

*

§ 1. ОСНОВЫ АНТИЧНОЙ МЕХАНИКИ

Есть все основания полагать, что механика, наряду с астрономией и геометрией, принадлежит к числу отраслей знания, которые вошли в европейский научный обиход очень рано. При современном состоянии истории науки мы еще не знаем, где лежат корни механических знаний, где и когда заложены были первые камни фундамента того научного здания, которое приобретает уже довольно внушительные формы в Греции IV—III вв. до н. э. Никаких сколько-нибудь законченных произведений или даже отрывков по механике до IV—III вв. мы не имеем, но уровень немногих сочинений и частей сочинений, дошедших до нас от этого времени, говорит о том, что они не являются ни первыми, ни одними из первых в своей области. Бо́льшая часть основных понятий, терминов, определений принимается ими как сами собой разумеющиеся, установленные в научном обиходе; самый метод изложения говорит также о наличии некоторой научной традиции. Да иначе и не могло быть — ведь нам известно, что уже египетская техника знала ряд примитивных механических приспособлений. Не подлежит сомнению то, что, например, египетский шадуф — рычажный подъемник («журавль») играл немаловажную роль при выполнении большинства строительных и ирригационных работ, а именно эти две отрасли были, повидимому, наиболее характерными и распространенными в технике древнего Востока вообще и Египта в частности. Знаем мы также и то, что весы применялись

в Египте повсеместно. А раз научная мысль уже пробудилась и начала работать в направлении подведения под единые теоретические принципы тех явлений и процессов, которые выработались в практической, производственной деятельности (о том, что это имело место в Египте, мы знаем хотя бы из сохранившихся до нас осколков египетской математики), то совершенно естественно было задуматься и над принципиальными основами тех возможностей, которые дают применяемые механизмы, в первую очередь шадуф и рычаг, т. е. пытаться создать теорию рычага, на которой, повидимому, и начинает строиться здание теоретической механики.[1]

Утверждение, будто уже на древнем Востоке были выработаны в главных чертах основы теории рычага и машин, построенных на принципе рычага, несмотря на отсутствие документальных доказательств в настоящее время является достаточно обоснованным. Уже приведенные нами соображения почти полностью подтверждают, что греческая наука получила откуда-то готовый запас сведений и построений. С другой стороны, абсолютная достоверность широчайшего применения в древнем Египте механизмов рычажного типа придает этой гипотезе большую степень убедительности. Во всяком случае, нам кажется, что можно, не боясь впасть в сколько-нибудь грубую ошибку, утверждать, что до V—IV вв. до н. э. в средиземноморском культурном кругу в тесной связи с запросами техники — можно сказать из самой техники — возникли основы античной механики.

Однако, каков бы ни был генезис основ античной механики в том виде, в каком мы ее застаем в IV в. до н. э., в первых дошедших до нас письменных памятниках мы видим две довольно четко различимые, хотя и тесно между собой связанные струи— два направления.

---

[1] Некоторые сведения о египетских и вообще древневосточных весах имеются в довольно поверхностной и ученической, но построенной на большом материале диссертации: Th. I b e l. Die Wage im Altertum und Mittelalter. Erlangen, 1908. На нее нам придется ссылаться и в дальнейшем.

Одно, нередко называемое исследователями динамическим, имеет своей задачей определение основных понятий, которыми оперирует механика, и установление между ними немногих, наиболее очевидных зависимостей.

Другое, называемое статическим, стремится дать теорию тех немногочисленных технических приспособлений, инструментов и элементарных машин, которые применялись в Элладе IV в. Оба эти направления так или иначе связаны с техникой: они используют ее материал, осмысляют различные стороны или элементы ее. Но уже первое знакомство с эллинскими произведениями по механике показывает, что связь эта глубоко отлична от той, которая, вероятно, имела место в период возникновения механики.

Эллинское общество — одна из наиболее типичных разновидностей рабовладельческого общества — заказывало и потребляло науку совершенно особого рода: жившие в богатых и культурных городах воины-рабовладельцы никогда не связывали своего благополучия с развитием техники. Их положение, власть и самое существование базировались на толпах многочисленных рабов, на крепком и разумном, с точки зрения защиты интересов хозяев, политическом устройстве их родного города — государства. К технике они относились как к одной из частей внешнего мира, с которой непосредственно связаны рабы и ремесленники и которой чужд свободный, «благородный» гражданин. Такое заведомо презрительное, высокомерное отношение к непосредственному участию в технике не означало презрения к технике как к объекту наблюдения, как к одному из элементов видимого мира. А так как основной задачей всего философски-научного творчества Эллады было создание наиболее полной, ясной и стройной картины, которая бы вполне соответствовала классовой природе создающего ее общества и оправдывала доминирующую в этом обществе систему эксплоатации, то и механика, в разъясненном уже специфическом смысле этого слова, находила в нем свое законное место. Иными словами, механика в условиях древней Греции становится дисциплиной философской, а не технической,

развивается без учета применения своих результатов в технике, хотя и работает в основном на техническом материале.

При такой установке эллинской механики совершенно понятно, что наиболее рано и наиболее полно оформляется первое из выделенных нами условно двух ее направлений, имеющее своей задачей определение основных понятий механики и установление зависимостей между ними.

Наиболее полная и законченная система основ механики эллинского периода, сыгравшая совершенно исключительную роль в дальнейшем развитии этой науки, дошла до нас в двух основных сочинениях Аристотеля: «Физика» и «О небе». Не подлежит никакому сомнению (и мы об этом будем неоднократно говорить ниже), что система эта не была ни наиболее старой, ни единственной, но, как и все сочинения Аристотеля, повидимому, в наибольшей мере соответствовала вкусам и нуждам тех слоев эллинского общества, которые были заказчиками и потребителями научной продукции. Это подтверждается и ее совершенно исключительным влиянием и тем фактом, что трактующие о ней сочинения дошли до нас полностью, в то время как системы, конкурировавшие с ней, либо совсем не сохранились, либо сохранились в жалких остатках. Именно поэтому мы начинаем изложение эллинских взглядов на основы механики передачей перипатетической системы. При этом мы ни в малейшей мере не забываем и даже не в полной мере отрицаем те уничтожающие характеристики, которые даются самому Аристотелю и его учению некоторыми исследователями. Мы помним, что Аристотель был идеалистом, что он является выразителем идеологии класса рабовладельцев, что современные ему и последующие атомисты резко критиковали значительные части его утверждений, но в то же время мы самым категорическим образом настаиваем на том, что именно учение Аристотеля особенно характерно для эпохи, в которой рабовладельческий строй был господствующим. Наиболее адэкватным идеологическим выражением этой эпохи были именно идеалистические системы. Мы отнюдь не закрываем глаза на существование других, противоречащих Аристотелю систем, в частности системы, созданной атомистами;

мы признаем и то, что эти системы могли в отдельных своих частях стоять на большой научной высоте. Но поскольку для всего развития механики до XVI в. механика Аристотеля была действительно основным стержнем, а все остальные системы играли сколько-нибудь серьезную роль только в качестве коррективов к перипатетическому учению, правда иногда довольно важных, мы считаем себя вправе начать именно с изложения учения Аристотеля и в дальнейшем не упускать его из виду, другие же системы привлекать только спорадически.

Основу основ аристотелевской и, повидимому, доаристотелевской механики составляет учение о движении — κίνησις.[1]

Учение о движении — составная часть аристотелевской философии вообще. Оно выходит поэтому далеко за пределы собственно механического круга представлений. Все сущее, по Аристотелю, определяется соотношением между материей, являющейся исключительно потенциальным субстратом всего сущего, и формой, принимая которую материя становится живущей и действующей реальностью. Материя как таковая не производит никаких движений или действий, но она в самой себе таит возможность таковых, потенциальную силу,[2] то, что Аристотель называет δύναμις. Соединяясь с определенной формой, принимая ее, потенциальная сила превращается в реальную

[1] В основу изложения динамических воззрений античности положены работы: A. E. H a a s. Die Grundlagen der Antiken Dynamik (Archiv f. die Geschichte der Naturwissenschaften und Technik. I. B. I, H. November 1908), содержащая краткую, но превосходную по лаконической четкости сводку высказываний античных авторов о движении и силе, и диссертация M. K a p p e s. Die Aristotelische Lehre über Begriff und Ursache der κίνησις (Eine Naturphilosophische Studie) Inaug. Diss. d. phil. Fak. d. univ. Freiburg, Bonn, 1877). Весьма полезной нам и для этой части была уже цитированная нами выше большая работа Марколонго, посвященная механике Леонардо да Винчи, а также общие работы Маха, Хааса и Клейна. Аристотелем мы пользовались в пятитомном снабженном превосходным, хотя иногда и несколько вольным, латинским переводом издании Didot (Paris 1848—1874).

[2] Выражение «потенциальная сила» мы сохраняем в продолжение всего нашего изложения, несмотря на то, что нам вполне ясны те изменения, которые это понятие с течением времени переживает.

силу — ἐνέργεια или ἐντελέχεια. Причиной перехода потенциальной силы в реальную — δύναμις в ἐνεργεια является движение — κίνησις.[1]

Таким образом, движение лежит в самой сущности всего реально существующего мира; оно является, как сказано выше, основой всех основ. Будучи причиной всего сущего, движение не существует, однако, само по себе. Оно возможно только при наличии реальных физических тел и проявляется как их свойство, определяя собой как самое их существование, так и все переживаемые ими изменения. По своему характеру движения чрезвычайно различны, но могут быть сведены к четырем основным категориям — к изменениям в сущности (οὐσια), количестве (ποσὸν), качестве (ποιὸν) и месте (που). Последняя категория движения и есть собственно механическое движение, которое, таким образом, определяется как одно из звеньев общей системы мироздания, причем определяется не на основании наблюдений, опыта, а на основании чисто логических спекуляций метафизического характера. Именно пространственные движения, в отличие от всех других движений, становятся объектом изучения механики античности и средневековья в ее динамической части; поэтому соответствующие работы и получают обыкновенно название трактатов о местном движении — «De movimento locali».

Местное движение, как, впрочем, и остальные его виды, непрерывно, т. е. до деления оно не имеет границ, деление же в нем осуществимо до бесконечности. Для сравнения отдельных движений между собой они должны быть приведены к неким единым мерам. Такими едиными, количественно определенными мерами являются время и место, образующие совместно то, что называется скоростью.

Но и местные движения не однородны; надо различать два их вида, в корне отличные друг от друга. Это различение двух видов движения явилось доктриной античной динамики, особенно характерной, важной и определившей на многие века

[1] Arist. Phys. III, 1.

дальнейшее развитие механики. Сущность его заключается в том, что все возможные в мире движения разделяются на естественные и насильственные или, лучше сказать, приобретенные.[1]

Под естественным понимается движение, происходящее без воздействия какой-либо силы; по классической аристотелевской концепции оно вызвано врожденным всем сущему стремлением к своему месту, той точке, в которой сосредоточена как бы вся сущность стихии, из которой состоит данное тело. Движение, вообще говоря, может происходить по всем направлениям, но движение естественное может происходить только в одном направлении, определяемом, для расположенной в пространстве телесной точки, линией, соединяющей эту точку с центром мира или, что то же самое, с центром земли; земля мыслилась расположенной в центре вселенной.[2]

Движение, происходящее без воздействия силы по этой прямой, может, по Аристотелю, происходить в двух направлениях: вверх — для тел, состоящих из легких стихий — воздуха и огня, и вниз — для тел, состоящих из стихий тяжелых — воды и земли. Таким образом, всякое твердое тело (в данной работе, вне внимания которой остаются вопросы гидро- и аэромеханики, мы будем иметь в виду именно твердые тела) в каждый данный момент, без воздействия какой бы то ни было силы, стремится занять положение, возможно более близкое к центру земли. Стремление это осуществляется кратчайшим из всех возможных путей, т. е. по прямой линии, соединяющей это тело с центром земли. (В случае большого физического тела Аристотель не определяет, какая его точка соединяется с центром земли)

[1] В различных текстах, античных, средневековых и эпохи Возрождения движение, противоположное естественному, получает названия, смысл которых иногда довольно близок к понятию «насильственный», иногда к понятию «приобретенный». Но ввиду того что у Леонардо, как мы это увидим ниже, доминирует именно второе значение (термин accidentale), мы будем в дальнейшем придерживаться термина «приобретенное».

[2] Выражение «центр мира» употреблялось вместо «центр земного шара» и наравне с ним вошло в традицию физической терминологии; оно сохранилось, как мы это увидим ниже, вплоть до того времени, когда различие между этими понятиями, казалось, было уже ясным.

Изложенная теория естественного движения, являясь органической составной частью космологии Аристотеля, была наиболее распространенной и популярной в античности как до Аристотеля (Анаксагор и, повидимому, Гераклит), так и после него (Герон, Клеомед, Птоломей, Сенека, Плиний, Филон). Она осталась, правда далеко не в столь чистом виде, наиболее распространенной и в средние века. Поэтому нам придется нередко встречаться с ней в дальнейшем изложении. Но, будучи наиболее популярной, теория эта отнюдь не была единственной. Наряду с ней существовала и слегка изменявшая ее платоновская концепция, согласно которой все тела в естественном движении стремятся не к центру вселенной или от него, а к той точке, в которой сосредоточена наибольшая масса соответствующего вещества: так, земля стремится к земле, а воздух — к воздуху.

Еще более распространенной и принципиально важной для дальнейшего развития механики была точка зрения одной из групп школы атомистов. Согласно этому воззрению, всякая физическая точка движется естественно по одной прямой, но, во-первых, эта прямая не направлена к центру мира, а все прямые, по которым движутся тела, параллельны; во-вторых, — и это самое главное, — все тела, независимо от стихии, из которой они состоят, стремятся вниз; иными словами, все тела обладают тяжестью как своим прирожденным свойством, и вообще не существует легких тел, каковыми, в концепции Аристотеля, являлись тела, состоящие из воздуха или огня. Если же мы наблюдаем иногда у тел последнего рода естественное, т. е. происходящее без воздействия силы, движение вверх, то оно объясняется тем, что, будучи легче тел, состоящих из тяжелых элементов — воды или земли, эти легкие тела вытесняются последними и движутся вверх, несмотря на свое естественное стремление двигаться вниз. Мы должны оговориться, что изложенный здесь взгляд принадлежал, повидимому, только более поздним атомистам — последователям школы Эпикура; Демокрит же утверждал, что естественное движение возможно, и действительно происходит, по всем направлениям.

Мы сочли возможным говорить главным образом о первой теории, поскольку она играла известную роль в формировании основ механики.

Последнее учение, иногда в чистом виде, а иногда в более или менее органической смеси с элементами чисто аристотелевской концепции, также было весьма широко распространено как в античности, так и после нее. Характерно, что и у самого Аристотеля в «De coelo» имеются некоторые уступки этому учению, именно в том месте, где он утверждает, что всякая стихия обладает тяжестью при нахождении ее в той же стихии и легкостью[1] при помещении ее в более тяжелую стихию.

Но установленные таким или другим образом законы прямолинейного движения падающих, так сказать, в земной сфере тел не объясняли движения небесных тел. Движение последних является, по всеобщему почти мнению античных астрономов, круговым. Приходилось поэтому допускать другой вид естественного движения — движение по круговым орбитам. Как согласовались между собой эти два вида естественных движений — космическое и земное — не объясняется. Эти разногласия и противоречия в объяснении явления тяготения не отражаются, однако, на теории падения твердых тел, которые, согласно почти всем концепциям (за исключением демокритовой), по самой своей природе стремятся падать вниз. Падение это происходит с определенным ускорением, что было уже сравнительно рано отмечено античными физиками.

О попытках древних физиков количественно определить величину ускорения, связать ее с другими величинами, характеризующими падение, мы ничего не знаем. Более чем вероятно, что таких попыток вовсе и не существовало, что они не вытекали из самого духа античного философского и научного мировоззрения с его метафизически констатирующим характером. Мировоззрение это не давало возможности устанавливать твердые закономерные соотношения между различными элементами,

[1] Aristoteles. De coelo, IV; H. E. Haas. Die Grundlagen, p. 24.

особенно между движущимися, динамическими элементами сущего, и не требовало для своего завершения наличности таких соотношений. Алгебраическая формула не укладывалась в рамки античной космологии, неотделимой частью которой являлось учение о движении.

Зато установление причин ускорения движения тяжелого тела при падении было предметом многих размышлений. Решения этой задачи давались весьма разнообразные. Строго перипатетическое объяснение причины ускорения заключается в том, что, поскольку причиной движения вниз всякого падающего тела является его стремление к своему естественному месту, к центру мира, постольку с приближением к этому месту движение ускоряется. Таким образом, тяжесть по самой своей природе увеличивается по мере приближения к центру мира или, что то же самое, к центру земли.

Второе объяснение причин ускорения движения при падении исходит из уменьшения сопротивления среды. По мере того, как тело движется к центру мира, между ним и местом, к которому оно стремится, остается все меньший и меньший слой среды (при падении в воздухе — воздуха), а так как эта среда сопротивляется естественному движению, то с уменьшением ее количества уменьшается и сопротивление, а следовательно, ускоряется движение. Элементы этого объяснения находятся не только у «многих авторов», как полагает Симплиций, но и у Аристотеля, связывающего его с ранее изложенной теорией.

Наконец, третьим объяснением ускорения, сравнительно поздним и менее повлиявшим в дальнейшем, было приравнение свободного падения к бросанию тела в воздухе, когда брошенное тело постепенно теряет приданную ему первоначальную силу, направленную в обратном к падению направлении. Все больше очищая естественное движение от противонаправленной силы, брошенное тело ускоряет свое движение.

Мы упомянули обо всех наиболее значительных античных попытках физически объяснить ускорение потому, что в дальнейшем различные элементы этих попыток, причудливо соеди-

няясь и переходя одна в другую, войдут в багаж средневековой и возрожденской механики, причем будут применяться не только для объяснения ускорения при свободном падении, но и для значительно более широкого круга явлений.

Может быть, еще более важным, чем учение о причинах ускорения, было другое учение античной механики, оказывавшее вплоть до Галилея колоссальное влияние на все развитие европейской науки, — учение о зависимости между скоростью падения и весом тела, его массой. Несмотря на попытку Вайлати[1] доказать обратное, нам представляется совершенно несомненным, что античная механика не делала и не могла делать различия между понятиями «массы» и «веса»; поэтому мы, говоря об античности, и ставим знак равенства между этими понятиями. Таким образом, два тела, сделанные из одного вещества, но имеющие разные размеры, будучи брошены одновременно с одной высоты, будут лететь не с одинаковой скоростью: большее тело упадет на землю раньше меньшего, причем скорости их падения будут прямо пропорциональны их размерам. Основное место четвертой главы физики Аристотеля, формулирующее это важнейшее положение, гласит:

«Ибо мы видим, что те (тела), которые имеют бóльшую величину (момент) тяжести или легкости, а в остальном имеют одинаковую форму, движутся скорее на равном расстоянии, в той же пропорции, какую имеют между собой величины».

Обычно возмущаются слепотой античной науки, выставлявшей столь нелепые положения и строившей на ней свои важнейшие выводы, разумеется, совершенно ошибочные. Однако такое возмущение и удивление вряд ли в какой-нибудь мере законны и обоснованы. Действительно, чисто внешние наблюдения говорят о том, что тяжелые тела падают много скорее легких, которые, будучи достаточно протяженными, могут даже

[1] См. его статью: Sullo sviluppo storico della distinzione tra «Peso» e «Massa». Archiv für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, I. B. I. H. 1908, pp. 48—51.

совсем не падать, а парить в воздухе, что с полной неоспоримостью показал Т. Бек.[1]

Греческая наука, в ее динамической ветви примыкавшая ко всему зданию античной космологии, стремилась к созданию возможно более логически завершенной и стройной картины мира, но не заботилась о нахождении и использовании орудий для его переделки. Она вполне довольствовалась той картиной свободного падения весомого тела в воздухе, которую давало ей непосредственное, правда — довольно поверхностное, наблюдение, тем более что результаты этого наблюдения превосходно согласовывались с теорией, в основных чертах изложенной нами выше.

Действительно, основания, объяснявшие ускорение свободно падающего тела, казалось бы, с необходимостью диктовали и закон пропорциональности скорости падения тела его весу (удельному или общему — безразлично). Если тело стремится вниз вследствие врожденного в самом его веществе стремления соединиться со свойственным ему местом, то естественно, что чем больше в нем этого вещества, с тем большей скоростью оно будет к этому месту стремиться. Или: если тело ускоряет свое падение вследствие уменьшения сопротивления среды между ним и местом, к которому оно стремится, то понятно, что более тяжелое тело будет успешнее преодолевать стремление среды и поэтому опять-таки падать быстрее. Так и непосредственное наблюдение и логические рассуждения подтверждали справедливость закона пропорциональности скорости падения весу тела. Этот закон продержался в научном арсенале до тех пор, пока железная рука практической необходимости не заставила шаг за шагом подойти к его опровержению. При этом чрезвычайно любопытно, что, аргументируя от роли сопротивления среды как фактора, определяющего скорость падения, античные физики, и в частности Аристотель, подошли вплотную к утверждению, что в пустоте,

[1] Th. B e c k. Leonardo da Vinci's Ansicht vom freien Falle schwerer Körper. ZVDI, № 35 (3 aug. 1907).

т. е. при отсутствии сопротивления среды, все тела будут падать одинаково скоро. Но так как отсутствие всякого сопротивления должно было бы сделать стремление тела к своему месту бесконечно сильным, т. е. падение его бесконечно скорым, что неосуществимо, так как бесконечно скорое движение существовать не может, то правильное предположение о равноскором падении тел в пустоте приводило к противоречию с вытекающим из всей космологической системы положением о невозможности существования пустоты. Правда, атомисты, особенно Эпикур и пересказывавший его Лукреций, высказывались за равноскорое падение тел в пустоте. Но, как известно, рабовладельческая верхушка античного общества — вдохновительница и потребительница науки, пропагандируя, поощряя и развивая соответствующие всему ее мировоззрению идеалистические концепции, и в первую очередь системы Платона и Аристотеля, стремилась сделать все возможное для замолчания тех высказываний материалистических философов, которые грозили разрушить стройность этих систем. Поэтому сколько-нибудь значительного отголоска в науке античности и средневековья эти высказывания не имели.

Изложенная в основных чертах теория движения объясняла, как мы отмечали, только земное естественное движение, отличное и от небесного естественного движения, протекающего не по прямой, а по кругу, и особенно от движения приобретаемого.

Приобретаемое движение есть движение, происходившее не под действием природы того или иного тела, а под действием какой-нибудь внешней физической причины. Уже из этого краткого определения вытекают основные свойства этого вида движения. Первое свойство, на которое и Аристотель и особенно его последователи будут усиленно обращать внимание,— это необходимость для осуществления приобретаемого движения в наличности двух основных факторов — движимого или способного воспринять приобретаемое движение — τὸ κινητὸν, и движущего το κινητικον. Оба эти объекта должны обязательно существовать, и притом существовать отдельно, отлично друг от друга. В противном случае движения не будет. Даже в живых существах,

в которых приобретаемое движение кажется на первый взгляд производимым самим движущимся существом, надо строго различать две части, два отграниченных друг от друга принципа — движимое и движущее или двигатель.

Для осуществления движения необходимо, однако, не только присутствие двух отличных друг от друга объектов или принципов, но также и их соприкосновение. Только непосредственно касаясь движимого, двигатель вызывает движение, — никакой посторонней среды между ними быть не может, actio in distans абсолютно невозможно.

И здесь, как в других пунктах, атомисты занимали позицию противоположную, кладя в основу своих представлений обязательное существование пустоты и настаивая на существовании actio in distans, но это, как и другие их утверждения, замалчивалось и должно было на столетия уступить дорогу перипатетическим.

Наконец, третьим основным свойством приобретаемого движения, вытекающим, как и первое, из самого его определения, является его уничтожаемость — в отличие от вечности естественного движения, вызванного первым толчком первого двигателя. При воздействии на естественное движение каких-либо препятствий, например воздуха при падении, оно временно ослабляется, с тем чтобы, при исчезновении или ослаблении препятствия, начать действовать с прежней или с большей силой. Движение же приобретаемое как бы изнашивается под действием сопротивления. Самая причина движения — сила, вызывающая его, вечная и изначальная в движении естественном, является преходящей и непрочной в движении приобретаемом.

Как же, исходя из изложенных общих положений, объяснить наиболее характерный и простой вид приобретаемого движения, движения свободно брошенного в воздух и падающего обратно на землю весомого тела? Казалось бы, двигатель, хотя бы человеческая рука, сообщив телу движение, не следует за брошенным телом на протяжении всего его пути, а следовательно тело должно было бы, оторвавшись от бросившей его руки, сра-

зу же упасть. Но тут на помощь приходит уже не раз упомянутое представление о роли среды, в которой протекает движение, о роли воздуха. Брошенное с силой тело, пока оно не оторвалось от двигателя, прорывает сзади себя воздух, создает пустое пространство, которого природа не переносит, так как одним из ее основных законов является боязнь пустоты. Поэтому воздух, окружающий брошенное тело, с силой устремляется в образовавшееся пустое пространство, создает новый толчок и так до тех пор, пока сопротивление воздуха окончательно не уничтожит постепенно все уменьшающиеся толчки и не оставит в теле только естественное движение, вследствие которого оно и упадет обратно на землю. Эта теория, сформулированная Платоном в Тимее,[1] была несколько видоизменена Аристотелем, который не считал решающим при передаче приобретенного движения стремление воздуха заполнить образовавшуюся от движения пустоту, а ввел понятие импульса, «импето»,[2] сыгравшее, как мы увидим ниже, особо важную роль в средневековой механике. Этот импульс, приводя в движение движимое тело, не уничтожается сразу, а, слегка уменьшившись, передается воздуху и, постепенно уменьшаясь, распространяется в нем прямолинейно в направлении первоначального движения двигателя. Распространение импульса происходит вследствие толчков одних частей о другие, передающихся движимому предмету, находящемуся в воздухе. Нужно сказать при этом, что теория импето, введенная Аристотелем для объяснения движения тела, движимого не следующим за ним двигателем, отнюдь не отличается полной ясностью. Возможно, что

[1] A. H a a s. Die Grundlagen, p. 38. Теория эта, только сжато изложенная Платоном, была подробно разъяснена Плутархом в его комментариях к Платону.

[2] Так же как и для других терминов, мы будем условно пользоваться во всех случаях термином «импето», применяемым для обозначения понятия, не имеющегося в точности в современной науке. Импето, или импетус, введен в широкий обиход парижской схоластической школой, как это совершенно убедительно показал Дюхем во всех своих работах, на которые мы будем неоднократно ссылаться в дальнейшем.

именно это обстоятельство и вызвало те многочисленные толкования этой теории, с которыми мы встретимся дальше.

Завершением теории приобретаемого движения, как бы кульминационной его точкой, являлось, однако, не решение проблемы полета свободно брошенного в воздухе тела, а решение проблемы соотношения между силой, с которой приводится в движение данное тело, весом или массой этого тела, временем, в течение которого движение происходит, и расстоянием, на которое тело данного веса в данный промежуток времени под действием данной силы будет двигаться. Хаас в своей много раз цитированной работе об античной механике выражает воззрение Аристотеля на соотношение вышеназванных величин следующей формулой:

$$\frac{m \cdot s}{k \cdot t} = \text{const},$$

где m — масса движимого тела, k — сила, s — путь, пройденный данным телом под действием данной силы, и t — время, в течение которого тело этот путь пройдет. Само собой разумеется, что и Аристотель и его последователи были чрезвычайно далеки от того, чтобы придавать установленной им зависимости столь абстрактно алгебраический вид. Мы уже говорили, что алгебраическая, лишенная хотя бы геометрической наглядности формулировка концепций была глубоко чужда греческой науке, но зависимость, смысл которой передает приведенная формула, была строго установлена. Сам Аристотель в седьмой книге «Физики» формулирует ее так:

«Если, например, A — двигатель, B — движимое, а G — длина, на которую движение распространяется, время же, в которое движение происходит, — D, то в равное время равная сила, приложенная к A, будет двигать половину этого B на расстояние вдвое большее, чем G, на расстояние же G будет двигать в половину времени D. И таково будет соотношение. И если та же сила, тот же вес, в то же время движет на то же расстояние, то на половину расстояния она будет двигать его в по-

ловину времени, половина же силы половину веса будет двигать в равное время на равное расстояние. Например, сила E есть половина силы A, а вес Z есть половина веса B. Следовательно, действие будет одинаковым, и отношение между силой и весом останется неизменным, так что вес будет проходить равное расстояние в равное время».

Приведенный текст так ясен и полон, что не нуждается в каких бы то ни было дальнейших объяснениях. Философ-физик, в результате внимательного наблюдения над протеканием явлений, установил, что между различными элементами, определяющими движение, существует какая-то зависимость. Наиболее простой формой зависимости была элементарная прямая или обратная пропорциональность между закономерно связанными друг с другом величинами. На столь ранней стадии познания природы естественным было принять, что если две величины как-то связаны друг с другом, то с ростом одной из них в такой же мере растет или в такой же мере уменьшается другая. Как мы уже отмечали, формулировки соотношений не были призваны познавать сущее для его переделки, т. е. не имели проверочной инстанции в техническом опыте, а должны были свести все наблюдения в единую, возможно более простую и стройную картину мира, а для этой цели простое, ясное и красивое соотношение пропорциональности было наиболее подходящим.

Рассмотренная нами зависимость не всегда, однако, формулировалась так, как мы только что приводили. Встречается и другая формулировка, более сокращенная, но имевшая, может быть, еще большее значение в построении всей системы античной механики. Формулировка эта связывает в одну зависимость только две величины — скорость и вес (массу) — и может быть выражена формулой $\frac{m}{m'}=\frac{v'}{v}$ или $mv=\text{const}$ при данной силе. Сам Аристотель формулирует это положение так:

«Ибо если имеется некоторая сила, то же что движимо меньше и легче, то оно движется под действием той же силы больше... Причем скорость меньшего так относится к скорости большего,

как масса (вес, тело) большего относится к массе меньшего». [1]

В приведенных выше высказываниях Аристотеля мы впервые в нашем изложении встречаемся с термином и понятием силы[2] не в общефилософском смысле, о котором мы говорили выше, а в смысле реальной земной силы, действующей на реальное земное тело. Однако понятие это в данном случае не имеет еще сколько-нибудь серьезного значения, ибо, будучи прямо пропорциональна скорости, а не приращению скорости, сила почти всегда может быть заменена последней; кроме того, введение в систему понятия импульса окончательно лишает ее физического значения.

Приняв определенную, весьма простую зависимость между различными элементами движения, заметили, что зависимость эта оказывается верной не при всех значениях связываемых ею величин. Так, если какая-нибудь сила, действуя в течение определенного времени на какой-нибудь весомый предмет, вызывает его движение на определенное расстояние, то четверть этой силы, действуя в течение того же времени на тот же предмет, может совсем не вызвать движения, или, наоборот, сила, в четыре раза бóльшая, опять-таки может вызвать движение на расстояние не в четыре раза большее, а значительно меньшее. Это наблюдение вызвало необходимость внесения ограничения в формулированную выше зависимость: вес или масса, входящие в нее, должны, для того чтобы зависимость имела место, находиться между собой в некоем определенном соотношении, должны соответствовать друг другу, т. е. масса не должна быть ни меньше ни больше определенной для каждой силы величины. Если же она переходит эту величину в ту или другую сторону, то движения или вовсе не происходит, или происходит не по

[1] De Coelo, 3, 2. Текст с таким сокращением приведен у P. D u h e m, Origines (cit.), t. I, p. 6.

[2] Это различие в употреблении слова δύναμις, иногда обозначающего только потенциальную силу и противопоставляемого слову ἐνεργεία, иногда же просто обозначающего реально действующую силу, встретится нам и дальше и затруднит как перевод, так и толкование некоторых текстов.

формуле, приведенной выше. И здесь, как в установлении основной зависимости, пошли по пути простейшего объяснения наблюденных фактов, по пути, характерному для всего склада античной науки.

Установление основной формулы, которой подчиняется приобретаемое движение, подводит нас вплотную к проблемам статического характера, и в первую очередь к основной проблеме античной статики — закону рычага или, вернее, закону весов. Следует оговориться, что самое разделение античной механики на статику и динамику вряд ли сколько-нибудь закономерно, хотя и принимается почти всеми исследователями. И в современной механике разделение на статику и динамику более чем условно и скорее всего нерационально — вспомним формулировку Энгельса: «Равновесие неотделимо от движения».[1] Исторически же элементы статики и динамики были всегда чрезвычайно тесно и неразрывно связаны друг с другом. Действительно, та система взглядов, которую мы кратко изложили и которая, по современной терминологии, относится к области динамики, при внимательном рассмотрении оказывается лежащей в фундаменте всех, условно выражаясь, статических концепций античности. Нельзя было подойти к формулировке закона равновесия грузов на рычаге, — а это основной закон античной статики, — не определив, что такое вес и в каком соотношении он находится со скоростями, расстояниями и прочими величинами, без определения и понимания существа движения и пр., а именно эти определения и составляли основу того, что обычно называется античной динамикой. Мы видели, что определения эти были построены на непосредственном, внешнем наблюдении фактов, схватывающем наиболее легко уловимые свойства явлений. Определения эти, составляя часть наиболее распространенного в античности варианта философского осмысления мира во всех его частях и деталях, к четвертому веку представляли довольно стройную

[1] Маркс и Энгельс. Диалектика природы. Соч., т. XIV. стр. 404.

систему взглядов—не всегда и во всем единодушную в решении отдельных вопросов, но в общем сохраняющую в неприкосновенности цельность и единство.

Мы констатировали, наконец, что определения эти не ограничивались только отдельными величинами или свойствами, но что наука пыталась установить и некие первичные зависимости между ними. Результатом этого явились два закона: закон, определяющий протекание естественного движения, скорость которого пропорциональна весу движущегося тела, и закон, определяющий протекание движения приобретаемого, длина какового прямо пропорциональна силе и времени движения и обратно пропорциональна весу тела.

Эти законы, отнюдь не отливающиеся в форму абстрактно-алгебраических зависимостей, устанавливают наиболее простую и стройную связь пропорциональности между определенными ранее сторонами явлений.

Вся эта система взглядов, удовлетворявшая потребности разобраться в окружающем мире, уложить наиболее часто встречающиеся явления в рамки философской картины мира, разлетелась бы в пух и прах, если бы из нее пришлось сделать какие-нибудь практические выводы: если бы, положив в основу хотя бы закон пропорциональности скорости падения весу тела, попытались построить какую-нибудь строительную машину.

Но этих практических выводов не делали и не пытались делать. Медленно прогрессировавшая техника стояла на низком уровне, который определялся самим характером рабовладельческого общества и являлся одной из причин его неминуемой гибели. Она двигалась вперед при помощи эмпирического нащупывания, ползком, спотыкаясь, причем двигали ее занимавшиеся ею из поколения в поколение тысячи ремесленных рабов или полурабов, в то время как наука, достояние немногих философов, осмысляя все сущее, подходила к техническим явлениям, так же как к явлениям биологическим или космическим, т. е. и не думая воздействовать на них, а стремясь только возможно более единообразно объяснить их. При таком подходе, естественно, вырастала система, не столько соответствующая дей-

ствительной, реальной сущности явлений, сколько наиболее просто описывающая их, связывая в единую, легко обозримую и гармоническую картину.[1]

Из сказанного, как мы выше отмечали, отнюдь не следует, что античная наука была чужда технике, абсолютно оторвана от нее. Наоборот, хотя и чрезвычайно медленно, но все же прогрессировавшая, техника становилась все более важным фактором в общественной жизни. Поэтому наука, стремившаяся объяснить все значительное в этой жизни, должна была все большее внимание обращать на технику, должна была все больше втягивать ее тематику в орбиту своих спекуляций. Результатом этого и явились те сочинения, которые обычно относятся к области античной статики и в первую очередь «Механические проблемы», приписываемые Аристотелю.

§ 2. „МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ"

Уже, так сказать, методологическая вводная часть этого небольшого произведения,[2] сыгравшего совершенно исключи-

[1] Приведенная выше попытка в немногих словах охарактеризовать всю античную науку в ее основных направленностях и социальной обусловленности ни в какой мере не выставляется нами в качестве результата самостоятельных исследований, претендующего на всеобщую значимость. Она далеко выходит за пределы чисто исследовательской компетенции автора, не имеющего возможности производить самостоятельно исследования в сфере истории социальных отношений античности. Мы пытались здесь дать не претендующую на особую оригинальность рабочую гипотезу, несколько выходящую за грани чистой констатации связей между рабовладельческим характером античного общества и метафизичностью его науки, но и не вводящую каких-нибудь новых, необоснованных характеристик. Вопрос о действительно исследовательском выяснении социальной обусловленности античной науки остается и на сегодняшний день, как нам кажется, одним из интереснейших и мало изученных (несмотря на наличие некоторых предварительных работ С. Я. Лурье, М. Я. Выгодского и др.) вопросов истории науки.

[2] Мы пользовались в основном изданием Μηχανικὰ Προβλήματα recensuit et illustravit Johannes Petrus van Cappelle (Amstelodami, 1812), снабженным латинским переводом и толковыми комментариями, а также цитированным выше изданием Дидо.

тельную роль в дальнейшем развитии механики, подтверждает высказанную нами точку зрения на основной характер античной науки.

«Вызывают удивление те явления, происходящие естественно, причина которых неизвестна, и те неестественные явления, которые производятся для пользы людей техническим искусством. [1]

«Ибо во многих явлениях природа противодействует нашей пользе. Ведь природа всегда придерживается своего собственного, единственного и простейшего порядка; обстоятельства же, нужные для нашей пользы, весьма различны и изменчивы. Поэтому всякий раз, когда нам приходится делать что-нибудь противоположное стремлению природы (τὶ παρὰ φύσιν πράξαι), задача становится трудной и требует применения технического искусства. Ту часть этого искусства, которая борется с этими затруднениями, мы называем механикой. Как говорит поэт Антифон, так и происходит: «Мы побеждаем искусством там, где нас побеждает природа».

Из этих немногих вступительных слов явствует, что автор трактата сознает значительную роль техники, которую он характеризует как совокупность приемов, изобретенных для борьбы с естественным течением природных явлений в тех случаях, когда это течение противоречит пользе человека. Но технику он рассматривает только как искусство, т. е. только как набор приемов, полученных чисто экспериментальным путем. Задача же науки формулируется так же ясно. Она вступает в свою роль там, где появляются феномены, «вызывающие удивление», т. е. объясняет, истолковывает, сводит в единую стройную картину данные ей явления как из области природы, так и из области искусства. Так как явления технического порядка играют значительную роль в жизни человека и так как они по самой своей природе особенно склонны вызывать удивление, то естественно, что наука должна втягивать в орбиту объясняемых и сводимых

[1] Мы переводим выражением «техническое искусство» греческое τέχνη, имеющее в себе оттенок и искусства и техники.

воедино ею явлений и технические явления. О том, что наука сама может лечь в основу техники, что она может не только объяснять, но и двигать вперед технику, здесь нет и речи.

Самый трактат приписывался в средние века (приписывается иногда и теперь) Аристотелю. Но его построение, манера изложения, приводимые в нем аргументы и особенно неупоминание трактата в античных списках сочинений Аристотеля почти с полной несомненностью говорят о том, что трактат этот Аристотелю не принадлежит. Более чем вероятно, что в таком виде, в каком он до нас дошел, он вообще не является произведением одного автора. Даже не слишком глубокий анализ легко обнаруживает в нем по меньшей мере три разнородные части, разностильные по изложению и во многих местах повторяющие друг друга. Весьма вероятно, что в трактате мы имеем дело со сводкой всех научных данных по механике. Правдоподобно также предположение Таннери[1] о том, что трактат, несомненно более поздний, чем оригинальные произведения Аристотеля, относится к началу третьего века до н. э. и что он составлен в Египте. Более или менее несомненно, во-первых, то, что трактат вышел из перипатетических кругов и достаточно точно отражает точку зрения Аристотеля, и, во-вторых, то, что в нем нашла выражение доевклидовская стадия античного математического мышления.

Трактат начинается с общего, так сказать философского, введения, часть которого мы уже приводили. Кроме определения механики как науки и помещения ее между математикой и физикой, что применяется и в настоящее время, следует чрезвычайно важное, характерное и дважды повторяющееся утверждение, что действие всех механических приспособлений может быть сведено к рычагу; рычаг же представляет собой

[1] P. Tannery. Sur les Problèmes Mécaniques attribués á Aristote. Mémoires Scientifiques, vol. III, Toulouse, Paris, pp. 32—36.

Эта небольшая, чрезвычайно солидная работа является записью выступления Таннери на историческом конгрессе в прениях по докладу М. Галлиана о законе рычага у Аристотеля. Самого этого доклада мне, к сожалению, найти не удалось.

разновидность весов,[1] а первопричина, внутренняя сущность весов есть круг, движение по окружности, в свойствах какового и заложены все основные законы механики. Наиболее ясно и кратко мысль эта изложена в конце первой главы трактата:

«Происходящее на весах возводится к кругу, происходящее же на рычагах — к весам; все же прочее, происходящее в движениях механизмов (механических движениях), возводится к рычагу».

Таким образом, вся механика сводится к рычагу и — через его посредство — к кругу, который и определяется как прообраз совершенства, как наиболее явный, хотя и таинственный образчик диалектичности сущего, ибо он обнаруживает в своих свойствах совпадение ряда противоречащих друг другу явлений — выпуклость и вогнутость, движение в одну и другую сторону, бесконечность.

Это положение, лежащее в основе всей механики, глубоко характерно для породившей его античной науки. Оно полностью подтверждает уже высказанное нами утверждение о философском характере всех построений этой науки, не призванной быть использованной в технической практике. Действительно, чем иным, как не философским стремлением построить наиболее простую и стройную картину сущего, можно объяснить постепенное сведение разнообразия действительных механических явлений ко все более общим случаям вплоть до практически совершенно бесплодного, но геометрически ясного сведения их к свойствам круга.

Нахождение философского смысла явлений, причем в первую очередь нахождение его на самом простом и пластически

[1] Под «весами» трактат (и по его следам вся дальнейшая механика вплоть до Галилея) понимает равноплечий рычаг первого рода и считает их наиболее общим случаем рычага. Несмотря на то, что русское слово «весы» (в вышеприведенном смысле) неудобно, так как синонимично со словом «вес» (в смысле тяжести), а это слово, как мы увидим ниже постоянно применяется для обозначения понятия «груз на весах» что создает опасность серьезной путаницы, мы все же сохранили в переводе слово «весы» во всех случаях, где употребление его не приводило к неясностям ибо замена его другим словом в корне изменила бы весь характер рассуждений.

ясном геометрическом пути, — такова сущность научного построения.

Но, с другой стороны, и в этой формулировке сказывается тесная увязка с техникой, с ее запросами, с ее генеральной линией. Самое появление круга как начала всех начал, как философской основы всей механики, а следовательно и техники, по всей вероятности находится в какой-то связи с победным шествием в античной технике вращательного движения. Гончарный круг и лучковый токарный станок, колесо и в первую очередь блок, таль, становятся решающими звеньями производственной деятельности. Если в Египте наиболее характерными техническими приборами были шадуф с его прямолинейным, простейшим рычагом и прямолинейная же наклонная плоскость, то в греческой технике триумфатором становится блок (или даже система блоков), таинственные механические свойства которого было соблазнительно свести к геометрически совершенной форме солнца и луны, форме движения планет — к кругу. Высказанное выше не более чем гипотеза, но она кажется весьма правдоподобной.

Третьей отличительной и очень важной чертой, сводящей всю механику к кругу или, точнее, к движению по окружности, является то, что она совершенно стирает грань между статическим и динамическим подходом к механике. Действительно уже вторая, наиболее длинная и, так сказать, центральная глава всего трактата стремится доказать основное для всего рассуждения положение, что точка, лежащая на радиусе окружности и вращающаяся вместе с ним, движется тем скорее, чем дальше она отстоит от центра.[1]

Самое доказательство, достаточно сложное, не всегда ясное и правильное, основано на представлении о сложении сил или, вернее, движений. Если какому-нибудь телу придается движение по двум направлениям, расположенным под углом,

---

[1] Самый трактат формулирует задачу главы II несколько иначе: «почему большие весы точнее меньших», однако фактической целью изложения является, несомненно, указанное выше доказательство.

то оно фактически движется по диагонали параллелограма, построенного на прямых, изображающих эти движения. Ниже, в главе XXIV трактата, это положение, принимаемое здесь почти без доказательства, рассматривается подробно; из этого рассмотрения совершенно ясно, что имеется в виду сложение движения как по направлению, так и по величине и что учитывается влияние угла между направлениями движения на величину результирующего движения.[1]

Однако тело под влиянием двух движений, направленных под углом, движется по диагонали параллелограма только тогда, когда между этими движениями сохраняется одно и то же постоянное отношение; когда же такое отношение не сохраняется, то тело под влиянием двух движений будет двигаться по некоторой кривой.

Концы весов, описывающие дуги окружности, получают два движения, или, что то же самое, находятся под действием двух сил — естественной силы, направленной вниз, и силы приобретаемой, направленной к центру, с которым они связаны нерасторжимой связью. Отношение между этими двумя движениями или силами не остается постоянным (почему — не указано; очевидно, вследствие ускорения, свойственного естественному движению), так что конец весов в результате движется по окружности. Скорость же этого движения зависит от того, насколько точка находится близко к центру вращения. Ибо чем она ближе, тем центр оказывает большее притяжение, тем больше приобретаемая сила, противодействующая естественной, и, следовательно, тем медленнее движение по окружности.

---

[1] Существовала упорная полемика, изложенная в названном выше комментарии Cappelle (op. cit., pp. 151—154), о том, заключается ли в трактате закон параллелограма сил в полном его объеме или же не заключается. Такая постановка вопроса нам представляется вообще мало закономерной. С одной стороны, совершенно несомненно, что основной принцип, центральная мысль закона в трактате выражены с полной ясностью; с другой же стороны, основные понятия, входящие в него, и самое его применение настолько отличны от современных, что сравнение делается почти невозможным и мало плодотворным.

Таким образом, чем дальше точка на вращающемся радиусе находится от центра, тем скорее она движется. Основное положение доказано, но автор трактата, не довольствуясь этим, так сказать, динамическим доказательством, пытается дать еще дополняющее его доказательство геометрическое, весьма запутанное и нас в данной связи мало интересующее.

Доказав же основное положение — зависимость скорости вращения от расстояния до центра и базируясь на аксиомах античной динамики, автор считает закон рычага полностью доказанным и в главе четвертой дает это доказательство весьма сжато и суммарно. Действительно, как мы помним, одна из формулировок основного закона протекания приобретаемого движения (а движение, сложенное из естественного и приобретаемого, будет, конечно, приобретаемым) звучит так: «Произведение скорости на вес есть величина постоянная» (см. стр. 29), а следовательно, если на весах один конец движется скорее другого, то, для того чтобы они были в равновесии, необходимо, чтобы к точке, движущейся с меньшей скоростью, был приложен меньший вес и наоборот, т. е. чтобы имело место равенство

$$mv = m_1 v_1.$$

А так как, по изложенному выше, скорости движения концов весов прямо пропорциональны их расстояниям от центра вращения, или, что то же самое, длинам плеч весов, то вышеприведенная формула примет такой вид:

$$ml = m_1 l_1,$$

что и есть формула равновесия весов или рычага первого рода.

Мы подробно остановились на доказательстве закона рычага в «Проблемах механики», во-первых, потому, что это наиболее полное и подробное из дошедших до нас античных доказательств; во-вторых, потому, что оно исключительно характерно по всей своей структуре; в-третьих, потому, что оно вызвало вокруг себя усиленную полемику. Так, Вайлати в своих весьма

интересных, но спорных работах[1] считает, что в этом доказательстве заключен уже принцип возможных перемещений, с чем, однако, решительно не соглашаются ни Таннери[2], ни Дюхем.[3] И тот и другой совершенно справедливо указывают на то, что в доказательстве трактата действительно более или менее ясно выражено условие равенства моментов относительно точки и, что особенно важно, введено само е понятие момента, выражаемое словом ῥοπή. Это слово впервые встречается в трактате и настолько соответствует по своему смыслу современному понятию момента, что последнее и было введено Коммандином в 1566 г. при переводе слова ῥοπή в комментарии Евтокия к «Равновесию плоских тел» Архимеда.

И действительно, как мы видели, в трактате условие равновесия рычага построено на равенстве произведений длины плеча и приложенной к концу его силы, или веса, или проходимо о под действием этой силы расстояния, или скорости этого прохождения. Но, будучи близким к понятию момента, понятие ῥοπή, как и вся теория рычага, изложенная в трактате, сохраняет глубочайшее своеобразие, так что одно приравнение к современным понятиям вряд ли может его охарактеризовать. Неумение провести резкие границы между понятиями «сила» и «вес», «путь» и «скорость», сведение всего к наглядным геометрическим представлениям, обязательное подведение под простейшие соотношения пропорциональности, абсолютно неразрывная связь между динамической и статической точками зрения на предмет и как следствие этого теснейшая увязка со всем философски-космологическим мировоззрением — вот основные черты рассуждения трактата, резко отличающие их от рассуждений новейшей механики.

Как уже выше сказано, вторая, самая большая, глава составляет центр трактата. Весьма возможно, что она первона-

[1] В первую очередь в работе G. V a i l a t i, Il principio dei lavori virtuali da Aristotile a Erone di Alessandria. Atti d. R. Accademia delle Scienze di Torino, vol. 32, 1896, p. 940.

[2] T a n n e r y. Op. cit.

[3] P. D u h e m. Les origines, pp. 5—8.

чально была самостоятельным целым. Вслед за ней идут две небольшие главы теоретического характера, четвертая глава, дающая собственно формулировку закона равновесия рычага на основе доказанного в главе второй, и третья, трактующая о двух видах равновесия: устойчивом — при подвесе весов сверху и неустойчивом — при подпоре весов снизу. Приводя к правильному результату, глава эта, однако, пытается доказать его исключительно на основании теории физического, весомого рычага (весов), не вводя понятия центра тяжести, повидимому не знакомого еще автору трактата.

Затем следует ряд чрезвычайно любопытных и характерных, условно выражаясь,— технических глав. В каждой из них вначале задается вопрос, почему такое-то приспособление производит такое-то действие, и затем в немногих словах действие этого приспособления сводится к действию рычага. При этом разбираются вперемежку и важнейшие в технике того времени технические явления, и мелкие бытовые приспособления. Рассматриваются принцип функционирования корабельного весла (V), руля (VI), влияние высоты мачты (VII), технический смысл простейших парусных маневров (VIII), колеса колесниц и тачек (XII), метательные орудия (XIII), лебедки (XIV), разлом палки о колено (XV), причины приобретения морскими камешками круглой формы (XVI,) причина большего изгиба на одной опоре более длинной палки (XVII,) клин, сводимый к двум рычагам (XVIII), блок — повидимому, неподвижный (XIX), удар топором (XX), статера или римские весы (XXI), щипцы для вырывания зубов(XXII), щипцы для орехов (XXIII), натяжка рам для кроватей (XXVI), перемещение тяжести на шесте (XXVII), перенесение длинного груза на плече (XXVIII), колодезный рычажный подъемник (XXIX), вторично перемещение тяжести на плече, но с другой точки зрения (XXX).

Мы нарочно привели этот длинный список, чтобы показать, насколько разнообразно техническое содержание трактата, насколько беспорядочно нагромождены в нем самые различные вопросы.

Чтобы дать представление о том, как рассматриваются в трактате технические вопросы и предоставить этим возможность сравнения с сочинением, являющимся непосредственным объектом нашего исследования, мы приведем текстуально перевод одной из наиболее коротких глав трактата — главы седьмой: «Спрашивается, почему, с увеличением высоты мачты, при том же парусе и ветре, судно плывет быстрее? Не потому ли, что парус является рычагом, место, в которое он укреплен, — точкой опоры, корабль — грузом, который надлежит перемещать, а ветер — силой, действующей на парус? Если точка опоры находится дальше, то сила движет тяжесть легче и скорее; делая мачту более высокой, мы делаем и парус более отдаленным от места укрепления — точки опоры».

Из этого текста (а все перечисленные выше «технические» главы построены, примерно, так же) ясно, что автор старается научно объяснить хорошо известный из повседневной практики факт. Одинаковая форма вопроса («почему то-то происходит так-то»?) — несомненное этому подтверждение. Из приведенного текста также явствует отсутствие полной определенности основных понятий, строгости и чистоты математического доказательства, неуменье просто свести данный случай к общему, установленному ранее закону рычага, необходимость каждый раз повторять в сжатом виде его формулировку.

Наиболее важными из перечисленных выше глав, с исторической точки зрения, являются: глава XVIII — клин, XIX — блок, XX — удар топором и XXI — римские весы.

Клин (рис. 1) рассматривается как режущий механизм, состоящий из двух небольших рычагов, действующих под влиянием удара на обух у широкой его части. Так, $\alpha\varphi$ и $\gamma\eta$ — два рычага, φ и η — точки опоры их. Объяснение это и неправильно, и практически совершенно бесполезно, ибо не устанавливает никаких соотношений между отдельными величинами клина.

Блок объяснен чрезвычайно неясно и сбивчиво, путем голословного приравнения его к рычагу, так что возникает сомнение, идет ли речь о подвижном или неподвижном блоке. Так, ван Каппелле определенно считает, что здесь имеется в виду не-

подвижный блок, и в трактате ошибочно приписывается ему выигрыш в силе. Нам же представляется, что трактат говорит в первую очередь о системе из одного неподвижного и одного подвижного блоков. Что́ имеется в виду при упоминании об увеличении скорости подъема на блоке, уменьшающем ее фактически, — неясно; возможно, что здесь имеет место искажение текста. Соотношение между силой, весом и высотой подъема не устанавливается, поэтому неясно, что́ рассматривается как плечо и что́ — как точка опоры.

Удар топора, в отличие от действия топора, просто лежащего острием вниз, объясняется, с одной стороны, прибавлением к силе тяжести приобретаемой силы, с другой — действием клина.

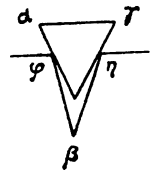


Рис. 1

Наконец, — датские весы, статера, в которых постоянный груз и груз, подлежащий взвешиванию, расположены неподвижно, а точка опоры может перемещаться по коромыслу, останавливаясь на любом из нанесенных на нем равных делений, не переходя половины коромысла по направлению к взвешиваемому грузу. Никакого соотношения между местом точки опоры и взвешиваемым грузом не устанавливается; констатируется только, что статера представляют собой одновременно и весы и рычаг, и довольно сложно описывается самый процесс взвешивания. Уже тот факт, что деления нанесены на коромысле через равные промежутки, в то время как для простого отсчета они должны уменьшаться по направлению от постоянного груза к взвешиваемому телу, показывает, что в данном случае мы имеем чисто констатирующую стадию научного обобщения. Несомненно, что весы, коромысло которых было разделено простейшим образом на равные части, были затем эмпирически проградуированы, причем были установлены веса, соответствующие определенным делениям.[1]

[1] P. van Cappelle (op. cit., pp. 245—253) дает таблицу, по которой можно было рассчитывать вес взвешиваемого тела при данном числе равных делений коромысла. Формула эта, при n — номере деления,

Научное объяснение, абсолютно не способное и не стремившееся изменить операцию, облегчить ее, определив, на основании простейших соображений и закона равновесия рычага, места деления для непосредственного отсчета веса, ограничивается тем, что подводит данный механизм под более общие категории весов и рычага.

Среди условно названных нами «техническими» глав текста, и главным образом после них, помещено еще несколько, опять-таки, условно выражаясь, «теоретических» глав. Таковы уже упомянутые нами главы: III — о видах равновесия весов, IV — о теории рычага, XXIV — о параллелограме движения; такова же глава IX — о вращении круглых тел. Тела эти бывают трех родов: с движением центра — как в колесах; без движения центра, но вертикально — как в шкивах; без движения центра, но горизонтально — как в гончарных кругах. Здесь же рассматриваются различные условия вращения круга при разных направлениях силы и для разных точек его, причем частично повторяется сказанное в главе второй.

Глава X говорит о причине более быстрого вращения по большей окружности, чем по малой, что опять-таки повторяет вторую главу, и в главе XI говорится о причине большей трудности движения нагруженных, чем свободных механизмов. Глава XXV посвящена так называемому «колесу Аристотеля»;[1]

B — искомом весе, A — постоянном грузе на конце статера и γ — весе самого коромысла, будет для коромысла с 20 равными делениями например:

при $n = 10$; $B = A$
» $n = 15$; $B = 3A + \gamma$
» $n = 19$; $B = 19A + 9\gamma$.

При этом ван Капелле не решается утверждать, применялась ли таблица как таковая или же соответствующие значения B нанесены были против соответствующих делений коромысла.

[1] «Колесо Аристотеля» — rota Aristotelis, часто разбиралось при дальнейшем развитии науки; вопрос этот подробно рассмотрен в неоднократно цитированном нами комментарии ван Каппелле. Мы его более подробно не разбираем, поскольку для специальных целей нашего исследования этот вопрос особого значения не имеет

глава XXI разбирает условия, необходимые для вставания сидящего человека (причем, как и глава III) не пользуется, очевидно еще не существовавшим, понятием центра тяжести, а пытается объяснить все весьма туманными геометрическими образами; глава XXXII объясняет, почему уже движущееся тело движется быстрее неподвижного, выдвигая в зародыше понятие инерции; главы XXXIII и XXXIV весьма кратко, ссылаясь на начальные положения или основные понятия, трактуют о полете брошенного тела. При этом чрезвычайно любопытно, что в XXXIII главе ставится весьма смелый для данного контекста вопрос: почему брошенное тело прекращает свой полет? Автор здесь опять подходит к закону инерции, но чрезвычайно много обещающее рассуждение резко обрывается соображением о недопустимости обсуждения основных аксиом.

Глава XXIII в неясной форме дает уже изложенную нами теорию полета под влиянием приобретенного движения, передаваемого через воздух, и движения естественного. Глава XXXV говорит о необходимости определенного соотношения между силой и несомым ею весом, о чем мы говорили выше (стр. 30). Наконец, последняя, XXXVI глава, посвящена водоворотам и несомым ими телам, стремящимся к центру.

Таково содержание, построение и характер псевдоаристотелевых «Проблем механики», сыгравших, как мы увидим дальше, столь большую роль в дальнейшем развитии механики. Все части, составляющие трактат: первая, освещающая общие вопросы механики, изложенная нами последней, вторая, дающая (или считающая, что она дает) общий закон весов, и, наконец, третья, рассматривающая различные механизмы как приложения на практике этого закона, — части, давшие Таннери (стр. 35) право считать трактат составленным из разнородных частей, с течением времени будет изменяться, прогрессировать, отклоняться в сторону. Но только на грани XV и XVI столетий в творчестве Леонардо да Винчи мы встретим еще раз такое полное освещение всех проблем теоретической и прикладной механики, какое мы находим в этом трактате.

§ 3. АРХИМЕД

Следующий крупный этап в развитии античной механики представляет собой творчество Архимеда, но, прежде чем перейти к его рассмотрению, мы должны кратко остановиться на памятниках, являющихся переходной ступенью от «Проблем механики» к работам Архимеда, — на отрывках механических произведений, приписываемых Евклиду.

Отрывки эти, тщательно изученные Дюхемом,[1] в самых различных комбинациях, версиях и переводах были широко распространены в средние века. Связываясь с абсолютно авторитетным именем Евклида и с именами различных комментаторов, в первую очередь — арабов, они, наряду с «Механическими проблемами», были одним из источников, из которого черпала свои сведения, видоизменяя их согласно своим вкусам, феодальная наука.

Ни один из этих отрывков не дошел до нас в неприкосновенности. Все сохранившиеся версии носят на себе настолько сильный отпечаток своей эпохи, что чрезвычайно трудно определить, какая их часть является основным текстом и какая образовалась в результате дальнейших наслоений. Поэтому, не останавливаясь на подробном изложении отрывков, мы ограничимся их общей характеристикой.

Отрывков, непосредственно связанных с именем Евклида, существует три: «трактат de gravi et levi», изданный в XVI в. Херваген ом и затем в другом латинском переводе Куртце; сохранившийся на арабском языке трактат о весах, изданный Вепке; наконец, четыре теоремы, изложенные, но, к сожалению, не изданные Дюхемом. Эти три отрывка составляют целое, может быть более стройное и однородное, чем «Механические проблемы», но в виде отдельного трактата не встречаются.

[1] Дюхем посвящает им главу V (Les sources Alexandrines de la statique du Moyen Age) своей работы «Les origines de la statique» (pp. 61—97). Некоторые из источников, о которых говорится в этой главе, как неопубликованные, не были нам доступны. Все же изданное было нами изучено по возможности подробно. Получить доступ к рукописям мы не смогли.

Первый из них — «Liber Euclidis de gravi et de comparatione corporum ad invicem»[1] сохранился в латинском переводе в ряде средневековых рукописей. Он представляет собой связное и строгое изложение основной формулы Аристотеля для приобретаемого движения — формулы о пропорциональности между силой, весом и расстоянием, проходимым данным весом под действием данной силы в данной среде. Однако в то время как в аристотелевой физике положение это было высказано в описательной форме и всеми своими элементами было связано с остальными частями сочинения, являясь только одним из этажей стройной космологической системы, — оторванное от этой системы, оно рассматривается здесь как совершенно самостоятельное целое и, что самое важное, изложено в подчеркнуто математической форме.

Доказательства отрывка по всему своему стилю, по методу замены абстрактных понятий наглядными величинами совершенно чужды всему характеру античной науки и, как увидим ниже, чрезвычайно близки к характеру науки средневековой. Поэтому мы, вопреки утверждению Дюхема, склонны считать их либо полностью созданными в XII—XIII вв., либо радикально измененными в это время. Но, независимо от доказательств, самый метод, самая форма, в которую отлито все изложение, по всей вероятности характерны именно для античной науки III в. до н. э. Стремление к научной строгости, к сведению всякого научного положения к самоочевидным аксиоматическим констатациям с последующим выведением из них, опять-таки возможно более строгим, логически-геометрическим путем, того, что требуется доказать, определяет собой исключительно высокий уровень научной абстракции, приведшей к созданию одного из величайших памятников научной мысли человечества — евклидовых «Начал».

---

[1] Трактат этот опубликован М. Куртце в двух версиях: Херваrена, в которой последний опубликовал его в «Euclidi Opera» 1537, pp. 585—586, и своей, найденной в «Codex Dresdensis» Db 86. Maximilian C u r t z e. Zwei Beitrge zur Geschichte der Physik im Mittelalter. Bibliotheca Mathematica, 3, 1. Bd., 1. u. 2 H., 1909. pp. 51—54.

Это же стремление к строгости определяет и тот несколько сухой, подчеркнуто формальный характер, который приобретают научные построения трактата. Цель — стремление дать возможно более стройную и замкнутую систему положений, а не привести к каким-нибудь новым результатам и открытиям, каковые зачастую получаются совсем другим, менее строгим путем и затем уже post factum вводятся в систему строго научных определений и доказательств.

Таким образом, как и у Аристотеля и наверное до него, наука призвана не изменять, а только осмыслять данные в реальной действительности явления. Однако здесь она уже выходит за пределы простого описания и констатации и пытается доказывать, создает тот аппарат, который в дальнейшем будет использован научной мыслью совсем с другими целями.

Вне наших исследовательских возможностей находится хотя бы суммарное определение тех связей, которые, несомненно, существовали между заключением в строгие, но слишком абстрактные формы античной математики вообще и механики в частности и начинавшим все более давать себя чувствовать упадком греческих городов-республик, созданием на их месте крупных государств с значительным кругом ученых-профессионалов, группировавшихся вокруг дворов монархов, с перенесением культурных центров из Греции на африканское побережье. Связь эта, на важность выяснения которой указал в своей чрезвычайно интересной, но, к сожалению, только программной статье М. Я. Выгодский,[1] еще не выяснена сколько-нибудь удовлетворительно.

Второй приписываемый Евклиду отрывок в том виде, как он опубликован Вепке,[2] повидимому не был известен в средние

[1] М. Выгодский. Проблемы истории математики с точки зрения методологии марксизма. Сб. «На борьбу за материалистическую диалектику в математике» М. — Л., Гос. техн.-теор. изд-во, 1931, стр. 100.

[2] Отрывок опубликован в арабском подлиннике и французском переводе. D. Woepcke. Notice sur des traductions arabes de deux ouvrages perdus d'Euqlide. Journal Asiatique septembre — octobre 1851.

века. В других же слегка измененных вариантах и в соединении с отрывком, разобранным выше и еще подлежащим разбору, он более чем вероятно входил в тот фонд механического наследия античности, из которого черпала средневековая наука, — в фонд, изученный далеко не полно.

Отрывок этот, несомненно, дошел до нас в чрезвычайно искаженном виде. Он слишком логичен по самому построению и в отдельных своих частях, чтобы можно было считать его слабым и безграмотным в оригинале. Между тем слабость отдельных частей его почти не вызывает сомнений в том, что они испорчены переводчиками или переписчиками. Основная структура отрывка вполне ясна: он продолжает ту же линию, которую мы констатировали в предыдущем отрывке, но, в то время как последний сводил к простейшим самоочевидным аксиомам и доказываемым теоремам основную перипатетическую формулу движения, настоящий отрывок пытается то же самое сделать для закона весов или рычага. Весь текст сводится к одному определению, двум аксиомам и четырем предложениям. Определение говорит, что вес есть мера тяжести и легкости, измеряемая при помощи весов. Аксиома первая утверждает, что если два груза укреплены на концах прямого однородного весомого стержня, подвешенного к середине, то стержень находится в горизонтальном положении. Вторая аксиома говорит, что при удлинении любого из подвесов грузов весы останутся в равновесии. Из этих двух аксиом в отрывке и делается попытка вывести закон рычага, что, конечно, не удается.

Вепке в редакционном примечании указывает на то, что в другой рукописи, содержащей отрывок, авторство его приписывается Бени Муса, т. е. одному из трех сыновей Муса ибн-Шакира, известных авторов средневековых геометрических сочинений. На этом основании ряд исследователей считает отрывок арабским сочинением. Однако доказательство Дюхема (op. cit., loc. cit.), считающего его возникшим, примерно, одновременно с рассмотренным нами выше, непосредственно примыкающим к нему и, следовательно, относящимся к III в. до н. э., кажется нам убедительным Хотя и не без некоторых сомнений, мы включаем его хронологически в наше изложение в соответствии с указанием Дюхэма.

Соглашаясь с Дюхемом в том, что изложенный отрывок относится к эллинистической науке, мы, однако, находим на нем ощутимые следы арабской науки, через которую он прошел.

Наконец, третий отрывок, связанный с именем Евклида, к сожалению только изложен Дюхемом, правда — весьма подробно, но не издан им.[1] Он состоит из следующих четырех предложений, в которых рассматриваются уже не геометрические, а физические весы с весомым коромыслом.

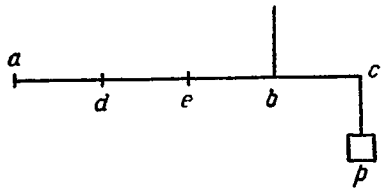


Рис. 2

1) Если коромысло весов, первоначально находившееся в равновесии, затем выходит из него, то силы, приложенные к концам его, относятся друг к другу так же, как пути, проходимые этими концами.

2) Если весомое коромысло весов (рис. 2) подвесить не в середине, то, чтобы уравновесить собственный вес более длинного плеча, надо на более коротком подвесить груз, так относящийся к весу разницы между весами двух плеч, как расстояние между серединой отрезка, представляющего собой разницу между плечами и точкой подвеса, будет относиться к малому плечу, т. е.

$$\frac{P}{\text{вес } ac} = \frac{db}{bc}, \text{ или } P = \text{вес } ac \cdot \frac{db}{bc}.$$

3) Если на плече коромысла расположены четыре равных и равно отстоящих друг от друга груза, то они могут быть заменены одним грузом, равным их сумме и помещенным в середине расстояния, которое они занимают на плече.

4) То обстоятельство, что коромысло весов есть весомый цилиндр, ничего не изменяет в поведении грузов.

Весь характер этого отрывка и самая постановка вопроса о весомом коромысле свидетельствуют о том, что либо отрывок

[1] См. Duhem. Les origines, t. I, pp. 71—74.

этот еще больше, чем предыдущие, искажен переводчиками, либо (и скорее всего) является произведением не античной, а арабской или западноевропейской феодальной науки; поэтому мы упоминаем о нем только мимоходом и еще раз вернемся к нему ниже.

Все рассмотренные нами отрывки могут быть, следовательно, названы античными и связаны с именем Евклида только сугубо условно. В дошедшем до нас виде они характеризуют другую среду и другую научную систему, но более чем вероятно, что все они выросли на каком-то античном, эллинистическом и притом предшествующем Архимеду фундаменте, почему мы и говорим о них в данном месте.

Можно было, конечно, и не упоминать о них при рассмотрении механики античности, но так как, даже не разделяя мнения Дюхема, нельзя все же абсолютно убедительно доказать его несостоятельность, то полное умолчание о целой группе сочинений, которые могут оказаться относящимися к данной эпохе, казалось нам недопустимым.

Легко убедиться в том, что рассмотренные нами три отрывка, приписываемые Евклиду, содержат в себе тот же круг вопросов, который освещали и «Механические проблемы», именно: общетеоретические положения и основной закон движения — первый отрывок, доказательства закона весов (рычага) — второй, применение этого закона к реальным техническим объектам, в данном случае к физическому рычагу, или, вернее, к физическим весам, — третий отрывок.

Однако, как мы это уже отмечали при разборе первого отрывка, самый подход к предмету значительно изменился. «Механические проблемы» — порождение расцвета греческого общества — обнаруживают еще теснейшую и органическую связь всего построения механики и отдельных ее формулировок со всей философской, космологической системой, наиболее полно отраженной в философской энциклопедии Аристотеля, и, с другой стороны, обнаруживают исключительно живой и проникающий во все детали интерес к проблемам техники, правда, не пытаясь воздействовать на нее.

Псевдоевклидовские отрывки датируются Дюхемом III в. до н. э. Это время ширящегося омертвения греческого общества, когда, при сохранении внешнего благосостояния, высшие слои его теряют реальное руководство жизнью. Порожденные этим временем отрывки обнаруживают стремление сделать самостоятельными отдельные науки и отдельные научные проблемы, вырвать их из общей философской связи, свести каждую к немногим основным, самоочевидным положениям и базирующимся на них четким геометрическим доказательствам. Наука вырабатывает свои собственные методы и приемы, свою сравнительно совершенную технику; в то же время она формализируется, отходит от реально ощущаемой жизни, теряет тот живой, хотя и созерцательный, интерес к проблемам реальности, в первую очередь технической, который столь ясно выражен в «Механических проблемах».

Во многих отношениях завершением только что отмеченных тенденций является механическое творчество Архимеда. Нужно, однако, сказать, что, насколько рассмотренные нами отрывки (за исключением второго) были, наравне с сочинениями Аристотеля, широко известны средневековой науке, настолько сочинения Архимеда не пользовались популярностью. Несомненно, что здесь сыграли роль не только случайные обстоятельства, — кодексы с греческими сочинениями Архимеда, очевидно, имелись в достаточном количестве, — но самый характер его творчества, к рассмотрению какового мы сейчас и перейдем.

К сожалению, главные сочинения, в которых, согласно имеющимся свидетельствам, Архимед изложил основы своей механической концепции, а именно трактаты «О центре тяжести» и «О весах или рычагах», до нас не дошли. В ряде сохранившихся в полном виде или в отрывках его работ, в первую очередь в его труде «О равновесии плоских тел или о центрах тяжести плоских тел», затем в «Квадратуре параболы», и, наконец, в сравнительно недавно (1907 г.) опубликованном «Письме к Эратосфену» даны части его механической концепции, столь значительные и полные, что общая ее конструкция и основные,

характерные черты могут быть установлены с полной несомненностью.[1]

Наиболее полно механические положения Архимеда изложены, как уже сказано, в трактате о равновесии плоских тел, содержание которого мы кратко приведем. Подобно рассмотренным выше отрывкам трактат начинается с семи аксиом, формулирующих кратко и чрезвычайно четко те основные самоочевидные положения, на которых построено затем все доказательство.

Первые три и шестая аксиомы относятся к равновесию тел на весах. «Мы утверждаем, что равные веса уравновешиваются, но что весы отклоняются в сторону веса, расположенного на большем расстоянии», гласит первая аксиома — основная и решающая. Вторая и третья только развивают высказанное. Вторая утверждает, что «если веса будут находиться в равновесии на определенных расстояниях и к одному из них прибавить некоторый груз, то они больше не уравновешиваются, но весы отклоняются в сторону груза, к которому нечто прибавлено». Третья же аксиома утверждает то же для случая отнятия веса от одного из грузов. Наконец, шестая аксиома указывает, что если два тела определенной величины уравновешиваются на определенных расстояниях, то тела, величины которых равны первым, будут также уравновешиваться на тех же расстояниях. Четвертая, пятая и седьмая аксиомы относятся к центрам тяжести плоских тел. Основное положение (аксиома IV) здесь таково: «Центры тяжести плоских, совпадающих, равных и подобных тел также совпадают». Пятая аксиома развивает это положение, утверждая, что центры тяжести неравных, но подобных тел будут расположены подобно, и, наконец, седьмая аксиома подчеркивает, что центр тяжести всякой фигуры,

[1] Мы пользовались главным образом превосходным комментированным французским переводом «Les oeuvres completes d'Archimede (traduits par P. ver Eecke, Paris — Bruxelles, 1921), а также классическим греко-латинским изданием под ред. Гейберга — «Archimedis opera omnia Lipsiae», Teubner, 1910.

имеющей выпуклый в одну сторону периметр, расположен внутри этой фигуры.

За аксиомами следуют базирующиеся на них и друг на друге предложения, все более усложняющие рассматриваемые вопросы. Первое, доказательство которого мы для примера приведем, говорит, что веса, уравновешивающие друг друга на равных расстояниях, равны. Действительно, предположим, что они не равны; тогда, отняв излишек от большего, мы получим нарушение равновесия по третьей аксиоме, а это противоречит первой аксиоме, и, следовательно, предложение доказано. Второе предложение доказывает, что неравные веса, расположенные на равных расстояниях, не уравновешиваются и что весы отклоняются в этом случае в сторону большего веса. Третье предложение посвящено доказательству того, что неравные веса на неравных расстояниях уравновешиваются, причем больший вес будет расположен на меньшем расстоянии. Четвертое предложение доказывает, что «если две равные величины не имеют одного и того же центра тяжести, то центр тяжести величины, составленный из этих двух величин, будет находиться в середине прямой, соединяющей центры тяжестей этих величин». Пятое предложение, развивающее доказанное в четвертом, которое вообще является центральным во всей механической системе Архимеда (насколько мы ее знаем), доказывает, что «если тяжести трех величин расположены на одной прямой, если эти величины имеют равный вес и если отрезки прямой, расположенной между центрами тяжести, равны, то центром тяжести величины, составленной из всех этих величин, будет точка, являющаяся также центром тяжести средней из этих величин». Из этого предложения выводятся два следствия, развивающие его для нечетного и четного числа величин.

Наконец, шестое, основное предложение утверждает, что «соизмеримые величины уравновешиваются на расстояниях, обратно пропорциональных их весам». Приведем в возможно более кратком виде это изумительное по стройности доказательство. Мы имеем (рис. 3) соизмеримые величины A и B, с центра-

ми тяжести в A и B и прямую $E\Delta$ с точкой Γ, расположенной так, что $\frac{E\Gamma}{\Gamma\Delta}=\frac{B}{A}$. Надо доказать, что точка Γ есть центр тяжести величины, составленной из двух величин A и B. Пусть общая мера соизмеримых прямых $E\Gamma$ и $\Gamma\Delta$ будет N. Продолжим прямую $E\Delta$ в обе стороны и отложим на ней отрезки ΔH и ΔK, равные $E\Gamma$, и отрезок, равный $\Gamma\Delta$. Из построения ясно, что $\Delta\Gamma$ равно EH, а следовательно $\Delta\Lambda$ вдвое больше $\Delta\Gamma$ и HK вдвое больше $E\Gamma$. Из этого следует, что N является общей мерой ΛH и $\Delta\Gamma$, будучи общей мерой их половин. Из этого также следует, что $\frac{\Lambda H}{HK}=\frac{A}{B}$. Примем, что $\frac{\Lambda H}{N}=\frac{\Lambda}{Z}$, но $\frac{HK}{\Lambda H}=\frac{B}{A}$, следовательно $\frac{HK}{N}=\frac{B}{Z}$,

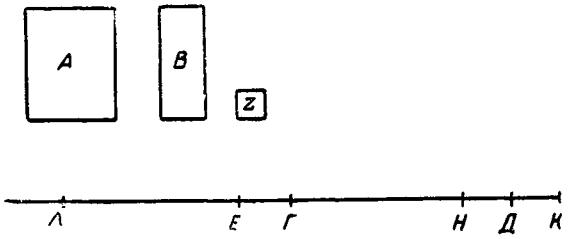


Рис. 3

следовательно Z есть общая мера A и B и, следовательно, в прямой ΛH помещается такое же количество отрезков, равных N, как в площади A помещается площадей, равных Z. Если теперь на каждом из отрезков B прямой ΛH, равных N, поместить площадь Z так, чтобы центр тяжести площади находился в середине отрезка, то полученная площадь будет равна площади A и общий центр тяжести последней площади будет находиться в точке E (по пятому предложению). Таким же образом можно доказать, что на отрезке EH можно расположить определенное число площадей Z (равное отношению $\frac{KH}{N}$) с общим центром тяжести B. В результате мы получим определенное число равных величин, расположенных на одной прямой так, что расстояния между

их центрами тяжести равны; следовательно, их общий центр тяжести помещен на этой же прямой, в середине между средними тяжестями (предложение пятое). Но $\Lambda E = \Gamma\Delta$ и $E\Gamma = \Delta K$ по построению, а следовательно Γ есть середина прямой ΛK, и на ней расположен общий центр тяжести всех помещенных на этой прямой весов, что и требовалось доказать, так как все маленькие веса Z, расположенные на отрезке ΛH, можно заменить равным их сумме весом A и поместить его в центре отрезка в E; таким же образом все веса Z на отрезке HK можно заменить весом B, помещенным в Δ, причем веса A и B будут уравновешиваться вокруг точки опоры Γ.

В дальнейшем изложении дается распространение закона рычага на случай несоизмеримых величин; доказывается чрезвычайно важная теорема (связывающая учение о центре тяжести с учением с рычаге) о том, что если от определенной величины отрезать определенную часть, имеющую свой центр тяжести, то центр тяжести остатка будет находиться на продолжении прямой, соединяющей центры тяжести полной и отрезанной величин на таком расстоянии от центра тяжести всей величины, что отношение его к расстоянию между центрами всей величины и отрезанной его части будет равно отношению величины отрезанной к полной. После этого промежуточного доказательства трактат переходит к нахождению центров тяжести различных плоских фигур, чему и посвящены оставшиеся 7 предложений первой книги (прямолинейные плоские тела) и вторая книга.

Мы привели сравнительно подробно несколько первых страниц архимедова трактата, чтобы иметь возможность охарактеризовать общий стиль механики великого сиракузца, сравнить ее с механическими конструкциями его предшественников и особенно последователей.

Из приведенного материала можно убедиться в том, что отмеченные нами в псевдоевклидовых отрывках черты развиты у Архимеда гораздо сильнее и создают некую замкнутую систему. Доказательство закона рычага, составляющее сущность приведенных частей трактата, выделено из общефилософской си-

стемы, с которой оно было еще неразрывно связано в «Проблемах механики».

У Архимеда научное доказательство приобретает возможно полную самостоятельность. Окончательно выкован научный метод выведения того, что требовалось доказать из немногих самоочевидных констатаций и затем из постепенно надстраивающихся друг над другом строго геометрически доказываемых теорем. Создан как бы идеал строгого и абсолютно стройного математического построения, подчиненного только своим законам и не нуждающегося в расплывчатых и нестрогих философских обобщениях. На этот идеал будут с благоговением взирать в XVI в. — веке создания современной науки.

Но в то же время формализм, который отличал евклидов метод, доведен здесь до апогея, и разрыв всей научной системы с практикой и ее реальными требованиями действительно громаден. В самом деле, ни одна из теорем, ни одно из доказательств не имеет целью получить какой-нибудь новый, даже чисто теоретический результат. Результаты либо заранее известны, либо получаются иными, черновыми, по мнению Архимеда нестрогими, методами, а затем, уже будучи получены, блестяще осмысляются, вводятся в стройную систему абстрактных геометрических спекуляций; они приобретают внешние черты, необходимые для светских, благовоспитанных, точных научных доказательств, столь характерных для всей блестящей культуры эллинистического Востока.

Таким образом, отмеченный нами выше констатирующий характер античной механики, характер, отличающийся отсутствием попыток научно воздействовать на практику при постоянном стремлении философствовать или размышлять по поводу этой практики, сохраняется в системе Архимеда в полной неприкосновенности. Но в соответствии с изменившимся временем самая эта система приобретает совсем другие очертания. Громадный импульс, данный науке греческого мира эпохой социального, экономического и политического расцвета, сохраняется и передается миру эллинистическому — блестящему, но безнадежно дряхлому. Он создает исключительные по

своему научному совершенству и послужившие базой для современной науки методы, но в то же время эти методы глубоко формальны и как бы висят в воздухе. Отраженные в работах Архимеда по механике, они могли дать действительно богатые плоды, только будучи поставлены в другие исторические условия.

Мы не затрагиваем в настоящей работе исключительно интересного вопроса о полноте и строгости доказательства закона рычага, данного Архимедом, — вопроса, получающего различные решения в современной литературе.[1] Однако, независимо от решения этого вопроса, совершенно несомненным и правильным является утверждение Вайлати о том, что вся аргументация механики Архимеда базируется на учении о центре тяжести и некоторых его свойствах в такой же мере, как аргументация «Проблем механики» базировалась на учении о движении по кругу. Поэтому можно утверждать, что насколько «Проблемы» динамичны, настолько работы Архимеда статичны.

Современное состояние науки не позволяет всесторонне объяснить такой переход в механике, но представляется вероятным, что как учение о движении (см. выше, стр. 36) было связано с актуальнейшими техническими проблемами своего времени, так и учение о центре тяжести, являющееся серьезным научным фактором, примерно, со времен Архимеда, было связано со значительно усложнившейся к этому времени строительной техникой. Характерной чертой последней как раз является разрешение, конечно экспериментальное, более сложных статических задач — постройка сводов, арок и перекрытий с большими пролетами, т. е. задач, обязательно требующих развитого учения о центре тяжести. Недаром Герон сообщает, что у Архимеда было и специальное сочинение «Книга

[1] Вопросу этому посвящены работы: G. Vailati. Del concetto di centro di gravita nella statica d'Archimede. Atti d. R. Accademia delle Scienze di Torino, vol. 32, 1896—1897, pp. 742—758; S. M. Child. Archimedes principle of the Balance and some criticism upon it. Studies in the History and method of science edited by Charles Singer, vol. II, Oxford, Clarendon Press, 1921, pp. 490—520.

«об опорах»,[1] посвященное проблемам сопротивления материалов и статики сооружений.

Необходимо, однако, еще раз напомнить, что если такая связь между механикой Архимеда и наиболее актуальным вопросом техники его времени и существовала, то это нисколько не противоречит констатированному выше нетехническому, формальному характеру всей аргументации Архимеда: в его работах находят место и строго научно объясняются актуальнейшие вопросы техники, но он и не помышляет о том, чтобы воздействовать на изучаемые объекты.

Не опровергает этого положения и тот общеизвестный факт, что Архимед сам был иногда техником-практиком. Представление о «высоком» характере «чистой» науки, практически не используемой, и о чисто экспериментальном характере техники, глубоко чуждое миропониманию человека нового времени, было органически несомненно для представителя античности. Занимаясь техникой практически, Архимед использует отточенный научными занятиями ум и, наоборот, черпает из техники объекты для своих чисто научных построений, обратно в технику не возвращающихся.

Таким образом, механика эллинская и эллинистическая на всем своем блестящем и, к сожалению, далеко не полностью известном нам пути развития сохраняет одни и те же основные черты: философски констатирующий характер и отказ от применения результатов научного исследования на практике, сначала тесную, а затем все более рассыпающуюся связь с общефилософскими, космологическими построениями, интегральной частью которых являются наиболее полно сформулированные Аристотелем основные законы движения, применение исключительно простых пропорциональностей и наглядно геометрический способ доказательств. В рамках этой оставшейся неизменной системы разрабатываются, однако, отдельные аргументы, делаются наблюдения, находятся методы,

[1] Сочинение это Герон Александрийский называет в своей «Механике» (о которой мы будем говорить ниже).

которые, при всей абстрактности построения и единства системы, достигают высокой степени научного совершенства и, будучи введены как основные элементы в другую систему, выросшую на иной исторической почве, создают классическую механику.

§ 4. РИМСКАЯ И ПОЗДНЕЭЛЛИНИСТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Совсем в другой мир мы вступаем, когда переходим от эллинской и эллинистической к римской и позднеримской механике. Все достижения, все результаты научной работы греческого мира были усвоены миром римским и полностью вошли в его духовный багаж. Процесс этого усвоения был закончен, когда начало колебаться здание государства, воплощавшего в своем лице всю античность.

Колебание это явилось следствием, с одной стороны, неустойчивости всей социально-политической структуры Римской империи, с ее городом-гигантом в центре и колоссальной завоеванной территорией вокруг него, и с другой — все учащающихся и расширяющихся социальных волнений и разложения всех социальных отношений, наконец, решающих ударов нашествий варваров. Естественно, что в эти времена, полные борьбы и тревоги, абстрактно философский характер эллинской и особенно эллинистической науки был неуместен. В лихорадочном темпе пышного, но бесплодного строительства, борьбы — блестящей и кровавой, но бесперспективной, взоры сами собой обращались к средствам, которые могли бы помочь как в том, так и в другом: усиливался интерес к технике. Мы отмечали уже, что техника, хотя медленно и ощупью, все же развивалась и в эллинском и в эллинистическом мире, в Риме же она пыталась сделать резкий скачок вперед.[1] Попытка

[1] Мы не приводим здесь доказательства этого положения, впрочем более или менее ясного и несомненного для каждого, кто сколько-нибудь серьезно занимался вопросами истории античной техники. В качестве примеров достаточно отметить появление на периферии Римской империи таких механизированных приспособлений, как жнейка и водяное колесо.

эта была обречена на неудачу, ибо социально-экономические корни рабовладельческого строя были уже безнадежно подточены. Но, несмотря на эту безнадежность, техника позднего Рима усиленно развивалась, стараясь использовать всевозможные пути и средства. Греческая наука, вошедшая в обиход, была ненужна и непонятна в таком виде, в каком она была создана; римская техника сделала попытку упростить ее и поставить себе на службу.

Одним из сравнительно ранних и чрезвычайно характерных образцов такого нового, еще не вполне освоенного соотношения между наукой и техникой является знаменитое, постоянно читавшееся и в средние века и особенно в эпоху Возрождения сочинение Витрувия «Об архитектуре».[1]

В предисловии к трактату сам автор говорит, что «архитектура состоит из практической деятельности (fabrica) и теории (ratiocinatio). Практическая деятельность есть приобретенная размышлением и постоянным упражнением механическая сноровка выполнять по представленному чертежу здание из всякого рода материалов. Теория же есть умение разбирать и оценивать здания, выполненные на основе правильных пропорций. Поэтому те архитекторы, которые без научных знаний стремились только к механической сноровке, никогда не приобрели себе своими работами славы; те же, которые полагались только на теорию и свои научные знания, как будто тоже принимали тень за тело. Только тот, кто серьезно изучил и то и другое и, вполне вооруженный, преследовал свою цель, достигал ее с честью». Ясно, что автор, считая необходимым для техника научные знания, ставит этим самым теорию на службу практике.

См. Дильс. Античная техника. М. Гостехизд. 1934; G. Cozzo. Ingegneria Romana. Roma 1928; C. Mercke. Die Ingenieurtechnik im Altertum. Berlin 1899; Античный способ производства в источниках. Л., ГАИМК 1933; Из истории материального производства античности. Л., ГАИМК 1935.

[1] Я пользовался латинским текстом в издании: Vitruvius. De Architectura libri decem. ed. V. Rose et H. Müller. Strubing. Lipsiae, B. G. Teubner 1867, а также русским переводом.

Формулируя, однако, в короткой фразе соотношение между теорией и практикой, он не решается все же утверждать, что теория кладется в основу самой практики, что на основании научных обобщений можно выполнить какую-нибудь реальную работу. Теория служит у него только для оценки уже выполненной, при помощи эмпирически добытых приемов, работы. Таким образом, и втянутая в круг практических интересов теория сохраняет все же свой констатирующий характер. Но, останавливаясь на полпути в первых, обобщающих формулировках своего введения, в тексте трактата Витрувий идет несколько дальше. Так, он говорит о непосредственном техническом применении геометрии, астрономии, даже медицины и философии, причем весьма характерно, что к «философам» причислен и Архимед.

Основной текст посвящен описательно переданным практическим указаниям и рецептам, почти лишенным теоретического обоснования. Нас интересует содержание X книги трактата, посвященной «Основам механики».

Механика определяется как учение о машинах, что характерно для всего римского и отчасти послеримского периода. Машине же дается следующее, часто, но, к сожалению, не полностью цитируемое определение: «Машина есть прочное соединение деревянных частей, предназначенное для передвижения тяжелых грузов и приводимое в движение искусственным образом по кругу, что греки называют κυκλικὴν κίνησιν».

Уже это сведение всех движений машин к круговому движению и ссылка на греческое выражение заставляют вспомнить подробно разобранные нами псевдоаристотелевские «Проблемы механики». Когда же, после описания нескольких подъемных сооружений, мы подходим к главе восьмой той же книги, к главе, дающей теоретическое обоснование всей механике, то мы убеждаемся в том, что теоретические знания Витрувия базируются исключительно на «Проблемах». При этом несложный математический аппарат последних, очевидно непонятный автору-практику, отброшен, а сохранена только описательная оболочка всех рассуждений, чрезвычайно путанных и туманных.

Все действия машин объясняются следующим образом: «Движение и сила их производятся соединениями двух полностью друг от друга отличных и неравных вещей, каковые следует рассматривать как причину обоих действий. Первое есть прямая линия, второе — круговая линия. Греки называют первую εὐθεταν и вторую κυκλωτήν. И в действительности, ни прямолинейное движение без циркульной линии, ни круговое движение без прямой линии не могут поднять какой бы то ни было силы». Приведенное абсолютно голословное и ничего не объясняющее положение, несомненно, восходит ко второй главе «Проблем» с ее сведением движения концов прямолинейного рычага к движению по окружности. Но, ничего не поняв в сравнительно сложном доказательстве трактата, Витрувий ограничивается пустой описательной формулировкой.

Так же поступает он и дальше, сводя вслед за «Проблемами» все машины к рычагу и рычаг — к весам. Дальше абстрагирующей способности у римского архитектора нехватает: он не сводит весы, как это сделано в «Проблемах», к кругу и его волшебным свойствам, не догадывается даже свести их действие к тому жалкому и пустому закону связи между прямолинейными и круговым движением, который он сформулировал выше, а ограничивается описанием римских весов, несколько отличных по типу от описанных в «Проблемах». Он говорит, что «все эти положения (сущность машин, рычага и т. п.) обнаруживаются в тех весах (trutina), которые называются statera. Ибо точка опоры в них укреплена неподвижно, близко от конца, на котором находится постоянный груз, а на длинном плече коромысла груз может перемещаться от одной точки к другой, и чем дальше он от точки опоры, тем больший момент (momentum) он получает; так что, когда он продвинут совсем к краю, то может поддерживать в равновесии совсем не равный ему вес. Таким же точно образом, благодаря моменту, получающемуся вследствие далекого расстояния от точки опоры, крайне малая сила может легко и постепенно поднять снизу вверх значительно больший груз». В этом, во многих отношениях чрезвычайно любопытном, отрывке особенно интересны две черты. Во-первых —

самая суть описания, рабски эмпирическая, показывающая, что автор, списывая из «Проблем», не понимал того, что он списывал. Возводя машину к рычагу и рычаг к весам, он, следуя за своим первоисточником, подымается ко все более общим понятиям, но, не понимая, зачем это делается, не идет дальше, а рассматривает весы как реальный механизм, т. е. приходит к той точке, из которой вышел. Второй характерной чертой отрывка является применение термина «момент». Термин этот, так же как в XVI в. у Коммандина или Кавальери, применяется, повидимому, для передачи греческого «ῥοπή» причем понятие, означаемое им, как и понятие «ῥοπῇ», близко к современному понятию момента. Применение этого термина Витрувием без всяких особых объяснений, без часто приводимого им греческого аналога, указывает как будто на то, что термин этот в таком именно значении был ко времени Витрувия общераспространенным.

Объяснив, как ему кажется, сущность действия всех машин, Витрувий затем кратко и чрезвычайно нечетко приводит заимствованные из тех же «Проблем механики» примеры сведения к рычагу простейших приспособлений — мачты, руля и палок для ношения грузов. Здесь опять сказывается беспомощность его по отношению к источнику. Несмотря на то, что приводимые «Проблемами» примеры абсолютно чужды всей тематике трактата, он не может заменить их примерами из своей специальности — строительного дела, а, путая и сокращая, повторяет азы греческой науки.

Покончив в одной главе с той «теорией», которую Витрувий так хвалил во вступлении и которую он так плохо понял, он со спокойной душой возвращается к чисто эмпирическому описанию различного рода машин — вначале водяных колес, насосов, а затем метательных и осадных орудий.

Целью всего труда является практически добытая рецептура (fabrica). Но так как признаком хорошего тона были тогда ссылки на применение теории к практической деятельности и знакомство с греческой наукой, то небольшая доля таковой добавляется в изложение, причем неловко и неумело. Конечно, и

практика от этого добавления мало выигрывает, и теория не только не двигается вперед, но значительно откатывается назад, упрощаясь и вульгаризируясь.

Тот же процесс внедрения техники в науку при омертвении достижений последней отражается, хотя и на значительно более высокой ступени, в большом трактате по механике Герона Александрийского. Трактат этот,[1] дошедший до нас только в арабском переводе и опубликованный в конце XIX в., был, повидимому, неизвестен ни средневековой, ни возрожденской науке. Это подтверждается и отсутствием списков текста его в греческом оригинале и в латинском переводе, и отсутствием упоминания о нем у схоластических авторов, вообще любящих щеголять своей античной ученостью. Однако совпадение многих постановок вопросов, если не их решений, в поздних средневековых и особенно возрожденских трактатах по механике с героновским материалом указывает на возможность существования в средневековой письменной, а может быть только устной, школьной традиции компендиев по теоретической и технической механике, если не полностью совпадающих с дошедшим до нас через арабов трактатом Герона, то все же построенных по тому же шаблону и включающих тот же материал.

Геронов трактат, так же как «Проблемы механики», скорее всего является компендием, сводом всех известных ко времени его составления сведений по механике.[2] Но насколько псевдо-

[1] Мы пользовались изданием «Herons von Alexandria Mechanik», herausg. u. ubers. von L. Nix u. W. Schmidt. Leipzig, B. C. Teubner, 1900 (Heronis Alexandrini. Opera quae supersunt omnia. vol. II fasc. 1).

Краткое изложение содержания «Механики» Герона без какого-либо анализа и не всегда с правильным освещением дано в статье Th. Beck. Herons des Älteren Mechanik. Beitrage zur Geschichte der Technik u. Industrie, B. I. 1909, SS. 84—107.

[2] Как известно, самое время жизни Герона или, что для нас важнее, составления интересующего нас трактата точно не определено. Сводка всех сведений по этому вопросу дана в справочнике G. Sarton. Introduction to the History of Sciences, vol. I. Мы лично придерживаемся мнения, что Герон жил в конце I в. н. э.

аристотелевский трактат носил констатирующе-философский характер, сближавший его с аристотелевой энциклопедией, настолько же трактат Герона носит характер научно-прикладной, сближающий его хотя бы с только что рассмотренной энциклопедией архитектуры Витрувия. Однако если, как и в последнем, доминирующей чертой его является попытка приложить науку к технической практике, то самое это приложение у Герона происходит более органично, чем у Витрувия.

Трактат Герона в том арабском переводе, который до нас дошел, начинается без всякого обычного в античных трактатах введения, разъясняющего цель и метод работы, и состоит из трех неравных по величине и равно разнородных по содержанию книг. Первая из них, наиболее хаотическая и собранная, очевидно, из наибольшего числа первоисточников, повидимому должна была быть посвящена теоретическим основам механики. Но автор настолько не понимает сущности строгого и четкого научного построения хотя бы в духе Архимеда, что начинает изложение чисто теоретической части своего труда с рассмотрения вполне конкретного механизма лебедки с системой зубчатых колес. Ни аксиом, ни ступенчато построенной на них системы теорем нет и в помине. Основные теоретические положения считаются доказанными в предыдущих работах других авторов — «древних», как говорит трактат. В нем же даются только описания тех или иных явлений с весьма поверхностными попытками их объяснения, причем и самые эти объяснения носят преимущественно описательный, а не доказывающий характер.

Как мы уже упоминали, первая книга трактата похожа на компиляцию, ибо состоит из трех совершенно разнородных частей. Первая часть, следующая непосредственно за описанием зубчатой лебедки, повидимому примыкает к «Проблемам механики» или к какому-нибудь связанному с ними источнику. Все вопросы, затронутые в этой части (§ 2—10), встречаются и в «Проблемах», но разобраны в них гораздо более четко. Вторая часть первой книги не имеет прямого отношения к механике, и не вполне понятно, зачем она помещена в трактат (§ 9—19).

Только последний ее параграф рассматривает связанный с механикой вопрос — геометрическое построение зубцов в шестерне, которые должны сцепляться с нарезкой винта-червяка. Довольно длинное и запутанное изложение имеет вполне конкретный рецептурный характер и может быть с полным успехом применено на практике, теоретическая же его часть крайне слаба.

Третья небольшая часть первой книги (§ 20—24) рассматривает собственно основы механики. Она утверждает, что определенный груз, лежащий на земле, может быть приведен в движение силой, значительно меньшей его веса, даже силой сколь угодно малой, ибо нужно только вывести из горизонтального положения плоскость, на которой данное тело находится в равновесии.[1] Для того же, чтобы поднять тело наверх, необходима сила бóльшая, чем его вес, как это видно на неподвижном шкиве.

Затем разбираются движение и равновесие тела на наклонной плоскости, но разбираются очень поверхностно. Выясняется только, почему тело будет двигаться, «ибо, — отвечает автор, — бóльшая часть тела, например цилиндра, будет находиться ниже вертикальной плоскости, проходящей через точку касания и делящей его на две неравные части, и потому будет тянуть все тело вниз; для того же, чтобы уравновесить его, нужно подвесить с другой стороны груз, равный разности между частью, лежащей по одну сторону вертикальной плоскости, и частью, лежащей по другую ее сторону». Ни влияние угла наклона, ни какая бы то ни было зависимость между величинами, определяющими равновесие на наклонной плоскости, не установлены.

Последний параграф этой части посвящен центру подвеса и центру тяжести и равновесия. Со слов стоика Посидония дается определение центра тяжести и равновесия как точки, в которой тело, будучи подвешено, разделяется на две равные

[1] Утверждение это близкое к формулировке закона инерции, в высшей степени замечательно и необъяснимо в системе Герона.

части. Затем, со ссылкой на Архимеда, устанавливается далеко не вполне ясное различие между центром подвеса и центром тяжести или равновесия. Первый определяется как точка, в которой система, будучи подвешена, остается в равновесии, и здесь же в одной фразе дается закон рычага. Центр же тяжести, или равновесия, определяется как единственная точка в каждом теле, в которой сходятся (вертикальные) линии, идущие от точки подвеса.[1]

Затем дается сравнительно полное логическое и убедительное доказательство того, что центр тяжести и равновесия в каждом теле только один. Доказательство это явно заимствовано из одного из не дошедших до нас сочинений Архимеда и характерно скорее для последнего, чем для Герона. Оно основано на поворачивании тела, проведении через него в каждом повороте плоскости, делящей его на равные части, и показе того, что предположение о непересечении этих плоскостей в одной прямой приводит к абсурду. Однако и это, в основном, повидимому, архимедовское, доказательство дается не в свойственной последнему математической форме, т. е. в системе аксиом и теорем, а в сжатом и не очень четком изложении. Наконец, четвертая и последняя часть первой книги посвящена основам, условно выражаясь, статики сооружений. Ссылаясь на не дошедшую до нас работу Архимеда «Книга опор», она дает весьма подробный, но стоящий на небольшой теоретической высоте разбор разных случаев распределения веса балки, лежащей на нескольких опорах, между этими опорами при различных положениях

[1] В немецком переводе арабского текста, на котором мы базировались, применяются следующие термины: Aufhängepunkt — центр подвеса, Schwer-oder Neigungspunkt — центр тяжести или равновесия. Какие физические реальности соответствуют этим различиям, нам не вполне ясно. Может быть под первым подразумевается геометрический центр весомой фигуры, но тогда не подойдет определение. Неясное для нас определение центра тяжести звучит в немецком тексте так: «Was nun den Neigungsmittelpunkt angeht so ist er ein einziger Punkt in jedem von den Körpern zu dem die von den Aufhängepunkten (zum Horizont) senkrechten Linien hinneigen». Разбор этих неясностей лежит вне нашего задания и наших возможностей.

этих последних. Так, наиболее простой § 26 доказывает, что если равномерная балка опирается своими концами на две колонны, то каждая из них будет нагружена половиной ее веса (принимается без доказательства). Если же в любом месте между двумя колоннами поместить третью и рассматривать каждую пару соседних колонн отдельно, то выяснится, что средняя колонна несет половину всего веса, неся половину каждой его части, находящейся между средней и крайними колоннами, а вторая половина распределяется между крайними колоннами пропорционально их расстоянию от средней. Такое же рассуждение применяется для четырех опор и, по заявлению автора, может быть применено для любого их числа. Затем рассматривается более сложный случай, при котором одна из опор, поддерживающих края балки, продвигается к средине и когда при таком положении крайних опор к ним прибавляется средняя опора или отнимается одна из крайних. Точно таким же способом рассматривается распределение веса тела, подвешенного на поперечной балке между двумя опорами, на которых лежат концы этой балки, и доказывается, что каждая из опор несет половину веса балки; вес же подвешенного груза распределяется обратно пропорционально расстояниям между опорами и точкой подвеса его.

Заканчивается книга разбором двух весьма любопытных вопросов. Первый касается физического рычага, для которого остроумно доказывается неправильность безоговорочной формулировки обратной пропорциональности между плечами и грузами: если представить себе весы с весомым коромыслом, на которых два неравных груза, расположенные на расстояниях, обратно пропорциональных своим величинам, уравновешивают друг друга, и затем отрезать неравные концы коромысла, выступающие за точки подвеса, то равновесие нарушится, хотя расстояния между грузами и точкой опоры останутся неизменными. Дальше констатации факта Герон, однако, не идет, не делая никакой попытки сформулировать зависимость, существующую между грузами и расстояниями их от точки опоры в физическом рычаге.

Последние два параграфа (33 и 34) посвящены равновесию криволинейного рычага. В них без особого теоретического доказательства, а просто в порядке утверждения, устанавливается, что в криволинейном рычаге надо принимать в расчет не реальные длины плеч, а расстояния между точками подвеса грузов, измеренные по прямой, перпендикулярной к линиям подвеса. т. е. по горизонтали. Здесь, особенно в § 34, в котором разбирается равновесие двух грузов, подвешенных на нити, перекинутой через шкив, т. е. случай рычага с прямолинейными, но расположенными под углом плечами, еще более явно, чем в «Проблемах механики», формулируется правило равенства моментов сил относительно точки. Интересно то, что во всем изложении Герон постоянно ссылается на Архимеда, в системе которого, очевидно, это правило было математически обосновано. У самого же Герона оно, как и все вопросы, затронутые в первой книге, за исключением (и то не полным) вопроса о центре тяжести, дается как готовый результат. Интерес к познавательной стороне явления, любование игрой мысли при сложном и четком выводе заранее известного результата, столь свойственные всей эллинской и эллинистической механике, даже в этой первой, собственно теоретической книге компилятивного трактата Герона полностью отсутствуют. Его интересует результат, а то, что он выведен правильно, он принимает на-слово, ибо слепо верит в авторитет Архимеда. Цельной системы понятий, определений, аксиом и теорем нет и в помине. Из багажа, завещанного греческой наукой, берется наугад тот кусок, который в данный момент нужен, без разбора того, в какой связи он находился, без критики основ, без доказательства.

Тот же грубый эмпиризм первой книги еще яснее выступает в более стройной, заимствованной, очевидно, из одного, а не из ряда источников, второй книге, в которой разобраны пять основных механизмов, «при помощи которых определенный груз двигают определенной силой», — ворот, рычаг, блок, клин и винт. Композиционно книга построена стройно, хотя мало целесообразно. Сначала дается простое описание каждого из механизмов, его конструкции и работы с ним. Так, § 2, рассмат-

ривающий рычаг, начинается словами: «Второй механизм. Второй механизм есть тот, который называется рычагом; механизм этот был, по всей вероятности, первым, который придумали для перемещения весьма тяжелых тел», и кончается: «Когда этот механизм был найден, то поняли, что возможно при помощи его передвигать большие грузы. Самый кусок дерева называют рычагом, независимо от того, кругл ли он или четырехуголен (в сечении). Чем ближе к грузу помещают камень, подкладываемый под него, тем удобнее производится движение, как мы это покажем в дальнейшем». В таком же духе выдержаны и другие описания; при этом действие клина сводится к действию производимого по нему удара, а работа винта сведена к клину, действующему не от удара, а от рычага.

В следующем разделе книги дается объяснение сущности действия пяти вышеописанных простейших механизмов. И здесь мы тщетно будем искать теоретического обоснования — все объяснение сводится, например, для рычага и ворота к показу того, что в них мы имеем две окружности с разными диаметрами, а, как доказал Архимед, две окружности с разными диаметрами есть то же, что весы, вращающиеся вокруг неподвижной точки опоры, грузы на которых обратно пропорциональны расстояниям от этой точки. Мы имеем здесь, таким образом, совершенно ясный порочный круг, так как Герон пытается объяснить рычаг свойствами движения концов его по разным окружностям, а последнее опять сводит к весам, т. е. к тому же рычагу.

Вообще все изложение, так же как и в первой книге, свидетельствует о полной теоретической беспомощности автора, показывая, однако, незаурядную наблюдательность его по отношению к действительности. Действие всех пяти механизмов разобрано весьма подробно и в основном правильно. Для рычага рассмотрены два частных случая подъема груза: с земли рычагом первого рода, когда груз подымается полностью, и поворот груза, остающегося лежать на земле одной своей точкой.

Подробно рассмотрен и разобран блок. Совершенно правильно и четко изложена разница между неподвижным блоком (§ 13), не дающим выигрыша в силе, и блоком подвижным, в

котором к рабочему концу нити должна быть приложена только половинная сила, но причина выигрыша в последнем случае объяснена неудовлетворительно. Равным образом неудовлетворительно объяснен и полиспаст второго рода, или таль, для разъяснения свойств которого Герон закрепляет оба конца рабочей нити (при четном числе блоков один на грузе, другой на опоре, а при нечетном — оба на грузе) и рассматривает условия равновесия подвешенного груза, выводя правило: «Отношение известного груза к движущей его силе должно быть равно отношению (числа) натянутых нитей, подымающих груз, к нитям, движимым силой». Иначе, если движущая сила одна, то сила равна грузу, деленному на количество работающих в тали нитей, что само по себе правильно. Неясно только, что понимал Герон под талью с большим числом движущих нитей. Полиспаст первого рода совсем не разобран.

Объясняя клин, Герон не подходит к формулировке закона равновесия тела на наклонной плоскости и весьма смутно представляет себе, что и как следует здесь доказать. Несмотря на это, он приходит, так же как и по отношению к тали, к недостаточному, но в общем правильному результату. Так, доказывая, что всякий клин может быть подвинут на некоторое расстояние любой сколь угодно малой силой, он приходит к выводу, что большой клин, движимый определенной силой на определенное расстояние, может быть разделен на ряд клиньев, имеющих ту же длину, но меньшую высоту, причем высота малых клиньев столько раз содержится в высоте большего клина, во сколько раз меньшая сила будет двигать меньший клин на то же расстояние. Из этого он выводит, что «чем меньше угол клина, тем меньшей может быть сила в отношении силы, загоняющей весь клин».

Доказательство этого положения, являющегося смутным предчувствием закона наклонной плоскости, вообще может быть названо доказательством только с большой натяжкой. Это довольно беспомощная попытка объяснить известный из опыта феномен, т. е. то же, что мы имеем хотя бы в «Механических проблемах». Но цель и характер этого объяснения в обоих памятниках резко различны. В то время как у псевдо-Аристотеля

мы имеем описание, имеющее целью наиболее глубоко проникнуть в философскую сущность явления и связать его со всей картиной осмысляемого как единое целое мироздания, у Герона описание носит конкретно технический характер. Ни сущность явления, ни тем более его связь со всей системой подобных явлений его не интересуют; он стремится так описать явление, чтобы осмыслить его в его конкретном, техническом бытии и чтобы при помощи этого описания его можно было построить. Такой же характер технического описания носит у Герона и разбор последнего из простейших механизмов — винта, рассматриваемого как навернутый на цилиндр клин со всеми вытекающими из этого обстоятельства последствиями.

Рассмотрев все пять механизмов, Герон в § 20 делает вывод, что «пять механизмов, движущих груз, подобны кругам с одним центром... Мне же кажется, что они больше подобны весам, чем кругам, так как в вышесказанном основы доказательства для кругов опирались как раз на весы. Ибо было доказано, что груз, подвешенный на меньшей стороне, так относится к подвешенному на большей, как большее плечо весов к меньшему». Вывод этот в чрезвычайно ощутительной форме обнаруживает ту теоретическую беспомощность автора, на которую мы уже обращали внимание.

За рассмотрением пяти простейших механизмов следует разбор систем механизмов, сначала однородных, т. е. систем зубчатых колес, рассматриваемых как система воротов, систем блоков и талей, систем рычагов, причем для всех них показывается, что, сколько мы приобретаем в силе, столько же теряем в скорости. Затем рассматриваются системы, состоящие одновременно из разнородных механизмов — рычагов, винтов, блоков.

После рассмотрения простых и сложных механизмов стройность второй книги трактата нарушается; автор переходит к рассмотрению отдельных частных вопросов. Замечательно здесь то, что, говоря о действии машин, автор обращает внимание на необходимость несколько увеличивать силы, прилагаемые к машинам, по сравнению с определенными теоретически,

принимая во внимание трение, попытка определения величины которого полностью отсутствует.

Затем идет как бы вставленный в изложение отдельный небольшой трактат — возможно, другая версия тех же «Механических проблем», которые были использованы в первой книге. Трактат начинается с теоретических рассуждений о характере научного познания, которое основывается на выведении неизвестного из известного для объяснения непонятных и кажущихся противоестественными явлений. Это же познание разрешает любую задачу, возводя сущее к его причинам. После этих рассуждений, весьма любопытных, но мало характерных для геронова научного метода, трактат переходит к рассмотрению ряда конкретных механических задач, вроде следующих: a) почему повозки с двумя колесами несут грузы легче, чем повозки с четырьмя? b) почему один и тот же вес вызывает в находящихся в равновесии весах разный наклон, т. е. при меньшем противовесе больший наклон? c) почему большие грузы падают на землю скорее, чем более легкие? d) почему при выдергивании зубов применяют щипцы, а не руку? Как формулировка самых вопросов, так и ответы на них чрезвычайно грубы, элементарны и находятся на более низком уровне, чем изложение начала и конца второй книги.

Последние семь параграфов второй книги (§ 35—41) содержат определение центра тяжести плоских прямолинейных фигур, выяснение того, как распределяется вес плоского прямолинейного тела между опорами, помещенными в его углах, как распределяется вес груза, подвешенного в центре тяжести такого же тела между теми же опорами и как определяется точка подвеса (центр тяжести), если к такому же телу в углах подвесить равные веса. Все задачи эти разрешаются чрезвычайно кратко, суммарно и нестрого. Из архимедовых доказательств заимствуются только наиболее простые, как бы результативные части, вся же система рассуждения совершенно другая. У Архимеда — стройное доказательство, стремящееся достигнуть абсолютной логической строгости выведения из немногих аксиом, без каких бы то ни было логических скачков и пропу-

сков, того, что требуется доказать; здесь — стремление путем приведения нескольких, не являющихся ни аксиомами, ни доказываемыми теоремами утверждений, имеющих видимость очевидности и почти всегда заимствованных из других сочинений, привести к результату, который так же, впрочем, как и у Архимеда, заранее известен.

Третья и последняя книга наиболее кратка. В ней содержится описание различных машин, относящихся к двум типам,— подъемных машин, применяемых в строительном деле, и прессов для масла и вина. Описания абсолютно эмпиричны и не содержат никаких геометрических элементов, так же как описания Витрувия; но именно в этих чисто технических описаниях, которым посвящена последняя книга, вся сущность трактата как целого. Отсутствие вкуса к теории, отсутствие понимания ее специфики является, как мы отмечали уже, основной его характеристикой. Поэтому, поверхностно объясняя технические явления, автор трактата не создает новой теоретической системы и даже не задумывается над хотя бы частичным исправлением старой, а просто применяет отдельные ее фрагменты для своих целей. А между тем, старая система механических понятий и зависимостей, вышедшая из философского описания технических явлений, но совершенно не приспособленная к вмешательству в него, не годилась для трактата Герона, имеющего целью именно такое вмешательство. Для создания действительно научной техники надо было с новыми критериями пересмотреть старый теоретический багаж, надо было построить из элементов старой новую систему, пользуясь новыми чертежами, но античное общество не было уже способно на это.

В результате трактат Герона оказался достаточно неуклюжей компиляцией, свидетельствующей о надвигающейся катастрофе античного мира, об изменении всей системы научного мировоззрения, но сохраняющей все же и осколки системы старой.

Те же сочетания старой теории и новой практики отмечает и последнее рассматриваемое нами античное произведение по

вопросам механики — восьмая книга «Математического собрания» Паппа Александрийского.[1]

Но в то время как в произведении Герона сочетание это носит характер органической связи, в произведении Паппа — кабинетного ученого, на границе между античностью (закат которой он, как и многие его современники, уже ясно видит) и средними веками, это сочетание носит характер схоластической сводки. Как многие энциклопедисты III — V вв., Папп стремится собрать в одном грандиозном сочинении все, что ему кажется наиболее ценным из античного научного наследия, гибель которого он предчувствует. Поэтому «Собрания» συναγωγή Паппа, самое название которых говорит за себя, дают еще более пестрый, разнокалиберный и не связанный в единое целое материал, чем «Механика» Герона. В книге восьмой «Собраний», посвященной механике и дошедшей до нас, повидимому, неполностью, эта пестрота сказывается особенно ярко.

Первый параграф восьмой книги содержит обычно приводимое исследователями вступление. В нем автор говорит о важности и значении механики, «ибо она, во-первых, рассматривает учение о материи и природе элементов мира; при этом, изучая положение и тяжесть тел и движение их в пространстве и исследуя причины движений, производимых ими естественно, в то же время принуждает неподвижные тела переходить со своих мест, вызывая движения, противоречащие их природе. И для того чтобы производить это, механика пользуется теоремами, подсказываемыми самой природой (материей)». Затем, следуя за Героном, который, так же как и ряд других авторов, особенно Птоломей, неоднократно цитируется во всем ходе изложения, Папп различает две части механики: теоретическую, содержащую геометрию, арифметику, астрономию и физику, и практическую, рукодельную (χειρουργικόν), содержащую обработку меди, обработку железа, строительное дело, обработку дерева,

[1] Мы пользовались лучшим изданием P a p p i A l e x a n d r i n i — Collectiones quae supersunt e libris manu scriptis. Edidit latina interpretatione et commentariis instruxit Fr. Hultsch. Vol. I—III, Berolini apud Weidmannos. 1898.

живопись и пр. и не обязательно связанную с первой. «Но так как, — продолжает Папп, — невозможно, чтоб один и тот же человек полностью усвоил и обширнейшую область математической науки, и все названные нами искусства, то необходимо, чтобы желающий получить сноровку в последних усвоил необходимое именно для каждой данной отрасли искусства». Затем перечисляются разные специальности механического искусства — изготовление подъемных механизмов, военных машин, автоматов и т. п. Собственно теоретическая часть книги начинается с восхваления Архимеда, выяснившего причины и способы действия всех механических явлений, и с указания, что в дальнейшем будет изложено все то, что в области механики геометрическим образом доказали древние (λόγω γεωμετρικῶ θεωρούμενα περὶ τοτς παλαιοῖς), и ко всему этому прибавлены некоторые собственные выводы и доказательства. При этом особо обращается внимание на три проблемы, рассматриваемые в дальнейшем: 1) проблема подъема тела по наклонной плоскости, 2) нахождение двух средних пропорциональных к двум данным неравным прямым (вопрос, трактовавшийся также Героном) и 3) нахождение диаметра зубчатого колеса, соединенного с заданным и дающего определенную передачу. Все эти проблемы, говорит Папп, будут рассмотрены вместе с рядом других, но, прежде чем приступить к их рассмотрению, надо кратко изложить учение о центре тяжести.

Самое изложение начинается с чрезвычайно важного и показательного заявления: «Что́ есть тяжесть и легкость и по какой причине тела двигаются вверх и вниз и какими основными определениями характеризуются самые понятия «верх» и «низ», мы здесь не будем излагать, ибо это все изложено в математическом сочинении Птоломея, но что есть центр тяжести и т. д. ...» Заявление это показывает, что ученый комментатор и собиратель античной мудрости Папп в большей степени, чем погруженный в эмпирическую технику Герон и витающий в эмпиреях формальных, математически строгих доказательств Архимед, сознавал связанность всего построения механики с теми основными представлениями о пространстве, движении и весе,

которые были наиболее классически сформулированы за шесть веков до него философом из Стагиры, а затем, в несколько измененном виде, положены Птоломеем в основу всей его классической на протяжении многих веков космологии. Но, сознавая связь механики с этими основными понятиями и закономерностями, Папп, идеалом которого является далекий Архимед, а реальным, действительно чувствуемым и подражаемым образцом— значительно более близкий Герон, склонен предполагать, что читателю известны все эти основные, неоспоримые положения, и переходит непосредственно к делу.

Учение о центре тяжести, определяемом как «точка, находящаяся внутри тела (обладающая тем свойством, что), если представить себе тело подвешенным за нее, то оно находится в покое и равновесии и сохраняет свое положение», излагается вслед за Героном (см. выше стр. 67) и с ссылкой на (до нас не дошедшее) сочинение Архимеда «О равновесии». Затем следует подробное рассмотрение нескольких специальных теорем о центрах тяжести, очевидно являющееся собственным вкладом автора, и два параграфа, имеющие косвенное отношение к механике.

Но основной, наиболее нас интересующей и важной для дальнейшего главой книги Паппа является десятая, заключающая рассмотрение подъема тела по наклонной плоскости. Проблема эта, поставленная уже, как мы видели (стр. 72), Героном, но разрешенная им чисто описательно, без какой бы то ни было попытки математического анализа, формулируется Паппом так: «Дан вес, который данная сила движет по горизонтальной плоскости, и дана другая плоскость, наклоненная к горизонтальной под данным углом; требуется определить, какой силой этот же вес будет движим по наклонной плоскости». Как совершенно правильно указал Дюхем,[1] уже в самой формулировке проблемы заключается основная ошибка Паппа: он предполагает, что для приведения тела в движение по горизонтальной плоскости необходима некоторая определенная и довольно

[1] См. D u h e m. Les Origines (op. cit.), vol. I, pp. 184—186.

значительная, зависящая от веса этого тела сила, явно не сводимая к преодолению трения (так, в примере, приводимом в конце доказательства, сила эта приравнена к силе, которою обладают 40 человек). Предположение это тем более удивительно, что образец и учитель Паппа — Герон в главах 20 и 21-й первой книги своей механики, подробно изученной и частично изложенной Паппом, совершенно недвусмысленно утверждает: «Многие люди полагают, что лежащая на земле тяжесть может быть приведена в движение только эквивалентной ей силой, что, однако, неправильно. Мы докажем, что тяжести, лежащие названным образом, могут быть приведены в движение силой меньшей, чем любая известная сила, и разъясним причину, вследствие которой это явление в действительности незаметно. Происходит же это вследствие того, что шероховатые тела, опираясь одно на другое, касаются друг друга как зубчатые колеса, почему создается известное сопротивление». Это противоречие с Героном, обрекающее на бесплодность все дальнейшее рассуждение о наклонной плоскости, свидетельствует либо о поверхностном понимании физической стороны его высказываний Паппом, правильно понимающим чисто математические и даже довольно сложные рассуждения архимедова типа, либо же, что более вероятно, говорит о том, что и данное доказательство, несмотря на утверждение автора об обратном, как бóльшая часть изложения, заимствовано из не дошедшего до нас сочинения античного механика; противоречие его предпосылки с утверждением Герона не замечено в процессе аккуратной и кропотливой, но поверхностной и формальной, собирательской работы.

Самое доказательство ведется следующим образом. Предполагается (рис. 4), что некое весомое тело α движется силой γ по горизонтальной плóскости $\mu\nu$. Если теперь представить наклонную плоскость $\mu\chi$, образующую с горизонтальной плоскостью $\mu\nu$ данный угол, и данное тело α, лежащее на наклонной плоскости, представить в виде шара ξ, имеющего тот же вес, что α, и тот же центр тяжести в ε, то задача сведется к определению силы, нужной для того, чтобы тянуть шар ξ с центром

ε наверх по плоскости μx. Шар касается плоскости μx в точке λ; соединим ее с центром, проведем через линии μx и ελ плоскость и на ней из центра ε проведем прямую εϑ, параллельную горизонтальной плоскости μν, после чего из точки λ восставим перпендикуляр к линии εϑ, пересекающей ее в точке ζ. Затем из равенства углов εϑλ и xμν, εϑλ и ελζ устанавливается, что треугольник εζλ нам известен, а следовательно известно отношение ελ: εζ, или, что то же, εϑ: ες, а посему известно и отношение εϑ—ερ к ες, т. е. ζϑ : εζ. После этого довольно длинного геометрического доказательства устанавливается, очевидно (об этом ясно не говорится), что если шар ξ будет находиться в равновесии на плоскости μx, то его можно рассматривать как бы уравновешенным на одном из концов ε, весов εϑ, с точкой опоры у ζ, причем для сохранения равновесия необходимо, чтобы на другом конце весов ϑ был помещен вес β, величина которого будет так относиться к величине α (вес шара), как расстояние εζ к расстоянию ζϑ, при этом центр тяжести веса β будет находиться в ϑ. Затем постулируется, что отношение между силой, приложенной к α, и силой δ, приложенной к β, таково же, каково отношение между самыми весами α и β, из чего выводится, что если по горизонтальной плоскости μν сила γ двигала тело α, то по наклонной плоскости это же тело будет двигать сила δ+γ, причем величина δ определяется пропорцией δ:γ=εζ ζϑ. Вслед за этим доказательством дается числовой пример, в котором определяется сила, потребная для поднятия данного тела весом в 200 талантов, движимого по горизонтали, силой в 40 человек, по наклонной плоскости в 60° (⅔ прямого угла). Как легко убедиться, все приведенное выше доказательство, будучи в геометрической своей части совершенно безукоризненным, в физической части является попыткой представить

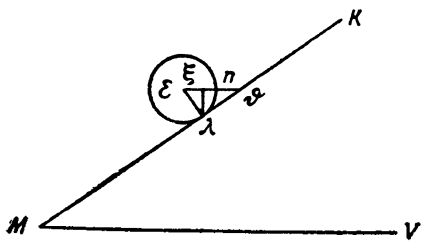


Рис. 4

в виде доказательства грубо качественное первое приближение, во многом противоречащее опыту и физически совершенно беспомощное. Ошибочно (как мы уже отмечали) первое предположение о необходимости значительной силы для движения тела по горизонтали; ошибочно построение, не использующее известный «Механическим проблемам» и Герону, а следовательно и автору, параллелограм движений; бесплодна попытка свести равновесие шара на наклонной плоскости к равновесию весов. В определении того, что представляет собой сила γ, явная путаница: один раз она определяется как сила, потребная для движения тела α по горизонтали, в другой же раз идентифицируется с силой веса этого тела как определяющей его равновесие. Таким образом, в наиболее важной как для его времени, так и для дальнейшего развития механики части сочинения Паппа — нахождение силы, потребной для движения тела вверх по наклонной плоскости, сказываются все особенности, свойственные механическому творчеству этого компилятора времени распада античности: трактовка физических проблем без вкуса к ним и понимания их, применение архимедова формально-геометрического метода без свойственной Архимеду органичности и чисто внешняя, поверхностная связь между отдельными элементами доказательства.

После наклонной плоскости подробно и длинно рассматривается исследованный также Героном механизм для подъема грузов, состоящий из системы осей, на каждую из которых насажены две шестерни разных диаметров, причем каждая малая сцепляется с каждой большой. Рассмотрение это, так же как у Герона, носит чисто описательный характер и снабжено числовым примером. После этого, заявив, что изложенное исчерпывает основные проблемы механики, требующие геометрического доказательства, Папп переходит к «Искусству построения» (ὀργανικὴ), которое дает возможность решать ряд задач, недоступных строгому геометрическому доказательству, например знаменитую Делосскую задачу, и в следующих параграфах (§§ XII—XXIV) подробно разбирает ряд таких задач, к нашей теме не относящихся. Последние шесть параграфов

(§§ XXV—XXX) опять возвращают нас к проблемам механики или, вернее, к тесно связанным с ними проблемам деталей машин. В них доказывается, что в двух сцепляющихся друг с другом шестернях скорости пропорциональны количеству зубов (§ XXV) и что количества зубов (или, что то же самое, длина окружностей) шестерен относятся друг к другу, как их диаметры— последнее доказывается геометрически и построением. После этого решается задача нахождения диаметра шестерни с данным количеством зубов, сцепляющейся с другой шестерней, количество зубов и диаметр каковой даны (§ XXVII).

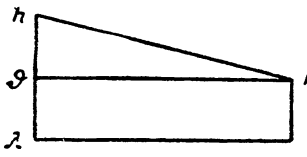


Рис. 5

Затем (§ XXVIII) описывается весьма подробно, но без какого бы то ни было теоретического обоснования, метод построения винтовой нарезки определенного шага на цилиндре определенного диаметра. Построение производится путем наворачивания медной пластинки на цилиндр, на котором размечены равные шагу интервалы. Пластинка (рис. 5) состоит из параллелограма $\varkappa\lambda$ и треугольника $\eta\varkappa\vartheta$; длина $\vartheta\varkappa$ пластинки равна длине окружности цилиндра, а высота $\eta\vartheta$ — величине шага. Следующий (XXIX) параграф посвящен описанию построения наклонных зубцов шестерни, предназначенной к зацеплению с винтом (червяком), имеющим данный шаг, и, наконец, последний (XXX) параграф описывает самое зацепление.

Таково в самых общих чертах содержание механического раздела «Собрания» Паппа Александрийца, сочинения компилятивного, пытающегося не только закрепить основные (или, вернее, кажущиеся автору таковыми) достижения античной механики в едином сочинении, но и прибавить от себя некоторые дополнения к наследию, оставленному древними. Это сочинение, как в зеркале, отражает обреченность античного мира. Автор уже не имеет ни живого технического чутья Герона, пусть лишенного интереса к строгим геометрическим построениям, ни органической строгости геометрических доказательств Архи-

меда, наиболее близкого ему по духу, ни стройного и целостного представления о единой системе всего сущего, свойственного Аристотелю и его окружению.

§ 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предшествующем изложении мы познакомились с общим ходом развития античной механики, в котором нас интересовала не только суть какого-нибудь доказательства или какое-нибудь достижение само по себе, но и выяснение системы античного механического мышления как целого и его эволюции в связи с эволюцией античного общества, порождающего эту систему. Путь этот начинается с уходящих в глубь веков (очевидно, доэллинских) философски-космологических наблюдений и формулировок, осмысляющих движение, его элементы и законы как одну из деталей окружающего мира, и с попыток подвести какую-то теоретическую базу под те несложные машины и механические приспособления, которые эмпирически, в процессе мучительного и долгого освоения природы, вводились, применялись, совершенствовались. Комплекс этих наблюдений и формулировок, носящих чисто философский характер, очевидно лег в основу античной механики, создающейся в процессе кристаллизации классового рабовладельческого общества на почве Эллады.

К четвертому веку, веку наибольшего расцвета античного общества, Аристотель в своих энциклопедических сводах с наибольшей полнотой отразил именно эту констатирующую стадию механики. Представитель рабовладельческой верхушки, стремившейся, впитав всю мудрость предшествующих веков, создать возможно более стройную и законченную, отвечающую создавшимся в это время строгим эстетическим и логическим требованиям картину мира, он в своей системе формулирует основные определения и основные зависимости. Он дает на многие века безоговорочно принимаемые определения движения небесного и земного, естественного и приобретаемого, вводя построенные на основе установления простейших пропорциональностей

законы этих движений. Но общество, вызвавшее к жизни систему Аристотеля и ряд близких к нему или борющихся с ним систем (атомисты), было обществом со слабо развитой, построенной на рабском труде техникой. Определения и законы, устанавливаемые механикой, не получали единственной надежной проверки в технической практике, хотя факты из этой практики вводились в круг объектов, объясняемых и систематизируемых механикой. Пример такого объяснения мы имеем в компилятивном своде «Механических проблем», вышедшем, несомненно, из перипатетических кругов и дающем философское объяснение наиболее важным техническим приспособлениям античности. Свод этот, оставаясь непоколебимо на базе данных Аристотелем положений и законов, формулирует многие из частных положений, которые затем лягут в основу механики.

Но с постепенным разложением античного общества, с перенесением центра тяжести его из Эллады на африканское побережье, с перерождением небольших цветущих республик-городов в большие непрочные монархии, весь характер механики меняется. Как философски космологический, так и констатирующе технический уклоны ее, характерные для (условно говоря) аристотелевской эпохи, сменяются у александрийцев (Евклид, Архимед) стремлением к максимально логической строгости и чистоте доказательства отдельных, в большей или меньшей степени вырванных из общей системы положений или групп положений. Стремление это, носящее формалистический характер, свойственный науке клонящихся к упадку обществ, в то же время закладывает основы всего дальнейшего развития математических наук вообще и механики в частности. Но, вводя новый, строго математический, точнее — геометрический, подход к отдельным явлениям сущего, показывая выход из становящихся тесными для механики рамок философской картины мира, данной Аристотелем (или его единомышленниками или противниками), александрийцы не создали цельной системы. Нужен был новый подход к действительности, нужна была железная рука корректирующей практики, нужны были новые прогрессивные социальные отношения, чтобы гениально четкие построе-

ния Евклида или Архимеда сложились в новую цельную систему, создали новую науку. На почве умирающей античности сделать это было невозможно.

На примере творчества Герона это обнаруживается особенно ярко. В то время, когда катастрофа была неизбежна, он, являясь, несомненно, одним из многих, пытается дать новую сводку всех достижений механики, ориентируя ее на технику. Время эфемерного благополучия Евклида и Архимеда прошло; тонкое кружево идеально строгих аксиом и теорем устарело; некоторую надежду внушают только краны и прессы, стенобитные орудия и машины для постройки стен. И вот впервые сформулированные как часть космологической системы, затем разработанные в отдельных своих частях до предела ювелирных шедевров, теоремы механики становятся на службу технике.

Но по самой природе этих теорем служба их не могла быть полноценной. Чтобы использование законов механики дало желанные результаты, всю систему их нужно было бы переработать заново, пересмотреть основные определения, основные, фиксированные Аристотелем закономерности и на этой новой базе выстроить новое здание. На это абсолютно не способно было общество, дни которого были сочтены. И Папп, понимающий это, уже не старается сделать невозможное: он аккуратно собирает в своем своде все, что кажется ему наиболее ценным из достижений античной науки, с тем чтобы передать его потомкам. Он реконструирует методы Евклида и Архимеда, широко использует Герона, стремится и сам потеоретизировать, прибавить к наследию древних крупицу своего творчества, отличающегося при значительной геометрической строгости полным отсутствием физического чутья. Но все это носит скорее характер кабинетного, любительского собирательства, чем свободного научного творчества.

Глава 2

ФЕОДАЛИЗМ

*

§ 1. ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОД

С падением античного мира и возникновением новых социальных, экономических и политических отношений, исследования в области механики, как и во всех остальных научных областях, постепенно замирали. Научная традиция передавалась сначала из рук в руки поколениям уцелевших, но численно все уменьшавшихся представителей старых правящих классов, в виде различного рода сводов чисто компилятивного и все более поверхностного характера. Прекрасными образцами их служат прославленные в середине века произведения Боэция и Марциана Капеллы. Другим руслом научной преемственности были комментарии к ставшим классическими произведениям античной науки — к «Физике» Аристотеля, отдельным работам Евклида, Архимеда.

С III в., времени жизни Паппа, до VII—VIII вв. оригинального творчества в области конкретной механики на европейской почве отметить мы не можем, но традиция античной науки не умирает, а только как бы покрывается толстым слоем пыли, сглаживающим различия в стилях и подходах авторов и делающим из многих разнородных произведений единое целое — древнюю механику.

Иначе обстоит дело в этот период распада античного общества и античной культуры с принципиальными основами механики, с теми ее основными формулировками и законами, которые в наиболее общепринятой для эллинского мировоззрения

форме были изложены Аристотелем в «Физике» и «О небе». Эти законы, хотя и легли в основу всех дальнейших конкретных построений античной механики, все же, и до Аристотеля и после него, подвергались очень серьезным нападениям с разных сторон, особенно со стороны представителей атомистического учения. Естественно, что именно эти принципиальные основы, тесно и неразрывно связанные со всем вызвавшим их к жизни мировоззрением, первые начали видоизменяться в бурном и разрушительном процессе гибели античного общества и античного мировоззрения, в процессе длительной и постепенной выработки нового мировоззрения. Относясь к периоду, изученному далеко не полностью, от которого до нас дошли, как и от классической античности, отнюдь не все научные произведения, эти изменения в принципиальных основах механики все же сравнительно хорошо нам известны. Источниками, которые донесли до нас следы этих изменений, являются позднегреческие комментарии к физическим произведениям Аристотеля, представляющие собою как бы мост между наукой античной и феодальной.

Самый ранний и самый краткий из них возник еще на грани античности, в IV в., в Константинополе. Автор его — Темистий,[1] язычник в душе, но уже христианин официально, был одним из последних ярых сторонников чистого аристотелевского учения, сознательно отмежевывавшегося от всяких засоряющих его примесей — как платонических и неоплатонических, так и атомистических. Комментарий Темистия представляет собой подробное изложение некоторых мест Аристотеля, причем он мало касается всех современных ему возражений против высказываний Стагирита. Бесцветный и скучный пересказ Темистия, несомненно, сыграл немалую роль в распространении и укреплении чисто перипатетических взглядов, так как в его

[1] О Темистии и его взглядах в области основных понятий механики упоминает Дюхем в «Études». Комментарий его на «Физику» Аристотеля издан в виде одного из томов монументального издания Commentaria in Aristotelem Graeca. Berlin 1900.

пространных рассуждениях было в полной мере развернуто и разъяснено то, что могло быть незамеченным, непонятым или неправильно истолкованным в сравнительно кратких и не всегда ясных текстах самого Аристотеля. Во всяком случае, многие формулировки именно Темистия повторяются и приводятся нередко в течение всего средневековья как на Востоке, так и особенно на Западе.

Вторым из дошедших до нас комментариев к физическим работам Аристотеля является, пожалуй, наиболее знаменитый комментарий Симплиция.[1]

Живший на полтора века позже Темистия Симплиций был одним из последних представителей закрытой императором Юстинианом в 529 г. Афинской философской школы — языческой, неоплатонической и в значительной мере упадочной. После закрытия школы он с рядом других ее представителей перекочевал на несколько лет в Персию и тем, надо полагать, немало содействовал насаждению античной науки в Азии. С результатами этого насаждения нам придется встретиться ниже.

Комментарии Симплиция и много пространнее, и много своеобразнее, чем комментарии Темистия. Симплиций редко возражает Аристотелю от своего лица; он весьма осторожен и стоит скорее на позиции созерцательного скепсиса по отношению к тексту, который он комментирует. Этот скепсис вполне естествен у одного из последних представителей умирающей античной культуры. Но не критикуя Аристотеля, он в то же время приводит по многим трудным и спорным пунктам его учения мнения других ученых, либо подтверждающие, либо, наоборот, опровергающие утверждения Стагирита. При этом знаменательно, что наряду с обычными для античности рассуждениями философского порядка он с особенной любовью приводит рас-

[1] О механических взглядах Симплиция, заслуживающих, несомненно, самостоятельного изучения, говорит в ряде мест своих «Études» Дюхем. Произведения его, так же как и произведения Темистия, изданы в серии: «Commentaria in Aristotelem Graeca», vol. 9—10. Berlin 1882—1895.

суждения, основанные на наблюдении действительности, наблюдении, настолько упорядоченном и сознательно проведенном, что оно почти может быть названо экспериментом. Так, подтверждая высказывания Аристотеля о наличии ускорения свободно падающих тел, Симплиций приводит следующие заимствованные им у Стратона из Лампсака наблюдения,[1] с которыми нам придется встретиться и в дальнейшем развитии механики. Если наблюдать тонкую, падающую с высоты струю воды, то в начале падения она представляет собой сплошное целое, к концу же все больше делится на капли. Если бросить камень с высоты и останавливать его на разных высотах, то удар его об останавливающий предмет будет тем больше, чем дальше мы будем останавливать полет. Но, соглашаясь с Аристотелем в констатации наличия ускорения, Симплиций не может безоговорочно согласиться с его объяснением причин этого ускорения и потому приводит ряд других античных объяснений. Он приводит и мнение Гиппарха о постепенном умирании ранее существовавшей обратной движению силы, и близкое к нему мнение Александра Афродизийского, и взгляды ряда точно не названных ученых о влиянии уменьшения слоя воздуха во время падения. Приводя эти различные мнения, Симплиций[2] сам не высказывает своей точки зрения, но тщательно приводит все возражения против каждого из приведенных им мнений. Так, в качестве возражения против точки зрения Темистия и Александра Афродизийского, он приводит опыт с весами, чашки которых расположены на сильно различных высотах. Констатация и объяснение ускорения — только один из вопросов, приведенных нами в качестве примера; весь комментарий Симплиция носит, примерно, тот же характер. При всей своей упадочной эклектичности он, несомненно, сыграл в дальнейшем развитии основ механики значительную роль, донеся через века отдельные критические замечания против наиболее важных утверждений перипатети-

[1] Simplicii in Aristotelis Physicorum libros, ed. cit. lib. V, cap. VI.

[2] Simplicii in Aristotelis de Coelo libros, ed. cit., lib. I, cap. VIII.

ческого учения и тем стимулируя развитие такой же критик на другой, значительно более благодарной для нее почве.

Но если Симплиций со скептической усмешкой как бы сталкивает лбами разные мнения античных ученых по основным вопросам механики, не занимая сам сколько-нибудь определенной позиции, то другой комментатор Аристотеля, живший в том же шестом веке, поступает более решительно. Иоанн Грамматик, или, иначе, Иоанн Филопон, жил и работал в Александрии, где еще была сильна живая струя античной науки и где уже во времена Архимеда были довольно заметны антиперипатетические, в частности атомистические, тенденции. К тому же, будучи убежденным христианином и ведя решительную борьбу с языческими учениями Афинской школы, представителем которой был Симплиций, Филопон, несомненно, мог значительно смелее и решительнее высказывать свои расходящиеся с Аристотелем взгляды. И действительно, мы видим, что в ряде мест своего довольно обширного комментария к физическим работам Аристотеля[1] Филопон не только, как Симплиций, приводит мнения других ученых, дополняющих или опровергающих Аристотеля, но и высказывает свои, определенные и часто довольно резкие суждения, во многих случаях диаметрально противоположные суждениям Стагирита. Такую самостоятельную позицию Филопон занимает почти по всем основным вопросам учения о дви-

[1] Комментарии эти входят в то же уже дважды цитированное издание Commentaria in Aristotelem Graeca, vol. 16—17 (1887—1888), о Филопоне и его механических доктринах. См. кроме Дюхема, еще две специальные статьи: Emil W o h l w i l l. Ein Vorganger Galileis im 6 Jahrhundert. Physikalische Zeitschrift, 7 Jahrgang 1906, № 1, pp. 23—32; Arthur H a a s. Über die Originalität der physikalischen Lehren des Johannes Philoponus. Bibliotheca Mathematica, 3. Folge 6. Band, 4. Heft, 1906.

В первой из названных статей Вольвилль со свойственным ему увлечением приписывает Филопону чуть ли не все галилеевы открытия, причем считает все их оригинальными творениями Филопона; более осторожный Хаас, во второй статье, не отрицая значительных заслуг Филопона, доказывает, что бо́льшая часть его утверждений заимствована им у более ранних ученых.

жении. Наибольшее количество важных расхождений мы встречаем при трактовке вопросов естественного движения.

Во-первых, самую причину естественного движения, иначе говоря — причину силы тяжести, Филопон видит не в притяжении центра мира, как Аристотель, а, следуя за Платоном, в стремлении каждого тела соединиться с тем местом, где сосредоточена основная масса той материи, из которой это тело состоит. Во-вторых, и это представляется нам самым важным, Филопон решительно отрицает основное утверждение перипатетической механики, что скорость падения естественно движущегося тела пропорциональна его весу. При этом он, подобно Симплицию, нередко ссылается на элементарные эксперименты и в данном случае предлагает бросить с одной и той же высоты два тела различного веса, причем ясно обнаружится, что разница в скоростях их падения будет весьма мала; при сравнительно же небольших различиях в весе, например если одно тело будет вдвое тяжелее другого, разницы в скорости вообще не будет заметно.

Мы не знаем, является ли приведенное утверждение Филопона его собственным открытием или же оно заимствовано у какого-нибудь из его предшественников, но несомненно, что принятие этого утверждения подрывало самое основание всей античной механики. Однако, как мы увидим, основания эти остались непоколебленными: механика средних веков, и арабская и западноевропейская, продолжала пользоваться как основой основ утверждением Аристотеля о пропорциональности веса тела и скорости его естественного падения, хотя то там, то здесь выплывает возражение Филопона, которому в конечном итоге суждена была победа.

Замечания Филопона о влиянии среды, в которой происходит движение, на скорость этого движения относятся как к области естественного движения, так и особенно к области движения приобретаемого. Не соглашаясь с утверждением Аристотеля о том, что скорость эта обратно пропорциональна плотности среды, а следовательно в абсолютно разреженной среде, т. е. в пустоте, скорость будет бесконечна, что невозможно (чем и

доказывалась невозможность существования пустоты), — Филопон считает, что естественное движение в пустоте имеет определенную скорость. Сопротивление среды действительно уменьшает эту скорость, но отсутствие этого сопротивления только оставляет эту скорость нетронутой. А так как нигде не сказано, что эта скорость как таковая бесконечно велика, то и утверждение Аристотеля об обратной пропорциональности скорости и плотности среды неправильно.

Это учение об определенной скорости падения тел в пустоте, несомненно, заимствовано Филопоном у атомистов, которые, начиная с Демокрита, совершенно определенно проповедывали его.

Наконец, очень большое значение и, как мы увидим ниже, сравнительно большое влияние на дальнейшее развитие механики оказали, правда далеко не столь ясно выраженные, как вышеприведенные, высказывания Филопона по вопросу о причине движения брошенного тела, или, что то же самое, о способе передачи и распространения приобретаемого движения. Мы видели, что уже у Аристотеля появляется впервые понятие импульса — «импето», который не вполне ясным и понятным образом, передаваясь через среду, приводит в движение брошенное тело. Филопон кладет это же понятие в основу своих представлений о приобретаемом движении, но решительно видоизменяет его. В его концепции среда не играет никакой роли: импето, при приведении тела в движение, передается этому телу и пребывает в нем, постепенно убывая, до того момента, когда движение прекращается. Таким образом, по этой теории оказывается опровергнутым одно из основных утверждений Аристотеля о необходимости непосредственного и непрерывного соприкосновения двигателя и движимого.

Все приведенные мнения Филопона, более или менее резко и радикально противоречащие перипатетическим основам механики, восходят в значительной своей части к современным Аристотелю или даже еще более древним учениям, в первую очередь к учению атомистов. Нередко они обосновываются ссылками на эмбриональные эксперименты и так же, как более робкие и

осторожные высказывания Симплиция, показывают самым несомненным образом, что по мере разложения античного социального, экономического, политического порядка, по мере создания новых форм жизни, сформулированные Аристотелем в момент расцвета античности основы механики, хотя оспаривавшиеся современниками, но все же всегда победоносные, начинают все меньше удовлетворять. Те возражения и критические замечания, которые в течение веков проникли в перипатетическую систему, не затрагивая, однако, ее основ, начинают все более решительно подбираться к этим основам. Однако не поздним греческим комментаторам суждено было окончательно расшатать их. Историческая почва, взрастившая этих комментаторов, была слишком истощена, культура, вызвавшая их к жизни, уже угасала, поэтому на их долю выпала роль скорее передатчиков традиций критики перипатетических основ механики, чем действительных ее творцов.

Консерваторски компилятивная работа в области конкретной механики и попытки обновления ее основ идут, постепенно сокращаясь, только до VII—VIII вв., когда начинают появляться уже вполне определенные очертания нового порядка. В Европе — это феодальная империя Карла Великого, объединяющая к самому концу VIII в. те силы и тенденции, которые начинают формироваться значительно раньше; в Азии — это новое государственное образование — феодальный арабский халифат. На Западе идет процесс образования новых государств на гигантской территории Римской империи, процесс создания новых социальных отношений, построенных не на рабстве, а на крепостной зависимости. Этот процесс, как отметил Маркс, неизбежно привел сначала к упадку, но он таил в себе громадные возможности прогресса и протекал долго, мучительно, но органично. Новые отношения, новые формы экономики и политики выковывались с трудом, впитывая в себя элементы и античные и варварские, отчасти питаясь заимствованиями с Востока. Естественно поэтому, что и изменение научного багажа, приспособление его к условиям новой жизни, нередко запаздывающее по отношению к изменениям определяющего ее базиса,

происходило на Западе медленно и мучительно. С большим трудом можно заметить перелом, где-то в VIII в., спускавшейся линии научного развития и начало медленного ее подъема. Едва определим тот момент, когда остатки старой науки, бессмысленно и автоматически сохраняющиеся, начинают осваиваться, когда консервация начинает заменяться трансформацией. Так же, как в социальной и политической жизни, это освоение античного наследства, производимое средневековой наукой, первоначально с неизбежностью ведет к понижению даже того жалкого уровня, на котором стояли поздние античные компиляции. Классический пример этому — знаменитые «Этимологии» Исидора Севильского — первая оригинальная энциклопедия феодализма, пытающаяся в своих наивных и часто смешных этимологических объяснениях по-новому использовать и по-новому оформить, приспособив к новому мироощущению, тех сравнительно немногих античных авторов, которые известны в VII в. Но ставшая затем классической энциклопедия Исидора — только первый шаг. За ней идет длинная, со все более учащающимися звеньями, цепь энциклопедистов, комментаторов, а затем и самостоятельных исследователей, выковывающих сначала исключительно на материале позднеантичных произведений, а затем на все более расширяющейся базе, новое мировоззрение, которое принято называть схоластикой. Мировоззрение это своей иерархической структурой и своим метафизическим характером отвечало нуждам и запросам феодального сеньера и обслуживающего его монаха, стоявших на верхних ступенях феодальной иерархии.[1] Эта феодальная верхушка и даже сред-

[1] Несмотря на то, что и в буржуазной и особенно в советской исторической литературе много говорится о неприемлемости старой, классически отраженной Эйкеном схемы, представляющей средние века в качестве эпохи сплошного религиозного мрака (который Эйкен правда, не считает мраком), сплошного отказа от реального мира, — более реальная, более диалектическая картина средних веков до сего времени сколько-нибудь убедительно не воссоздана. И здесь, так же как в части, касающейся античности, мы не считаем возможным высказывать какие-нибудь оригинальные взгляды и соображения, которые бы отвлекли нас в сторону от основной нити изложения и оказались бы недостаточно научно обосно-

ние феодальные слои, занимавшиеся войной и религией как профессионалы, еще меньше (во всяком случае на первых порах), чем эллинские рабовладельцы, были связаны с почти исключительно сельскохозяйственной и весьма слабой технически производственной жизнью, протекавшей в основном в обширных поместьях. Не имели они также в качестве объединяющей платформы ни греческого акрополя, ни римского форума, на почве которых выковывалась политическая жизнь. Феодальный строй вырос из организации военного или полувоенного типа, организации, силой меча возведенной на завоеванной территории и силой меча и креста поддерживаемой на ней. Этот строй, врастивший в жизнь, как бы стоя над ней, естественно создавал и особые, совершенно отличные от античных формы идеологии: абстрактную метафизичность, увлечение логикой и логистикой, которые справедливо принято порицать, но без которых не была бы, наверное, создана современная наука.

§ 2. МЕХАНИКА У АРАБОВ

Как мы уже упоминали, процесс трансформации античной науки в науку феодальную, идущий параллельно с процессом вызревания самого феодального общества, на Западе несколько запаздывал и протекал медленно и трудно. Значительно быстрее, но зато менее органично и прочно протекал этот процесс на Ближнем Востоке. Образовавшийся здесь в VII в. арабский халифат, находившийся на перекрестке европейских и азиатских влияний, по самой своей структуре менее революционизировавший установившийся порядок, чем феодализм европейский, сразу же, или во всяком случае значительно скорее, чем последний, выработал своеобразную научную систему.[1]

ванными. Поэтому ясно, что не все явления из области науки, которые мы дальше будем рассматривать, могут получить достаточно исчерпывающее и убедительное историческое толкование. Дать таковое — задача особых исследований.

[1] Если в отношении античности и европейского средневековья мы считали необходимым оговорить, что общие характеристики эпохи даны

Система эта, так же как и западноевропейская, базировалась в основном на греческо-эллинской и эллинистической науке. Но, в то время как Европа медленно и неуклонно осваивала поздние компиляции, арабская наука, возможно стоявшая на плечах какой-то более старой культуры, сразу же обращается к оригинальным произведениям классиков, которые переводятся и комментируются. При этом, как обычно бывает при освоении научного наследия общества, глубоко отличного от общества, это наследие воспринимающего, арабы думали, что точно переводят классиков античной науки, стремясь комментариями только разъяснить в духе автора допущенные им неясности, фактически же они глубоко и радикально модифицировали античную науку. Античные произведения, изложенные или даже просто переведенные арабскими учеными, оказываются в большинстве случаев по всему своему духу очень далекими от своих прототипов. Блестящий пример такой трансформации античного научного наследия при прохождении его через призму арабской науки мы имеем в области механики в чрезвычайно интересном трактате «Книга Карастуна» — Liber Charastonis», вышедшем из-под пера арабского ученого-энциклопедиста конца VIII в. Табит Бен-Курры и чрезвычайно распространенном как в арабском, так и в европейском научном обиходе в течение последующих шести веков. [1] Дюхем придерживал-

---

нами не на основании оригинальных исследований, а на основании положений, имеющихся в литературе, то для арабского общества дело обстоит еще более затруднительно. Находясь в значительном отдалении от объектов занятий автора, требуя для своего усвоения знания восточных языков и будучи к тому же чрезвычайно бедной работами обобщающего характера при большом обилии монографических исследований, арабская наука поневоле трактуется нами значительно менее подробно чем заслуживает, и общие характеристики, даваемые в этой сфере, являются еще более гипотетическими, чем какие-либо другие.

[1] Литература о Табит Бен-Курре и его трактате обильна; упомянем только наиболее новые и интересные работы, содержащие полные тексты. Биографические данные сведены в статье E. Wiedemann. Über Tabit ben Qurra, sein Leben und Wirken. Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, LXIV. Sitzungsb. der Phys. med.. Soz.. in Erlangen.

ся мнения, что трактат Бен-Курры представляет собой перевод с небольшими переделками какого-то не дошедшего до нас эллинистического сочинения о механике, но позднейшие исследования Видемана и Бухнера позволяют решительно отвергнуть эту версию. «Трактат о римских весах», ибо слово «Карастун» и обозначает, повидимому, те самые римские весы, которые в предварительной форме были исследованы еще в «Механических проблемах», написан Табитом Бен-Куррой в качестве изложения комментария к какой-то механической работе Евклида, сделанного раньше каким-то другим ученым. Предисловие «Книги», сохранившееся, правда, только в латинском переводе, говорит: «Эта наша глава (hoc autem capitulum) присоединена к книге, называемой «Книга Евклида». Все исследователи без исключения считают, что эта «Книга Евклида» есть не что иное, как первый из упомянутых нами выше (стр. 47), приписываемых Евклиду отрывков — трактат «De gravi et levi». К содержанию этого трактата действительно непосредственно примыкает «Liber Charastonis», в первом из своих положений кратко суммирующая его содержание и в дальнейшем изложении вообще весьма близкая к тексту всех трех приписываемых Евклиду отрывков.

Уже цитированное нами и сохранившееся только в нескольких списках латинского перевода трактата предисловие, имеющее форму письма к другу, говорит в весьма запутанных и цветистых выражениях, свойственных стилю арабской науки, о том, что трактат является самостоятельным изложением исправ-

---

B. 52 u. 53, 1920—1921, pp. 189—219. Полный немецкий перевод «Книги Карастуна» дан тем же Видеманом в статье E. Wiedemann. Die Schrift über den Qarastun. Bibliotheca Mathematica, F. 3 B. 12, H. I, 1912, pp. 21—39. Средневековый латинский перевод «Книги Карастуна», о котором речь будет итти ниже, дан в статье F. Buchner. Die Schrift über den Qarastun von Thabit ben Qurra. Sitzungsb. cit., B. 52—53, 1920—1921, SS. 141—81.

Сравнительно подробно рассматривается «Книга Карастуна» и Дюхемом (Origines, v. I, pp. 70—93), который высказывает по поводу нее ряд весьма интересных, но и весьма спорных соображений.

ленного автором перевода какого-то классического произведения, изложением, частью повторяющим свой прототип, частью же дающим новое, конечно не противоречащее ему. Самое же интересное в предисловии то, что оно (как и ранее рассмотренные нами предисловия классических трактатов) вскрывает отношение автора к своему предмету. Отношение это чрезвычайно характерно. Если Евклид и Архимед в своих механических трактатах проявляли стремление оторвать каждое отдельное, замкнутое в цепи своих безукоризненных доказательств положение как от картины мира, философски осмысляющей сущее, так и от реальной практики, то Табит развивает эти тенденции до последней крайности. Эллинистические механики при всей своей абстрактности всегда сохраняли, сознательно или бессознательно, связь как с тем, так и с другим. Табит же теряет ее начисто. Это отнюдь не значит, что «Книга Карастуна» в своих основных высказываниях вступает в противоречие с основами механики, сформулированными Аристотелем, или же совершенно лишена технического содержания. Наоборот, ее первые положения повторяют «Трактат о тяжести и легкости», насквозь перипатетический, а самое ее содержание посвящено рассмотрению не абстрактно геометрического рычага, а реальных, технически применяемых в быту весов. Но в то же время основные положения аристотелевой «Физики» не ощущаются как система высказываний, адекватно отражающих действительность, а воспринимаются как классический, полный вековой таинственной мудрости текст — важный, интересный, неоспоримый сам по себе и долженствующий поэтому служить объектом размышлений, разъяснений и толкований вне связи его с реальной действительностью. Философское осмысление действительности переходит текстуально в другую социальную среду, которая видела и ощущала эту действительность совсем иначе, но не была, очевидно, достаточно органичной, чтобы выковать новую, адекватную этому новому мироощущению систему. Здесь это осмысление окаменевает, превращается в собрание как бы священных текстов, над которыми производятся разного рода логические операции схоластического характера.

То же происходит и с технической стороной античной механики — независимо от того, имеет ли для нового общества технический смысл бережно переводимый и комментируемый античный текст (например, в случае Карастуна — римские весы) или он его совершенно не имеет (как с большей частью механизмов механики Герона). Технический текст античности есть священный текст, дающий пищу для размышления благородному уму. Цель научных рассуждений есть логическая игра понятиями, построение из целиком условных кубиков различных, возможно более замысловатых и возможно более разнообразных зданий. «Книга Карастуна» — один из прекрасных образцов именно такого подхода к научной работе.

Особенно ясно это видно из коротенького (также сохранившегося только в латинских версиях) заключения, которое, не упоминая ни о соответствии изложенного истинному положению вещей, ни, тем более, о практическом применении его, заканчивается словами: «Итак, если ты будешь пользоваться нашими доказательствами и из этих доказательств поймешь то, что мы обещали, оно отвлечет тебя от предела сомнения и скроет тебя от ошибки уподобления (неправильного? — Buchner) и поможет тебе узнать причину ошибки». Только условная игра условными понятиями — вот что интересует автора. В соответствии с таким подходом получает специфическую окраску и само математическое изложение трактата, действительно примыкающее, как декларирует предисловие, к евклидо-архимедовым работам, но в то же время глубоко видоизменяющее самый их дух.

Изложение, как сказано, начинается с краткого повторения основного утверждения перипатетической механики, развитого затем в приписываемом Евклиду трактате «De gravi et levi». Первый параграф «Книги Карастуна» гласит: «Если два движущихся тела проходят два пространства в равные времена, то отношение одного расстояния к другому равно отношению силы движения тела, движущегося на первом пространстве, к силе движения другого движущегося тела». Зависимость эта непосредственно вытекает из приведенной нами выше (стр. 28)

основной перипатетической формулы движения $\frac{m \cdot s}{k \cdot t} = \text{const}$, ибо при постоянных m и t мы будем иметь $\frac{s}{k} = \frac{s'}{k'}$, т.е. прямую пропорциональность между силой и расстоянием. Второй параграф переходит уже прямо к неравноплечему геометрическому рычагу первого рода и устанавливает, что концы его проходят расстояния, пропорциональные плечам рычага. А из этого третий параграф, следуя за псевдоаристотелевыми «Проблемами механики», непосредственно выводит закон невесомого неравноплечего рычага. Доказательство это, чрезвычайно любопытное и характерное, изложено весьма кратко и состоит в основном в следующем: первое положение установило, что в равное время расстояния, проходимые равными весами (это условие не оговорено, но, несомненно, подразумевается), пропорциональны действующим на эти веса силам; с другой стороны, второе положение устанавливает, что расстояния, проходимые концами весов, пропорциональны длинам их плеч.

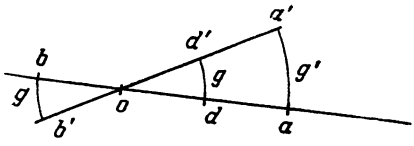


Рис. 6

Следовательно, если грузы d и b (рис. 6) подвешены на плечах равной длины, то проходимые ими при наклоне весов расстояния равны, следовательно равны приложенные к ним силы. Если же отодвинуть груз d в положение a и опять поворачивать весы, то окажется, что груз, приложенный в a, будет, находясь на более длинном плече, проходить более длинный путь. Иными словами, он будет находиться под действием большей силы, для уравновешивания которой нужно увеличить силу, приложенную к a, причем увеличить ее так, чтобы отношение новой силы к старой равнялось отношению меньшего плеча к большему, что и дает закон рычага. Вряд ли прав Бухнер, считающий, что, выводя доказательства своего третьего параграфа из положений, высказанных в первом и во втором, Табит делает грубую ошибку, разумея в первом параграфе под понятием «силы дви-

жения» величину gv (произведение веса на скорость), а в третьем — Pw (произведение веса на расстояние). При равных промежутках времени (а концы весов проходят свои пути в одно и то же время) Табит имел право заменить скорости пропорциональными им расстояниями. Ошибка его заключается в подмеченной Бухнером нечеткости применяемого им понятия силы или, вернее, в самом факте базирования на неверной, по крайней мере для данного случая, формуле Аристотеля.

Но доказательством закона рычага не заканчивается «Книга Карастуна»; наоборот, это доказательство дано весьма кратко и служит только первой ступенью. За ним следует несколько положений, опирающихся, очевидно, не на первый из рассмотренных нами и приписываемых Евклиду отрывков, а на второй. Цель этих положений, в дальнейшем изложении не используемых, показать, что равновесие на весах не зависит от длины подвесов груза и сохраняется при наклоне этих подвесов под одинаковым углом. Мимоходом здесь высказывается, что при подвесах, направленных к плечам не под 90°, за точки подвеса груза должны приниматься точки пересечения перпендикуляров, опущенных из точек реальных подвесов на плечи весов, с этими плечами. Это также, как мы уже видели у Герона (см. стр. 70), но несколько с другой стороны, подводит к понятию момента сил. Доказательство, даваемое этому положению, базируется опять-таки на выведенной из перипатетической формулы пропорциональности сил и проходимых под их действием в равное время равными весами расстояний.

В одной из сохранившихся рукописей за этим следует отсутствующее в других рукописях краткое и совершенно бездоказательное рассмотрение римских весов и способа определения на них, во-первых, общего веса груза, подвешенного на меньшем плече, при известной величине скользящего груза, а во-вторых — определения чистого веса взвешиваемого груза без веса чашки, на которую он кладется. Из содержания, так же как из соответствующих разделов «Проблем механики» и «Механики» Герона, совершенно ясно, что самое деление длинного плеча, его градуировка, производится чисто эмпирически.

После этого, несколько гетерогенного отрывка, явно вставленного одним из переписчиков-комментаторов, продолжается главная линия изложения трактата, основным и, пожалуй, наиболее интересным звеном какового является четвертый параграф, распадающийся на две теоремы. Первая доказывает, что два равных груза, расположенных на одном из плеч весов и уравновешиваемых определенным грузом на другом плече, могут быть заменены суммой их, подвешенной в точке, делящей расстояние

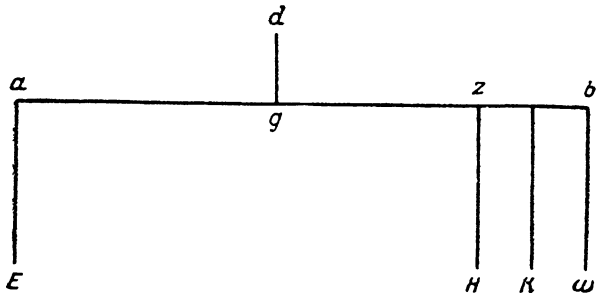


Рис. 7

между ними пополам. Как мы помним, теорема эта, но в обратной формулировке (замена одного груза двумя) доказывалась во втором псевдоевклидовом отрывке. Она же лежит в основе четвертого предложения архимедова «Равновесия плоских тел» (центр тяжести системы из двух равных грузов лежит в середине линии, соединяющей их центры тяжести). Но, во-первых, и там и тут теорема эта предшествует доказательству закона рычага, в то время как у Табита она из этого закона выводится; во-вторых, что для нас наиболее важно, самый способ доказательства резко отличает метод Табита. Последний рассуждает так. Пусть на одном из плеч весов (рис. 7) подвешены в точках z и b два груза H и ω, уравновешиваемые на другом плече грузом E, подвешенным в точке a. Требуется доказать, что при замене грузов H и ω грузом K, равным их сумме ($K=H+\omega$) и подвешенным в середине между z и b, равновесие не нарушится. Для доказательства этого положения автор трактата рассуждает

следующим образом. Каждый из двух грузов H и ω, уравновешивающих вместе груз E, уравновешивает в отдельности некоторую его часть. Примем, что ω уравновешивает xE, а H уравновешивает yE, тогда из установленного ранее закона рычага величины xE и yE определяются из следующих уравнений:

$$xE : \omega = bg : ga;$$

$$yE : H = zg : ga,$$

но H и ω по условиям равны, и поэтому

$$yE : \omega = zg : ga.$$

Если теперь сложить первое и третье уравнения, то получится

$$\frac{E}{\omega} = \frac{(x+y)E}{\omega} = \frac{zg+bg}{ga}, \text{ так как } (x+y)E \text{ есть целое } E.$$

Из этого же получаем, что:

$$\frac{E}{\omega+H} = \frac{E}{2\omega} = \frac{zg+qg}{2ga} \quad \frac{1^1/_2(zg+bg)}{{}^1/_2 2ga} = \frac{gt}{ga},$$

а так как

$$k = \omega + H, \text{ то } \frac{E}{K} = \frac{gt}{ga}.$$

В приведенном выше доказательстве мы встречаемся с методом, резко отличным от античного вообще и от архимедова в частности. Вместо наглядных геометрических построений мы видим здесь алгебраический способ сложения уравнений, способ более абстрактный и совсем иначе подходящий к объекту. Подход этот не обогатил механику новыми выводами, но открыл широкий путь для такого обогащения. При этом как ни объяснять появление в арабской науке алгебраического подхода к различным и в том числе механическим задачам, он должен быть отмечен.

Вернемся к § 4 трактата Бен-Курры. Положение, доказанное для двух грузов, распространяется на любое число их. На этом основывается доказательство второго положения,

которое гласит: если груз распределен равномерно и беспрерывно по плечу весов или, иными словами, является самим физическим плечом, то он может быть заменен весом, равным по величине и приложенным в середине плеча. Теорема эта доказывается способом довольно сложным, но изящным. Мы приведем только основные его черты.

На большом плече bg (рис. 8) весов ab подвешен весомый стержень $dbe\omega$, распределенный равномерно и беспрерывно по этому плечу. Требуется доказать, что если подвешенный в a груз z уравновешивает груз $dbe\omega$, то равновесие не нарушится при замене последнего равным ему грузом T, подвешенным в его середине, т. е. в точке n. Действительно, предположим, что равновесие нарушится и что весы наклонятся в сторону a; тогда для восстановления равновесия необходимо добавить в n некоторый вес L; отметим на ab точку m, расстояние которой от b будет так относиться ко всей длине стержня $dbe\omega$, как вес добавленного груза L к весу всего стержня T. Или, иначе, отрежем на стержне $dbe\omega$ кусок $bmhe$, по весу равный L. Разделим затем bn и равное ему nd на целое число частей меньших bm. Получим точки $S_1, l, f_1\sigma$ и равные куски стержня bq, sz, $l\alpha$, nt, fr, $\sigma\omega$. Если мы теперь возьмем кусок $\sigma d\omega r$, снимем его со стержня и подвесим в точке σ, то он будет уравновешивать бо́льшую, чем раньше, часть z, так как плечо рычага стало бо́льшим. То же проделаем со всеми остальными равными кусками. Если теперь мы сложим все новые веса, приложенные к левому плечу рычага, то получим на этом левом плече общий вес больший, чем вес z, приложенный к точке a. Если же мы, кроме того, в точке d подвесим еще один такой же кусок (равный $\sigma d\omega r$), то разница в весах на плечах окажется еще большей. По ранее доказанному предложению мы знаем, что равные и подвешенные на равных расстояниях веса могут быть заменены их суммой, подвешенной в середине между точками подвеса двух средних — т. е. подвешенным в точке n весом $T + \sigma d\omega r$, причем $\sigma d\omega r$, по условию меньше $dmhe$, каковое равно L. Из этого же следует, что $T + \sigma d\omega r$ меньше eL будет перевешивать z, подвешенное в a, в то время как мы при-

няли, что $T + L$ будет уравновешивать это z, что невозможно. Таким же точно образом приводится к абсурду и противоположное предположение, что весы склоняются в сторону b.

Доказав эту наиболее длинную свою теорему, Табит в седьмом и последнем параграфе подходит к основной цели работы — определению веса, который должен быть приложен к короткому плечу весомого рычага, чтобы уравновесить превосходство веса большего плеча. Эта задача была решена, но не обоснована в третьем из отрывков, приписываемых Евклиду (см. стр. 50).

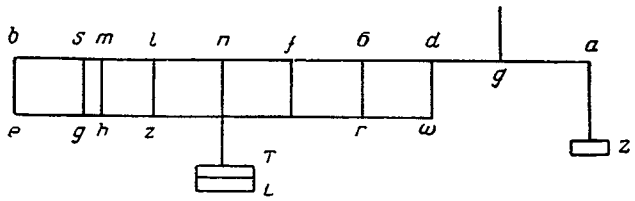


Рис. 8

Рассуждение ведется так. Если вес всего коромысла (рис. 9) весов равен π и полная длина его равна λ при длинах большей части λ_1 и меньшей λ_2, то искомый вес P должен уравновесить разницу в весе между длинами λ_1 и λ_2, т. е. $\lambda_1 - \lambda_2$, и будет равен произведению $(\lambda_1 - \lambda_2)$ на π, деленному на λ, помноженному на λ и, наконец, разделенному на $2\,\lambda_1$. Самое обоснование этой формулы, как и во всех доказательствах «Книги Карастуна» дается, так сказать, на двух ступенях.[1] Сначала под заголовком «Пример» данная выше формула показывается на конкретном чертеже и выражается алгебраически, а затем уже под заголовком «Доказательство», при помощи введенных алгебраических обозначений, дается собственно обоснование. Так, пользуясь чертежом, Табит утверждает, что для определения веса H нужно вычесть ga из bg, получим bd; разность помножить на вес коромысла ab, получим некую величину E, затем разделим E на

[1] Мы не упоминали об этой двухступенности изложения раньше, чтобы не загромождать и без того довольно сложный текст.

длину ab, получим w, помножим w на длину ab, получим z, наконец разделим z на две длины ab и получим искомый вес H. Действительно, E есть произведение длины bd на вес коромысла$=bd \times$ вес ab, а следовательно

$$w = \frac{bd}{ab} \text{ . вес } ab, \text{ или } \frac{w}{\text{вес } ab} = \frac{bd}{ab},$$

из чего следует, что w есть вес bd. Следующая величина $z=w \,.\, ab$, но это же z равно $H \,.\, 2ag$, откуда получаем:

$$H : w = ab \cdot 2ag.$$

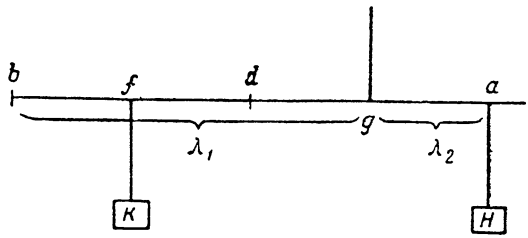


Рис. 9

Разделив затем db пополам, получаем точку f и $gf = \frac{1}{2}\, ab$, ибо $= \frac{1}{2}(\lambda_1 - \lambda_2) + \lambda_2 = \frac{1}{2}\,(\lambda_1 + \lambda_2) = \frac{1}{2}\lambda$, откуда получаем $tg : ag = ab : 2ag$, или, из предыдущего, $fg : ag = H : w$. Из этого же следует, что вес H, привешенный в a, и вес w или равный ему вес K, привешенный в t, поддерживают весы в равновесии согласно закону весов, если мы примем коромысло весов невесомым. Но мы показали, с одной стороны, что груз w есть вес отрезка bd весомого коромысла, а с другой—раньше доказано, что вес весомого стержня может быть без нарушения равновесия заменен равным ему весом, приложенным в середине его. Часть же коромысла ad находится в равновесии, а следовательно установленная нами зависимость правильна, и из нее может быть определена величина H.

На этом кончается основной текст трактата Бен-Курры. Но одна из рукописей (Бейрутская) дает в качестве продолжения еще три теоремы, являющиеся как бы частными случаями уста-

новленной выше зависимости, простыми следствиями из нее для более сложных условий. Первая из них гласит: «Если мы разделим равномерно толстую балку, сделанную из равномерного материала, на две различные по величине части (λ_1 и λ_2) и повесим на конце короткого плеча вес A, который будет так относиться к весу длинного плеча, как половина длины большего плеча ($^1/_2\,\lambda_1$) к длине меньшего (λ_2), и, кроме того, подвесим на половине длины большего плеча ($^1/_2\,\lambda_1$) вес T, так относящийся к весу F_2 меньшего плеча, как половина длины меньшего плеча ($^1/_2\lambda_2$) к половине длины большего плеча ($^1/_2\,\lambda_1$), то весы останутся в равновесии. Это и два подобных же следствия, содержащиеся в двух следующих параграфах, доказываются путем таких же рассуждений, как вышеприведенная теорема, и сводятся в конце концов к ней.

После всего изложения в этой рукописи дается наиболее общая формулировка условия равновесия весомых весов в следующих выражениях, на которые мы обращаем особое внимание, так как они встретятся нам в дальнейшем: «Мы делим балку равномерной толщины и вполне равномерной субстанции на две разные части, отнимаем от большей части длину, равную меньшей, и множим половину длины балки на вес превосходства большей части над меньшей; произведение мы делим на длину меньшей части. Частное дает вес, который, будучи подвешен на конце меньшей части, будет удерживать в горизонтальном положении балку».

Трактат Табита Бен-Курры, который мы столь подробно рассмотрели, отнюдь не является единственным трудом по механике, вышедшим из недр арабской науки.

Таких трактатов, рассматривающих проблему весов, их конструкцию и применение, арабская наука создала, очевидно, довольно много. Так, один из позднейших трактатов этого типа — «Книга о весах мудрости», написанная в середине XII в. Аль-Казини,[1] приводит в своем вступлении длинный список

[1] N. Khanikoff. Book of the Balance of Wisdom—an arabic work on the water-balance, written by Al. Khazini in the twelfth century.

авторов, писавших на эту тему. Трактат Аль-Казини не останавливается на математическом доказательстве самого закона весов. Сжато изложив архимедо-героново учение о центре тяжести и в одной фразе сформулировав этот закон, он бо́льшую часть своей работы посвящает конструктивным особенностям и работе весов для определения удельного веса физических тел. При этом он обнаруживает (что характерно для позднего времени), значительно более технический, чем Табит, подход к предмету. Но в то же время он осознает свою задачу в том же философско-схоластическом плане, как последний, объясняя смысл своей работы тем, что весы есть одно из первых проявлений «божественной справедливости» на земле, обнаруживающейся в коране, в мудрых людях, в калифе и, наконец, в весах.

Мы уже упоминали о том схоластически-спекулятивном характере, который свойствен арабской механике, не создающей своей системы основных положений, не могущей и не стремящейся преодолеть метафизический характер античных научных построений, а окружающей их тонким и замысловатым кружевом комментариев, добавок, частных случаев. Все это настолько обволакивает античную сердцевину, уже несколько окостеневшую на чуждой почве, что она делается весьма мало видной и как бы сама трансформируется. Достаточно всмотреться внимательно в доказательства хотя бы одной-двух теорем Табита, чтобы убедиться в справедливости сказанного. В основе каждой из теорем лежит греческий геометрический способ доказательства, особенно ярко проступающий в доказательстве теоремы § 4; в то же время самая суть доказательства радикально отлична от античной: она в основном алгебраична, а не геометрична. Весь ход мысли ясно показывает, что автор мыслит не наглядным геометрическим способом, подобно Архимеду, а производит

Journ. Amer. Orient. Soc., vol. VI, New Haven, 1860, pp. 1—129; E. Wiedemann. Beitr. zur Gesch. der Naturwiss. XV, über die Bestimmung der Zusammensetzung von Legierungen. Sitzungsb. d. Phys. med. Soz., in Erlangen, B. 39, 1907, pp. 105—159.

В обоих названных работах даются, кроме анализа, значительные выдержки из текста трактата (в переводе).

отвлеченные, спекулятивные, алгебраические операции с величинами, которые заданы как геометрические, но в ходе доказательства совершенно теряют свою наглядность.

Чем вызвана такая коренная трансформация в подходе к одним и тем же научным фактам при переходе с греко-римской почвы на почву арабского халифата, мы, как уже выше сказано, затрудняемся определить. Возможно, что здесь сказывалась неорганичность структуры арабской науки, перенесенной с резко отличной почвы, а потому воспринятой не в ее полнокровной, наглядной реальности, а в ее логической структуре. Более чем вероятно, что здесь сказались и какие-то дальневосточные, в первую очередь индийские влияния. Но как бы то ни было, самый факт неоспорим — арабская механика заменяет геометрический подход античной науки подходом алгебраическим и, пропуская через него отдельные построения механики античности, значительно их видоизменяет.

Но, видоизменяя метод доказательств, арабская механика оставляет нетронутыми не только всю их систему, но, что, пожалуй, еще важнее, и самый фундамент, на котором эта система строилась. Мы видели совершенно ясно в «Книге Карастуна», что таким фундаментом являлись основные формулы движения, зафиксированные Аристотелем и развитые в приписываемом Евклиду трактате «De gravi et levi».

Мы уже высказывали предположение о том, что именно это построение системы на основных положениях и формулировках, созданных другой культурой, определило собой схоластический и алгебраический характер арабской науки, но оно же, повидимому, вызывало потребность и в некоем приспособлении самого этого фундамента к идеологическим требованиям новой исторической обстановки.

Потребность эта сказывалась уже во время разложения античного общества и нашла свое выражение в многочисленных комментариях к философским и научным произведениям эллинской и эллинистической мысли, в первую очередь к «Физике» Аристотеля. Та же комментаторская работа продолжается и арабской наукой. Она подхватывает нить тонких и сложных

философских и филологических рассуждений по поводу аристотелева текста и прядет ее дальше; она создает грандиозные, замысловатые и формальные произведения, достигающие предельного развития в знаменитых на ряд веков комментариях Ибн-Синны, известного в Европе под именем Авиценны, и особенно Ибн-Рушда, европейское имя которого Аверроэс часто просто заменяется прозвищем «Комментатор».

Все эти комментарии стремились объяснить неясные места обожествляемого текста, внутренне же отвечали естественной потребности приспособления этого текста к новым требованиям и вкусам. По ряду исторических причин требования эти были недостаточно сильны, чтобы полученное от предыдущей культуры наследие было переработано полностью, и в то же время достаточно специфичны, чтобы оно было частично переделано. При этом в процессе переосмысления и без того не очень целостной физической энциклопедии Аристотеля в ход пускались элементы и материалистически-атомистические, и сугубо идеалистически-платонические, и неоплатонические. Недаром исследователи обыкновенно отмечают, что в классических для всего средневековья комментариях Аверроэса неоплатонические элементы значительно доминируют над элементами чисто перипатетическими.[1]

Комментарии арабских ученых, так же как и позднегреческие комментарии, касаются всех вопросов, затрагиваемых в физических сочинениях Аристотеля, т. е. в первую очередь в «Физике» и «О небе». Особенно подробно и охотно останавливаются они на тех вопросах, которые и в системе Аристотеля имели доминирующее значение, — в первую очередь на вопросе о природе движения.

Движение, понимаемое в очень специфическом и чрезвычайно широком смысле, было одной из основ аристотелевой метафизики; в то же время именно две основные зависимости,

[1] Литература об Аверроэсе и его влиянии в средние века довольно значительна, но не может похвастать большими сводными работами. В основном и на сегодняшний день приходится базироваться на классическом труде Э. Ренана (E. R e n a n. Averroes et l'averroïsme. Paris, 1852).

характеризующие в перипатетической физике два вида движения—естественное и приобретаемое, лежали в фундаменте всей античной механики. Поэтому естественно, что как в позднегреческих комментариях, о которых мы говорили выше, так и особенно в комментариях арабских в центре внимания стоит именно вопрос движения. Представители новой науки чувствовали, что здесь лежит ключ ко всему научному построению, что если пересмотреть эту основу основ, то даже при сохранении значительной части построения без изменения все здание приобретет другой характер. В то же время окружающая их жизнь, подсказывая им тенденции к перестройке этого здания, не давала достаточно сильных импульсов для полной замены его фундамента. Поэтому, не отказываясь совсем от основных формул Аристотеля и, даже наоборот, возводя их на высоту почти божественного откровения, арабская наука, так же как позднегреческая, окутывает их густой пеленой комментариев, которые как бы приоткрывают дверь в новый мир.

Сколько-нибудь подробное и углубленное рассмотрение хотя бы даже только механических частей арабских комментариев к аристотелевой «Физике» увело бы нас слишком далеко от нащей основной темы, тем более что именно в таком аспекте эти комментарии почти не изучены. Даже специально занимавшийся в последние годы своей жизни вопросами критики основ аристотелевой «Механики» Дюхем использовал их весьма незначительно. Поэтому мы ограничимся только несколькими замечаниями, характеризующими самую постановку вопроса у арабских комментаторов.

Основным из близких к механике вопросов, разбираемых ими, является, как и во всей аристотелевой системе, вопрос о движении, но они почти не затрагивают тех формул и зависимостей, которые фиксируют связь между отдельными элементами движения и на которых, как мы видели, базируется все построение античной механики. Зато с нашей точки зрения слишком подробно они анализируют основные понятия, входящие в состав этих зависимостей. Их интересует в первую очередь вопрос о разнице между движением естественным и приобретаемым,

затем различие между двумя видами естественного движения — круговым небесным и прямолинейным земным. Подробно разбирают они неразрывно связанный с проблемой естественного движения на земле вопрос о природе тяжести и легкости, свойственных определенным стихиям и телам, составленным из них, и, наконец, два особенно важных для дальнейшего развития механики вопроса: первый — о природе, или сущности самого движения как такового и неразрывно связанный с ним вопрос о сущности времени, второй — о соотношении между силой и вызываемым ею приобретаемым движением. Речь идет здесь не о количественных соотношениях, которые не интересовали комментаторов, а о сущности явления. Одним из ответов на этот вопрос являлась созданная еще в античности теория «импето».

В разборе всех этих вопросов комментаторы приводили как свое понимание текстов Стагирита, так и ряд высказываний античных писателей, споривших с ним или дополнявших его. Они сводили то, что им казалось более ценным в работах предыдущих комментаторов, и из всего приведенного, часто весьма значительного и многословного материала делали свои выводы, по их мнению наиболее соответствующие букве и духу перипатетического учения, но фактически очень и очень часто весьма далекие от него. При этом отдельные положения и высказывания трактовались и обсуждались самостоятельно, вне связи со всей системой, по духу чуждой комментатору. В результате сложной цепи рассуждений и цитат, хотя и компилятивная и местами противоречивая, но все же органически цельная система Аристотеля превращалась в сложную паутину рассуждений, оторванных от ощущения реальной действительности. Из этих рассуждений каждое в отдельности было связано с Аристотелем, но в своей совокупности они давали принципиально иную ткань.

Рассуждения эти, будучи логически продолжены и несколько переработаны, должны были неизбежно повести к крушению самой перипатетической системы. Однако ни такое продолжение, ни, тем более, переработка не были суждены арабской науке.

§ 3. КОНКРЕТНАЯ МЕХАНИКА И ТРАКТАТЫ ИОРДАНА НЕМОРАРИЯ

Произвести коренную переработку античного научного наследия, вырастить корни новой науки было суждено западноевропейскому феодализму, возникшему на другой почве, более медленно и постепенно, а потому, может быть, и более органически развивавшемуся.

Если мы попытаемся сравнить науку раннего западного феодализма с наукой арабской, то мы убедимся в том, что между ними имеется немалое сходство. Мы встретим здесь то же стремление создать собственное научное мировоззрение при недостаточном импульсе к коренной переработке всего завещанного предыдущими культурами, результатом чего является использование основных понятий и формулировок, заимствованных у античной науки, и приспособление их — путем комментариев, иного расположения материала, новых акцентов — к новым вкусам и запросам. Мы встретим ту же суховатую и абстрактную игру логическими категориями, как бы заимствованными из античной науки, но приобретающими совсем иные смысл и значение. Мы встретим, наконец, то же непонимание сути всей античной науки и элементы алгебраизации — правда, выраженные значительно менее ярко, чем в арабской науке.

Феодализм создавал научные построения, наиболее адекватные своим запросам, но самый характер этих запросов был таков, что на их почве не могли вырасти основы новой науки. Глубокий разрыв между правящей верхушкой и основным производительным населением не давал возможности и не требовал создания системы, основанной на философском осмыслении природы, ее явлений и законов, — системы, подобной той, которую создала античность. Он требовал в первую очередь анализа, отражения, оправдания нового социального порядка, создавал религиозно-этические системы вместо систем естественно-научных. Но и в рамках этих, в основном религиозно-этических построений познание внешнего мира оставалось обязательным и необходимым. На Западе оно находило свое отражение в наивных

и неуклюжих компиляциях энциклопедий Исидора Севильского, Рабана Мавра или длинной цепи последующих сочинений аналогичного характера; оно сколачивало из осколков античного научного здания хижину по своему вкусу, по своим потребностям. Но напрасно мы стали бы искать в этих своеобразных пестрых фолиантах хотя бы упоминание о механике. Теоретическое осмысление технических процессов, лежащее в основе всей античной механики, было еще глубоко чуждым новой обстановке, новой культуре, вполне довольствовавшейся элементарными сведениями о явлениях наиболее простых.

Механика начинает пробивать себе дорогу в научной литературе западного средневековья только тогда, когда в научном обиходе появляются переводы произведений античной науки и арабских трактатов. Нам неизвестно точно, когда именно и где были переведены псевдоаристотелевы «Проблемы механики», но во всяком случае мы знаем, что в первой половине XIII в. император Фридрих II, поклонник и пропагандист античной и особенно арабской науки, в своем трактате «De arte venandi cum avibus» («О соколиной охоте») цитирует «Проблемы механики», называя их «Liber de ingeniis levandi pondera».[1] Отсюда как будто следует, что к этому времени они имелись либо в латинском, либо в арабском, либо в еврейском переводе и были более или менее широко известны европейской науке.

Выше мы изложили три приписываемых Евклиду отрывка по механике, составляющих, по мнению Дюхема, единый античный трактат. Первый и третий из этих отрывков дошли до нас только в латинских переводах. Не подлежит почти никакому сомнению, что доказательства-примеры в отрывке «De gravi et levi» — продукт средневековой, а не античной науки, причем как истоки, к которым ведет рукописная традиция, так и самый характер изложения указывают с большой степенью вероятности на XIII в. как на время составления этих переводов-переделок. Подробно разобранный нами трактат «Книга Кара-

[1] Ch. H. Haskins. Studies in the History of Medieval Science. Cambridge. Harvard Univ. Press., 1924, p. 316.

стуна» Табита Бен-Курры, дошедший до нас в рукописях не старше XIV в., повидимому, был переведен значительно раньше, возможно, в конце XII в., знаменитым переводчиком Гергардом Кремонским.[1] Правда, тонкие и замысловатые доказательства наиболее важных теорем трактата не были понятны переводчикам или переписчикам. Поэтому, пользуясь латинским переводом, приходится просто отказываться от возможности разобраться в содержании текста, местами пересказанного, а кое-где переданного слово за словом без проникновения в смысл передаваемого. Но факт широкой распространенности рукописей перевода и постоянное упоминание о трактате в средневековых научных произведениях доказывают, что трактат Табита Бен-Курры, хотя и не понятый до конца, усиленно читался и чем-то чрезвычайно импонировал. Это обстоятельство особенно бросится в глаза, если мы примем во внимание, что в XIII в. Вильгельм Мербеке переводит уже все основные сочинения Архимеда, в том числе и «Равновесие плоских тел», и что, несмотря на это, трактат Табита остается значительно более популярным. Явление это, вне всякого сомнения, не случайно. Оно закономерно вытекает из специфического подхода к материалу западноевропейской феодальной науки, который ясно предстанет пред нами, когда мы всмотримся в переделки и искажения, которым подвергались античные и арабские сочинения по механике со стороны латинских переводчиков.

В качестве первого примера такой переделки может быть приведен уже названный нами выше латинский перевод приписываемого Евклиду отрывка «De gravi et levi». Отрывок этот состоял в своем античном прототипе из нескольких аксиом, на которых затем строились все дальнейшие доказательства. К средневековому переводчику отрывок, может быть, попал уже отделенным от некоего целого. Не поняв всего стиля строгого античного доказательства с его немногими недоказываемыми аксиомами и постепенно выводимыми из них теоремами, он превратил формулировку нескольких аксиом и следствий из них

[1] F. Buchner. Op. cit., p. 146.

в самостоятельный трактат, снабдив некоторые из аксиом и следствий чем-то вроде доказательства в виде наглядных примеров, которые, впрочем, мало что доказывают.

Так, например, констатация: «Если из двух тел одного и того же рода одно будет в несколько раз больше другого, то и сила его будет во столько же раз больше»,[1] очевидно восходящая к античному прототипу, снабжается доказательством, в своей дошедшей до нас формулировке несомненно средневеко-

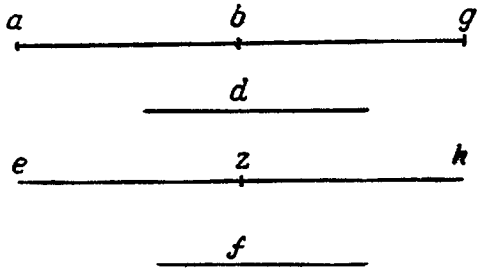


Рис. 10

вым: «Например (рис. 10), пусть *ag* будет вдвое больше *d*; я утверждаю тогда, что сила *ag*, которая равна *eh*, вдвое больше *d*, которая равна *f*. Доказательство: разделим *ag* по величине на *ab* и *bg*, причем сила каждой из частей равна силе *d*, равной *j*; примем также, что *ez* есть сила *ab*, и получится, что *zh* есть сила *bg*, а следовательно *f* будет удвоена».[2] Переделка античного текста на западной феодальной почве далеко не случайна. Она свидетельствует о том, что, воскрешая, переводя, комментируя античные тексты, схоласты не чувствовали самого их смысла, вырывали их из той связи, в которой они были созданы, и, рассматривая их как отдельные явления, переделывали их на свой лад.

[1] «Si duorum corporum ejusdem generis fuerit unum multiplex alterius et virtutem illius virtuti alterius similiter esse».

[2] «Verbi gratia: sit *ag* duplum *d*, dico ergo quod potentia *ag*, que est *eh*, dupla sit virtutis *d*, que est *t*. Racio dividemus *ag* secundum multiplicitatem in *ab* et *ez* quorum utriusque virtus est equalis virtuti *d*, que est *f*. Ponemus autem *ez* virtutem *ab* et remanebit *zh* virtus *bg*: erit ergo duplata *f*».

Не понимая не только самого построения системы доказательств, но и строго геометрического доказательства как такового, схоласты заменяют его наглядным примером. Отказываясь при этом от принятой античной механикой системы, они, с одной стороны, значительно снижают уровень научного доказательства, сводя его до грубо эмпирической констатации;[1] с другой стороны, они обнаруживают способность к абстракции, может быть более высокого калибра, но принципиально иной, проявляющейся в стремлении установить связь между различными величинами путем изображения их в виде отрезков прямых. Так, в нашем примере отрезками прямых изображаются величина тела (или его вес) и сила, вызывающая определенное движение.

Путь этот, приведший затем к трудам Николая Орезма,[2] очевидно более отвечал всему умонастроению феодализма с его динамически-иерархическим мышлением, чем статический геометризм античной механики.

Специфичный подход средневековья к осваиваемому источнику сказывается в переводе арабской «Книги Карастуна» Табита Бен-Курры (XII—XIII вв.) не менее ярко, чем на примере античного текста. Первое, что мы здесь встречаем, это отмеченное выше и характерное, особенно для ранней схоластики, введение числовых примеров. Так, если арабский текст дает отвлеченную формулировку аксиомы, например изложенной нами выше первой аксиомы, то латинский переводчик прибавляет: «Приведу к этому пример. Скажу — из двух путников один проходит 30, а другой 60 миль в одно и то же время...» и т. д.[3] Но переводчик не довольствуется вставкой примеров;

---

[1] Именно так толкует весь научный подход схоластики Е. Цейтлин в своей ниже цитированной статье, обнаруживая некоторую однобокость, схематизм и недостаточно глубокое проникновение в источники хотя и высказывая при этом ряд ценных соображений.

[2] F. Buchner. Op. cit.

[3] Правда, не исключена возможность и того, что числовые примеры были введены в одной из арабских рукописей, с которой делался перевод, как это, несомненно, имеет место со вступлением и заключением. Однако

он переделывает трактат и не столько переводит его, сколько пересказывает, сокращая текст, сохраняя лишь основные его части и выпуская добавочные теоремы и следствия. При этом он не замечает, что пропуск отдельных доказательств или частей их делает необоснованными следующие за ними и базирующиеся на них в арабском тексте положения. Пересказывает переводчик своими словами также наиболее сложные и основные теоремы трактата: о замене двух равных грузов на плече весов равным им и помещенным в середине между ними и о замене весомого стержня, помещенного на плече весов, равным ему весом, укрепленным в середине его. При этом как алгебраическое доказательство первой теоремы, так и геометрическое — второй оказываются слишком трудными для понимания переводчика, который, правильно передавая мысли, делает грубейшие ошибки в отдельных элементах доказательства. Но эти ошибки не вытекают, как можно было бы предположить и как обычно утверждается, из безграмотности переводчика или переписчика.

Причина ошибок заложена более глубоко. Переводчик, не удовлетворенный слишком большой, часто нарочитой сложностью доказательств арабского трактата, его несомненным и столь характерным для арабской науки вообще любованием тонким кружевом мысли, отвлекающим его от непосредственной сути дела, пытается во что бы то ни стало упростить доказательство, найти более прямые пути, приводящие к тем же результатам. Но так как при этом он не хочет отступать и от основного ход мысли подлинника, то неизбежно впадает в ошибку. Особенно ярко это видно на примере второй из названных выше теорем являющейся центральной частью всего трактата. Пытаясь сначала следовать за мыслью автора и итти, подобно ему, путем приведения к абсурду, переводчик уже в середине очень длинного и сравнительно сложного доказательства переходит к пря-

---

то обстоятельство что во всех сохранившихся до нас арабских рукописях примеры отсутствуют, а во всех латинских они налицо, достаточно говорит само за себя.

мому методу, чтобы в конце опять вернуться (совершенно нелогично) к тексту подлинника.[1]

Но одним только переводом-переделкой трактата Табита Бен-Курры западная наука не ограничивается; она пытается продолжить его, дополнить в желательном для нее направлении. В рукописях, содержащих трактаты по механике, уже начиная с XIII в., встречается наряду с другими сочинениями и фрагментами небольшой трактат «De canonio». Описавший, но, к сожалению, не издавший этот трактат Дюхем считает его переводом эллинистического сочинения; мы, по ряду соображений, считаем его несомненно средневековым, причем, как справедливо указал Дюхем, не прошедшим через арабскую науку, а самостоятельным.[2] Трактат этот заключает в себе развернутое доказательство последней теоремы «Книги Карастуна», определяющей, какой груз надо подвесить на меньшем плече весов, чтобы уравновесить излишек веса большего плеча. Не давая доказательства предыдущих теорем, из которых вытекает данная теорема, автор трактата отсылает читателя в отношении этих теорем к сочинениям Евклида и Архимеда, а затем почти дословно повторяет доказательство Бен-Курры. Но не в этом доказательстве и не в следующем за ним доказательстве обратной теоремы основной интерес небольшого трактата, — нам интересны третья и последняя теорема. Здесь автор трактата

---

[1] Сравнение латинского перевода и арабского подлинника «Книги Карастуна», почти не предпринятое издателем первого Ф. Бухнером как нам кажется, представляло бы значительный самостоятельный интерес в смысле выявления специфики западнофеодального научного мышления. Само собой понятно, что в рамках нашей работы мы такого сопоставления сколько-нибудь детально провести не можем.

[2] P. D u h e m. Origines, vol. I., pp. 93—97. Весь трактат «De canonio» с добавлением еще одной теоремы о том, что равновесие на равноплечих весах не изменится, если два равных по весу груза, имеющих форму длинных стержней, повесить один за середину длины и другой за середину толщины, напечатан в качестве продолжения трактата «De ponderibus» Иордана Неморария в издании Петра Аппиана 1533 г. Этим изданием, учитывая изложение Дюхема, мы и пользовались. О Неморарии и в частности об издании 1533 г. см. ниже, стр. 123.

графическим путем находит цилиндр того же диаметра и из того же материала, что и коромысло весов, который бы весил столько же, сколько весит находимый в первой теореме груз, компенсирующий излишек веса большего плеча. При этом автор рассуждает следующим образом: «Пусть (рис. 11) *ab*—коромысло весов и *g* — точка подвеса их. Отделим на большем плече *gb* часть *gd*, равную меньшему плечу *ga*, и из точки *d* восстановим перпендикуляр к *ab*, длина которого *de* будет равна длине остатка большего плеча *bd*. Соединим затем точки *ae* и продолжим линию *ae* до пересечения с перпендикуляром к *ab* в точке *b*; тогда длина *az* будет искомой длиной, что легко определяется из доказанной в первой теореме формулы

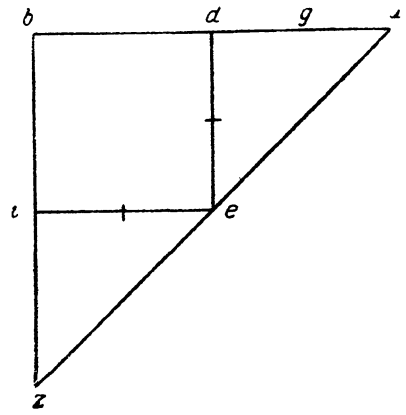


Рис. 11

$$\text{вес } x = \frac{bg - ga}{2\,ga} \cdot \text{ вес } ab$$

и подобия треугольников *abz* и *ade*.

Найдя же столь легкий графический способ определения длины плеча, равной по весу грузу, уравновешивающему излишек большего плеча, автор применяет его для нахождения точки подвеса при известном постоянном грузе, т. е., пользуясь формулой, выведенной для римских весов с неподвижной точкой подвеса, подходит к способу определения веса на безмене с перемещающейся точкой подвеса.

В приведенном выше доказательстве мы встречаемся с той же тенденцией, которую мы отмечали, говоря о переводах трактата «De gravi et levi» и трактата о «Карастуне», — с тенденцией переосмыслить переводимый или комментируемый текст, подать его так, чтобы он больше отвечал вкусу окружающей

комментатора или переводчика действительности. Но не только тенденция переделки роднит «De canonio» с ранее рассмотренным средневековым материалом, а и самые пути этой переделки. Не чувствуя и не понимая всего построения античной механики и специфики ее доказательств, схоласты вырывают их из общей связи, рассматривая каждое из них в отдельности, и создают столь узко монографические трактаты, как «De canonio». Не понимая замысловатого, но по-своему также весьма стройного алгебраического доказательства арабов, схоласты стремятся упростить его. При этом, обладая довольно изощренным логическим аппаратом и привычкой к весьма абстрактному мышлению, развившейся при выработке своеобразной иерархически-теологической картины мира, они пытаются найти новые формы доказательства, менее, по их мнению, искусственные, более легко приводящие к результату. На этом пути они находят ряд новых элементов, примером каковых может служить хотя бы примененный весьма удачно в «De canonio» способ графического изображения непротяженных величин (веса), приводящей к быстрому решению довольно сложной задачи.

Однако все рассмотренные выше переделки и переводы сочинений античности и магометанского мира являются только подготовительными этапами к созданию оригинальных произведений, в которых специфические черты уже вполне зрелой феодальной научной мысли выступают с наибольшей ясностью. Таковы относящиеся, очевидно, к концу XIII в. механические произведения, широко распространенные в течение двух следующих веков и приписываемые Иордану Неморарию.

Несмотря на исключительно тщательные и хитроумные розыски и домыслы Дюхема, до сего времени не удалось сколько-нибудь достоверно установить, где и когда жил этот ученый, оставивший после себя ряд интересных математических сочинений и в числе их трактаты по механике, представляющие собой высшую ступень, которой средневековая схоластическая наука достигла в области разработки конкретных вопросов этой науки.

Проблема литературного наследия Иордана Неморария представляет собой сложную и запутанную проблему не только

потому, что сам автор абсолютно неизвестен, но главным образом оттого, что он считался создателем нескольких произведений, рассматривающих один и тот же вопрос, но глубоко между собой различных. Произведения эти можно условно разбить на три группы, причем Дюхем считает, что собственно Иордану принадлежат только трактаты первой группы, наиболее короткие и отличающиеся, как мы увидим ниже, рядом серьезных ошибок. Трактаты второй группы он считает вышедшими из-под пера другого, уже совершенно, даже и по имени не известного автора и представляющими собой перипатетическую переделку оригинального трактата Неморария. Наконец, трактаты третьей группы, наиболее подробные и стоящие на наибольшей научной высоте, он приписывает третьему автору, которого он называет «предшественником Леонардо да Винчи» ввиду значительного числа совпадений между этим трактатом и сочинениями Леонардо. При этом, по его мнению, большая часть последнего трактата восходит к античности,[1] к каковой Вайлати, не делающий вообще никакого различия между редакциями, относит их все.[2] Значительно проще объясняет наличие этих резко друг от друга отличающихся, но приписываемых Иордану трактатов Р. Марколонго,[3] считающий оригинальным текстом Иордана последний, приписываемый Дюхемом мифическому «предшественнику Леонардо да Винчи», а два других варианта — искажениями, вышедшими из мастерских малограмотных писцов, не понявших довольно сложного текста переписываемого сочинения и потому переделывавших его в меру своего понимания предмета. Разумеется, что в пределах настоящей работы мы не имеем возможности заниматься разрешением столь сложного и запутанного вопроса, как филиация трактатов, приписываемых Иордану, да для нашей цели

[1] Вопросу о филиации различных редакций трактатов, ходивших под именем Иордана, посвящена значительная часть тома I «Origines» (специально стр. 98—147) и значительная часть тома I «Études» Дюхема.

[2] Q. Vailati. Il principio dei lavori virtuali da Aristotele a Erone. Atti R. Accad. d. sc. di Torino, vol. 32, 1896—1897, pp. 951—958.

[3] R. Marcolongo. La meccanica di L. d. V., cit., pp. 12—24.

этот вопрос и не имеет серьезного значения. Считая наиболее правдоподобной гипотезу Марколонго, мы, однако, полагаем, что самый факт параллельного существования в рукописной традиции трех вариантов трактата, читавшихся и переписывавшихся самостоятельно и притом восходивших к XIII в., говорит о том, что, независимо от вопроса авторства, они могут и должны рассматриваться как самостоятельные произведения, сыгравшие очень значительную роль в развитии механики. Неопровержимым, как нам кажется, подтверждением этого является то, что все три варианта были изданы уже после изобретения книгопечатания, в печатном виде, в XVI в.; при этом первые два варианта — текст, приписываемый Дюхемом собственно Иордану, и текст так называемого «перипатетического комментария» изданы Петром Аппианом в 1533 г.,[1] а последний, извлеченный из рукописного наследия крупнейшего математика и механика XVI в. Николая Тарталья, с добавлением некоторых других материалов издан Курцием Троайном в 1565 г.[2]

Пользуясь названными выше изданиями и, насколько возможно, отделяя в первом из них один текст (по Дюхему — текст Иордана) от второго (по Дюхему — «перипатетического комментария»), мы изложим один за другим, по возможности кратко, все три трактата, известные под именем трактатов «De ponderibus» и приписываемых Иордану Неморарию.

Выше мы видели, что в средневековом обиходе находились следующие произведения, посвященные специально механике:

[1] Liber Iordani Nemorarii viri clarissimi de ponderibus; propositiones XIII et earundem demonstrationes, multarumque rerum rationes sane pulcherrimas complectens, nunc in lucem editus. Cum gratia et privilegio Imperiali, Petro Apiano Mathematico Ingolstadiano ad XXX annos concesso. M. D. XXXIII... Explicit: Excusum Norimbergae, per, Io. Petrum Anno domini MDXXXIII.

[2] Iordani opusculum de ponderositate Nicolai Tartaleae studio correctum novisque figuris auctum. Cum privilegio. Venetiis. Apud Curtium Troianum, MDLXV. Обе эти небольшие книжки, переплетенные вместе еще, очевидно, в конце XVI в., имеются в Гос. Публичной библиотеке им. Салтыкова-Щедрина в Ленинграде и были любезно предоставлены нам дирекцией Библиотеки для подробного изучения.

псевдоаристотелевы «Проблемы механики», целиком основанные на перипатетическом учении о движении; приписываемые Евклиду отрывки, первый из которых — трактат «De gravi et levi» представляет собой развитое положение перипатетического учения о движении, и, наконец, «Книга Карастуна», как мы показали, также базирующаяся на том же учении. Естественно поэтому, что средневековая механика в своих оригинальных сочинениях пошла по тому же пути, т. е. начала строить свое здание на основных формулах движения, заимствованных из «Физики» Аристотеля.

Второй из перечисленных нами выше вариантов, трактат Иордана Неморария, названный Дюхемом «перипатетическим комментарием» к основному тексту Иордана, и представляет собой попытку построить всю механику исключительно на законах движения, установленных Аристотелем. При этом мы отнюдь не считаем неправдоподобным предположение, что именно «перипатетический комментарий» является первичной, основной формой трактата, а не переделкой, как утверждает Дюхем.

Трактат начинается с предисловия, в котором устанавливается, что наука о весе (scientia de ponderibus) подчинена как геометрии, так и натуральной философии, почему в ней надлежит пользоваться как геометрическими, так и физическими доказательствами. Уже из этого начала, чрезвычайно сильно напоминающего начало «Проблем механики», явствует, что последнее произведение является прототипом трактата. Затем следует изложение ряда основных положений, на которых базируется все дальнейшее изложение. Первое, второе и третье из этих положений, напоминающие по ходу мысли «Книгу Карастуна», гласят: 1) плечо весов, опускаясь, описывает дугу окружности, радиус которой всегда равен длине плеча; 2) в одной и той же окружности большая дуга более закруглена, чем меньшая, и, наоборот, в разных окружностях из разных дуг больше закруглена меньшая; 3) вес на весах тем легче, чем больше он опускается по дуге. На этой основе вводится понятие веса по положению (gravitas secundun situm), во всем дальнейшем изложе-

нии являющееся основным. Объяснение связи веса и дуги, по которой он движется, в точности повторяет объяснение «Механических проблем», т. е. сводит движение конца весов по дуге к взаимодействию двух сил — естественной, направленной вниз, и насильственной, направленной по радиусу. Затем следуют пространные рассуждения о весе и движении, после чего идет заключение, которое мы считаем настолько важным, что приводим его полностью:

«После того как это разъяснено, следуют положения книги о весах; называются же они положениями потому, что этой наукой они не должны доказываться, но принимаются; доказательства же некоторые из уже приведенных вообще не имеют, как это выяснится позже. Таких положений имеется семь. Первое: движение всякого весомого тела направлено к середине (мира, т. е. земли). Второе: чем тяжелее, тем скорее падение. Третье: тяжелее при падении настолько, насколько движение к середине прямее. Четвертое: по положению тяжелее настолько, насколько на том же расстоянии опускание менее наклонно. Пятое: более наклонное падение менее берет от прямой при том же количестве. Шестое: одно менее тяжело, чем другое, по положению, настолько, насколько опускание второго происходит в обратном направлении. Седьмое: горизонтальное положение есть положение равноотстояния от горизонта. Все это достаточно ясно из вышесказанного, почему можно перейти к предложениям, которые называются предложениями потому, что они предлагаются, чтобы быть доказанными. Их имеется тринадцать». [1]

---

[1] «Istis igitur notis, sequuntur suppositiones libri ponderum et dicuntur suppositiones, quia per istam scientiam non debent probari sed supponuntur, probari tamen ex jam dictis quaedam indigent probatione, sicut post apparebit. Sunt itaque suppositiones septem. Prima est: omnis ponderosi motum ad medium esse. Secunda: Quanto gravius, tanto velocius discendere. Tertia: Gravius esse in descendendo, quanto ejusdem motus ad medium est rectior. Quarta: secundum situm gravius esse, quanto in eodem situ minus obliquus est descensus. Quinta: obliquiorem autem descensum minus capere de directo, in eadem quantitate. Sexta: Minus grave aliud alio esse secundum

В изложенном отрывке предисловия содержится implicite весь трактат. Характерно, во-первых, здесь то, что автор строго различает не подлежащие доказательству аксиомы, которые он и формулирует, от подлежащих доказательству теорем, составляющих собственно содержание трактата. Это свидетельствует уже о значительно более высокой математической культуре, чем отмеченная нами в рассмотренных выше переводах-переделках. В самых аксиомах для нас важно и характерно то, что в них все движение на весах сводится к формуле естественного движения — пропорциональности между скоростью и весом (первая аксиома), как это сделано и в «Проблемах механики», а не к формуле движения приобретаемого, как в приписываемых Евклиду отрывках и в «Книге Карастуна». Основными для всего дальнейшего изложения являются аксиомы третья — четвертая, почти однозначные, и пятая. Аксиомы эти устанавливают, во-первых, что тело тем тяжелее, чем менее наклонно[1] его движение; во-вторых, что более наклонное движение, будучи спроектировано на вертикальную прямую, занимает на ней меньший отрезок, чем менее наклонное движение той же длины. Из этих двух аксиом легко выводится все дальнейшее.

В своей совокупности аксиомы формулируют то понятие «тяжести по положению» («gravitas secundum situm»), введение которого в механику и составляет отличительную черту всех сочинений, приписываемых Иордану. Понятие это отнюдь не должно смешиваться с понятием собственно тяжести, естественной тяжести любого тела: оно обозначает изменения, которые при том или другом движении претерпевает естественный вес тела, т. е. приобретает смысл и оправдание только при рассмотрении движений. Впрочем, как сказано в предисловии трактата,

---

situm, quanto descensus aliterius consequitur contrario motu. Septima: Situm aequalitatis esse aequidistantiam superficiei orizontis. Omnes autem suppositiones sunt satis manifestae, sicut patet per praedicta, et ideo propositiones prosequilicet, et dicuntur propositiones, quia ut probentur proponuntur. Sunt itaquae tredecim.

[1] Под величиной наклонности подразумевается здесь, как и всюду, величина проекции на горизонтальную ось.

оно может быть распространено и на случаи покоя, ибо покой есть, собственно говоря, предельный случай движения. Дюхем и за ним ряд последующих историков науки считают введение понятия «gravitas secundum situm» крупным прогрессивным шагом. Мы же серьезно сомневаемся в правильности этого утверждения. Понятие это, во всяком случае в том виде, в каком оно встречается в первых двух вариантах трактата Неморария, представляется глубоко искусственным и выдуманным «ad hoc», как переходное звено между конкретными теоремами механики и формулировками законов движения, данными Аристотелем; оно обеспечивало стройность всего доказательства, но не соответствовало ничему реальному.

Первые теоремы являются не чем иным, как развернутой формулировкой некоторых аксиом.[1] Так, первая формулирует несколько более полно утверждение первой аксиомы о пропорциональности скорости движения вниз весу, утверждая, что между скоростями двух движущихся в одном направлении тел существует та же пропорция, что и между весами, а между скоростями двух движущихся в противоположном направлении тел — пропорция обратная. Вторая теорема доказывает, что при помещении на весах, находящихся в горизонтальном положении равных грузов (о равных плечах не говорится ничего), весы не выйдут из горизонтального положения, а если будут выведены, то вернутся в него. Первая теорема в своих обеих частях совершенно явственно следует из первой аксиомы; вторая же теорема в своей первой части вообще не доказывается — говорится просто «primum patet quia sunt aeque gravia», во второй же части сводится к четвертой аксиоме, ибо, если вывести (рис. 12) весы bc в положение $b'c'$, каждый из грузов b' и c' будет стремиться вниз, а так как груз c' будет опускаться по кривой менее наклонно, чем груз b' (из двух дуг равного радиуса та более наклонная, которая длиннее), весы вернутся в первоначальное положение горизонтальности.

[1] Не имея доступа к рукописям, мы не можем установить не являются ли первые две теоремы вообще чужеродными телами в нашем тексте, что, судя по содержанию, кажется нам вероятным.

Третья теорема, подобно второму псевдоевклидову отрывку, доказывает, хотя и совсем другим методом, что разные длины подвесов не влияют на равновесие весов. Доказательство в собственном смысле слова здесь отсутствует и заменено просто отсылкой ко второй аксиоме. Доказывается теорема так: если будет движение в одной стороне, следовательно другая сторона менее тяжела по второму положению, — но принято, что веса подвешенных (грузов) равны, следовательно доказано то, что искалось.[1]

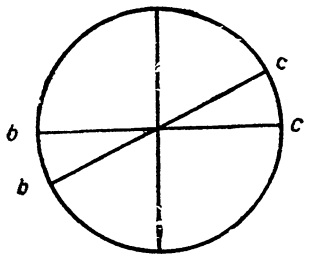


Рис. 12

Лаконической отсылкой к четвертой аксиоме доказывается и четвертая теорема, гласящая, что если любой груз опускается в любую сторону, то он становится более легким «по положению».

Пятая теорема, повторяя одну из аксиом Архимеда доказывает, что при равных весах на неравных плечах более длинное плечо будет опускаться. Доказательство опять сводится к построению на плечах, как на радиусах, частей окружности, причем большее плечо будет описывать бóльшую окружность, а так как при разных радиусах дуга большего радиуса прямее, а на более прямой дуге груз «по положению» тяжелее по третьей аксиоме, то теорема доказана. Точно таким же рассуждением доказывается и шестая теорема о том, что если грузы равно весят (очевидно, «по положению») на неравных плечах весов и более отдаленный приблизить к центру, то он станет легче «по положению».

Особое значение для нашей темы и для развития механики имеет седьмая теорема. Мы видели, что уже Герон, повидимому совершенно не известный в XIII в., ставил и правильно разре-

[1] «Probatur sic: si fiat motus in una parte, ergo pars alia est minus gravius per suppositionem secundam, sed positum est prius appensorum pondera esse aequalia, ergo».

шал вопрос о равновесии криволинейного рычага; этот вопрос получил правильное решение и в одной из вставных теорем «Книги Карастуна». Теорема, правда, не вошла в латинские переводы и потому также, повидимому, или совершенно не известна западной науке XIII в. или мало распространена в ней. Иордан ставит по существу тот же вопрос совершенно иначе. Он спрашивает, каковы будут условия равновесия на равноплечих весах, один из подвесов которых будет свободно вращаться вокруг точки своего укрепления, а другой неподвижно соединен с этой точкой, причем на концах подвесов будут укреплены равные грузы. Отвечает он так: груз, укрепленный на подвижном подвесе, будет более тяжелым «по положению», так как вследствие отклонения подвеса он будет описывать бо́льшую окружность. В разборе трех вариантов трактата Неморария Дюхем, старающийся всеми возможными средствами опорочить первые два и выхвалить третий, считает это утверждение неправильным со всех точек зрения, ибо рассматриваемый здесь Неморарием случай сводится к равновесию криволинейного рычага: если подвес *bd* (рис. 13) будет свободно вращаться, а подвес *ce* будет неподвижно укреплен под прямым углом к плечу *ac*, то плечо *ac* и подвес *ce* могут быть заменены плечом *ae*, направленным под определенным углом к первоначальному направлению плеча, а криволинейный рычаг, концы плеча которого одинаково удалены от вертикали, проведенной через точку опоры, будет находиться в равновесии. Однако критика Дюхема основана на обычной для него модернизации рассматриваемого сочинения. Неморарий не сомневается, повидимому, в том, что весы в том положении, как они изображены на чертеже, находятся в равновесии, но, как мы это видели выше, он, вполне последовательно строя все свои доказательства на аристотелевых законах движения, рассмат-

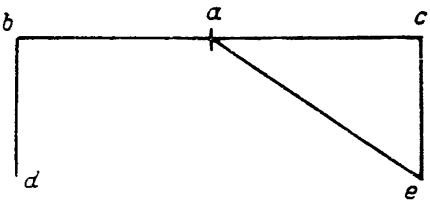


Рис. 13

рибает все случаи равновесия на весах, находящихся в движении вокруг точки опоры. При таком рассмотрении приведенное утверждение оказывается правильным для случая подъема плеча весов, на котором укреплен подвижной подвес, и неправильным для обратного случая, так как при подъеме плеча *ab* груз *d* окажется действительно дальше от вертикали, проведенной через *a*, чем груз *e*, и равновесие на весах нарушится. Таким образом, для некоторого частного случая решение, данное трактатом, было правильным, а приводимое затем разъяснение («Это предложение было выдумано по случаю некоего опыта, произведенного для доказательства второй части»)[1] с несомненностью говорит о том, что автор и имел в виду некий частный случай. Дальше же (возможно, что это и есть названная выше «pars secunda») чрезвычайно испорченный в печатном издании текст доказывает, повидимому, что если оба подвеса вращаются, то при любом повороте весов равновесие в них не изменится, и грузы на них будут весить равно «по положению».

Восьмая теорема является, собственно говоря, центральной— она доказывает закон равновесия неравноплечего рычага и формулируется так: «Если плечи весов будут пропорциональны подвешенным грузам, так чтобы на более коротком висел более тяжелый, то они будут равно тяжелы по положению».[2]

Доказательство и здесь ведется тем же путем, что и во всех приведенных выше теоремах: если грузы обратно пропорциональны длинам плеч, а последние являются радиусами окружностей, по которым они движутся, то груз, помещенный на большем плече, будет «по положению» ровно настолько же тяжелее груза, помещенного на меньшем, насколько это большее больше меньшего. Следовательно, если мы хотим добиться равновесия, мы должны взять настолько же меньшим естественный вес груза, помещенного на большем плече, по сравнению с естественным весом груза, помещенного на меньшем.

[1] «Illa propositio fuit inventa de quodam experimento facto ad probationem partis secundae».

[2] «Si fuerint brachia librae proportionalia appensorum, ita, ut in breviori gravius appendatur, aeque gravia erunt secundum situm».

На восьмой теореме. очевидно, и кончается основной текст трактата «De ponderibus». Следующие пять теорем печатного и многих рукописных текстов составляют рассмотренный выше трактат «De canonio», причем к четырем из них ради симметрии вначале присоединены подобия вторых доказательств, должен-ствующие связать их с вышеприведенными, доказываемыми строго перипатетически восемью основными теоремами. Доказательства эти совершенно неубедительны, чисто формальны, а для основной теоремы, рассмотренной нами подробно выше, и вполне отсутствуют, из чего, равно как и из самого характера текста, с несомненностью явствует гетерогенность трактатов. «De ponderibus» и «De canonio», которые автор дошедшего до нас во многих списках варианта трактата Иордана Неморария довольно искусственно соединил, желая создать значительное сочинение по механике.

Таким образом как самостоятельное целое тот вариант трактата Неморария, который Дюхем считает лишенным всякой научной ценности перипатетическим искажением основного текста, мы склонны считать если не обязательно первым и основным (для этого мы не имеем достаточных доказательств), то, во всяком случае, исключительно ценным и характерным для схоластической механики XIII в.

Действительно, мы видели, что в основе всех механических систем античности и арабского феодализма лежали формулы движения, данные в «Физике» Аристотеля и, очевидно, принадлежавшие к незыблемейшим общим представлениям, существовавшим в течение всего этого времени. В средневековую же традицию вошли именно те сочинения, в которых эта перипатетическая струя была выражена наиболее ярко, т. е. «Проблемы механики», приписываемые Аристотелю и построенные именно на его законах движения — псевдоевклидовы отрывки, первый и наиболее распространенный из которых являлся просто развернутым комментарием к одному из этих законов, и, наконец, «Книга Карастуна», на ярко перипатетический характер которой мы указывали. Участник создания феодального мировоззрения, идеалом которого было построение картины

мира, полностью соответствующей той социально-политической структуре, к которой шло, но которой никогда не достигало феодальное общество, — картины мира, нашедшей себе наиболее полное выражение в эманационно-иерархической схеме мироздания, феодальный ученый старался, согласно всей направленности своего сознания, создать и систему механики, отвечающую тем же требованиям. Он не удовлетворяется наличием в фундаменте механики двух основных формул — формулы для движения естественного и формулы для движения приобретаемого, а старается свести все к первой, причем для облегчения этого сведения вводит понятие «тяжести по положению», сокращенно формулирующее данное «Проблемами механики» представление о взаимодействии двух сил, и из одной формулы и понятия «тяжести по положению» с безукоризненной логичностью выводит все известные к его времени законы механики. Как геометрический подход античных механиков, так и алгебраизация, внесенная арабами, ему чужды. Он подходит к предмету, как физик и активный борец за то метафизически-теологическое мировоззрение, которое в XIII в. приобретает свои классические формы. Так, казалось бы, в отвлеченнейшем произведении отвлеченнейшей из когда-либо существовавших наук в конечном счете сказывается вызвавшее его к жизни общество. Сквозь строки сухой латыни можно чутким ухом услышать и шум двора рыцарского замка, и звон колокольни удаленного от мира монастыря, и унылую песню крепостного крестьянина, тянущего безнадежную лямку пожизненного, монотонного, полуживотного труда.

Второй вариант трактата «De ponderibus», который Дюхем, как уже сказано выше, считает первым и единственным вышедшим из-под пера Иордана, мы находим напечатанным в том же издании Петра Аппиана, где помещен и только что изложенный. За каждым доказательством теоремы после слов «sequitur aliud commentum» следует доказательство второго (или, по Дюхему, первого) трактата. Доказательства эти, по Дюхему — ясные, в дальнейшей рукописной традиции значительно усложняются и запутываются; в издании же Аппиана они усложнены

еще более, чем в худших из рукописей, и судить по этому изданию о свойствах первоначального оригинала можно только с большой осторожностью.

Однако, ввиду того, что в нашу задачу отнюдь не входит анализ творчества Иордана как такового, и так как усложнение трактата шло в направлении, имманентно заложенном уже в оригинале, только ярче подчеркивая и выявляя его основную тенденцию, искажения первоначального текста не окажутся помехой в нашей работе.

Тенденция второго из разбираемых нами трактатов Немория чрезвычайно ярка и подчеркнута. Исходя из того же основного понятия «gravitas secundum situm» и базируясь, повидимому, на тех же, правда несформулированных, аксиомах, что и в рассмотренном нами выше варианте, автор стремится вести все доказательство строго геометрическим путем, обильно ссылаясь при этом на Евклида и Архимеда. Недавнее знакомство с этими классиками александрийской науки, очевидно, вызвало в некоторых научных кругах XIII в. сильное увлечение их трудами и их методом, нашедшее отражение в настоящем варианте трактата Иордана. Правда, воспитанные на ранее усвоенных, чисто перипатетических работах и на сочинениях арабского средневековья, феодальные ученые, даже те, кто с увлечением занимался изучением творений великих александрийцев, вряд ли в какой-нибудь мере достигали сходства со своими прообразами. Совсем иная социально-политическая обстановка, неизгладимое влияние алгебраически направленных арабских сочинений неизбежно сказывались на творчестве западных механиков геометрической ориентации, которые в XIII в. пытались воссоздать стройные и гармоничные произведения III в. до н. э.; сказалось это и на геометрическом варианте трактата Немория.

Доказательства этого трактата, как мы уже отмечали, строго геометричны. Стремясь доказать те же положения, которые, и притом гораздо логичнее, доказываются в перипатетическом варианте в немногих словах, сводящих любую задачу к основной формуле движения, данный трактат бесконечно

подробно разбирает равенства и подобия треугольников, соотношения между дугами окружностей и стягивающими их хордами и пр. и по существу топчется на одном месте, не доказывая, а только формулируя сложнейшим геометрическим языком и без того ясные положения. Было бы невозможно и излишне приводить все длиннейшие и запутаннейшие доказательства трактата. Мы поэтому ограничимся тремя из них, кажущимися нам вполне характерными, теоремами — первой, третьей и восьмой.

Первая теорема (являющаяся излишней в перипатетическом варианте, ибо в нем она повторяет аксиомы, изложенные в предисловии) во втором варианте, не имеющем предисловия, является основной. Она весьма пространна и может быть поэтому пересказана только со значительными сокращениями. Приведем ее формулировку: «В любых двух весомых телах пропорция между скоростями опускания и весами прямая, а если взять опускание и противоположное движение, пропорция та же, но обратная».[1]

Доказательство этого положения, в котором «implicite» заложено все дальнейшее, о чем, как мы увидим ниже, догадывается и сам автор, ведется следующим образом.

Пусть вес a (рис. 14) опускается из a в c, а вес b — из b в d. Требуется доказать, что $\frac{a}{b} = \frac{ac}{bd}$. Допустим, что наше предположение неправильно и что $\frac{a}{b} < \frac{ac}{bd}$. Допустим также, что a больше b на e и ac больше bd на f, из чего получаем, что $\frac{a}{e} > \frac{ac}{f}$ (подробнейшее доказательство этого с обильными ссылками на Евклида и Архимеда дается в конце теоремы особо). А так как f есть опускание e, то полученное нами неравенство противоречит нашему предположе-

[1] «Inter quaelibet duo gravia est velocitas descendendo propriae, et ponderum eodem ordine sumpta proportio, descensus autem, et contrarii motus, proportio eadem, sed permuntata».

нию, что отношение весов меньше отношения опусканий, а следовательно предположение это было сделано неправильно. Таким же образом приводится к абсурду и противоположное предположение и доказывается первая часть теоремы, из которой как следствие выводится и вторая часть, ибо ясно, что подъем равен и противоположен опусканию, а следовательно отношение между весами подымающихся и опускающихся грузов обратно пропорционально скоростям их опускания или же проходимым ими путям, так как, подобно большинству разобранных нами выше источников, наш трактат не делает различия между скоростями и длинами путей, проходимых в одно и то же время.

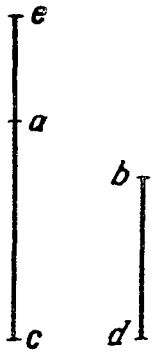


Рис. 14

Доказав таким образом свою теорему, автор, однако, замечает, что доказательство его является недостаточным для выведения из него дальнейшего; поэтому он считает необходимым дополнительно истолковать основные понятия, которые фигурируют в первой теореме и которые в дальнейших доказательствах применяются несколько в другом смысле (напомним еще раз, что предисловие в этом варианте отсутствует). Первое и, пожалуй, главное здесь то, что опускание понимается не как естественное падение в какой-нибудь среде, а исключительно как опускание груза, укрепленного на одном конце весов, другой конец которых поднимается вследствие опускания первого. «Большая (посылка) должна определять не движение весомого тела, предоставленного собственной природе, а движение весомого тела на весах, при наличии сопротивления весомого тела, помещенного на другом плече весов».[1] Далее: нельзя рассматривать веса без учета длин плеч, ибо мы имеем здесь дело с соотношением всей силы на одном конце весов со всем

[1] «Sed major non habet determinare de motu gravis relicti propriae naturae, sed de motu gravis in aequilibri cum resistentia gravis positi in alio brachio aequilibris».

сопротивлением на другом конце, в соответствии с каковым соотношением и изменяются скорости движения концов весов.

«Почему необходимо заметить следующее: доказательство не должно понимать так, что как опускание *a* относится к опусканию *b*, так весь вес *a* просто и по положению относится ко всему весу *b* просто и по положению, и это надлежит строжайшим образом различать. Ибо это правильно только тогда, когда

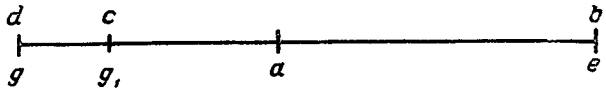


Рис. 15

таково же отношение всего веса *a* ко всему весу *b*, каково оно между всей силой *a* или его сопротивлением и всей силой *b* при его сопротивлении. И согласно этому изменяются скорость и опускание, и иначе высказанное автором не будет иметь силы».[1]

Так (рис. 15), если мы будем рассматривать весы *bacd* и подвесим на левом плече один и тот же вес *g* сначала в *c*, а затем в *d*, то хотя эти грузы естественно (от природы) равны, но один будет опускаться по дуге окружности радиуса *da*, а другой по дуге окружности радиуса *ca*, а так как длины дуг относятся как радиусы окружностей, то вес груза *g*, подвешенного в положении *d*, будет относиться к весу того же груза, подвешенного в положении *c*, как *da* к *ca*, а следовательно равные грузы будут весить разно в разных местах весов. Кроме того, *g*, будучи помещен в *c*, будет уравновешиваться некоторым грузом *b* на другом конце весов, а будучи помещен в *d* — неко-

[1] «Unde ideo notandum quod non potest sic intelligi conclusio, quod sicut descensus *a* ad descensum *b*, ita tota gravitas *a* simpliciter et secundum situm, ad totam gravitatem *b* simpliciter et secundum situm, et hoc debet strictissime intelligi. Nam hoc non est verum nisi quando eadem est proportio totius gravitatis *a* ad totam gravitatem *b*, quae est totius potentiae *a* super suam resistentiam, et ad potentiam *b* super suam resistentiam, et secundum hoc variaretur velocitas et descensus, aliter non valeret propositio autoris.

торым другим грузом *e*, отношение которого к первому будет также равно отношению *ca* к *da*; следовательно, разные грузы в одном месте будут уравновешивать равные в разных местах. Из этого вытекает, что веса в данном доказательстве и в дальнейшем изложении должны рассматриваться не сами по себе, а в связи с длинами плеч, на которых они укреплены, так что если мы правильно разберемся в этой связи, то поймем все дальнейшее: «Sic igitur intelligendo conclusionem procedit propositio autoris, aliter non».

Здесь автор спохватывается, что он все говорит о длинах путей и ничего не говорит о скоростях, с которыми он как истый перипатетик оперирует в основной формулировке теоремы. Поэтому он доказывает, что так как движения *gbd* и *gbc* соответствуют движению *b* и *e*, помещенных в одной точке, то они происходят в одно и то же время, причем доказывает это столь сбивчиво, что сам затем выражает сомнение в убедительности доказательства, но считает, что оно не так важно:

«Если же это доказательство не будет убедительным, неважно. Является ли скорость пропорциональной или нет, нужно только, чтобы если *g* в *d* достаточно для поднятия *e*, то *g* в *c* было достаточным для поднятия *b*. И уже первое предложение текста Иордана имеет другую формулировку: в любых весомых телах пропорция между скоростями и весами одна и та же — прямая».[1]

Во всем приведенном длинном рассуждении мы ясно видим стремление найти переход от аристотелевой формулировки закона естественного движения к закону рычага, свести последний к первому. В то время как в первом, чисто перипатетическом варианте переход этот давался путем простого постулирования существования «gravitas secundum situm», зависящего от наклона или изгиба кривой, по которой груз движется, —

[1] Si autem istud argumentum non faciat fidem, non est cura, tantum quod velocitas sit proportionalis vel non, dum tamen sequatur: si *g* in *d* sufficit levare *e*, quod *g* in *c* sufficit levare *b*. Et jam prima conclusio textus Iordani habet aliam literam scilicet, quod inter qualibet gravis sit velocitatis et ponderis eodem ordine sumpta proportio».

в данном варианте мы видели попытку доказать то же самое, что невозможно. Противоречия в рассуждении замечает и сам автор трактата, пытаясь, однако, настаивать на том, что если правильно разобраться в понятиях, то все возражения противников отпадают.

Третья теорема, как мы видели выше, гласит, что различие в длине подвесов не влияет на равновесие весов; теорема эта не доказывалась, а просто как бы разъяснялась в перипатетическом варианте; здесь же доказательство ее достаточно сложно и пространно. Пусть, гласит доказательство, дан (рис. 16) стержень *abc*, центр которого *a*, и из двух подвесов *bd* и *ce* первый короче второго, на концах же их укреплены равные грузы *d* и *e*. Пусть *afq* будет вертикальная линия, проведенная через середину *a* стержня *abc*, а *df* и *ge*—линии, параллельные *abc* и соединяющие концы подвесов с названной вертикалью. Из точек *f* и *q* как из центров мы проводим четверти окружностей радиуса $df = qe$, каковое равенство подробно доказывается сведением к 34-й теореме первой книги Евклида (per tricesimam quartam primi Euclidis). Из этого же равенства следует, что и самые четверти окружностей равны, а из этого — то, что опускается по построенным им дугам, и возвращается к доказательству этого утверждения. Из точки *a* как из центра проводим половину окружности *bmnc* и предполагаем, что *b* будет опускаться до *m*, а *c* до *n*, и от точек *m* и *n* (печатный текст в этом месте несколько испорчен) проводим линии *mh* и *nk*, параллельные вертикали *afg*, до пересечения с ранее построенными четвертями окружностей. Затем, путем

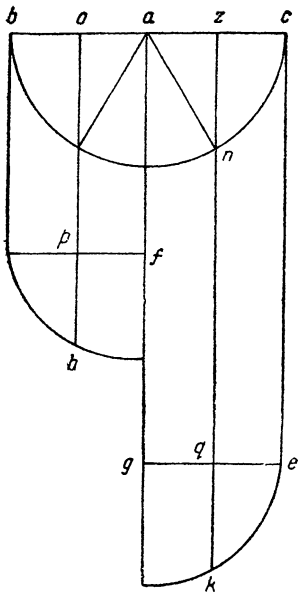


Рис. 16

сложного рассуждения, доказывается, что *bo* так относится к *om*, как *dp* к *ph*, а так как *bo* и *dp* равны, то *om* и *ph* тоже равны, а из этого выводится, что *bd* равно *mh*, так как *op* равно *bd*. Поэтому, когда *b* будет в *m*, *d* будет в *h*, и, следовательно, *b* и *d* будут всегда находиться в одинаковых точках дуги. То же и таким же образом может быть доказано относительно *c* и *e*, а следовательно доказано и то положение, которое казалось недостаточно обоснованным. После этого геометрического доказательства, изложенного нами со значительными сокращениями, следует весьма любопытная и уводящая нас совсем в другую сторону, очевидно гетерогенная основному тексту, оговорка, что вышеприведенное дока-

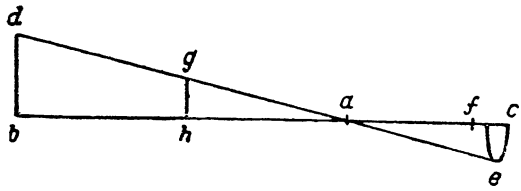


Рис. 17

зательство базируется на допущении подвесов, параллельных вертикали; фактически же они направлены в одну точку — центру земли, т. е. не вполне параллельны; но так как подвесы весьма не велики по сравнению с большой величиной расстояния до центра, то непараллельностью этой можно пренебречь.

Восьмая, как мы уже говорили — основная, теорема содержит доказательство закона рычага: обратной пропорциональности длины плеч и весов. Доказывается она следующим образом.

Пусть *bac* (рис. 17) будет коромыслом весов, на концах которого укреплены грузы *b* и *c*, причем *b* так относится к *c*, как *ca* к *ab*. Требуется доказать, что при этом условии весы находятся в равновесии. Предположим, что это не так и что конец коромысла *b* поднимается в точку *d*, а конец *c* опускается в точку *e*. Опускаем из точек *d* и *e* перпендикуляры на прямую *bac* и по 29-й и 15-й главам первой книги Евклида получаем два подобных треугольника *adb* и *aef*, а из этого по четвертой главе

шестой книги Евклида da так относится к ae, как db к ef. Но da так относится к ae, как вес c к весу b, следовательно db так относится к fe, как вес c к весу b. На прямой dae отложим затем ag, равное ae, и из g опустим перпендикуляр gh на прямую bac и поместим в h вес, равный весу c. Тогда, так как ga и ae равны, то по четвертой главе шестой книги Евклида gh и fe также равны, а так как веса c и h равны по заданному, то, следовательно, подставляя в предыдущее равенство $\left(\frac{db}{fe} = \frac{c}{b}\right)$ вместо fe — gh и вместо c—h, получим, что db так относится к gh, как вес h к весу $b\left(\frac{db}{gh} = \frac{h}{b}\right)$. Придя к такой пропорции, мы рассуждаем так (arguitur sic): при перемещении bac в dae точки b и h будут двигаться по окружностям диаметров ba и $ha=ca$, а следовательно веса грузов d и g «по положению» будут относиться между собой, как диаметры окружностей их движения, так как b будет описывать бóльшую окружность, чем h, т. е. $\left(\frac{b \text{ по полож.}}{h \text{ по полож.}} = \frac{ba}{ha}\right)$. Но мы только что доказали, что отношение естественных весов b и h равно обратному отношению ha к ba $\left(\frac{b \text{ ест.}}{h \text{ ест.}} = \frac{ha}{ba}\right)$, а из сравнения двух этих равенств следует, что грузы b и h, будучи помещены на расстояниях, обратно пропорциональных своим естественным весам, будут на весах равно весить, ибо меньший груз будет «по положению» увеличиваться ровно настолько, насколько он раньше был меньшим. Из этого же следует, что, будучи помещены в указанном положении на коромысле весов, грузы b и h равны по своему действию, и тот вес, который может поднять b, может поднять h. Мы же предположили, что груз c поднимает b, а следовательно, груз c подымает и h, что невозможно, так как, по условию, c и h равны и расположены на равных расстояниях от d, по второй теореме настоящего трактата. Доказав таким образом то, что требовалось, автор, повидимому, не удовлетворяется своим рассуждением, начиная с того места,

где оно теряет чисто геометрический характер, и предлагает другое, более простое: «aliter potest argumentari secundum communiter loquentes» — отношение веса h к весу b равно отношению подъема b (bd) к подъему h (hg). Следовательно, та сила, которая может поднять b на высоту bd, сможет поднять и h на высоту hg, а следовательно первое предположение о том, что c подымает b на высоту bd, — неправильно.

Таким же способом, но сокращенно, доказывается и неприемлемость допущения, противоположного первому, — что конец весов опустится, и, таким образом, теорема является доказан-

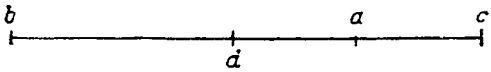


Рис. 18

ной. Это второе, упрощенное доказательство Дюхем считает абсолютно оригинальным и представляющим собой большой прогресс по сравнению с доказательством закона рычага в «Проблемах механики». Закончив это доказательство, автор замечает, что то же самое он говорил уже при введении понятия «gravitas secundum situm» в первой теореме, почему он и пишет, что все указанное выше является прекрасным подтверждением того, что там было сказано, и, наоборот, если действительно глубоко понять то, что там было сказано, то доказательство данной теоремы можно получить и еще более простым путем. Действительно, если мы возьмем (рис. 18) тот же неравноплечий рычаг bac, на неравных плечах которого помещены неравные веса, причем $\frac{b}{c} = \frac{ca}{ba}$, и подвесим на расстоянии da от точки опоры, равном ca ($da=ca$), вес d, равный b ($b=d$), тогда вес b будет относиться к весу d, как радиусы проходимых ими дуг — по первой теореме $\left(\frac{b}{d} = \frac{ba}{da}\right)$; но b равно d, поэтому из условия $\frac{b}{c} = \frac{ca}{ba}$ получаем $\frac{d}{c} = \frac{ca}{ba}$, а ca равно da, отсюда

получаем $\frac{d}{c} = \frac{da}{ba}$ или $\frac{c}{d} = \frac{ba}{da}$, а из сравнения пропорций $\frac{b}{a} = \frac{ba}{da}$ и $\frac{c}{d} = \frac{ba}{da}$ следует, по девятой главе пятой книги Евклида, что веса b и c, будучи помещены по условию, весят одинаково.

В доказательстве этого автор делает как раз ту основную ошибку, против которой он столько раз предупреждает читателя, принимая величины b и d иногда как естественные веса, иногда же как веса «по положению» и путая эти, по его же теории, разные величины. Так, в первой пропорции он принимает веса b и d неравными, ибо рассматривает их «по положению», во второй же он заменяет вес b равным ему естественно весом d, а затем сравнивает эти пропорции. Но именно эти ошибки и, с другой стороны, небольшие размеры данного доказательства делают его особенно характерным для всего метода рассматриваемого нами второго варианта трактата Иордана. Не отрываясь еще ни в какой мере от основной базы аристотелевых формулировок основных законов движения и, так же как в первом варианте, стараясь вывести всю механику из закона естественного движения, автор, в отличие от первого варианта, старается не принять ни одной аксиомы, а доказать все, о чем он говорит.

При этом в качестве идеала доказательства он принимает сочинения Евклида и Архимеда, которым и старается подражать и которые на каждом шагу цитирует. Но так как вся структура этих сочинений ему глубоко чужда, он повторяет только внешний геометрический облик произведений, которым он хочет подражать, упрощает геометрические доказательства, вносит в них элемент алгебраизирования, столь ярко выраженный в более органически понятных ему работах арабов по механике, и элемент наглядного примера, столь свойственный ранней феодальной механике.

Второй вариант трактата Неморария — произведение слабое, компилятивное, нестройное, но в то же время обнаруживаю-

щее, что феодальная наука впитала в себя все наследие предыдущих эпох, что она постепенно перерабатывала его, создавая нечто свое. Это свое механика западного феодализма обнаруживает и в критике многих положений механики античности, и в образовании новых понятий и представлений; например, в постоянных оговорках о связи веса с плечом можно усмотреть почти полное понимание момента силы по отношению к точке, а в упоминании отношений между силой и сопротивлением в первой теореме и во всем (наиболее неясном) доказательстве восьмой теоремы можно увидеть (и Вайлати и Дюхем действительно это замечают) эмбрион начала возможных перемещений. Но полагать (как это сделано в названных и, вслед за ними, в ряде других исследований), что средневековая западная механика действительно имела в своем арсенале и момент силы и начало возможных перемещений, было бы совершенно не оправданной модернизацией. Средневековая механика переработала механические идеи, созданные другими историческими образованиями, подгоняя их к мироощущению и миропониманию своего времени; при этом, так как социально-политическая структура западного феодального общества была более сложна и генетически более близка к капиталистическому обществу, она в процессе этой переработки научного наследия натыкалась на ряд понятий и представлений, затем вошедших в фонд новой науки. Но, будучи именно по самой сути своей социально-политической структуры глубоко чуждой всякой связи с технической практикой, являясь чисто умозрительной дисциплиной, она еще в большей степени, чем античная наука, была абсолютно лишена критерия истинности формулируемых ею понятий и представлений, лишена того пробного камня, который позволил бы ей отобрать все действительно ценное из ее собственных рассуждений и построить из него новую систему. Связь ее с практикой была поэтому более слабой, чем связь классической античной науки. Последняя, не стремясь дать что-нибудь полезное для техники, все же пыталась включить ее в число основных, подлежащих осмыслению объектов; средневековая наука не делала и этого, ограничиваясь

рассмотрением явлений, уже попавших в обиход науки, рассуждая о книгах, а не о реальной жизни.

Если во втором варианте трактата Иордана Неморария с особой яркостью выступают только что отмеченные характерные черты средневековой науки, то в третьем варианте этого же трактата — произведении более сложном и совершенном — они присутствуют не в меньшей мере, хотя, быть может, и не так легко обнаружимы.

Третий вариант трактата Неморария, как и оба предыдущих, возник, несомненно, в XIII в., поскольку лучшие рукописи его восходят к этому времени. Впервые подробно изучивший и изложивший его Дюхем, как мы уже отмечали, счел его столь глубоко отличным от первых двух рассмотренных нами вариантов, настолько более совершенным, что приписал его никому не известному выдающемуся ученому XIII в., которого он назвал «предшественником Леонардо да Винчи». Предположение это мы, вслед за Марколонго, считаем ни на чем не основанным и рассматриваем третий трактат как один из вариантов широко распространенного трактата «De ponderibus». При этом наиболее вероятно, что основным является рассмотренный нами первый, чисто перипатетический текст.

Этот вариант был издан из рукописного наследия знаменитого математика Николая Тартальи в 1565 г. венецианским издателем Курцием Тройаном. Дюхем считает ошибочным мнение, что Тарталья сколько-нибудь переделал первоначальный текст: за исключением громадного числа опечаток и совершенно испорченных в печатном тексте чертежей, последний полностью повторяет текст, даваемый лучшими рукописями XIII в. Однако, ввиду указанных опечаток и ошибок в рисунках, текст печатного издания во многих местах оказывается столь серьезно искаженным, что для понимания его нам приходилось обращаться к тем, к счастью — довольно обширным, отрывкам из рукописей, которые приводят Дюхем и другие исследователи.[1]

---

[1] Дюхем. Origines, pp. 134—147; Марколонго. La Meccanica, pp. 12—24; Шустер. Die Mechanik, pp. 30—31.

Уже самое начало трактата подтверждает принятую нами точку зрения и показывает, что мы имеем дело не с чем иным, как с вариантом трактата «De ponderibus». Начинается он с почти буквальной передачи тех семи аксиом, которые были сформулированы в конце предисловия перипатетического варианта. За аксиомами следуют 33 теоремы, в рукописях разделенные на четыре книги; в печатном тексте это разделение отпало. Первые пять теорем по своим формулировкам почти полностью повторяют формулировки рассмотренных вариантов, только третья теорема поставлена на месте четвертой и наоборот. Затем шестая и седьмая теоремы как неважные выпущены, а они соответствуют восьмой и девятой первых трактатов. Доказательства всех этих семи первых теорем также очень близки к рассмотренным нами доказательствам второго — геометрического— варианта, хотя иногда в них проскальзывают и нотки из доказательства перипатетического, опирающегося на аксиомы, первого варианта. Разумеется, что при наличии аксиом сложные и сбивчивые объяснения понятия «gravitas secundum situm», заключающие первую теорему второго варианта, здесь отсутствуют.

Характерно для данного варианта то, что из трех доказательств закона рычага, имевшихся в восьмой теореме второго варианта, седьмая теорема третьего сохраняет только одно второе доказательство — самое простое и основанное на перипатетическом законе приобретаемого движения, а не на законе движения естественного, т. е. доказательство, совершенно не опирающееся на аксиомы, изложенные вначале, и вообще чуждое всему строю изложения первых двух вариантов. Далее, некоторым (и притом с современной точки зрения немаловажным) отличием доказательства третьего варианта от второго является то, что во второй теореме, трактующей о равновесии равных грузов, помещенных на равных плечах, вместо полных дуг от концов весов до вертикали и горизонтали рассматриваются сколь угодно малые частицы этих дуг; возможность такого рассмотрения только мимоходом затрагивалась во втором варианте. Так (рис. 19), если второй вариант рассматривает

и сравнивает между собой дуги $c'c$ и $b'b$, то третий оперирует с дугами cd и $b\sigma$.

Этот же, условно говоря, «инфинитезимальный» подход определяет собой и появление в третьем варианте особой оговорки (как нам кажется, неправильно понятой и истолкованной Дюхемом). Оперируя со сколь угодно малыми величинами, автор, естественно, ставит себе такой вопрос: нельзя ли подо-

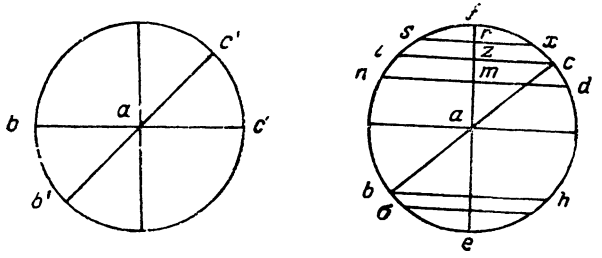


Рис. 19

брать такие величины b и c, чтобы разница между ними оказалась меньшей, чем разница между дугами опускания этих грузов, и чтобы, следовательно, несмотря на превосходство b, оно не опускалось, а поднималось. На этот вопрос автор самым решительным образом отвечает отрицательно, так как, по его мнению, отношение между углами bcx и bcd, определяющими кривизну опускания двух грузов c и b, est minor qualibet proportione, т. е. меньше любого отношения, т. е. меньше отношения между b и c.

Следуя в первых семи теоремах сравнительно покорно за текстом первых двух вариантов, автор начинает весьма серьезно отступать от них с восьмой теоремы. Теорема эта, близкая к неудачной седьмой теореме первых вариантов, но бесконечно более общая, содержит первую формулировку равновесия коленчатого рычага, на плечах которого, равно отстоящих от вертикали, укреплены разные грузы. Формулировка эта гласит:

«Если неравными будут плечи весов и в центре движения будут образовывать угол, причем концы их будут с обеих сто-

рон одинаково отстоять от вертикали, то такие грузы при таком расположении будут весить одинаково».[1]

Доказательство этой весьма важной теоремы ведется следующим образом.[2]

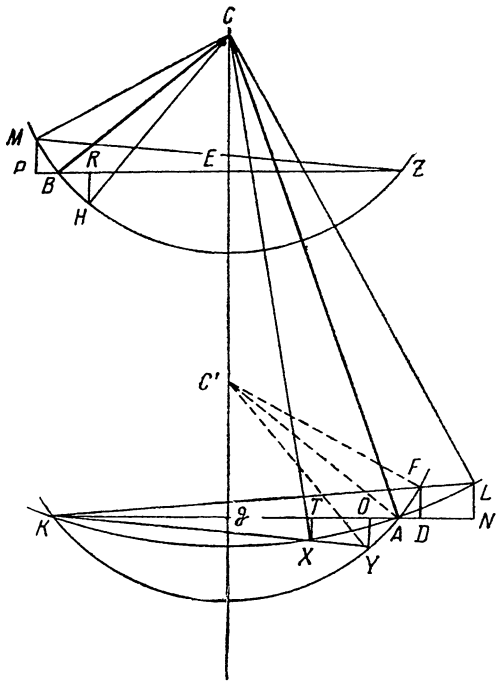


Рис. 20

Пусть (рис. 20) мы имеем коленчатый рычаг CAB, плечо которого CB короче правого плеча CA и расстояние концов этих плеч, точек B и A, от вертикали CEG, т. е. отрезки BE

[1] «Si inaequalia fuerint brachia librae, et in centro motus angulum fecerint, si termini eorum ad directionem hinc inde aequaliter accesserint: aequalia appensa in hac dispositione aequaliter ponderabunt».

[2] Мы пользуемся для изложения этой теоремы текстом парижских рукописей Cod. lat. 8680 A и Cod. lat. 7378 A, опубликованных Шустером, и отрывками Codex Reginensis lat., 1261, опубликованными Марколонго, привлекая печатный текст лишь для проверки — настолько он искажен и испорчен.

и GA равны. Требуется доказать, что при этом рычаг будет находиться в равновесии, если на концах A и B будут подвешены равные грузы. Построим из точки C как центра две окружности радиусами CB и CA; пересечения их с продолжениями прямых BE и AG будут находиться в точках Z и K. Затем отложим $C'G = CE$ и из C' проведем окружность, равную BZ, радиусом $CB = C'A$. Затем на дуге большего радиуса AK отложим по обе стороны от A равные отрезки AX и AL, на дуге BZ — равные первым и подобные (сказано equales atque similes; очевидно, имеется в виду: соответствующие тем же углам) отрезки BM и BH и, наконец, на дуге меньшего радиуса AK отложим равные им же отрезки AY и AF, каковые пунктирными линиями соединим с C[1]. Теперь предположим, что наше утверждение неправильно и что A тяжелее, чем B, и пусть A опустится до X и B соответственно поднимется на тот же угол до M. Соединим прямыми MZ, KFL и KXY и опустим из M перпендикуляр MP на горизонталь ZB и из F и X перпендикуляры FD и XT на горизонталь KA. Из равенства треугольников ZMP и KFD вытекает, что MP равно FD; из подобия же треугольников KTX и KFD получаем, что FD больше XT, а следовательно и MP больше XT. Между тем MP есть высота, на которую поднимается B; в предположении, что весы при равных грузах не будут находиться в равновесии и A перетянет, а TX — высота, на которую опустится при том же положении A, мы получаем, что из двух равных грузов один поднимает конец рычага на большее расстояние, чем другой опускает, что невозможно. Почему именно это невозможно, трактат не говорит, но из всего контекста ясно, что имеется в виду то же положение, на котором зиждется и доказательство шестой теоремы — положение об обратной пропорциональности весов и проходимых ими расстояний, т. е. аристотелев второй закон движения — закон приобретаемого движения.

Доказательство это, вызывающее восхищение Дюхема и Марколонго и обычно считаемое первым доказательством, вполне четко содержащим в себе понятие момента силы и даже прин-

ципа возможных перемещений, кажется нам не вполне убедительным. Доказательство это было бы правильным в том случае, если бы до него была сформулирована аксиома, что при равных весах меньшее опускание не может вызвать большего подъема, обратное же возможно. Но, поскольку мы не найдем нигде даже легкого указания на эту аксиому, нам приходится полагать, что автор имел в виду именно второй перипатетический закон движения, т. е. что доказательство его ошибочно. Ошибочность эта, впрочем, не снимает ни изящества самого доказательства, ни того, что в нем действительно есть какое-то предчувствие начала возможных перемещений, но, как мы уже указывали раньше, предчувствие это было скорее всего случайным, и сам автор и его ближайшие научные потомки вряд ли видели здесь какой-нибудь принципиально новый путь.[1]

Нам представляется, что и сам автор трактата чувствовал слабость своей аргументации и предложил именно поэтому два других варианта доказательства.[2]

Доказав, как ему кажется, частный случай разновесия коленчатого рычага, автор переходит к более общим случаям. Девятая и десятая теоремы представляют собой подход к общему решению вопроса — они трактуют о связи веса с наклоном, по которому он движется, т. е. стараются доказать то, что, собственно говоря, было постулировано вводными аксиомами. Девятая, чрезвычайно краткая и лаконическая теорема гласит: equalitas declinationis identitatis ponderis, т. е. при равном наклоне пути, по которому движется вес, величина его не изменяется в зависимости от места пути, на котором он находится. Действительно, пусть какой-нибудь груз движется (рис. 21) по наклонной прямой *ab* и пусть *alc* будет вертикаль; требуется доказать, что при движении из *d* в *e* или из *e* в *g*, при $de = eg$,

[1] Разбор доказательств Иордана по существу завел бы нас слишком далеко, так же как разбор по существу других трактатов, от которого мы отказались. Вопрос этот может быть темой особого исследования.

[2] Не имея доступа к рукописям. мы не знаем, не являются ли эти добавочные доказательства поправкой, внесенной в текст Тартальей, почему мы и не разбираем их подробно.

gravitas secundum situm движущегося груза не изменяется. Опускаем из *e* и *g* перпендикуляры на *ac*, а из *d* и *e* перпендикуляры на *eh* и *gl*; из равенства прямоугольных треугольников *dke* и *emg* выводим равенство сторон *dk* и *em*, а следовательно равные отрезки наклонной имеют равные проекции на вертикальной, eaqualiter capiunt de directo, т. е. груз на этих отрезках равно весит secundum situm.

В этом незамысловатом доказательстве мы опять встречаемся с забытыми в предыдущей теореме аксиомами о gravitas secundum situm и его зависимости от наклона. Но девятая теорема является только вводной к значительно более важной — десятой, формулируемой так: «Если два веса опускаются по двум разным наклонам и наклоны и веса их прямо пропорциональны, то силы опускания (или стремление к опусканию) обоих равны»[1] (рис. 22).

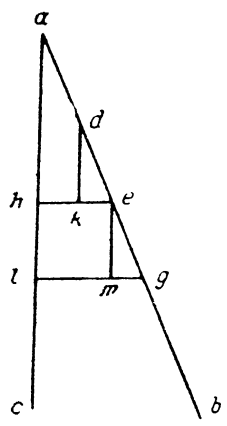


Рис. 21

Доказательство этой важнейшей для всего последующего развития механики теоремы ведется следующим образом. Возьмем горизонтальную прямую и перпендикуляр к ней в точке *b* и из точки *d* проведем две наклонные прямые *dc* и *da*; пусть *dc* будет более наклонна, чем *da*, причем под наклонностью понимается длина наклонной при равной проекции на вертикаль, а не угол (majoris obliquitatis proportione declinationum dico non angulorum, sed linearum usque ad aequidistantiam resecationem, in qua aequaliter sumunt de directo).

Пусть по наклонной *dc* движется груз *e*, а по наклонной *da* груз *h*, причем отношение весов их будет равно отношению на-

[1] «Si per diversarum obliquitatum vias duo pondera descendant fiantque declinationum et ponderum una proportio, eodem ordine sumpta, una erit utriusque virtus in descendendo».

клонов в выше принятом смысле, т. е. $\frac{e}{h} = \frac{dc}{da}$. Требуется доказать, что сила падения этих грузов одинакова. Построим прямую dk по наклону, равную dc, и на ней поместим груз i, равный грузу e. Представим себе, что грузы наши e и h и e и i соединены нитью и что они не находятся в равновесии, т. е. e опустится в l и потащит h в m, причем $hm=el$, или же, будучи связано с i, потащит i в n, причем $in=el$. Опустим из точек n и m перпендикуляры nz и mx на горизонталь ie и из точки e перпендикуляр er на горизонталь lt. Из подобия треугольников niz, diy и dbk получаем $\frac{nz}{ni} = \frac{dy}{di} = \frac{db}{dk}$; из подобия же треугольников mhx и dab — $\frac{mx}{mh} = \frac{db}{da}$; отсюда получаем $\frac{mx}{nz} = \frac{dk}{da}$, а так как, по условию $\frac{i}{h} = \frac{dk}{da}$,

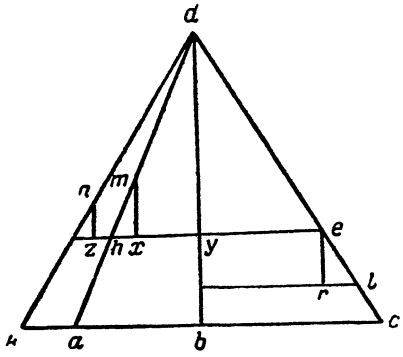


Рис. 22

получаем $\frac{mx}{nz} = \frac{i}{h}$. Но мы знаем по предыдущей теореме, что равные веса на равных наклонах равны и что, следовательно, груз e, опускаясь на er, не может поднять равный ему груз i на nz, а из этого и из нашей пропорции следует, что он не может поднять и вес h на расстояние mx, а следовательно наше предположение неправильно, и грузы e и h, удовлетворяющие условию $\frac{e}{h} = \frac{dc}{da}$, находятся в равновесии, что и требовалось доказать. И в этом доказательстве присутствует, хотя и в достаточно скрытом виде, как правильно подчеркивает Дюхем, представление об обратной пропорциональности веса и пути, т. е. перипатетический закон приобретаемого движения,

и оно, как и предыдущее, не имеет никакой органической связи с аксиомами, сформулированными в предисловии к трактату, и со всем началом его вплоть до седьмой теоремы.

На седьмой теореме кончается первая книга трактата и начинается вторая, являющаяся прямым и непосредственным продолжением седьмой теоремы. Действительно, седьмая теорема, соответствующая девятой теореме первого-второго вариантов, дает первый подход к задаче весомого рычага, или к задаче римских весов. Одиннадцатая теорема, почти в точности соответствующая десятой первого-второго вариантов, дает логически следующее решение задачи, которой занимались авторы трактатов «Книга Карастуна» и «De canonio», — задачи, на каком расстоянии надо подвесить на меньшем плече неравноплечных весов данного веса данный груз, чтобы он уравновесил большее плечо. Следующие затем десять теорем второй книги трактата решают, так же как и одиннадцатая, частные задачи на разные случаи физических и геометрических весов, в которых нужно определить одну величину (длину плеча, вес) из данных других. Приведем для примера формулировку наудачу взятой восемнадцатой теоремы: «Если дано отношение длин плеч и дан груз, подвешенный на конце короткого плеча, или в каком-то другом месте его, или два груза, один в конце, а второй в другом месте, причем грузы эти поддерживают весы в равновесии, то можно определить вес самих весов».[1]

Все эти одиннадцать теорем совершенно однотипно сформулированы и решаются путем простейших операций над пропорциями, устанавливающими соотношение веса коромысла весов, длин его плеч и грузов, подвешенных на них; они представляют собой полную параллель к рассмотренным нами выше частным задачам на весомые весы, встречающимся в качестве продолжения основного текста во многих арабских текстах

[1] «Si sectiones librae sunt ad invicem datae pondusque datum in termine brevioris, sive in sectione dependens, vel etiam duo pondera data alterum in termino, alterum in sectione appensa, regulam in aequidistantiam constituant, ipsa quoque in pondere data erit».

«Книги Карастуна», к которым они с большой степенью вероятности генетически и восходят.

Будучи помещены в тексте трактата, как нарочно, рядом с наиболее интересными и глубокими теоремами, имеющими, с нашей точки зрения, большое принципиальное значение, они являются не более чем математическими забавами, головоломками на механические темы, не дающими ничего ни для теории, ни для практики. Это нам кажется разительным подтверждением высказанного выше положения о чисто спекулятивном характере средневековой механики и о невозможности для нее, не опиравшейся на критерий практического опыта, отобрать ценное, даже чисто теоретически, от мелкого и случайного.

Третья книга трактата опять возвращает нас к изложению, как бы оборванному в конце первой книги, к рассмотрению коленчатого рычага и наклонной плоскости. Но теоремы третьей книги подходят к этому вопросу несколько иначе, да к тому же в имеющемся в нашем распоряжении издании Курция Трояна столь радикально искажены, что разобраться в них почти невозможно. Впрочем, и рукописный текст этих теорем, повидимому, не слишком ясен, так как ни Дюхем, ни Марколонго не дают изложения этих доказательств. Попытаемся все же восстановить хотя бы основные линии этих доказательств.

Первая теорема, по существу, повидимому, основная (в печатном тексте это questio 23), подходит к задаче коленчатого рычага как будто с совсем новой стороны: она устанавливает, что если на стержне, вращающемся вокруг центра, помещенного на перпендикуляре к этому стержню, в любом месте будет висеть любой вес, то вес этот не сможет повернуть этот стержень в вертикальное положение, или, что то же самое, этот вес не сможет достигнуть вертикали, проходящей через центр вращения. [1]

[1] «Si supra regulam in perpendiculo contra motus posito quantumlibet pondus utralibet parte dependeat, non erit possibile illud usque ad directum centri descendere».

Решение этой, как будто частной задачи приводит автора вплотную к формулировке условия равновесия коленчатого рычага. Рассуждает он так.

Мы имеем (рис. 23) находящийся в равновесии стержень *abc*, вращающийся вокруг точки *d*, и *db* — перпендикуляр из этой точки на *abc*. Теперь предположим, что *a* тяжелее, чем *c*, и что под действием *a* стержень *abc* наклонится. Продолжим *ad* до точки *e*, отвечающей условию, что $\frac{de}{da} = \frac{c}{c}$, и поместим в точке *e* груз, равный *c*. Тогда для равновесия условно рассматриваемого нами коленчатого рычага *edc*, на концах которого укреплены равные грузы, необходимо, чтобы вес *e* так же отстоял от вертикали, как от нее отстоит *c*, а так как *a* находится на той же прямой, что и *e*, то оно хотя и будет находиться ближе к его вертикали, но все же никогда не совпадет с ней. В приведенном выше доказательстве, с возможной точностью передающем содержание чрезвычайно неясного и, повидимому, испорченного текста, многое не договорено и непонятно; так, неясно, зачем введена пропорция $\frac{de}{da} = \frac{a}{c}$, непонятно, почему, собственно, *a* не может достичь *db*, но основной ход мысли и характер доказательства вполне ясны. Как во второй книге мы имеем ряд частных задач на прямолинейный рычаг, так и здесь имеется частная задача на рычаг коленчатый, задача, свидетельствующая о том, что понятие о моменте сил, т. е. о произведении величины силы на ее расстояние от вертикальной оси, уже вполне освоено автором трактата или, вернее, автором данной его части и что доказательство связанных с этим понятием положений ведется геометрически-алгебраическим путем, особенно ярко проявившимся в последних теоремах первой книги.

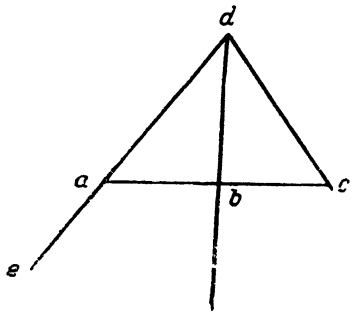


Рис. 23

Следующие три теоремы (24-я, 25 и 26-я печатного издания) также представляют собой частные задачи на прямолинейный, подвешенный вне своей оси стержень, сводимый к рычагу коленчатому. Так, вторая теорема (24-я) гласит: «Если известно расстояние центра от середины стержня и длина последнего, а также веса, укрепленные на его концах, и вес самого стержня, то можно определить наклон стержня».

Третья теорема (25-я) доказывает, что если центр вращения стержня будет расположен под его осью, то равновесие его будет неустойчивым. Четвертая (26-я) теорема, наиболее непонятная в данной связи, утверждает, что если к находящемуся в равновесии стержню на равных расстояниях по обе стороны оси подвесить любые равные грузы, то он останется в равновесии. Как сказано уже, все эти теоремы доказываются путем сведения задания к коленчатому рычагу и являются как бы упражнениями на применение основной теоремы, доказанной в первой книге.

Таким же упражнением, но только несколько более развернутым и более принципиально важным является и пятая теорема третьей книги (27-я печатного издания). Формулировка этой теоремы такова:

«При поднятии любого весомого тела из горизонтального в вертикальное положение, зная длину опоры, можно определить вес (конечно, «secundum situm») поднимаемого тела».[1]

Доказательство этой теоремы сравнительно длинно и обстоятельно, но, как увидим ниже, оно оказало особенно сильное влияние на Леонардо да Винчи; кроме того, оно не было разобрано ни одним из исследователей. Поэтому мы передадим его ход, по возможности сокращая отдельные детали:[2]

[1] «Quodlibet ponderoso ab aequalitate ad directionem elevato secundum mensuram substinentis in omni positione pondus ipsius determinari est possibile».

[2] Мы считаем необходимым обратить внимание на то, что как самое доказательство, так и сопровождающий его рисунок нам понятны далеко не полностью. Приводим же мы его ввиду чрезвычайной характерности хода мысли автора.

Пусть мы имеем (рис. 24) весомое тело ab, равномерное по толщине и по весу, и пусть конец b его будет шарнирно укреплен, а конец a поднимается наверх до вертикального положения bc. При этом конец a будет описывать четверть окружности ac. Разделим дугу ac пополам и получим точку d; при нахождении в ней конца a тело находится в среднем положении между горизонталью и вертикалью. На нижней половине дуги ac возьмем некоторую точку e, при нахождении в которой конца a он будет подперт длиной перпендикуляра из точки e на ab, т. е. el. На верхней половине дуги ab возьмем точку f, причем $df=fc$, и пусть fr—длина опоры его. Груз a, поднимаясь по дуге ac от a к c, делается постепенно более легким—«secundum situm». Почему, — здесь не объясняется, но, очевидно, по четвертой и пятой аксиомам, выставленным в предисловии. Конец a, находясь в e, будет весить столько же, как и находясь на радиусе db, но в точке h, являющейся точкой пересечения db, с горизонталью из e, так как $hg=el$. Если окажется теперь, что g будет находиться в середине ab, тогда опора hg будет поддерживать вес, равный ab, ибо так как угол abd равен 45°, то $hg=gb$ и вес bd в d будет относиться к весу ba в a, как $\frac{bk}{ba}$, а вес bd в d к весу того же bd в h, как $\frac{bg}{bk}$, и, следовательно, $\frac{bg}{bk}=\frac{bk}{ba}$ $\left(\text{так как } gb=\frac{ab}{2}\right)$. Если же g будет находиться ближе к b, то в h будет находиться вес больший, чем в a, и если ближе к a — вес меньший, чем в a, а из этого заключаем, что a может быть меньше, больше или равно величинам e или d в зависимости от величины el, т. е. подпора, и ее соотношения с

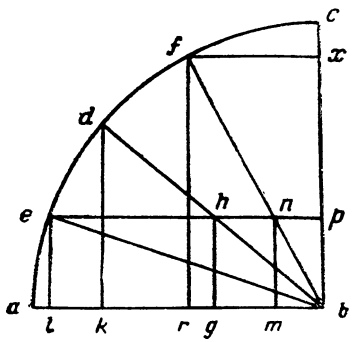


Рис. 24

величиной ab. Если мы теперь возьмем положение bf и точку n — пересечения ее с горизонталью из e — и опустим из f перпендикуляры fx на ось bc и fr на ось ba, то получим, что $\frac{\text{вес } eb}{\text{вес } fb} = \frac{lb}{rb}$ или $= \frac{xb}{pb}$. Кроме того, вес fb в n так относится к весу fb в f, как $\frac{fb}{nb}$ или как $\frac{fb}{mb}$, а так как $\frac{xb}{pb} = \frac{rb}{mb}$ (по подобию треугольников), то, следовательно, вес eb так относится к весу fb, как вес fb в n к его же весу в f. Следовательно, eb в e весит столько же, сколько fb в n. Ни Дюхем ни Марколонго не разобрали сколько-нибудь подробно этой теоремы, но оба считали, что она является доказательством условия равновесия коленчатого рычага. Однако уже приведенное выше показывает, что это вряд ли правильно. Условия равновесия коленчатого рычага, или (условно выражаясь) понятие момента — обратная пропорциональность грузов и их расстояний до вертикальной оси, скорее предполагаются известными, чем доказываются в данной теореме, задача которой как будто заключается в том, чтобы показать, какая часть веса наклонного стержня находится в его верхнем, подпертом конце, что правильно отметил подробно изложивший теорему Шустер. Задача эта разбирается весьма запутанно и сбивчиво и не получает общего решения, да и формулировка теоремы требует только доказательства того, что вес при любом наклоне может быть определен.

Однако, как вполне справедливо и притом очень тонко отметил Шустер, уже в пропорции, вводимой автором в качестве само собой разумеющейся и не требующей особого доказательства,—пропорции $\frac{\text{вес в}d}{\text{вес в}e} = \frac{bk}{ba}$, содержится вполне правильное определение нормальной к направлению балки реакции верхней опоры, так как из этой пропорции получаем вес $ed =$ $=$ вес вa. $\frac{bk}{db} =$ вес вa. $\frac{ab}{2}$. cosα (где α — угол, образуемый направлением балки с горизонталью), что вполне правильно

Однако это правильное соотношение, которое, казалось бы, и должно было служить целью доказательства, удивительнейшим образом принимается как известное и служит базой для сложных и довольно бесполезных размышлений, не приводящих к окончательному выводу.

Но и в такой постановке вопроса самый факт его возникновения исключительно важен и интересен. Представляя собой, повидимому, не более как один из вариантов возможных и весьма разнообразных задач на закон рычага, задач, решавшихся в XIII в. для гимнастики ума и для абстрактного познания абстрактной истины, он в то же время вплотную подводит к новым результатам, могущим при другой общей постановке вопроса оказаться не только теоретически интересными, но и практически применимыми; но дальше подведения вплотную, и притом подведения, хотя и систематического, но все же случайного, дело не идет. Предполагать, что мы имеем уже в данной теореме следы каких-то практических, технических запросов, было бы совершенно неправильно, — слишком резко противоречит этому и весь склад трактата, и особенно самая формулировка теоремы. Что же касается доказательства ее, то оно ведется тем же геометрически-алгебраическим методом, в котором выдержаны все теоремы третьей книги и последние теоремы первой книги трактата, с применением, хотя и случайным и невыдержанным, понятия «gravitas secundum situm».

Последняя теорема третьей книги (28-й в печатном издании) дает, повидимому (она весьма сжата и сформулирована неясно), опять-таки решение одной частной задачи на теорию рычага, задачи, напоминающей первые теоремы второй книги, но применяемой не к весомому прямолинейному рычагу с подвешенным грузом, а к весомому стержню без подвешенных грузов. Текст ее таков:[1]

---

[1] «Pondus non in medio descendens (в рукописи — dependens) breviorem partem secundum proportionem longioris ad ipsam gravitatem redditur (в рукописи — graviorem facit)».

«Вес, подвешенный не в середине (очевидно, весов), делает тяжелее более короткую часть, согласно отношению более длинной части к ней (т. е. к короткой)».

Теорема (если принять за правильный рукописный текст, а печатный счесть испорченным, что доказано по отношению ко многим местам в нем) оперирует со следующим уравнением для неравноплечного стержня *abc* (рис. 25):

$$\frac{ab}{bc} = \frac{\text{вес в}}{x},$$

т. е. определяет больший вес, если даны меньший и длины плеч. Доказательство этой теоремы настолько испорчено в печатном тексте, что восстановить его невозможно. Но, независимо от этого, мы в данной теореме имеем то же, что и в предыдущих: решение частного случая, не поднимающееся до общей формулировки, но довольно близко подходящее к понятию момента — произведения веса на плечо.

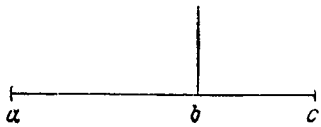


Рис. 25

На теореме 28-й кончается третья книга трактата, и изложение его опять обрывается, переходя совсем к другим сюжетам и методам доказательства. Четвертая книга целиком посвящена перипатетическим основам механики. Не формулируя ни одного из законов движения, данных в «Физике» Аристотеля, она дает как бы комментарий к отдельным элементам этих законов и разбирает их составные части, причем разбирает чрезвычайно нестройно, давая им отдельные объяснения, не складывающиеся в цельную систему.

Основными достоинствами аристотелева учения о движении, которым оно обязано своим многовековым существованием, были простота и стройность системы, основанной на немногих простейших пропорциональностях. Пропорциональности эти легли, как мы видели выше, в основу механических построений, разбиравшихся нашим трактатом. Но, по традиции, опираясь

во всех или почти всех своих доказательствах на аристотелевы формулировки и на понятие «gravitas secundum situm», — непосредственно из них вытекающее, автор трактата уже настолько привык к более сложным формам физического мышления, что грубо упрощенные перипатетические формулировки его теперь не удовлетворяют. Он начинает разлагать их на составные части, внимательно рассматривать каждую, пытается доказать и обосновать ее, а следовательно предполагает возможным и несогласие с ней, чем подрубает тот сук, на котором держится все его учение. Действительно, если при рассмотрении отдельных элементов перипатетических основ механики один или несколько элементов окажутся опровергнутыми, то под все здание придется подводить новый фундамент. Само собой разумеется, что автор нашего трактата этого совершенно не сознает. Он только ясно чувствует недоказанность основных положений аристотелевой механики, составляющих неотъемлемую часть взращенной на другой исторической почве идеологической системы, и пытается дать им доказательства, соответствующие тому критерию научности, который выставила современная ему действительность, радикально отличная от античной.

Доказательства 15 теорем этой четвертой книги не были разобраны ни одним из исследователей, считавших их неважным дополнением к важной работе. Это мнение, однако, вряд ли правильно. Именно в критике, во внимательном и детальном разборе перипатетических основ механики, лежал ключ к ее дальнейшему радикальному развитию, что, очевидно, инстинктивно чувствовал автор, присоединивший, правда довольно внешне и неорганично, свои последние 15 теорем к изложению, принимающему эти основы на веру.

Формулировки теорем весьма кратки и лаконичны. Первые девять из них рассматривают различные стороны воздействия среды на движение весомых предметов, движение как естественное, так и приобретаемое. Так, первая теорема этой группы гласит: «Всякая среда затрудняет движение (omne medium impedit motum)»; вторая — «Чем тяжелее среда, через кото-

рую тело проходит, тем труднее опускание (quo ponderosius est pro quod fit transitus, eo in transiundo difficilior fit descensus)»; третья — «То, что более плотно, больше поддерживает (quod majus coheret, plus substinet)» и т. д.

В связи со средой излагаются вопросы падения тел разной формы и вопросы ускорения, в этой же связи рассматривавшиеся, как мы упоминали, и Аристотелем. Наиболее важны и интересны здесь теоремы шестая, седьмая и восьмая, которые мы и рассмотрим в качестве образцов. Шестая теорема (в печатном издании 34-я) гласит: «Чем больше опускается предмет и чем он тяжелее, тем более быстрым делается его опускание (res gravior quo amplius descendit eo fit descendendo velocior)».

Доказательство же ее (если это можно назвать доказательством) таково: доказано, что более плотная среда сильнее действует на движение; весомое же тело, опускаясь, тянет за собой верхние слои среды и толкает нижние, вследствие чего в среде распространяется движение, и она меньше препятствует ему, поэтому движущееся тело становится более тяжелым и еще более усиливает то же действие. Так, получается, что тяжесть его, вследствие воздействия верхних слоев, усиливается, и движение его увеличивается этой тяжестью, почему и скорость его должна непрерывно увеличиваться.[1]

Еще более коротко доказательство следующей, седьмой (35-й) теоремы: «Форма весомого тела изменяет силу веса» (forma ponderosi mutat virtutem ponderis)».

Доказательство это буквально следующее: «Ибо если оно остро и тонко, оно легче проходит и потому, можно сказать, легче разделяет (среду) и делается более легким, испытывает меньшее сопротивление и потому летит скорее, чем если бы оно было тупым».

В таком же духе выдержано и доказательство восьмой (36-й) теоремы. Приведем ее целиком:

---

[1] «Sicque fit ut illius gravitas tractu illorum (верхних слоев) adiuvantur et motus eorum gravitate ipsius augeatur, unde et velocitatem illius continue multiplicare constat».

«Если что-нибудь движется под действием импульса, то ясно, что оно гонимо; если же оно опускается под действием собственного движения (естественно), то, чем больше оно движется, тем становится быстрее; поэтому оно становится тяжелее и, следовательно, тем больше гонит движение по сравнению с тем, что было бы без движения, и чем дольше движется, тем больше». [1]

Последние пять теорем трактата посвящены разным частным и случайным вопросам вроде того, что «сила, толкающая тело, увеличивается от кружения его» (11—39), или: «то, что укреплено в середине, легче сгибается с краев». Наиболее интересны здесь последние две, гласящие: «более ударенное более плотно» (14—42) и «то, что имеет связанные между собой части, будучи ударено прямым движением, отскакивает по прямой линии». Длинное и достаточно запутанное доказательство последней теоремы основано на разобранных уже нами свойствах сопротивления среды и распространения движения в этой среде.

Даже столь сжатое рассмотрение четвертой книги третьего варианта трактата Иордана показывает нам с полной ясностью и несомненностью, как внимательно и пристально рассматривались отдельные элементы основных положений учения о движении, сформулированных Аристотелем и неоднократно подвергавшихся затем толкованиям и критике со стороны комментаторов (вспомним Филопона), но все же оставшихся в своих основных чертах незыблемыми. С другой стороны, мы в самом этом внимательном рассмотрении должны констатировать отсутствие какой бы то ни было единой системы — беспорядочный эклектизм, свидетельствующий о том, что автор, чувствуя необходимость пересмотра перипатетических основ механики, еще не ясно видит позиции, с которых эта переработка должна

[1] «Omne motum plus movet — si quid ex implusi moveatur, certum est quod impelletur si autem motu proprio descendat, quo plus movetur, velocius fit, et eo ponderosius ad quae plus impellit motum, quam sine motu, et quo plus movetur, eo amplius».

вестись. Действительно, утверждая в шестой (34-й) теореме, что ускорение свободно падающего тела должно быть объяснено усиливающимся разрезыванием и давлением среды, он, несколько видоизменяя его, переносит на естественное движение то объяснение, которое Аристотель давал движению приобретаемому (передача движения через постепенно приходящие в движение слои воздуха). В восьмой же (36-й) теореме, утверждающей, что каждое движение увеличивает движение, уже существующее, автор как будто бы определенно становится на точку зрения выдвинутой Иоанном Филопоном теории «импето» — ускорения движения, вызываемого самим движением. Вся эта последняя часть трактата свидетельствует о том, что настало время систематического пересмотра самых основ механики Действительно, как мы увидим ниже, этот пересмотр является одной из наиболее распространенных тем, разрабатываемых физически-философской мыслью позднего феодализма, чем подготавливается почва для радикальной перестройки всего здания механики.

Однако, прежде чем рассмотреть эту критику, мы попытаемся дать краткую характеристику рассмотренных нами трех вариантов трактата, приписываемого Иордану Неморарию. Первый, наиболее стройный и монолитный, представляет собой попытку вывести всю механику из нескольких аксиом, базирующихся исключительно на данном Аристотелем законе естественного движения; по методу доказательств он носит физическо-философский характер. Второй, значительно более эклектичный и нестройный, старается вообще отказаться от аксиом, доказать все, кроме, конечно, основных законов движения, причем, основываясь, как и первый, главным образом на законе естественного движения, он иногда использует и закон движения приобретаемого. Доказательство этого варианта носит подчеркнуто геометрический характер. Наконец, третий вариант наиболее эклектичен и составлен из наиболее разнородных частей. Начинаясь с аксиом, базирующихся на законе естественного движения, он затем переходит к доказательствам, совершенно (или почти совершенно) с этими аксиомами не связанным,

доказательствам иногда блестящим, но совершенно выпадающим из построения. Решая ряд чрезвычайно разнокалиберных частных задач, он завершается попыткой пересмотра лежащего в основе его учения о движении. Метод доказательства его в основном алгебраическо-геометрический.

Все эти три варианта как своими общими чертами, так и различиями дают возможность познакомиться с различными путями, по которым шло в средние века освоение античного и арабского механического наследия; каждый из этих путей по-своему перерабатывает это наследие, либо пытаясь выстроить из его материала новую стройную систему, либо, наоборот, разрабатывая отдельные элементы его, приходящие в результате в резкие противоречия друг с другом. Последний путь, более трудный, изобилующий разного рода лабиринтами и ловушками, был, конечно, более прогрессивным, обещающим большее будущее.

К сожалению, мы, при современном состоянии науки, не можем определить, каков был исторический субстрат этих разных направлений в феодальной механике. Мы можем только высказать ничем не подкрепленное предположение о том, что первое, условно выражаясь — конструктивное, направление было выражением чаяний и идеалов более консервативных, более строго феодальных слоев университетской и монастырской науки. Направление же критически-разрушительное было выражением идеологии передовых университетских кругов, связанных с начинающими формироваться в крупных городах раннебуржуазными элементами. Правильна ли эта гипотеза или нет, должно будет показать дальнейшее изучение вопроса, но, во всяком случае, неоспоримо то, что в каких-то слоях средневековой европейской науки уже с XIII в. началась критика самих основ античной науки, и в частности механики. Само собой разумеется, что, поскольку основы эти были наиболее полно и выпукло сформулированы Аристотелем, критика эта должна была начаться и действительно началась с изучения и комментирования его «Физики» и «О небе», в которых эти основы были наиболее четко сформулированы.

§ 4. КРИТИКА ПЕРИПАТЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ МЕХАНИКИ

«Физика» Аристотеля, известная до того времени исключительно из вторых или даже третьих рук, была переведена на латинский язык в первой трети XII в.[1] Это было время, когда феодальная система начинала приобретать свои классические формы, когда наряду с сельским поместьем и феодальным замком все бóльшую роль начинает играть цеховой, условно выражаясь — буржуазный, город, когда в крупных городских университетах, в первую очередь в Парижском, и в монастырях расцветает пышным и своеобразным цветом схоластическая теология и составляющая органическую ее часть схоластическая наука. Первый перевод аристотелевой «Физики», что чрезвычайно интересно и показательно, делается не с греческого оригинала, а с арабского перевода, и притом на территории, находящейся под сильным арабским влиянием: в Толедо, по распоряжению архиепископа Раймунда. Однако перевод этот, сделанный испанцем Доменико Гондисальви и крещеным евреем Иоанном Авендетом, не сыграл сразу же решающей роли. Проникнув в писания нескольких наиболее передовых теологов и ученых — Михаила Скотта, Тиерри Шартрского, Гильберта Порретанского, физические теории Аристотеля остаются чуждыми раннесхоластической науке, и только почти через сто лет начинается их постепеннсе, все более заметное победное шествие.

Тринадцатый век занимает совершенно особое место в историческом развитии Западной Европы — он представляет собой как бы кульминационный пункт европейского феодализма. Социальная, политическая структура общества в это время приобретает свои классические для феодализма формы. Та юридически фиксированная иерархия всенно-духовной верхушки, которая обыкновенно рисуется взору, когда произносится слово «феодализм», может быть только в XIII в. действительно

[1] P. D u h e m. Du temps où la scolastique latine a connu la physique d'Aristote. «Revue de Philosophie», 9-e année, 1909, pp. 163—178.

существовала. С другой стороны, нашедшее более или менее адекватные политические и юридические формы общество все с большей уверенностью выковывает адекватную себе идеологию. Теологическая, научная, художественная продукция этого времени столь богата и многообразна, что дает возможность ряду новейших исследователей говорить о своеобразном первом возрождении в области культуры, относимом к XII и XIII вв.[1]

Физические работы Аристотеля попали в бурный поток схоластических дискуссий не в чистом виде, а в обрамлении комментариев, в первую очередь арабских, являющихся, как мы видели, прямым продолжением комментариев позднегреческих. Поэтому естественно, что схоластическая наука, к XIII в. уже достаточно изощренная и носящая яркую печать своеобразия, сразу же, как только перипатетические физические учения вошли в ее обиход, приступила к продолжению дела переосмысления их; вспомним, что дело это уже довольно далеко продвинули греческие и особенно арабские комментаторы. Являясь выражением социальной структуры, пожалуй еще более специфически феодальной, т. е. чуждой античности, чем социальная структура арабских халифатов, схоластика начала еще глубже подкапываться под самые корни перипатетических учений, хотя не меньше, чем арабская наука, кстати и некстати клялась Аристотелем и выставляла учение философа из Сагиры как непререкаемый для себя авторитет.

Как и следовало ожидать, основной путь рассуждений схоластических ученых по поводу «Физики» Аристотеля не лежал на линии собственно физических или, в нашем круге вопросов, собственно механических проблем. Как и арабские коммен-

[1] Фактическим духовным отцом высокой оценки научной продукции XII и XIII вв. несомненно является неоднократно упоминавшийся нами Дюхем, выдвинувший данную концепцию для подкрепления своих воинствующе-католических воззрений.

В последнее время оценка эта,—может быть в еще более преувеличенном, чем у Дюхема, виде, — пропагандируется американской школой историков науки, в особенности Линном Торндайком и Чарльзом Хескинсом.

таторы, схоласты оставляют без внимания основные зависимости, определяющие элементарно количественным образом два основных вида движения — естественное и приобретаемое, но зато метафизические вопросы, лежащие в основе «Физики» Аристотеля, рассматриваются повсеместно и исключительно подробно. Что такое время, пространство, движение — вот основные вопросы, интересующие ученого схоласта, вопросы, вокруг которых развиваются бешеные споры, для разрешения которых пишутся сотни страниц и приводятся в движение все доступные феодальной науке аргументы, вплоть до отлучения от «святейшей католической церкви». Споры эти, подробно изученные и изложенные Дюхемом в его последних статьях[1], нередко характеризуются как пустые логические словопрения, бессмысленные и никому не нужные, а между тем фактически они, несомненно, сыграли большую положительную роль в деле

---

[1] P. Duhem. Le mouvement absolu et le mouvement relatif. Revue de Philosophie, 7-e, 8-e et 9-e années), и особенно Le temps et le mouvement selon les scolastiques (там же, 13-e et 14-e années, 1913—1914). Ввиду сравнительно большого числа схоластических комментариев к «Физике» Аристотеля, их трудной доступности и того неоднократно высказанного соображения, что подробное самостоятельное изучение их увело бы нас слишком далеко от нашей основной темы, мы базируем дальнейшее краткое изложение в основном на цитированных выше работах Дюхема. Но, считая невозможным говорить о столь важном явлении только из вторых рук, для проверки Дюхема и для дополнения мы привлекли два оказавшихся доступными нам сочинения: комментарий Иоанна Каноника, подробно разбираемый и Дюхемом (издание, имеющее следующий Explicit: «Expliciunt questiones profundissimi doctoris Johannis Canonici ordinis minorum super 8° libris physicorum Aristotelis. Padua impressi, 1475, die 25 mense Aprilis»), и комментарий значительно менее известного Иоанна Хердервика, опирающегося на Альберта Великого (издание с explicit: «Commentarii in octo libros physicorum Aristotelis Burse laurentianae famosissimi Agrippinensis Coloniae gymnasii processum continens per egregium virum artium liberalium doctissimum Johannem Herderwiccensem in eodem regentem ex diversis et potissimum divi Alberti magni cum vixit ratisponensi ecclesiae episcopi commentariis studiosissime elaborati... per honestum civem Henricum Quentell nitidissime Anno XCVIII super Millesimum et quadrigentesimum septimo calendas Junii impressi...»

создания современной науки. Утверждая это, мы отнюдь не солидаризируемся с Дюхемом, видящим в схоластической науке XII—XIII вв. корни чуть ли не всех достижений науки современной. Наоборот, как будет видно из дальнейшего, мы самым решительным образом боремся с дюхемовской точкой зрения, но считаем нецелесообразным, отказываясь от преувеличенной оценки схоластической науки, умалять ее заслуги, которых не мог не иметь столь продолжительный период развития европейской культуры. Mutatis mutandis, сказанное Марксом относительно социальной и политической структуры феодализма, может быть отнесено и к его науке: будучи первоначально и довольно долго значительно ниже по своему уровню, чем наука античная, она в то же время таила в себе такие возможности развития, которых последняя не знала.

Если мы, таким образом, без предвзятого мнения, подойдем к средневековым комментариям к «Физике» Аристотеля и попытаемся понять, чем они были вызваны к жизни, то увидим в них в еще более яркой и определенной форме, чем в комментариях арабских, большую работу критической мысли, иначе направленной, иначе подходящей к своему объекту, чем философски-научная мысль античности. Описательный эмпиризм античных построений, находящий адекватное выражение в геометрическом характере всей античной математики и механики, был неприемлем для совершенно иной социальной структуры средневековья. Монах в мрачной келье монастыря севера Европы, видящий вокруг себя сложную сеть феодальных отношений с крестьянами и баронами, горожанами и духовенством, королями и папами, не мог воспринимать внешний мир так же, как свободный земледелец и рабовладелец маленького греческого города, между залитыми солнцем колоннами акрополя. Естественно поэтому, что феодальная наука начинает освоение научного наследия античности с его основных понятий.

Одним из центральных объектов критики механических высказываний «Физики» Аристотеля является в XIII — начале XIV в., как мы уже упоминали, спор о сущности времени и движения. В этом споре намечаются три точки зрения: первая,

представленная школой реалистов во главе с Дунсом-Скоттом, считает движение и время самостоятельно существующими, текучими, последовательными реальностями. В нормальном местном движении, согласно этой школе, следует различать самостоятельные реальности трех видов: первая — само движущееся, вторая — «ubi» («где»), т. е. изменение в месте этого движущегося, и, наконец, самое движение. Наиболее ярко и полно точка зрения Скотта высказана в цитированном нами выше сочинении Иоанна Каноника.

Вторая точка зрения выражена в комментариях Григория из Римини. Она категорически отрицает самую возможность существования текучих, последовательных реальностей и, следовательно, не признает движения такой реальностью. В нормальном местном движении, согласно этой теории, следует различать две самостоятельные реальности — движимое и место, части которого постепенно захватывает движение.

Наконец, третья точка зрения принадлежала номиналистам во главе с Вильгельмом Оккамом, также решительно отрицавшим существование текущих реальностей и, следовательно, не признававшим самостоятельной реальности движения, но считавшим движение только условно выбранным словом, обозначающим некое сочетание понятий, среди которых должно обязательно существовать движимое тело, но не обязательно место движения.

Легко убедиться в том, что приведенный выше в схематическом виде спор о сущности движения имеет весьма мало общего с механикой, и в то же время он и подобные ему, несомненно, оказали серьезнейшее влияние на ее развитие. Сосредоточение внимания на отдельных основных понятиях механики, подробный и детальный разбор их вне связи со всей системой натурфилософии Аристотеля, но в тесной связи с новым теологически-эманационным мировоззрением феодальной схоластики, вырывает эти основные понятия из того органического целого, в котором они, во всех их вариантах, составляли главную составную часть. Продолжается весьма интенсивно та работа над разрушением античной науки как системы, при сохранении

отдельных ее элементов, которая была начата уже эллинистическими учеными и продолжена комментаторами. Феодальная наука принимается за дело, может быть, более грубо, но и более радикально, берясь сразу же за самый корень, за основные понятия, оставшиеся почти не тронутыми эллинистической наукой и значительно более робко разбираемые поздними комментаторами. С другой стороны, как мы уже упоминали, самый подход схоластических ученых к предмету принципиально отличен от подхода их предшественников, кроме, может быть, арабских представителей тоже феодальной культуры. Подход этот более абстрактный, отвлеченный, что составляет и его постепенно отмечаемые минусы, и его редко отмечаемые плюсы. Действительно, переводя полнокровные и эмоционально окрашенные, при всей своей схематической стройности, образы античной физики в сухую, совершенно лишенную наглядности сферу логических дистинкций, копаясь в метафизических тонкостях, доводя каждое высказывание до логического конца, схоласты как бы заостряли свой ум. Они давали ему возможность подойти к объяснению наблюдаемого мира не при помощи простейших формул, выведенных просто из элементарных наблюдений, связывающих отдельные их элементы между собой только простейшим соотношением пропорциональности, а путем более глубокого проникновения в сущность наблюдаемых явлений, не всегда совпадающую с видимой внешностью этих явлений. Сущность эту феодальная наука искала не там, где ее надо было искать; она устанавливала связи не с теми цепями явлений, с которыми надо было их устанавливать, ибо она еще в большей мере, чем наука античности, не имела в технической практике пробного камня истинности своих научных построений, но самый подход не к видимости, а к внутреннему механизму явления был, несомненно, ее заслугой. Здесь мы отмечаем то же, что отмечали, характеризуя арабскую механику с ее алгебраическим подходом, заменяющим античный геометрический подход, и констатируем ту же, повидимому органически свойственную науке феодального общества струю абстрактного мышления, которая, влившись в широкий поток античной

науки и по-своему трансформировав его, создала предпосылки для рождения науки современной.[1]

Схоластические комментарии к аристотелевой «Физике» дошли до нас в очень значительном количестве — их существует несколько десятков, начиная с XIII и кончая XVII и даже XVIII в.

В этом отношении средневековая наука находится в положении, значительно лучшем, чем наука античная, донесшая до нас, как мы видели, только незначительные осколки своих научных построений. Самое это количество, страстность споров между представителями отдельных школ показывают, насколько научно актуальным было в то время обоснование фундаментальных положений физики, и в первую очередь механики, насколько ясно ощущалась средневековой наукой потребность в пересмотре этих положений, завещанных наукой античной.

Мы привели спор о сущности движения как один из основных, занимавших схоластическую физику вопросов, наиболее ярко вскрывающих ее научную природу, но этим спором не исчерпывалась критика античных основ механики. Значительная часть положений, выдвинутых ею, подвергалась рассмотрению в том или ином сочинении или группе сочинений. Среди этих положений, разбор которых, хотя бы в сколько-нибудь значительной части, совершенно невозможен в рамках нашей работы, мы выделим те положения, которые представляют собой действительный фундамент всей античной механики, положения, характеризующие два основных вида движения — естественное и приобретаемое, т. е. вопрос об ускорении падающего тела и вопрос о причинах движения тела брошенного. Оба этих вопроса усиленно дебатировались схоластическими

[1] К сожалению, роль и значение средневековой науки в развитии науки современной еще очень мало оценены и почти не изучены. Наиболее ценными остаются работы Дюхема, к которым примыкают исследователи американской школы, уже упомянутой нами выше: Сартон, Торндайк, отчасти Хескинс.

физиками, которые, однако, совершенно не пытались подойти к количественной характеристике обоих движений, хотя бы столь же поверхностной, как даваемая Аристотелем. Они бились только над вопросами причинности явлений и, давая более или менее убедительное объяснение, считали свою научную функцию законченной.

Мы видели выше, что ускорение естественно падающего в воздухе тела получило ряд толкований уже в античности и что поздние комментаторы аристотелевой «Физики» поддерживали и развивали античные толкования. Средневековая наука подхватила эту цепь и стала пересматривать все доводы и соображения, приводившиеся для объяснения ускорения.[1]

Выше (см. стр. 27) мы кратко охарактеризовали три основные точки зрения, принятые античными авторами и развитые затем комментаторами: одна объясняла ускорение увеличением стремления к своему естественному месту, вторая — уменьшением сопротивления среды и, наконец, третья, наименее распространенная, — уменьшением противодействия, державшего падающее тело вне его естественного места. Все эти три точки зрения нашли представителей и защитников и у схоластов, часто соединявших (а нередко и перепутывавших) отдельные их элементы, предлагавших различные варианты, а позже начавших выдвигать собственные объяснения.

Наиболее канонически-перипатетической, а потому широко распространенной в ранней схоластике XIII в. и при возрождении аристотелизма в XV—XVI вв. была первая, наиболее близкая к не вполне ясным высказываниям Аристотеля и наи-

[1] Ниже мы используем, сокращая во много раз и пытаясь привести в некий логический порядок, те исключительно богатые и ценные материалы, а частично и соображения, которые приводит Дюхем в томах II и III «Études sur Léonard de Vinci», Paris, A. Hermann, 1913. Это трехтомное сочинение представляет собой настоящий кладезь до сего времени не превзойденной учености, но приводимые им данные расположены столь хаотично и освещены столь пристрастно, что изучающий его впервые читатель обыкновенно остается обескураженным. Работа над этим громадным исследованием часто бывает не более легкой, чем работа над каким-нибудь трактатом XIII в.

более четко и последовательно развитая в комментарии Темистия. Этой точки зрения полностью придерживается Альберт Великий, и ее же, правда далеко не в чистом виде, проповедует Фома Аквинский. Эту же теорию воскрешают в начале XVI в. итальянские перипатетики Нифо и отчасти Помпонаци.[1]

Несмотря на то, что уже Аверроэс более или менее определенно возражал против такого объяснения ускорения, вполне ясное и развернутое опровержение оно получило только в конце XIII в. в писаниях Ричарда Мидлетона.[2] Последний привел против нее довод, многократно затем повторяемый: если взять два тела равного веса и формы и дать им упасть с разной высоты, причем второе пустить в тот момент, когда первое достигнет его уровня, то они достигнут земли с разной скоростью, что противоречит утверждению Аристотеля-Темистия об увеличении силы притяжения по мере приближения к естественному месту. Нанеся смертельный удар первой из названных нами теорий, Ричард сам принимает вторую, объясняя ускорение влиянием среды, но не так просто, как античные авторы, сводившие все к уменьшению слоя сопротивляющегося воздуха по мере падения, ибо против этого объяснения оставалось бы в силе только что приведенное возражение. Он приводит в измененном виде то соображение, которым древние авторы объясняли движение брошенного тела, т. е. принимает во внимание увеличение воздействующей на падающее тело силы, вызываемой движением среды, через которую оно ладает.

В конце XIII — начале XIV в. находит применение также третья из условно выделенных нами античных теорий, объясняющая ускорение постепенным отмиранием силы, противодействующей естественному движению до его начала. Этой точки зрения придерживались, например, Эгидий Римский и

[1] P. Duhem. Études, 3-me série. La tradition de Buridan et la science italienne au XVI s., pp. 115 sqq.

[2] P. Duhem. Op. cit., pp. 74—77. Clarissimi theologi Magistri Ricardi de Media Villa Seraphici ord. min. convent. Super quatuor libros Sententiarum Petri Lombardi. Questiones subtillissimae... Brixiae... M. D. XCL, lib. II, dist. XIV, art. III, quaest. IV, t. II.

особенно Вальтер Бурлей[1] — авторы начала XIV в. Однако к середине XIV в. на сцене появляется новая теория, не только заимствующая отдельные элементы из теорий, приведенных выше, но и вносящая в них существенно новые черты. Разбирая кратко объяснения античных авторов по вопросу о полете брошенного тела, мы упоминали об одной теории, которая приписывала этот полет (после отрыва от двигателя) воздействию некоей добавочной силы, называемой «импето». Теория импето, повидимому мало распространенная в классической античности, была далее развита, но также для брошенного тела, комментатором Аристотеля Иоанном Филопоном.[2] Основатель школы номиналистов Вильгельм Оккам[3] резко и со свойственной ему радикальностью утверждал, что для продолжения и, следовательно, увеличения движения вообще нет необходимости предполагать наличие двигателя, непосредственно воздействующего на движущееся тело. В школе номиналистов и выросло самое передовое объяснение ускорения, сформулированное наиболее рано и, повидимому, наиболее полно Иоанном Буриданом, парижским ученым середины XIV в.[4] Буридан, подробно, как мы увидим ниже, разобрав и развив теорию «импето» в применении к движению брошенного в воздух тела, т. е. к движению приобретаемому, предложил объяснять этим же или, вернее, подобным же импето ускорение тела, падающего естественно; это ускорение по мере падения приобретает некую до-

[1] P. Duhem. Op. cit., pp. 77—90. Egidii Romani in libros de physico auditu Aristotelis commentaria... Venetiis per Bonetum Locatellum. 1502. — Burleus — Super octo libros physicorum... Venetiis. Anno salutis nonagessimo supra millessimum et quadringentesimum.

[2] P. Duhem. Op. cit., vol. II, pp. 189—191. Johannis Grammatici cognomento Philoponi Eruditissima commentaria in primis quatuor Aristotelis de naturali auscultatione libros, lib. IV.

[3] P. Duhem. Op. cit., vol. II, pp. 192—193. Magistri Guilhelmi de Ockam Anglici — super quatuor libro Sententiarum subtilissimae quaestiones earumqueuec decisiones — libri sndi quaestiones XVIII et XXVI.

[4] P. Duhem. Etudes cit., vol. III, pp. 34—47 и pp. 89—90; Magistri Johannis Buridan. Questiones totius libri physicorum (ms. Bibl. Nat. — fonds lat. ms. 14723, foll. 106. cd. a, 107 cd. b, 95 ed. b. и 92 cd. d).

бавочную, постепенно увеличивающую его силу импето. Слова Буридана, в которых он вводит это понятие для естественного движения тела, звучат так: «Это (импето) также является, по-видимому, причиной, по которой естественное падение весомых тел беспрерывно ускоряется, ибо в начале этого падения двигала тело одна тяжесть, почему оно падало медленнее, но скоро эта тяжесть запечатлевает некий импето в весомом теле, импето, движущий тело одновременно с тяжестью; поэтому движение становится тем быстрее, чем сильнее становится импето. Отсюда видно, что движение будет беспрерывно ускоряться». А из этого в ряде других мест Буридан выводит подтверждаемые и различными наблюдениями над действительностью возражения против общепринятых мнений об ускорении падения тела по мере приближения к земле, возражения, выдвинутые, как мы видели, уже раньше. Точка зрения Буридана была поддержана передовыми физиками XIV в. — в первую очередь его ближайшим учеником Альбертом Саксонским, затем крупнейшим ученым того же времени Николаем Орезмом и рядом других ученых. К XV же веку под влиянием воскрешения оригинальных текстов Аристотеля и других причин, о которых мы будем говорить ниже, эта точка зрения либо забывается, либо сознательно отвергается и уступает почти повсюду место менее разумным, но более строго перипатетическим теориям.

Если схоластическая наука своими тонкими и сложными рассуждениями усиленно подкапывалась под самый фундамент античных представлений о естественном движении, то ряд их положений она все же оставляла без изменения и даже почти без критики. К таким неизменяемым схоластикой положениям относятся и те основные зависимости, которые Аристотель устанавливал между отдельными элементами естественного движения — в первую очередь между его скоростью и весом падающего тела. Прямая пропорциональность между весом тела и скоростью его падения не только не отвергалась сторонниками наиболее передовой теории импето, но даже, наоборот, получала в их трудах новые подтверждения. Действительно, согласно их теории, импето как брошенного в воздух, так и

естественно падающего тела увеличивается вместе с увеличением, условно выражаясь, «массы» бросаемого тела. Так, Буридан, говорит:

«Все формы и естественные предрасположения принимаются материей в пропорции количества этой материи; следовательно, чем больше материи содержит тело, тем больше оно может принять импето и тем больше сила (интенсивность), с которой оно может его приобрести. А так как в плотном и тяжелом теле при прочих равных свойствах содержится больше первичной материи, чем в редком и легком теле, то плотное и тяжелое тело приобретает больше этого импето».

Но, признавая и даже развивая дальше теорию пропорциональности между весом тела и скоростью его падения и тем оставаясь на уровне античной науки, схоласты делают попытку, значительно продвигающую их вперед по сравнению с этой наукой. Они ставят перед собой совершенно не существовавший для античной науки вопрос о законе, согласно которому увеличивается скорость естественно падающего тела. Постановка этого вопроса объясняется, очевидно, уже неоднократно отмечавшимся нами ростом абстрактности в построениях схоластической науки. Действительно, для одной только попытки создания закона, охватывающего не равномерное движение, а движение, ускоренное неравномерно, нужна была большая привычка к абстрактному, не образному, а отвлеченно-логическому мышлению. Кроме того, возможно, что вообще изучение движения, реальное чувствование его было свойственнее людям более динамического и бурного феодализма, чем античности, хотя и строившей на движении ряд своих философских систем, но фактически, по самому своему социальному и философскому существу, значительно более статичной.

Поэтому, а возможно и по ряду других причин, к середине XIV в., когда научная мысль все более и более энергично и глубоко работает над самыми разнообразными проблемами механики, мы видим первые попытки охарактеризовать равномерно ускоренное движение. Попытки эти мы находим в трактатах (уже названных нами выше) Альберта Саксонского и Николая

Оре́зма. Альберт Саксонский в своем комментарии к Аристотелю[1] сначала рассматривает две возможности: 1) скорости будут расти, удваиваясь, утраиваясь и т. д.; 2) скорости будут расти так, что их приращения будут образовывать геометрическую прогрессию с знаменателем, меньшим единицы. Вторая возможность сразу же отвергается, так как при ней приращение скорости оказывается стремящимся к определенному и недалекому пределу. Первая же возможность принимается, но с оговоркой, что и здесь возможны два варианта. При пе́рвом — удвоение, утроение и т. д. будут происходить в каждый следующий отрезок времени или пути: если в первую минуту скорость будет равна единице, то во вторую она будет удваиваться, т. е. будет равна двум; в третью — скорость предыдущего отрезка будет утраиваться, т. е. будет равна шести и т. д., или, говоря нашим языком, при росте времени или пути в арифметической прогрессии скорость будет расти в прогрессии геометрической. Вариант этот тоже отвергается, так как отрезки времени и пространства могут браться произвольно малыми, а следовательно скорость на любом малом пути или в любое малое время могла бы сделаться сколь угодно большой, что невозможно. Правильным же оказывается второй вариант, при котором скорость удваивается, утраивается и т. д. не по отношению к скорости предыдущего отрезка пути (о времени здесь Альберт не говорит), а по отношению к скорости первого отрезка, т. е. при росте пути в арифметической прогрессии скорость растет также в прогрессии арифметической, с тем же показателем. Сам Альберт формулирует это важнейшее положение в следующих словах: «Следует поэтому считать, что скорость движения делается двойной, тройной и т. д. следующим образом. Когда

[1] Глава эта отсутствует в печатных изданиях комментария Альберта, ибо показалась, очевидно, слишком смелой. Лучше, чем у Дюхема, и с приведением большего числа подлинных текстов теория Альберта изложена в использованной нами уже в процессе корректирования готовой работы голландской книге: E. I. Dijsterhuis. Val en Worp. Groningen, 1924, pp. 78—88.

проходится определенное расстояние, это движение имеет определенную скорость, когда проходится двойное расстояние — скорость двойная, когда пройденное расстояние тройное — скорость тройная и т. д. И, следовательно, правильно третье (в нашем счете первое) заключение, т. е. увеличение скорости вдвое, втрое и т. д., в том смысле, что, когда проходится некоторое расстояние, скорость имеет некоторую величину, когда проходится двойное расстояние, скорость вдвое больше, когда же проходится втрое большее расстояние, скорость в три раза больше и т. д.» В приведенном заключении Альберт говорит только о пройденных телом путях. Но, так как во всем изложении трактата он обыкновенно говорит о путях или временах, Дюхем считает возможным предполагать, что он колебался между двумя формулами пропорциональности — между скоростью и путем и между скоростью и временем, т. е. что он вплотную подошел к правильной формуле $v=at$.

В правильности такого несколько модернизирующего истолкования весьма и весьма еще не ясных формулировок схоластического механика можно усомниться. Зато совершенно несомненно то, что самостоятельное и сравнительно абстрактное рассмотрение отдельных элементов перипатетического учения о движении и даже отдельных сторон этих элементов подводило схоластическую науку к таким постановкам вопросов, которые в рамках этой перипатетической системы были абсолютно невозможны, — к попыткам количественного определения закономерностей движения. Но, с другой стороны (и этого, к сожалению, не учитывает Дюхем) эта же абстрактность, отсутствие проверки на практическом опыте, определяла собой и то, что из ряда логически возможных решений не могло быть выбрано единственное, соответствующее реальной действительности. Схоластика, постепенно разрушая перипатетические основы механики, тренируя и перевоспитывая научную психологию, могла подходить ко многим открытиям, составляющим гордость XV—XVII вв. Но, не имея проверочного критерия практики, намеренно и гордо отмежевываясь от нее, наука эта не могла сделать ни одного действительно решающего открытия; она осуждена

была на полное бесплодие. Не замечая этого (или делая вид, что не замечает), католик и обскурант Дюхем сводит на-нет все свои тонкие и глубокие отдельные замечания.

Таким же предтечей в области теории равномерно ускоряющегося движения, как и Альберт, был Николай Орезм. К концу XIII в., вопреки совершенно четкому указанию Аристотеля (подробно развитому ранней схоластикой) на то, что качество и количество глубоко и принципиально различаются, все более утверждалось мнение, наиболее рано и наиболее четко выдвинутое упомянутым выше Ричардом Мидлетоном, о том, что количество и качество принципиально сходны и что изменение в них происходит одинаково, путем прибавления некоей величины. Николай Орезм полностью примкнул к последней точке зрения, поддержанной к тому же (что случалось нечасто) и главой школы реалистов Дунсом-Скоттом, и главой школы номиналистов Оккамом. Но, примкнув к изложенной, наиболее передовой в его время теории, Орезм внес в нее и нечто новое, и притом довольно важное. Он предложил изображать изменения отдельных количеств и качеств отрезками прямых, поставленных перпендикулярно к другой прямой, отражающей, условно говоря, этапы этого изменения. Таким образом, он предложил некую систему координат, дающую возможность, путем изучения плоской фигуры, получающейся при соединении двух концов вышеназванных перпендикулярных друг к другу прямых, выяснять свойства и особенности величин, изменения которых связаны между собой определенной зависимостью.[1] Разбирая затем соотношения между различными геометрическими фигурами и разными типами изменения величины и пользуясь терминами, установленными схоластами, разрабатывавшими вопрос о различии и сходстве между качеством и количеством, Орезм устанавливает, что прямоугольный треугольник соответствует «qualitas uniformiter difformis terminata in inten-

[1] Для Орезма мы пользовались, кроме подробного изложения D u h e m' a — Études, vol. III, pp. 346—405, еще статьей H. W i e l e i t n e r a — Der «Tractatus de latitudinibus formarum» des Oresme. Bibliotheca Mathematica, 3 F., 13 B., 2 H., 1913, Ss. 115—145.

sione ad non gradum», т. е. «равномерно изменяющемуся качеству, ограниченному нулем», или начинающемуся и кончающемуся нулем. А от этого утверждения, путем рассмотрения прямоугольного треугольника, изображающего равномерно ускоряющееся движение, начинающееся с нуля, он подходит и к интересующему нас вопросу. Идя вслед за Альбертом Саксонским и перелагая его утверждение на свой координатный язык, Орезм предлагает изображать отрезками одной координатной оси время или проходимый телом путь, а другой — интенсивность скорости (intensitas velocitatis), которая будет иметь разные значения в зависимости от того, примем ли мы первый или второй способ определения первой координаты. Тогда треугольник, образуемый путем соединения концов отрезков координатных осей, дает «меру скорости» (mensura velocitatis) или «полную скорость» (velocitas totalis) всего движения. Затем, путем простейшего геометрического построения показывая, что площадь прямоугольного треугольника равна площади прямоугольника, нижняя сторона которого есть один из катетов, а верхняя проходит через середину гипотенузы, Орезм из этого выводит, что «всякое качество, равномерно неравномерное, равно качеству равномерному, определяемому средней точкой (omnis qualitas, si fuerit uniformiter difformis, secundum gradum puncti medii ipsa est tanta, quanta qualitas ejusdem subjecti»).

Если же, как полагает Дюхем (что, впрочем, не более, чем гипотеза), Орезм приравнивал «меру скорости» или «общую скорость» к отрезку прямой, проходимому в результате равномерно ускоренного движения, то получается такой вывод из формулированных выше положений (формулировка Дюхема): «Если движимое в течение определенного времени движется равномерно ускоренно, то проходимый им путь равен пути, который оно проходило бы, двигаясь равномерно в течение того же времени, при скорости, равной средней скорости первого движения». А это и есть одно из выражений правильного закона равноускоренного движения. Но если даже предполагать (к чему мы склоняемся), что Орезм не делал того окончательного вывода, который подвел бы его вплотную к правильному решению вопроса,

то все же интерес, представляемый его рассуждениями, от этого нисколько не уменьшается. Независимо от того, как далеко эти рассуждения заходили, самый ход их показывает, что переработка частей перипатетического фундамента механики, частей, которые затем составят основы классической динамики, продвинулась уже настолько далеко, что из этих переработанных частей можно было строить новый фундамент и на нем возводить новое здание. Механика феодализма, пройдя через абстрактные алгебраизированные рассуждения, постепенно опять возвращается, но уже на новом уровне, к геометрическому подходу. Следует, однако, констатировать и тот коренной факт, который постоянно ускользает от Дюхема, что без ориентировки всей феодальной науки на живую, реальную практику, все ее отдельные откровения оставались только потенциальными возможностями.

Рассмотрев сравнительно подробно все изменения, которые под пером схоластических ученых претерпела античная, в первую очередь перипатетическая, теория естественного движения, мы вкратце остановимся теперь на втором ките античной механики — теории движения приобретаемого. Мы уже говорили выше, что теория «импето» Буридана, которым он и его последователи объясняли ускорение движения свободно падающего тела, была в первую очередь обоснована им для движения приобретаемого. Действительно, теория эта была выработана, чтобы объяснить наиболее трудное для античной науки явление — движение свободно брошенного в воздух тела. Чрезвычайно подробно разбирая этот вопрос,[1] Буридан отвергает, на основании наблюдений реальной действительности, все рассуждения античной механики, объяснявшие полет брошеного тела влиянием среды: платоново объяснение, привлекающее образующуюся за телом пустоту, и аристотелево — привлекающее

[1] P. D u h e m. Études, vol. III, pp. 34—49, где дан почти полностью в переводе текст рассуждений Буридана из «Quaestiones octavi libri physicorum» (ms. Bibl. nat. fonds lat. N 14723 foll. 106 cd. a и 107 cd. b).

последовательное движение слоев среды и отказывается вообще от перипатетического принципа:

«Итак, вот что, как мне кажется, нужно утверждать: в то время как двигатель движет движимое, он запечатлевает в нем некое «импето», некую силу, способную двигать это движимое в том же направлении, в котором двигатель движет движимое, безразлично будет ли это вверх, вниз, в сторону или по окружности. И чем больше скорость, с которой двигатель движет движимое, тем сильнее импето, которое он в нем запечатлевает».

По этой теории причина движения брошенного в воздух тела находится не вне его, не в двигателе или в окружающей его среде, а в нем самом; эта причина объясняет собой ускорение падения естественно падающего тела, она же лежит в основе движения небесных тел.

Таким образом, введение в механику понятия «импето», не уничтожая окончательно, все же лишало основной опоры теорию принципиальной отличности трех видов местного движения: естественного кругового, свойственного небесным телам, естественного прямолинейного, свойственного телам земным, и приобретаемого, ибо все эти виды сводились к одному и тому же импето, что, несомненно, подготовляло создание теории всемирного тяготения.

Теория импето при разборе естественного движения подразумевала пропорциональность силы импето массе (условно выражаясь) тела, на которое он действует, в отношении естественного движения. Это мнение укрепляло установленную уже Аристотелем, в корне неправильную формулу, фиксировавшую пропорциональность между скоростью падения тела и его весом; в отношении же движения приобретаемого положение это приводило или могло привести к отрицанию перипатетической формулы $\frac{m}{m'} = \frac{v'}{v}$ или $mv = \text{const}$, ибо, согласно теории импето, тяжелое тело или тело, обладающее большей массой, должно было лететь скорее; чем легкое, и зависимость (что, впрочем, ак будто бы нигде прямо не формулируется схоластами школы

Буридана) должна была, повидимому, приобрести вид $\frac{m}{m'} = \frac{v}{v'}$. Формула эта, не менее, а может быть более неправильная, чем формула перипатетическая, важна опять-таки как свидетельница явной борьбы с перипатетической концепцией и постепенного разрушения сути этой концепции при сохранении ее терминологии и видимости ее построения.

Теории, которые были развиты с особенной полнотой Буриданом, нашли затем отражение в работах ряда ученых XIV, а отчасти и XV в. Особенно же детально за ними следует младший современник Буридана, уже упомянутый нами Альберт Саксонский. Теории эти, как мы видели, критикуют, переделывают, взрывают изнутри и снаружи перипатетические концепции. Лишенные по самой своей сущности критериев истинности своих построений, эти теории натыкаются иногда на правильные или почти правильные выводы, иногда же, наоборот, приходят к выводам совершенно абсурдным. Эта абсурдность им, вследствие их отвлеченной сущности, не видна и не может быть видна. Логически безукоризненные и вполне отвечающие строжайшим требованиям «экономического описания» наблюдаемых явлений, они, однако, недостаточно внимательно относятся к реальным наблюдениям над этими реально существующими явлениями, что неизбежно для всякой идеалистической научной системы, и блуждают поэтому вслепую. Одним из примеров такого неправильного вывода наиболее передовой для схоластики — номиналистической науки является принятие и дальнейшее развитие перипатетической теории о пропорциональности скорости падения весу тела. В качестве примера второй, заведомо ложной теории можно привести теорию первоначального ускорения брошенного в воздух тела, которая относится к области движения приобретаемого. Теория эта предполагает, что тело, брошенное с известным импето в воздух, в течение некоторого времени ускоряет свое движение и только потом постепенно начинает замедлять его, так что наибольшей скорости движение брошенного в воздух тела достигает где-то недалеко от середины пути. Теория эта, основанная на одной-двух не вполне ясных фразах

Аристотеля,[1] была развита очень подробно ранними комментаторами и затем схоластами. Правда, Дюхем постоянно указывает на то, что Буридан и Альберт Саксонский, не опровергая этой теории, ничего не говорят о ней, все же главное направление схоластической механики подтверждало и подробно доказывало ее. Одно это уже могло бы служить достаточно серьезным и убедительным опровержением той излишне высокой оценки феодальной науки, которая с легкой руки Дюхема проникла в историографию. Феодальная наука провела громадную работу по критике основ античного научного, в частности механического, наследия; она выдвинула ряд глубоких и близких к истине гипотез и тем подготовила почву для триумфа современной науки. Но самая структура вызвавшего ее к жизни общества была такова, что бурный поток научной мысли направлялся к берегам не технических нужд и запросов, а теологически-метафизических конструкций, и поэтому, лишенная единственного критерия для отбора истинных гипотез и теорий от ложных, мысль эта производить такой отбор не умела.

§ 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как мы видели выше, на фундаменте основных понятий механики, основных перипатетических законов, которые подвергались столь усиленной и разносторонней критике со стороны схоластики, строилось в значительной мере все здание не только античной и арабской, но и средневековой западноевропейской механики. Мы видели также, что, наряду с попытками воздвигнуть со свойственной феодальной идеологии схематической стройностью всю механику исключительно на одном из этих законов (первый вариант трактата Иордана Неморария), уже в XIII в. встречаются не менее характерные попытки оторвать отдельные доказательства и отдельные положения механики от перипатетической основы; попытки эти соединяются с изложе-

[1] Aristoteles. De coelo II. Подробно теории первоначального ускорения брошенного тела разбирает Дюхем в «Études», v. II passim и v. I, pp. 127—145, где указаны также другие работы по этому вопросу.

нием некоторых, правда — элементарных, критических или полукритических высказываний по поводу самой этой основы (третий вариант трактата Иордана). Таким образом, мы можем констатировать, что, несмотря на фактическую бесплодность схоластической науки, бесплодность, с неизбежностью определяемую социальной и экономической структурой феодального общества, научная мысль средневековья проделала громадную подготовительную работу. С одной стороны, в рамках и на базе старой, завещанной античной и арабской наукой системы механики, воспринимаемой все более и более полно, подготовляется ряд элементов, выводящих за пределы этой системы; с другой же стороны, ведется усиленное расшатывание самых основ этой системы, критика главных положений, на которых она базировалась. Нужно было собрать воедино все ценное из завещанного предыдущими культурами наследия, усилить и подобрать в единое целое новые достижения, подвести под все это построение новую базу, выковываемую в процессе критики основ, для того чтобы, подобно Кастору и Поллуксу, из уже размягченной многочисленными ударами скорлупы яйца старой механики вышла механика новая. Но именно этот процесс отбора действительно ценного, объединения в единой системе этого ценного с новыми основами, был совершенно не доступен феодальной науке. Только перейдя в другие исторические условия, попав в руки представителей других классов, только будучи самым радикальным образом из дисциплины созерцательно-философской превращена в дисциплину практико-техническую, механика смогла совершить эту метаморфозу. Что это действительно так, что это не только абстрактная гипотеза, а реально существовавшее историческое положение вещей, показывает тот неоспоримый и обычно старательно замалчиваемый Дюхемом и его школой факт, что феодальная механика действительно не создала ни одного произведения, которое бы сплошь состояло из ценных элементов. Все ее шедевры, наряду с ценным и передовым, всегда обнаруживают и зияющие провалы. Особенно важно здесь то, что первая известная нам попытка создать трактат по механике, объединяющий как новые принципиальные

положения, так и все ценное из конкретных доказательств, попытка безусловно неудавшаяся и еще насквозь феодальная, возникла на почве той страны, которая раньше всех и наиболее радикально повела борьбу с феодальным строем. В своих городах, в кровавой классовой борьбе, страна эта выковала новые капиталистические силы, она в корне изменила отношение к производственной технике и начала создавать новую механику. Страна эта — Италия. Автором трактата был знаменитый своей разносторонней ученостью и своим плохим характером итальянский университетский ученый конца XIV и первых годов XV в. (он умер в 1416 г.) Биаджио Пелакани из Пармы.[1] Он был одним, правда наиболее крупным и известным, из целой плеяды итальянских университетских математиков и механиков, из которых можно назвать хотя бы Анджело Фоссинфронте да Фоссамброне, Джованни Марлиани, Просдочимо да Бельдоманди и ряд других. Их произведения совершенно не изучены, хотя значение их в формировании классической механики и их влияние на Леонардо да Винчи не подлежат никакому сомнению.

---

[1] О Биаджио Пелакани, особенно о его научных трудах, мы знаем чрезвычайно немного. Дюхем в многократно названных «Origines» посвящает ему несколько обычных для этого автора, довольно беспорядочных страниц (т. I, pp. 147—155) и вскользь упоминает о нем в ряде страниц «Études». F. Amodeo посвятил ему поверхностную и небольшую статейку-доклад «Appunti su Biagio Pelacàni di Parma». Atti d. IV Congr. Intern. dei Matematici (Roma, 6—11 apr. 1908), vol. III, pp. 549—553.

Некоторые сведения о Пелакани дает богатая материалом статья A. F a v a r o. Intorno alla vita ed alle opere di Prosdocimo de Beldomandi. Bulletino di Bibliografia e di storia delle scienze matmaticho e fis., pubbl. di Boncompagni, t. XII. 1879, pp. 24—25.

Наконец, в относительно недавнее время Л. Торндайк опубликовал необычайно, для этого серьезного автора легковесную статью в «Archeion», IX, 1908, посвященную почти исключительно биографическим вопросам и мало затрагивающую содержание и значение работ Пелакани. Несколько более подробно разбирает тот же автор творчество пармского ученого в своей большой работе: «A History of Magic and experimental Science», v. IV, Columbia Univ. Pr., 1934, p. 65 sqq., но анализ механики, который он здесь дает, также совершенно не удовлетворителен.

Биаджио Пелакани из Пармы, о жизни которого мы имеем лишь очень скудные сведения, — один из тех позднесхоластических университетских ученых, с которыми уже с середины XV в. ведут решительную борьбу представители новой, буржуазной идеологии — гуманисты, но которые сами в своем творчестве отражают уже немалые влияния новых социальных отношений. Из произведений Биаджио, посвященных механике, до нас дошли два: небольшой трактат «De tactu corporum durorum», напечатанный в представляющем исключительную библиографическую редкость издании Venetiis, 1505, вместе с рядом других математических трактатов, и большой трактат «De ponderibus», сохранившийся в нескольких вариантах в ряде рукописей.

Оба эти произведения, представляющие большой исторический интерес, до сего времени не изданы и почти совершенно не изучены, так как краткие замечания Дюхема в первом томе его «Origines» и несколько страниц, посвященных им в названной выше сводной работе Торндайка, дают о них только более чем смутное представление. Ввиду этого мы сочли необходимым произвести подробное изучение творчества Биаджио Пелакани по первоисточникам, фотографические копии каковых были нам любезно предоставлены хранящими их библиотеками (миланской Biblioteca Ambrosiana, парижской Bibliothèque Nationale и неаполитанской Biblioteca Nazionale). Однако работа эта оказалась столь трудной и громоздкой, что результаты ее не могли быть вмещены в рамки настоящего исследования. Мы изложим их в специальном труде, ограничившись здесь только несколькими предварительными замечаниями.

Работы Биаджио Пелакани в области механики отличаются тремя основными чертами. Во-первых, они сугубо схоластичны — стоят целиком на почве феодально-абстрактной науки, стремящейся оперировать только математическими и логическими категориями и отмежевывающейся от всякого опыта и технического применения своих результатов. Во-вторых, они ставят перед собой задачу не сколько-нибудь углубленного самостоятельного изучения своего предмета или какой-нибудь его части, а

лишь сведения воедино всего наиболее интересного, что уже создано в этой области. Это работы сводные, предназначенные для целей университетского преподавания, а не исследовательские. Наконец, в-третьих, несмотря на свою решительную схоластическую ориентацию, работы эти не могут, хотя, повидимому, и стремятся к этому, полностью отмежеваться от всего того нового, что во время их появления в свет уже бушует в окружающей их автора жизни: оно просачивается в отдельных замечаниях, в несколько большей, чем обычно для схоластов, экспериментальности подхода, в несколько более реалистическом освещении сюжета.

Творчество Биаджио Пелакани является как бы последним аккордом механики феодально-схоластической, аккордом, стремящимся соединить в себе все звучания этой механики и по возможности не допускать никаких посторонних отголосков, каковые, однако, помимо воли автора, проскальзывают в нем, предвещая скорую гибель всей феодально-схоластической системы.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ВОЗРОЖДЕНИЕ

*

Глава 1

ОБЩЕСТВО

*

§ 1. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Творчество Биаджио Пелакани из Пармы, итальянского ученого второй половины XIV и первой четверти XV в., рассмотрением которого мы закончили предыдущую часть, протекало уже в то бурное, исключительно интересное и красочное время, которое принято называть итальянским Возрождением. Сам Пелакани, верный традициям строго феодальной университетской науки, только в немногих чертах своих трудов обнаруживает радикальные сдвиги, которые происходят в окружающей его жизни. Но уже и до него в некоторой, правда незначительной, мере, а затем при нем, и особенно после него, новые «социальные заказы», новая обстановка, новые средства выражения начинают все больше и больше модифицировать науку вообще и механику в частности, начинают подготовлять в механике коренную революцию; эта революция нередко, и не без оснований, связывается с именем взращенного на той же итальянской почве сына духовной столицы Возрождения — Флоренции — Галилео Галилея. Нам кажется, что с не меньшей яркостью, и может быть, с большей симптоматичностью она выразилась в творчестве другого гениального флорентинца — Леонардо да Винчи.

Во всем предыдущем изложении мы пытались рассматривать отдельные сочинения по механике, отдельные доказательства, не как самостоятельные научные явления, которые можно анализировать, сравнивать и оценивать каждое в отдельности

(как это обыкновенно делают буржуазные исследователи), а как звенья, составные части цельной системы, науки той или иной формации, причем и эту науку старались рассматривать не в ее обособленности, а в связи с вызвавшей ее к жизни исторической действительностью. Подойдя к тому историческому моменту, который является непосредственным объектом нашего исследования, — к моменту, определившему собой исключительно многообразное творчество Леонардо да Винчи, мы должны тем более внимательно всмотреться в социальную, политическую и научную обстановку, на почве которой выросло его творчество. Для этого мы должны сосредоточить свое внимание на второй половине XV и на самом начале XVI столетия. Но правильно понять и оценить специфические черты явлений итальянской жизни этого времени, — явлений, определивших собой творчество Леонардо, не модернизируя его и не разрывая его связи с творчеством предыдущих поколений, можно, только проанализировав, хотя бы в немногих словах, тот исторический период жизни Европы вообще и Италии в частности, который носит название Возрождения. Для этого нам придется отступить назад на несколько десятилетий.

Итальянское Возрождение, если попытаться в немногих словах дать его общую характеристику, есть первая в мировой истории, бурная, яркая и чреватая многочисленными последствиями вспышка капиталистических отношений, происходящая еще полностью в рамках феодализма, но наносящая один из наиболее серьезных ударов его дальнейшему существованию. Множась, учащаясь и усиливаясь, эти удары приведут, правда через очень значительный промежуток времени, к окончательному крушению феодализма. Таким образом, итальянское Возрождение должно в первую очередь и особенно внимательно рассматриваться как явление социально-политическое. Для всякого серьезного исследователя ясно, что те ослепительно яркие явления в области идеологических надстроек — живописи, архитектуры, поэзии, которые часто своей красочностью заслоняют вызвавшую их к жизни социальную борьбу и в очень большом числе буржуазных работ изображают-

ся как главная и единственная сущность Возрождения, суть не более, как явления вторичного порядка. Это только более или менее адекватные отражения глубоких и радикальных, но по самой своей природе менее заметных и по легко понятным причинам мало изученных социальных сдвигов и даже революций. [1]

Истинной сущностью, истинной первопричиной Возрождения были коренные изменения в области производства, а затем и обмена, и неразрывно связанные с ними изменения в соотношениях классовых сил, которые начинают происходить на почве Италии еще в XIII в., достигают своего апогея к концу XIV в. и затем начинают постепенно потухать, уступая место тому явлению, которое обыкновенно именуется феодальной реакцией. Это явление окончательно торжествует свою победу уже за рамками интересующего нас периода — во второй половине XVI в.

Процесс перерождения феодальных производительных сил и изменения феодальных производственных отношений на почве Италии, где эти феодальные отношения никогда не отливались в столь четкие формы, как в других странах, сложен и многообразен. В рамках настоящей работы мы остановимся только на тех его чертах и сторонах, которые понадобятся в дальнейшем изложении для объяснения интересующего нас специально круга явлений. Одной из первопричин этого процесса было развивающееся со значительной быстротой уже в XIII в. разложение сельского хозяйства, основанного на крепостном труде и составляющего производственную базу

[1] Нашу общую концепцию итальянского Возрождения вместе с критическим обзором соответствующих буржуазных концепций мы чрезвычайно кратко и сжато изложили в статье «К вопросу о сущности так называемого итальянского Возрождения», опубликованной в сборнике «Академия Наук СССР — памяти Карла Маркса». В данной работе, которая должна явиться одним из проводимых на конкретном материале подтверждений выставленных ранее, более или менее гипотетически, общих положений, мы, конечно, не можем касаться вопроса о сущности Возрождения в целом, а отсылаем к названной работе.

всякого феодального общества. Не меньшее значение имеет неразрывно связанный с этим разложением, являющийся следствием и, частично, причиной его — рост городского цехового ремесла, перерастающего уже в очень многих случаях рамки типично феодального кустарно-ремесленного производства и дорастающего нередко до ранне-капиталистических форм мануфактурного производства. Связь между этими двумя процессами, или, вернее, двумя сторонами одного и того же процесса, как неоднократно указывали Маркс и Энгельс (правда, на другом несколько материале), настолько тесна и неразрывна, что без надлежащего учета, без вполне четкого уяснения ее нельзя понять того изменения в соотношении классовых сил, которое и определяет собой итальянское Возрождение.

Действительно, самый факт начала разложения сельского хозяйства в его феодальных, натурально-крепостных формах, повидимому, одной из своих основных причин имеет усиление роли городов и развитие в них денежного хозяйства. Следствием этого является увеличение у феодалов-землевладельцев потребности в деньгах, а следовательно стремление рационализировать свое сельское хозяйство, перевести своих крепостных земледельцев с отработки на оброк, а дальше и вообще отказаться от невыгодного и мало продуктивного крепостного труда. Процесс этот, имеющий, несомненно, и другие имманентные причины, происходит значительно раньше интересующего нас периода и по самому своему характеру выходит за пределы настоящей работы. Мы сочли все же необходимым упомянуть о нем, так как иначе дальнейшие замечания об изменениях в городском производстве были бы лишены надлежащего социального фона и легко могли быть расценены и охарактеризованы слишком абстрактно и поверхностно.

Увеличение роли городского производства, рост в городах и вокруг городов торговли в различнейших ее видах и разновидностях, широкое развитие денежного обращения, сначала робко, а затем все смелее и смелее переступающего не только городские стены, но и границы государственных территорий и, наконец, границы европейского материка и христианского

мира, — все это создавало в итальянских городах совершенно особую обстановку — обстановку лихорадочного роста, буйного цветения производственных сил. С другой же стороны, все это вызывало и невиданное ранее обострение классовой борьбы, непосредственно вытекающее из изменений в расстановке классовых сил. Здесь необходимо оговорить, что, хотя концепция «торгового капитализма» как особой социально-экономической формации уже сравнительно давно оставлена нашей историографией, большинство исследователей, правда — не занимающихся специально рассматриваемой здесь эпохой, все же считает торговлю основной причиной расцвета итальянских городов раннего Возрождения. Не говоря уже о принципиальных соображениях, не позволяющих согласиться с тем, что столь серьезные и как будто неоспоримые социальные и экономические сдвиги были вызваны изменениями в сфере обмена, а не изменениями в сфере производства, нам представляется совершенно непонятным, чем торговали итальянские города, если не продукцией быстро растущего производства. Ведь мы знаем, что отнюдь не сельскохозяйственные продукты были главным объектом торговых сношений как между городами, так и между государствами. Само собой понятно, что в данной работе мы не можем ни в какой мере развивать и обосновывать нашу точку зрения, но мы считаем необходимым подчеркнуть, что изменения, даже революция в производстве рассматриваются нами как первичная сила, вызвавшая все те изменения в политике и экономике, искусстве и науке, о которых мы будем говорить ниже. При этом мы, однако, ни в какой мере не умаляем роли торговли, увеличения денежного обращения и роста банкового дела в этом процессе. Наоборот, мы считаем, что роль эта была исключительно велика и что торговля и банковское дело получив от производства первые могучие толчки, в свою очередь немало содействовали его росту, аккумулируя в одних руках значительные, иногда громадные денежные средства, создавая усиленный спрос на новые товары, настоятельно требуя для своих рынков повышения их количества и качества.

Эта теснейшая и на определенном этапе совершенно неразрывная связь между городским производством и торговлей, в отдельные моменты действительно выступающей на первый план и по самой своей природе более заметной, создает иногда впечатление об исключительном значении для Возрождения именно торговой деятельности. Что это впечатление ошибочно, доказывается, однако, кроме всего вышеприведенного, хотя бы тем, что итальянские города, бывшие исключительно торговыми центрами, как Пиза или Генуя, не играют почти никакой роли в создании Возрождения, в котором протагонистами выступают именно производственные центры — Флоренция, Милан, отчасти Болонья и Лукка. Не следует также полагать, что изменения в городском производстве и обмене были совсем не связаны или мало связаны с тем разложением феодального сельского хозяйства, о котором мы говорили выше. Наоборот, рост производства вызывал потребность в рабочей силе, аккумулирование капиталов давало возможность ее оплатить, а деревня поставляла эту неквалифицированную, не связанную никакими цеховыми традициями силу. Именно соединение всех этих элементов роста производства, роста капиталонакопления и появление на рынке труда сравнительно многочисленной, резервной армии рабочих, соединение сложное, многогранное, обрамленное рядом других, более мелких, но часто весьма действенных сил и обстоятельств, вызвало на свет то, что называется итальянским Возрождением.

Итальянское Возрождение, как всякая переломная эпоха, привело к изменениям почти во всех областях жизни Италии. В настоящей работе мы остановимся, по возможности кратко, только на некоторых из них — в первую очередь на изменениях в области расстановки классовых сил, в области техники и в области точных и естественных наук.

Рост города и рост в его пределах капиталов, находящих себе применение в торговле, банковском деле и во все более растущем производстве, с неизбежностью выдвигал на первый план новый слой населения — цеховых мастеров, сумевших, по счастливой ли случайности или благодаря личной ловкости,

напористости и беззастенчивой хищности, сколотить капиталец, превратить свою небольшую семейно-кустарную мастерскую в целое предприятие, свою лавчонку суконщика или менялы-ростовщика в крупное торговое или банковское предприятие. Люди действовали иногда в одиночку, а чаще объединяясь в своеобразные семейно-акционерные товарищества; в последних с неповторимой своеобразностью сочетались черты разных формаций и укладов от родового строя с его крепко сколоченной, подчиняющейся старшему в роде семьей — famiglia — и кровавой местью — vendetta, распространяющейся на весь род, и до капитализма с его торговыми и денежными махинациями, с его бесчеловечной эксплоатацией появляющихся на исторической арене пролетарских элементов. Постепенно выдвигаясь, люди эти, представители нарождающегося класса — буржуазии, еще не буржуа в полном смысле этого слова, но уже носящие на себе все родимые пятна класса, которому история суждено гегемонию на последующий ряд веков, не могли не вступить в острый конфликт с представителями класса, власть и положение которого были уже подорваны, — с представителями феодальной знати. Столкновения между хозяевами торговых и промышленных предприятий, помещающихся в скромных, еще низеньких домишках, за пестрыми вывесками с эмблемами цехов, и высокомерными дворянами, беспокойно смотрящими из своих дворцов-крепостей на усиление недавно жалких и покорных ремесленников, было неизбежно. И действительно, в течение всего XIII и значительной части XIV в., во всех передовых, в первую очередь промышленных, а затем и торговых городах Италии идет ожесточенная, кровавая классовая борьба между буржуазными элементами, с экономическим и физическим оружием в руках добивающимися власти, и элементами дворянско-феодальными, с упорством отчаяния отстаивающими эту власть. Борьба эта на данном этапе была безнадежной для дворянства, экономическая база которого была в корне подорвана. Дворянство не могло противостоять молодому классу, полному сил и энергии, не останавливающемуся ни перед чем и видящему впереди власть и могущество. Наиболее ярко

и полно борьба эта происходила, естественно, в самом передовом промышленном центре Италии — во Флоренции, родине Леонардо да Винчи. На ее узких средневековых улочках, на ее немногих еще площадях, на ее мостах, во всей еще небольшой округе ее старых крепостных стен, из года в год, из месяца в месяц шла кровавая борьба. Одна за другой падали башни с дворцов-крепостей дворян-флорентинцев, один за другим уходили в изгнание, впадали в ничтожество или же переходили во враждебный лагерь представители старых, некогда гордых родов, и, с другой стороны, из года в год вырастали на улицах, нередко на месте разрушенных феодальных твердынь, новые дворцы, без башен, но с просторными лавками и мастерскими. Дворцы эти по всему своему внешнему виду соответствовали иной социальной функции их владельцев. На месте феодальной, средневековой Флоренции нарождалась Флоренция Возрождения, новые Афины, как ее нередко называли поэты-гуманисты XV в.

Уже к концу XIII в. исход этих ожесточенных классовых схваток между разваливающимся дворянством и быстро растущей буржуазией был во Флоренции безусловно ясен — для других промышленных и торговых городов ясен более или менее. Флорентийская конституция 1282 г., а затем и знаменитые флорентийские же «Установления справедливости» («Ordinamenti di Giustizia») 1293 г. являются исключительно яркими доказательствами этой победы буржуазных элементов — победы, отлившейся уже в определенные юридические формы. Представители аристократических, дворянских родов, так называемые «гранды» (grandi), были, согласно «Установлениям», лишены всяких гражданских прав, не выбирали и не выбирались ни на какие должности в коммуне, были обременены тягчайшими налогами и податями, не могли без особого разрешения выступать на суде, даже в качестве свидетелей, против представителей народа — «пополанов», как не без хитрости называли себя верховоды цеховой буржуазии, только в моменты острой борьбы объединявшиеся иногда с цеховыми низами, которых они после победы неизменно предавали. Слово «гранд» —

аристократ, феодал — сделалось в XIII в. во Флоренции ругательным словом, худшим оскорблением для политически активного гражданина коммуны. Согласно «Установлениям», провинившихся в чем-нибудь пополанов переводили в «гранды» и тем ставили в то бесправное, политически и экономически безнадежное положение, которое было уделом разгромленных новыми силами представителей феодальной знати. Было бы, конечно, недопустимым упрощением думать, что гранды к концу XIII в. даже во Флоренции были окончательно уничтожены. Они продолжали существовать, постепенно возвращали себе многие из потерянных в момент глубокого поражения позиций, а главное — усиленно и довольно быстро ассимилировались со все более отрывавшейся от остальной народной массы буржуазной верхушкой. Они вступали в цехи, либо формально либо фактически, роднились с представителями новой верхушки, и уже к концу XIV в. довольно трудно было различить, где кончаются бывшие магнаты меча и где начинаются новые магнаты кошелька. Однако этот процесс слияния ни в какой мере не умаляет значения того основного и неоспоримого факта, что к XIV в. гегемоном во всех наиболее передовых городах-государствах Италии стал новый класс — буржуазия. По-видимому, впервые в мировой истории командование перешло к людям, которые своим положением были обязаны производству и торговле, — к людям, смотревшим на весь мир другими глазами, чем потомки воинов-крепостников, и потому неизбежно начавшим сразу же по укреплении своего положения реформировать in capite et membris все средневековое, феодальное мировоззрение от искусства до науки, в частности до интересующей нас специально механики.

Однако победа буржуазных элементов над феодальными, которую первые отпраздновали в конце XIII в., не освободила их от всех возможных антагонистов. На другом социальном полюсе росла новая сила—пролетариат. Неквалифицированные и малоквалифицированные рабочие, число которых неизбежно возрастало с увеличением производства, все более сплачивались, чувствуя единство своих экономических и политических

интересов и их отличие от интересов двух борющихся за власть правящих классов. Наиболее обеспеченные, связанные с цеховым строем, в основном больше кустарные, чем пролетарские элементы были объединены в «младшие цехи» («Arti minori»). Наименее же обеспеченные подсобные рабочие в предприятиях «старших цехов», составлявшие собственно пролетарскую прослойку, никаких профессиональных объединений не имели и упорно в объединения не допускались. Несмотря, однако, на неизбежное расхождение в интересах и поведении этих двух частей социального низа, которые должны были сказаться и действительно сказались в решительный момент борьбы, в процессе борьбы части эти почти всегда выступали совместно. Все более втягиваясь в социальную войну, происходившую в коммуне, примыкая то к грандам, то к пополанам, пролетарские элементы в XIV в. нередко достигали значительных успехов. Имена вождей плебейских и предпролетарских масс города, звавших к восстанию и иногда добивавшихся крупных побед, пестрят на страницах многочисленных флорентийских хроник XIV в. Так, в 1345 г. власти казнили скромного чесальщика шерсти Чьюто Брандини, проповедовавшего объединение текстильных рабочих и стачечную борьбу против предпринимателей. Но самым крупным из этих революционных выступлений, несомненно, было флорентийское восстание чьомпи («босяков») 1378 г., в ходе которого пролетариат удерживал власть в течение нескольких недель и приступил было к полной перестройке социального порядка в коммуне. В момент победы, однако, с железной неизбежностью сказалась разница в социальной природе составных частей победителей, а с другой стороны — временно оттесненные гранды и пополаны перед лицом грозной опасности забыли свои распри и сомкнутым строем пошли на недостаточно сплоченных и недостаточно социально созревших «босяков».

В результате к началу XV в. окончательно обрисовалась и упрочилась власть, непререкаемая гегемония буржуазных элементов во всех крупных торгово-промышленных центрах Италии. Правда, в столь ярком, четком, можно сказать клас-

сическом виде борьба происходила, может быть, только в действительно наиболее передовом и наиболее крупном центре — во Флоренции. В других городах, особенно в Риме — папской столице или в Неаполе, в значительно большей мере, чем северные города сохранявшем феодальные черты, эти процессы проходили значительно слабее и сложнее. Но так как Флоренция является тем городом, который по самой нашей теме лежит у нас в центре внимания, и так как, с другой стороны, процесс создания новых социальных отношений хоть с теми или иными вариантами и изменениями, но все же протекал всюду в Италии, мы считаем возможным ограничиться общей характеристикой положения во Флоренции. В нашу задачу входит только дать самое общее представление о том социальном сдвиге, который неизбежно должен был вызвать соответствующие сдвиги в области научной, о том бурном кипении новых социальных сил, которое происходило в течение XIII и XIV вв. в Италии и которое к XV в. начало сказываться в области идеологии,

В азарте борьбы, в бешеной гонке за деньгами и властью было не до искусства или науки, хотя и искусство и наука, уже начиная с конца XIII в., постепенно все более пропитываются новой идеологией, новыми настроениями. Но все же официальная университетская наука остается еще глубоко феодальной. Творчество магистра Биаджио Пелакани из Пармы, умершего в 1416 г., и несомненно бывшего непосредственным очевидцем, если не участником, многих из охарактеризованных нами событий, — лучшее этому доказательство. Только окончательно победив, закрепив свое положение, новая верхушка принялась за радикальную перестройку по сбразу и подсбию своему значительно отставшей идеологической области. Перестройка эта началась на всех участках в XV в., в самой середине которого, в 1452 г., родился наш герой. С наступлением этого века мы и вступаем непосредственно в круг событий, подлежащих нашему изучению. Изложенное выше было не более чем прологом, совершенно необходимым для понимания всего дальнейшего, ибо не разобравшись в новом соотношении классовых сил, мы никогда не сможем ни понять, ни объяснить

того нового, что происходило в области науки в изучаемое нами время.

Однако если мы поднимем занавес первого действия нашего изложения сразу на середине XV в., сделав короткую ремарку: «между прологом и первым действием проходит пятьдесят два года», то мы увидим совершенно новую картину. Положение Италии в течение XV в. как наружно, так и внутренне глубоко изменилось. Внутренне со все увеличивающейся быстротой шло разложение того социального и экономического базиса, который создал Италии и правящей буржуазно-капиталистической верхушке ее городов блестящее положение; внешне же, может быть с еще большей интенсивностью, прогрессировали роскошь, пышность, культура, утонченность. Кажется, что, терпя поражение за поражением на одном фронте, некоронованные, а частью и коронованные властители Италии старались отыграться на другом. Подобно находящемуся на грани разорения дельцу, властители Италии старались внушить всему окружающему миру уверенность в их непоколебимом могуществе, в которое они сами в глубине души не верили. Недаром одной из популярнейших песен второй половины XV в. была карнавальная песня властителя Флоренции и талантливейшего поэта Возрождения Лоренцо Медичи Великолепного, припев которой:

О, как молодость прекрасна,
Но мгновенна, — пой же, смейся,
Счастлив будь, кто счастья хочет,
И на завтра не надейся[1]

как бы в конденсированном виде выражает настроения верхушки итальянского общества того времени.

[1] Припев из карнавальной песни Лоренцо «Триумф Вакха и Ариадны». в оригинале звучащей так:

Quant'e bella giovinezza
Ma si fugge tuttavia.
Chi vuol esser lieto-sia,
Di doman non c'e certezza,—

дан нами в переводе Д. С. Мережковского.

§ 2. ПОЛИТИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

В данной работе мы не можем и не должны подробно устанавливать причины сдвигов, происходящих в Италии XV в. Ограничимся только кратким упоминанием о них. Причины постепенно углубляющегося, хотя долго еще мало заметного кризиса социально-экономического базиса итальянского могущества были двоякими: одни принадлежали к области внутриитальянской, были обусловлены внутренними дефектами социального строя и экономики ведущих итальянских городов; другие же — внешнеполитические — были обусловлены изменениями в международном положении Италии и ее торгово-промышленных центров. Внутри основной причиной является, с одной стороны, скороспелость раннекапиталистического развития итальянских торгово-промышленных центров,— развития, происходящего в тесном феодальном окружении, еще недостаточно окрепшего и не способного противостоять тем реакционным силам, которые не исчезли, а только притаились где-то по углам; с другой же стороны, сказались результаты того процесса образования нового соотношения классовых сил и той кровавой классовой борьбы, о которых мы кратко говорили выше. Буржуазные, раннекапиталистические элементы итальянских городов, опираясь на свою растущую экономическую мощь, в боях с умирающим дворянством и рождающимся пролетариатом добились гегемонии. Но, добившись последней, они не сумели ее надлежащим образом использовать. Увеличение производственных, торговых, банковских предприятий делало невозможным непосредственное участие во всем хозяина, столь характерное для феодализма. Да к тому же хозяин в большей мере должен был заниматься политикой, государственными делами, которые к XV в. целиком легли на его плечи. Естественно, что он все больше и больше отрывался от непосредственного участия в деле, мелкими и кропотливыми деталями которого он и не хотел заниматься. Положение было завоевано, дальше стремиться как будто было некуда: феодальное окружение не создавало еще той лихорадочной конкуренции, которая в условиях

развитого капитализма беспрерывно гонит правящий класс вперед к новой наживе, к новым насилиям. Поэтому свои большие, добытые с таким трудом средства новый хозяин положения начинает изымать из разного рода рискованных промышленных и торговых предприятий, помещая их в землю, что, если и не так выгодно, зато гораздо спокойнее. Но не только правящая верхушка, не только магнаты производства и капитала переходят к обороне, как бы засыпают. Тот же процесс падения творческой энергии в области социальной происходит и в недрах побежденных пролетарских элементов. Лишенные надежды на победу или даже на частичный успех, после кровавых репрессий, следовавших за наиболее яркими революционными выступлениями конца XIV в. (вспомним восстание чьомпи), загнанные в политическое подполье, сведенные в экономическом отношении на положение совершенно бессловесных подсобных орудий, пролетарские элементы теряют всякий вкус к своему делу, их труд получает все свойства подневольного труда. Это с другого конца подтачивает и без того непрочные раннекапиталистические отношения. Так, после, казалось бы, полного поражения, феодальная система, основанная на земельной собственности, начинает возрождаться в новых формах, во многом напоминающих старые. Начинается феодальная реакция.

Но не одни внутренние, социальные и экономические причины определяли собой этот процесс остановки, а затем и регресса в развитии Италии, — немалое влияние оказывали и причины внешнеполитические. На всех границах Италии крепнут национальные монархии, хотя и с запозданием и не так ярко, но, может быть, более органично проделывающие ту же социальную эволюцию, что и Италия периода подъема. Нуждаясь во время своего роста и укрепления в итальянской продукции, торговле, капиталах, они, окрепнув, более или менее беззастенчиво от них освобождаются. Италия теряет за границей одну позицию за другой. Не лучше, если не хуже, дело обстоит вне Европы. Победоносное наступление турок на Востоке разбивает все старательно устраиваемые коммерческие комбинации,

так что и этот рынок если не уходит совершенно из рук итальянцев, то, во всяком случае, значительно сокращается. Кульминационный пункт этого сокращения падает на знаменитый 1453 год — год падения Константинополя, год, следующий за годом рождения Леонардо да Винчи.

Так угроза внутренних и внешних поражений и реальные поражения, являющиеся результатом слишком скорой и слишком непрочной победы, в течение XV в. постепенно перерождают вышедшие было к власти новые социальные силы. Но столь глубокие социальные изменения, совершенно новая расстановка классовых сил, выход на историческую арену новых социальных слоев, полных творческой энергии, даже под ударами жесточайшего кризиса не могут сразу исчезнуть с лица земли. Созданная в яростной классовой борьбе громадная социальная инерция, будучи заторможенной на своем главном пути, ищет и находит выходы в других областях, в первую очередь в области идеологии, стараясь здесь создать новые формы, адэкватные новым ссциальным отношениям, в это время постепенно уже отмирающим. Так создается исторический парадокс, ставящий обычно втупик историка, желающего внимательно присмотреться к событиям и движущим силам итальянского Возрождения: изобразительные искусства, литература, позже наука расцветают на вспаханной социальной борьбой почве Италии тогда, когда борьба эта уже начинает откатываться назад и постепенно потухает.

Но чтобы создать надлежащие условия для литературных, живописных, архитектурных развлечений властвующей верхушке нужна была соответствующая политическая обстановка, гарантирующая пусть временное и непрочное, но беззаботное благополучие. Такая обстановка и создается в XV в. рождением в городах — республиканских коммунах — тирании отдельных, наиболее беззастенчивых, ловких и богатых представителей правящей олигархии, передающих затем свою власть по наследству. Таким образом создаются новые династии там, где когда-то царило выборное начало, строго проведенное с верху до низу городского управления. Республиканской на все

время Возрождения остается только Венеция, более торговая, чем промышленная, менее бурно пережившая период классовой борьбы, менее вырвавшаяся вперед и потому менее резко откатывающаяся назад.

Зато интересующая нас в первую очередь Флоренция и в этой области, как и в ряде других, является наиболее типичной. Еще во время восстания «босяков» 1378 г., за кулисами важнейших событий постоянно мелькает не вполне понятная, но многозначительная фигура Сальвестро Медичи, члена быстро богатеющей торгово-банковской пополанской семьи, ловко использующего в своих интересах яростные схватки борющихся не на жизнь, а на смерть классов-антагонистов. Один из членов этой семьи (по другой линии) Козимо продолжает начатое Сальвестро дело захвата власти, тихо, незаметно, но решительно продвинутое вперед рядом других Медичи, особенно отцом Козимо — Джиованни д'Аверардо. После ряда тонких политических ходов, после нескольких казавшихся весьма серьезными поражений, 1 января 1435 г. Козимо завладевает властью во Флоренции, и она остается за семьей Медичи без перерыва до конца столетия. Ни Козимо, ни его сын и внук не принимают никакого официального звания, они остаются частными гражданами, изредка избираемыми на ту или иную республиканскую должность. Но фактически они держат в руках все нити управления, являются единственными, полноправными, признанными всем миром хозяевами Флоренции. Козимо прочно обосновывает власть своей семьи, ему наследует на несколько лет его довольно бесцветный сын Пьеро, за которым в 1469 г. следует его первенец Лоренцо, довольно заслуженно носящий характерное прозвище «Великолепный».

Лоренцо родился в 1449 г., т. е. был на три года старше Леонардо да Винчи. При его правлении, в непосредственной близости от него, протекала молодость Леонардо, определившая собой его художественное и научное творчество. Поэтому мы должны, хотя бы совсем кратко, охарактеризовать как самого Лоренцо, так и Флоренцию под его властью. Если старый Козимо в своей захватнической деятельности, а затем в своем

правлении сохранял еще некоторые черты завоевательного напора XIV в., правда — в придушенном и измененном виде, то его «великолепный» внук является одним из наиболее типичных представителей XV в. Талантливейший итальянский поэт своего времени, умеющий в сонетах, канцонах, поэмах и карнавальных песнях сочетать тонкость и несколько суховатую изысканность стиля Петрарки с необычайно ярким чувством и острым и красочным ощущением окружающей его реальной жизни, он в то же время крупнейший итальянский политик. Он был мастером той искусной дипломатической игры, которая стремится во что бы то ни стало путем тончайших сопоставлений и противопоставлений интересов сохранить политическое равновесие, само по себе очень непрочное. При этом, что весьма характерно именно для XV в., поэзия и политика в деятельности этого энергичного, но болезненного и некрасивого человека были самым тесным образом связаны между собой. Политика его в общеитальянском масштабе стремилась сохранить дипломатическим путем равновесие, но в пределах флорентийской территории с невиданно кровавой жестокостью держала в покорности все подчиненные Флоренции местности; внутри же города неуклонно шла к уничтожению последних остатков демократического республиканского правления, к упрочению положения династии Мэдичи. Лоренцо, с одной стороны, постоянно и постепенно изменял конституцию, проводил разного рода запугивающие мероприятия и систематически грабил государственную казну; с другой — он убаюкивал все способные оказаться революционными элементы, с которыми сам старался поддерживать постоянную личную связь, развлекая их и отвлекая от политики разного рода карнавалами, турнирами, пирами и спектаклями. И здесь Лоренцо оказывало неоценимые услуги его поэтическое творчество. Его знаменитая поэма «Ненчиа да Барберино», на наш взгляд лучшее поэтическое произведение всего Возрождения, рисует в легких, слегка грубоватых, но удивительно сочных чертах любовь молодого, здорового крестьянина к его краснощекой подруге. Неоконченная поэма Лоренцо «Пьяницы», пародируя великолепные

и приподнятые терцины дантовской «Комедии», живописует и прославляет всех знаменитых пьяниц Флоренции. Его карнавальные песни, припев наиболее известной из которых мы выше привели, имеют уже явно пропагандистскую тенденцию; они зовут от невеселых мыслей, от мрачного, но неизбежного будущего к наслаждению сегодняшним днем, причем обращаются не к правящим верхам, которых не нужно было агитировать, а к представителям ремесленных низов, которых надо было беспрерывно держать под гипнозом. Однако уже из сказанного ясно, и это подтвердилось немедленно после смерти Лоренцо в 1492 г., что вся эта сложная система мероприятий была поверхностной, результаты же ее были абсолютно непрочными.

Все более угрожающее катастрофой падение промышленности и торговли продолжалось. Не подлежит никакому сомнению, что и Лоренцо, и представляемые им умные и деловые магнаты — властители Флоренции — сознавали всю эфемерность проводимых ими мероприятий. Они знали, что причина причин тяжелого положения ими не затрагивается, что необходимо было бы предпринять какие-нибудь более решительные меры для поднятия производства и торговли. И действительно, некоторые попытки в этом направлении делались; таковы — упорно проводимая еще со времени Козимо протекционистская политика (мероприятия 1458, 1473 и 1478 гг.), усиленная борьба за иностранные рынки и торговые пути (договор 1490 г. с Англией) и, что особенно важно, отчаянные попытки поднять катастрофически падающее качество продукции путем усиления бракеража и особенно путем усовершенствования техники.

Но все эти мероприятия проводились как-то нехотя и без энтузиазма. Сердце самого Лоренцо, блестящего политика и поэта, так же не лежало к мелочным занятиям производством и торговлей, как не лежало к ним сердце у рыцарей-феодалов, беспощадно истреблявшихся его воинственными предками. Поэтому он, создавая все юридические возможности для подъема промышленности и торговли, предпочитал сам в них не заглядывать, оставляя занятия ими другим более мелким представителям своей клики, а сам в случае нужды запускал руку в

общественный кошелек. Но беда была в том, что и все, даже наиболее слабые представители правящей группы Медичи, чувствуя себя, как за каменной стеной, под защитой своего «великолепного» покровителя и хозяина, рассуждали, примерно, так же, как и он, — и экономическая база мощи Флоренции продолжала падать все заметнее, все скорее.

Зато действительно глубокий, активный и горячий интерес Лоренцо и вся представляемая и охраняемая им группа проявляют к искусству во всех его видах. Флоренция под властью Лоренцо окончательно становится той колыбелью новой живописи, скульптуры и архитектуры, которой она начала делаться еще с начала XV в. Как «новые Афины» прославляют ее поэты-современники и как «новые Афины» вспоминают ее романтизирующие ее прошлое, идеалистически настроенные позднейшие исследователи. Весь запас энергии, напористости, инициативы, который еще сохранялся в пришедших к власти новых социальных слоях, не находя выхода в экономической и политической сфере деятельности, был брошен в сферу идеологии. В лихорадочном порыве, в юношеском увлечении, создаются одно за другим замечательные, революционизирующие искусства, находящие новые выразительные средства произведения. Выдвигаются, преимущественно из более социально-полнокровных низов, гениальные, смелые, экспериментирующие художники от Мазаччьо, Донателло и Брунеллески, через Гирляндайо, Ботичелли, Вероккио и Браманте, до Леонардо да Винчи, Рафаэля и Микель Анжело. Но весь этот невиданный блеск, все это действительно блестящее творчество покоится на зыбкой и все более уходящей из-под ног почве. Правда, развитие в области изобразительных искусств оказалось очень своеобразно связанным с проблемой развития техники, которой мы специально посвящаем следующую главу. Но все же и вмешательство творчески активных ремесленно-художественных слоев, вмешательство, нередко нежелательное правящей верхушке, хотя часто не лишенное сильного налета дилетантизма и беспочвенности, не могло радикально изменить создавшееся совершенно безнадежное положение. Зото

вмешательство это, обусловленное всей логикой развития событий, оказалось способным радикальнейшим образом изменить положение техники и науки, изменить самый подход к ним. Это изменение заложило первые камни фундамента того грандиозного здания техники, основанной на науке, и науки, работающей для техники, завершить которое суждено науке социализма.

Однако, прежде чем перейти к рассмотрению сдвигов, происходящих на почве Италии XV в. в сфере науки и техники, мы должны так же (а может быть и более кратко), как для Флоренции, рассмотреть обстановку, создавшуюся ко времени появления на исторической арене Леонардо да Винчи на второй его родине — в Милане. Последний столь же значительно, как Флоренция, повлиял на образование личности Леонардо и (что нас интересует в первую очередь) его научной психологии.

Милан — центр Северной Италии, расположенный на перекрестке путей, соединяющих полуостров с Францией, Швейцарией и, отчасти, Германией, имел в первую очередь стратегическое и политическое значение как ключ к Италии. В промышленном и торговом отношении он значительно уступал и Флоренции, и ряду других промышленно-торговых городов Италии. Но в одной отрасли производства Милан являлся ведущим центром не только Италии, но и Европы в целом. Отраслью этой была металлургия и металлообработка — изготовление в первую очередь оружия всех видов, особенно доспехов, затем разного рода мелких металлических изделий — подков, замков, бубенцов, кубков и т. п. Но, хотя это трудно понять и представить себе современному читателю, металл и металлические изделия вообще не играли сколько-нибудь значительной роли в техническом и бытовом потреблении того времени. Поэтому металлическая промышленность, и как мы это рассмотрим ниже, техника всех отраслей обработки металла были менее развиты, чем, например, текстильная или даже керамическая. Предприятия были не столь велики; цеховой уклад, со всеми его феодальными ограничениями, сохранялся в значительной мере в неприкосновенности. В тесной

связи с этим рождение новых социальных отношений, появление на экономической и политической сцене представителей новых классов протекали в Милане несравненно медленнее, чем во Флоренции, и далеко не столь ярко и полно. Это отнюдь не значит, что в Милане отсутствовал классовый антагонизм, вызывавший ожесточенные классовые схватки, но этот антагонизм и эти схватки стояли на более феодальной почве, чем те же явления в более капитализированных городах. В несомненной связи с менее промышленным и торговым характером Милана, при громадном его политическом весе, стоит и то обстоятельство, что он, как и ряд других находившихся в том же положении городов Италии, рано начал менять республикански-коммунальную форму правления на монархически-тираническую. Уже во второй половине XIII в. городом управляют представители знатного рода делла Торре, к концу же этого века им завладевает семья Висконти. Все время лавируя между феодально-аристократическими и буржуазно-народными элементами населения, используя взаимную борьбу тех и других, ловкие и энергичные представители этой семьи создают прочную основу для власти. Вместе с тем они создают тип города, в котором феодальные особенности уживаются путем ряда компромиссов бок-о-бок с буржуазно-капиталистическими. В таком центре с падением торгово-промышленного значения Италии, а следовательно, с ослаблением буржуазно-капиталистической струи, наиболее легко и рано начинают появляться признаки феодальной реакции. К середине XV в., ко времени, которое нас специально интересует, властвовавшая в течение почти двух веков династия Висконти вымирает. Попытка организации республиканской коммуны, явно безнадежная в середине XIV в., когда уже и наиболее передовые города отказываются от республиканских форм, проваливается. Зять последнего Висконти, его военачальник, энергичный, хитрый и умный кондотьер Франческо Сфорца в 1450 г. торжественно занимает Милан. Сфорца — типичный военный авантюрист середины XV в. Отец его — полубандит, полукрестьянин, пробил себе дорогу в жизнь как предводитель небольшой,

почти бандитской шайки, затем выросшей в военный отряд. С одной стороны, Франческо, естественно, опирался на буржуазные слои Милана; с другой же — еще значительно усиливал тот его военно-феодальный характер, который город имел уже при Висконти. В результате Милан сделался, может быть, столь же характерным представителем военных городов Италии, как Флоренция была характерной представительницей городов промышленно-торговых.

Сын Франческо Сфорца — дегенеративный Галеаццо Мария был убит заговорщиками, представителями аристократически-республиканских слоев. Властью завладел, при помощи ловких и осторожных маневров, его брат Лодовико, по прозванию Моро, правивший сначала в качестве опекуна малолетнего и болезненного сына убитого герцога — Джан Галеацо. Насколько старый Франческо Сфорца принадлежал, подобно Козимо Медичи, к поколению создателей династии, решительных и непреклонных, смелых и изворотливых, настолько Моро, подобно Лоренцо Медичи, был представителем поколения правителей, уже ничего не завоевывающих, но только судорожно старающихся удержать власть, ежеминутно грозящую выскользнуть из их рук. Властитель города-государства, значительно раньше принявшего монархическую форму правления, чем Флоренция, Моро был гораздо более свободен в своих действиях. С другой же стороны, роль узурпатора обязывала его к особо настойчивому использованию всех средств, укреплявших его положение. И то и другое отразилось на его правлении.

Мы привели возможно более краткие характеристики политического положения двух крупнейших центров Италии — двух городов, определивших духовное развитие Леонардо, для того чтобы данная нами выше схема социальных сдвигов, определивших собой радикальные изменения в области науки, не была слишком абстрактной. Читатель, не знакомый близко с политической обстановкой итальянского Возрождения, сможет на двух конкретных примерах познакомиться с тем окружением, в котором выросло и приобрело свои специфические

черты научное творчество Леонардо. Но творчество это только сформировалось при более или менее спокойном правлении двух названных нами правителей — Лоренцо Великолепного и Лодовико Моро. Расти и развиваться ему пришлось уже в значительно более сложной и беспокойной обстановке.

Лоренцо умер в 1492 г. После недолгого правления его сына Пьеро в роли правителя Флоренции оказался полубезумный фанатик — доминиканский монах Джироламо Савонарола, пытавшийся заменить буржуазную диктатуру рода Медичи народно-аристократической диктатурой аскетического типа, отчасти идущей по следам образующихся вне Италии национальных государств, отчасти же воскрешающей наиболее фантастические чаяния феодальных мечтателей религиозного толка. Оставшийся после смерти Лоренцо наиболее крупным политическим деятелем Италии, Лодовико Миланский запутывается в сложных дипломатических комбинациях; в результате их, уже в 1494 г. в Италию вступает французский король Карл VIII, проходящий почти без сражений всю Италию и с такой же легкостью уже в 1495 г. уходящий обратно. В 1498 г. следует вторая французская экспедиция — короля Людовика XII, присоединяющая Милан к Франции и лишающая владений того самого Лодовико Моро, который был одним из инициаторов первого французского похода. В том же 1498 г. вступает на папский престол Александр VI Борджиа, пытавшийся при помощи сына своего Цезаря и дочери Лукреции создать из Италии единое государство по образцу Франции и Англии, но не сумевший довести своего предприятия до конца. Затем на итальянской почве появляются в качестве грозной завоевательной силы испанские войска, враждующие с французскими, и Италия все больше и больше превращается в соблазнительный кусок, за который дерутся соседние с ней, несравнимо более сильные государства. Италия теряет свое политическое лицо, как она уже раньше потеряла лицо социальное.

Если мы, таким образом, попытаемся подытожить в немногих словах данную нами выше характеристику социального, экономического и политического положения Италии XV в.,

особенно его второй половины, то должны будем констатировать, что большинство ее ведущих центров в области социальной понемногу отступает от ранее завоеванных ими капиталистических позиций и постепенно возвращается к феодализму. В области экономической эти центры идут ко все большему упадку; в области же политической они сначала как бы достигают некоторой стабилизации путем создания тираний и ведения ими хитроумной политики, но затем попадают в водоворот политических вожделений окружающих Италию сильных государств и постепенно становятся в той или иной степени их добычей.

Глава 2

ТЕХНИКА И ТЕХНИКИ

*

§ 1. ТЕХНИКА[1]

Несмотря на то, что Италия в течение XV в. неуклонно идет к упадку, она еще в течение всего этого и, пожалуй, в течение всего следующего века остается ведущей страной в ряде областей, в частности в области техники и науки. Иначе и не могло быть. Техника, кратким разбором состояния которой мы займемся в настоящей главе, была неразрывно связана с теми сдвигами в производстве и с теми изменениями в соотношении классовых сил, о которых мы говорили в начале данной части. Укрупнение предприятий, с одной стороны, становилось возможным и целесообразным только на базе новой техники, с другой же — стимулировало самым решительным образом дальнейшее развитие этой техники. Смена кустарно-цехового производства производством ранне-капиталистическим, применяющим сравнительно большие количества наемных рабочих, ставит естественно и императивно проблему механизации, условно выражаясь — автоматизации, наиболее трудоемких и потому наиболее невыгодных для предпринимателя технических операций. Наступивший в течение второй половины века период временной стабилизации, период усиленного, лихорадочного пользования представителями новой верхушки властью, с таким трудом

[1] Уже после окончания этой работы вышла в свет книга William Barclay P a r s o n s — Engineers and engineering in the Renaissance (Baltimore, 1939), которую, к сожалению, использовать не удалось.

завоеванной и так скоро начинающей вываливаться из рук, вызвал громадный подъем потребления ряда продуктов. Этот подъем хотя и не мог сбалансировать падения внешней торговли и общего расстройства системы производства и обращения, но все же несколько смягчал надвигающийся кризис, создавал впечатление внешнего благополучия в основных производственных областях, например в текстильном производстве, а в некоторых технических областях, например в строительном деле, дал даже определенное движение вперед. Вообще же технический уровень итальянского производства XV в., если его сравнивать с производствами других стран, хотя бы Англии (текстиль) и Германии (металл), был весьма высок. Уровень этот был достигнут, правда, еще в предшествующие два века, и онемение, постепенно овладевавшее производством в XV в., имело тенденцию задержать его дальнейший подъем. Но, несмотря на замедление развития, а иногда остановку и начало падения техники, например в текстильном деле, итальянская техника как целое остается еще очень высокой.

Но даже не самый уровень техники, не самое развитие ее имеет и вообще, и особенно для нашего изложения руководящее значение. Решает, как нам кажется, принципиально новое отношение к технике, новое положение ее в системе общественных сил. В то время как во всех предыдущих исторических формациях положение, власть, могущество руководящих эксплоататорских классов базировались на войне, на внеэкономическом принуждении, — хотя, конечно, связанных теснейшим образом с производственной деятельностью, но все же с ней не идентичных, — могущество класса, захватившего в XIII и XIV вв. власть в итальянских городах и удерживавшего ее в XV в., одной из своих основных опор имело именно производство. Как рыцарь-феодал любовно вешал в лучшем зале дворца-крепости свой меч и называл его нежным и грозным именем, звучавшим как ласкательное имя для друзей и как боевой клич для врагов, так флорентийский магнат в лучших нижних помещениях своего вновь отстроенного палаццо помещал свое производство и свою лавку, делая боевым кличем своим сумму

своего баланса. Как рыцарь-феодал, умирая, завещал своим сыновьям мужество в бою, верность сеньеру и преданность «святой католической церкви», так флорентийский магнат завещал своим детям внимательное и энергичное руководство своим делом, умеренность, воздержание и светскую образованность. Правда, контраст этот по мере продвижения феодальной реакции в XV в. все более смягчается. Флорентийский шерстяник старательно и с натугой гримируется под аристократа, устраивает пиры и турниры, пытается стереть с еще мозолистых рук терпкий запах краски, пробовать которую учил его отец, но это все-таки не изменяет его отношения к производству. Техника для него не что-то презренное и суетное, а одна из сил, выдвинувших его к власти, одна из вернейших союзниц, правда, оставленная и обманутая. В этом принципиально новом отношении к технике лежит, на наш взгляд, одна из основных, а может быть и самая основная причина переворота в науке, который происходит в конце Возрождения.

Но прежде чем перейти к рассмотрению изменений, происшедших в области науки, мы дадим краткий обзор основных технических проблем, которые выдвигал и которые так или иначе разрешал XV век. Обзор этих проблем может, как нам кажется, объяснить не только самый расцвет науки, связанной с техникой, но и показать, какие ветви этой науки могут и должны развиваться.

Нужно сразу оговориться, что область техники итальянского Возрождения, несмотря на ее большую, признаваемую даже буржуазными историками важность, до сего времени почти совершенно не изучена и, во всяком случае, не имеет ни одной сколько-нибудь значительной сводной работы; поэтому мы, не имея возможности в рамках данного труда заниматься самостоятельной исследовательской работой в этой области,[1]

[1] Настоящее исследование в этой области вообще невозможно без доступа к рукописным фондам итальянских архивов, ибо изданы, и притом далеко не полно и не удовлетворительно, только литературные памятники, относящиеся к технике (трактаты). Наиболее же объективный материал может быть получен только из актов, погребенных до сего времени в архи-

принуждены ограничиться сводкой, значительно более краткой, чем это требовалось бы.

Основной промышленностью и основной технической областью в производстве Флоренции, родном городе Леонардо да Винчи, был текстиль — в первую очередь выделка шерстяных тканей, а затем и тканей шелковых. В обеих этих областях к XV в. накапливается довольно значительное количество технических приемов, изобретается или, вернее, вводится в производственную практику много приспособлений и механизмов, которые в своей совокупности образуют уровень техники, значительно отличный от среднего уровня феодального цехового ремесла. В обработке шерсти ведущими в XV в., как и ранее, являлись два механизма: механизм для прядения и механизм для тканья—прялка и ткацкий станок. Оба эти механизма, в том виде, как мы их застаем к началу XV в.,[1] имеют форму, резко отличную от обычной феодальной. Правда, мы не знаем, когда и где произошел переворот в технике шерстяного производства и не имела ли здесь место постепенная эволюция, но несомненно, что к XV в. простое веретено и более сложная, но все же довольно примитивная прялка сменяются значительно более совершенной, хотя не универсально применимой самопрялкой, вдвое сокращающей операцию прядения для некоторых сортов пряжи. Сущность самопрялки состоит в том, что на веретено надевается особая рогулька, через которую перекидывается выпрядаемая нить и которая, вращаясь со скоростью, отличной от скорости веретена, наматывает нить на шпульку одновременно со скручиванием ее. Техническая проблема, которую ставил перед конструктором столь, казалось бы, простой механизм, была, тем не менее, и не слишком проста

вах. Несмотря на это, мы пытаемся в предварительном порядке там, где имелся хоть какой-нибудь материал, изложить некоторые стороны вопроса.

[1] A. D o r e n. Studien aus der Florentiner Wirtschaftsgeschichte, B. I. Die Florentiner Wollentuchindustrie vom Vierzehnten bis zum Sechszehnten Jahrhundert. Stuttgart, 1901.

Эта вышедшая 35 лет назад работа и до сего времени остается лучшим из немногого, что написано о производстве Возрождения.

и весьма характерна — она состояла в создании такой системы передачи, которая давала бы возможность получать разные скорости на оси веретена, т. е. сводилась к задаче из области прикладной механики, к задаче по деталям машин. Дальнейшее усовершенствование прядильного механизма, необходимость которого была, повидимому, ясна к тому времени, ставило новые технические задания, и притом чисто механического характера.

Такие же задания ставил перед техником и другой основной механизм текстильного производства — ткацкий станок. Если мы рассмотрим изображение ткацкого станка, имеющегося в весьма богатой техническими деталями и, к сожалению, совершенно не изученной рукописной истории ордена Гумилиатов, относящейся к 1421 г.,[1] или значительно более схематичное, но более известное изображение ткацкого станка на картине Пинтуриккио (изображающей Пенелопу), и сравним их с описанием, даваемым изданным Дореном «Трактатом о шерсти», то мы легко убедимся в том, что ткацкий станок итальянского XV в. сильно отличается от станка, типичного для средневекового ремесла. Основным отличием его является более сложный ремизный аппарат с системой педалей, рычагов и противовесов; конструирование и даже выполнение этого аппарата опять-таки вплотную подводило к проблемам технической механики.

Если для Флоренции — первой родины Леонардо — ведущей и наиболее характерной областью производственной деятельности был текстиль, то для Милана — второй родины Леонардо — ведущим было металлическое производство — металлургия и обработка металла. В текстиле к XV в. мы отмечали серьезные сдвиги; в металлургии к этому времени мы уже имеем дело с настоящей и полной технической революцией, с выработкой приемов и методов, доживших в своих основных

[1] Репродукции из этой рукописи, хранящейся в Амброзианской библиотеке под шифром Q. 301 inf., приведены в работе G. Verga. Storia della vita Milanese. Milano, 1931, p. 69 sqq.

чертах до настоящего времени. Действительно, где-то на грани XIV и XV вв., или же в начале последнего, черная металлургия Европы и, повидимому, в первую очередь Италии переходит от процесса непосредственного получения металла из руды к процессу переделочному, от сыродутной к доменной металлургии. Мы не будем здесь упоминать о значении и общем характере этого важнейшего технического сдвига, ни о его химической (условно выражаясь) стороне. Остановимся только в нескольких словах на изменениях в механической структуре того оборудования, наличие которого только и сделало возможным этот важнейший технический переворот.

Переход на доменный процесс в металлургии стал возможен только после решительного сдвига в энергетической базе ее, так как плавка жидкого чугуна была возможна при замене ручного дутья, недостаточного и неравномерного, дутьем, создаваемым двигателем. Сдвиг этот произошел, повидимому, в XIVв.; к сожалению, мы точно не знаем — где. Он выразился в замене подливного нижнебойного водяного колеса, неудобного, малопроизводительного и потому имевшего только ограниченную область применения, колесом наливным — верхнебойным, более технически совершенным и более универсальным. Наливное колесо быстро завоевывает ряд отраслей промышленности, в металлургии же становится единым двигателем, приводящим в движение, при посредстве главного передаточного вала, не только меха для дутья, но и ряд других механизмов — в первую очередь толчей для размельчения руды и хвостовых молотов для ковки. Разумеется, что как водяное верхнебойное колесо, постепенно увеличивающее свои размеры и усложняющее свою конструкцию, так и сравнительно сложная система передачи от водяного колеса и соединенного с ним главного вала к отдельным механизмам, состоящая из различного рода кулачков-рычагов, противовесов-блоков и зубчатых сцеплений многих типов, ставили перед техником XV в. опять-таки ряд задач из области прикладной механики.

Достаточно прочитать подробное и исключительно красочное описание металлургической техники середины XV в. в

трактате об архитектуре Антонио Филарете, о котором, как о писателе, мы будем говорить ниже,[1] и всмотреться в иллюстрации, сопровождающие текст трактата, чтобы убедиться в следующем: вместо доминирующего в средневековом ремесле, в том числе и в металлургической его ветви, простого инструмента или элементарного механизма, только в исключительных случаях перерастающего в машину, да и то в условном смысле этого слова, мы имеем здесь уже настоящие машины. Эти машины мануфактурного, ремесленного типа до некоторой степени являются уже прообразом той системы машин, которая, как показал Маркс, была основой капиталистического производства и возникла только на почве капитализма.

Система эта, усложняясь и совершенствуясь, не могла довольствоваться чисто эмпирическими, рецептурными навыками. К тому же она эволюционировала слишком быстро для того, чтобы можно было успевать подгонять к ней эти навыки, развивающиеся, естественно, только весьма медленно, как бы ощупью. Требовалась новая теория, которая, подведя общее принципиальное основание под все возможные технические случаи, давала бы возможность легко и быстро разобраться в каждом из них. Настоятельно чувствовалась необходимость в новой науке, неразрывно связанной с рождающейся новой техникой.

Та же тенденция к механизации, которая отмечает в XIV—XV вв. революционизирующуюся в корне металлургию, может быть отмечена и в значительно более консервативной

[1] Antonio Averlino F i l a r e t e. Traktat über die Baukunst.... hrsg. von Dr. W. v. Oettingen, Wien, 1890 (Quellenschriften für Kunstgeschichte und Kunsttechnik. N. F. III B.).

В книге 16 этого весьма интересного с историко-технической точки зрения трактата содержится описание поездки на металлургическое предприятие. К сожалению, издание дает текст этого места только в сокращении, почему мы и в нашей специальной статье о металлургии у Филарете и в данном месте принуждены ссылаться на рукопись «Cod. Magliabecchianus», Bibl. Naz. Cl. XVII, I, 30, фотографические репродукции которой были нам предоставлены Флорентийской Национальной библиотекой.

области—в металлообработке. Здесь мы не имеем сколько-нибудь решительных сдвигов, но с несомненностью можем констатировать стремление путем разрешения задач из области прикладной механики и деталей машин добиться усовершенствования весьма слабых технически основных механизмов — в первую очередь расточного и токарного станков, добиться механизации их. Так, в это время намечается тенденция заменить в токарном станке поступательно-вращательное движение, получаемое от лучка или гибкого шеста, постоянным вращением, направленным в одну сторону и получаемым либо при помощи гибкого привода от отдельного махового колеса, либо же от педали и кривошипного механизма. Такая замена, конечно, требовала и разрешения ряда чисто механических задач.

Совершенно особое место в развитии производственной техники Возрождения играет мельница. На ее роль в техническом развитии производства неоднократно указывал Маркс. Можно привести ряд весьма характерных указаний источников, подтверждающих это марксово положение. Так, сошлемся на наиболее в этом смысле показательный трактат сиенского инженера Франческо ди Джиорджио Мартини,[1] о котором мы будем подробно говорить ниже. Седьмая книга трактата должна была дать описание различных машин и механических приспособлений. Фактически же она почти целиком посвящена описанию пятнадцати различных мельниц, которые действительно представляли собой наиболее конструктивно-сложные технические организмы того времени. Являясь одним из основных и необходимейших орудий производства, они давали наиболее богатую пищу пытливому техническому уму, перед которым ставили ряд сложных задач из области механики.

Сказанное нами о сдвигах в основных отраслях производственной техники в XV в. может показаться противоречащим той характеристике производства этого времени, которую мы давали выше. Однако в действительности здесь никакого противоречия нет. Производство, быстро и резко развившееся в

[1] О Мартини и его сочинениях см. стр. 260.

XIII и XIV вв., шло шаг за шагом к падению и полному загниванию. Основа его — техника — была одной из причин его крупного подъема и к XV в. достигла своей кульминационной точки. На этой точке техника как бы затормозилась: в течение нескольких десятилетий она не двигалась вперед, но и не деградировала, а затем стала постепенно окостеневать, перерождаясь в систему предписаний, рецептов и приемов. Эта система в следующем, XVI в., примет форму хотя бы знаменитой «Пиротехнии» Биринггуччьо, подытоживающей достижения металлургии за предыдущий период, или трактатов Бессона или Дзонка, также фиксирующих характерное для периода стремление к механизации ряда технических процессов. Стремление это в глубоко упадочном на почве Италии XVI веке чаще вызывало к жизни сложные и совершенно не реальные приспособления, чем практически используемые машины.

Однако если в области производственной техники сдвиги были хотя и глубокими и симптоматичными, но сравнительно весьма непрочными, то в области двух отраслей техники, не относящихся непосредственно к производству, сдвиги эти приобретают более органичный характер. Мы имеем в виду военное дело и строительную технику. При загнивании производства, при усиливавшейся реставрации феодализма обе эти области должны были не только не падать, но расцветать с невиданным ранее блеском. Так это действительно и происходило. Техническая сноровка и стремление к механизации, вырабатываемые, повидимому, в первую очередь в производстве, определяющем собой самое появление на свет Возрождения, затем переключались на другие сферы. В военном и строительном деле они вызвали к жизни ряд новых, исключительно важных явлений.

Военное дело начало «технизироваться» довольно рано — с самого введения в обиход огнестрельного оружия. Со времени все более широкого применения пороха, война и все связанное с ней требовало более сложной техники. Уже в античности разного рода укрепления и осадные орудия были одной из важнейших сторон техники, как это ясно видно хотя бы у Герона.

В средние века, до введения в обиход пороха, военная техника вряд ли могла похвастать сколько-нибудь значительными достижениями, но зато после начала его победного шествия положение резко меняется. Начала быстро расти и развиваться не только техника использования новых видов оружия и техника их изготовления, но и ряд связанных с ними отраслей. Так, рассмотренные нами выше изменения в области металлургии, несомненно, были вызваны резко увеличивавшейся вследствие применения огнестрельного оружия потребностью в черных металлах. Если производственная техника при этом процветала далеко не во всех итальянских городах-государствах, то военная техника, особенно в бесконечно бурном и политически неустойчивом XV в., должна была неизбежно культивироваться всюду. Отстать в военном деле, а следовательно и в его технике, значило потерять право на существование. Поэтому военно-инженерное искусство во всех городах, при всех дворах стояло в центре внимания; поэтому, как мы это увидим ниже, весьма энергично создавалась его теория; поэтому оно вызвало к жизни первые кадры специалистов-техников. По самому своему составу военная техника делилась на два основных раздела: артиллерию и фортификацию. Артиллерия требовала, с одной стороны, металлургических знаний и знаний по металлообработке для изготовления орудий, с другой же стороны — разработки техники стрельбы, которая непосредственно и самоочевидно упиралась в вопросы механики, в первую очередь в усиленно дебатировавшийся, как мы видели, в течение античности и средних веков вопрос о полете брошенного в воздух тела. Но вопрос этот, попадая из сферы научно-философских спекуляций в сферу суровой практики, естественно, должен был получить совершенно новые ответы. Уже нельзя было тонкими цепями логических аргументов доказывать, ускоряется ли движение брошенного в воздух тела, или, иначе, ядра, после начала полета, — надо было доказать это на опыте, на технической практике. Ошибочная теория неизбежно приводила к порочной технике, а ошибки последней больно отражались на самом существовании ошибаю-

щегося. Таким образом, вопросы артиллерии — актуальнейшие вопросы техники XV в. — еще в большей мере, чем вопросы основных отраслей производственной техники, приводили к механике, к необходимости внимательного изучения и, частично, пересмотра ее положений.

Вторая ветвь военной техники — фортификация — также условно может быть подразделена на две части: на учение об осадных орудиях и учение о постройке укреплений. Учение об осадных орудиях неогнестрельного типа, т. е. о разного рода таранах, осадных башнях, лестницах и тому подобных предметах, в значительной своей части было завещано Возрождению предыдущими эпохами. Уже в произведениях Витрувия и Герона теория осадных орудий, состоявших, в основном, из системы рычагов, рассматривалась как одна из главных отраслей прикладной механики. Неудивительно, что XV век, усиливавший, как мы видели, внимание к военной технике во всех ее видах и, о чем мы будем говорить ниже, преклонявшийся перед античностью, подхватил эту отрасль техники, основанную на механике, и со свойственной ему напористостью пытался продвинуть ее дальше.

Что же касается до фортификации в собственном смысле слова — до постройки укреплений, то она подводит нас к отрасли техники, наиболее развитой и наиболее изученной в течение всей античности и всех средних веков, — к строительной технике.

Техника эта распадается в это время на три основные ветви: на постройку военных сооружений, в первую очередь укреплений; на постройку гражданских сооружений, общественных (церквей, дворцов) и частных; наконец, на постройку сооружений гидротехнических, в первую очередь каналов и шлюзов, игравших колоссальную роль во всей экономической и политической жизни Италии.

Проектирование и постройка военных сооружений, повидимому, до XV в. почти не получали теоретического обоснования и велись преимущественно эмпирически. В течение этого века необычайно быстрый рост и развитие артиллерии и исключительно

бурная политическая обстановка настоятельно требовали изменения положения. Нужно было найти формы укреплений, которые максимально защищали бы от обстрела, позволяя в то же время более свободно обстреливать осаждающих; нужно было найти способы постройки, которые, не требуя слишком большой затраты материала, позволяли бы возвести сооружения, достаточно противостоящие все более увеличивающейся разрушительной силе обстреливающих их снарядов. А для этого необходимы были знания геометрии, при помощи которых можно было выработать наилучшие очертания укреплений и какие-то, хотя бы минимальные, знания основ строительной механики, позволяющие достигнуть необходимой прочности их. Стало быть, и здесь техник-практик, пытавшийся разрешить все более сложные задачи, ставившиеся перед ним самой жизнью, неизбежно наталкивался на научные проблемы и, в первую очередь, проблемы из области механики.

В не меньшей, а может быть и в большей мере это имело место в гражданском строительстве, переживавшем в XV в. невиданно бурный подъем. Каждый из разбогатевших денежных тузов, стараясь как можно резче и заметнее порвать со скромным прошлым своих предков, так же как он порывал с их героической творческой деятельностью и с их социальным напором, стремился выстроить себе дворец, по роскоши и великолепию не уступавший дворцам, описанным входившими в моду античными писателями. Эти же люди, руководившие политической и экономической жизнью города, желали широко демонстрировать благополучие его под их управлением. Они сооружали соборы и церкви, дворцы для учреждений, госпитали и различные общественные здания. Все эти постройки свидетельствовали одновременно и о полной победе, одержанной новыми социальными силами над силами феодальной Италии, и о неизбежном омертвении этих новых сил, ассимиляции их со старыми. В соответствии с этим новые буржуазные магнаты, предки которых вели такую ожесточенную борьбу с замками-дворцами магнатов феодальных, должны были строить свои дворцы, свои церкви резко отличными от дворцов и церк-

вей ненавистного им прошлого. Идеалом в архитектуре, как и во всех остальных областях творчества, сделалась античность. Вместо высокобашенных массивных зданий, улицы передовых городов покрылись новыми постройками — легкими, гармонично и богато члененными, обильно орнаментированными и, что для нас наиболее важно, красующимися громадными куполами, широкими сводами, арочными перекрытиями, очень мало применявшимися средневековой архитектурой.

Эта усиленная строительная деятельность, имевшая место почти во всех крупных итальянских городах и особенно во Флоренции, нашла для себя наиболее характерное проявление в знаменитом куполе Флорентийского собора, законченном в 1420—1436 гг. крупнейшим архитектором начала XV в. Филиппо Брунеллески. Его невиданное ранее громадное перекрытие (42 м диаметром), его спокойные, величественные формы, напоминающие объект всеобщего восхищения — римский купол Пантеона, возвышаясь над всей громадой наиболее богатого и наиболее передового итальянского города, как бы символизировали те новые социальные отношения, на почве которых выросло это грандиозное сооружение. Но громадная строительная продукция, и притом продукция, принципиально новая по размерам и формам, ставила перед строителями задачи не только художественного, но и технического порядка. Во-первых, резкий сдвиг, происшедший в архитектуре, как бы выбил почву из-под ног строителей-ремесленников, которые не могли уже с небольшими только изменениями применять завещанные дедами и прадедами приемы и методы работы; надо было сразу резко перестроиться, надо было срочно овладеть новой техникой. Во-вторых, сами новые архитектурные формы ставили более серьезные требования к строительной технике. Большой купол или свод, поддерживаемый строго симметричными, немногочисленными, широко расставленными колоннами, нельзя было строить так грубо эмпирически, как простую башню романо-готического собора или даже как запутанные системы контрфорсов развитого готического собора, в Италии, правда, почти не встречающегося. Для новых зданий

требовалась новая техника — и архитекторы ищут ее и постепенно овладевают ею.

Первым подступом к более сознательным методам строительства было введение в практику строительных моделей. Средневековый архитектор строил по грубому эскизу, постепенно возводя камень за камнем, проверяя прочность сооружения на самом сооружении. Итальянский архитектор, прежде чем приступить к более или менее ответственной постройке, делал сам или заказывал у работавшего в контакте с ним подручного-столяра масштабную модель сооружения, изготовленную либо из дерева, либо даже из тех же материалов, что и постройка, и при объяснительной записке представлял ее заказчику.[1] Применение моделей было, несомненно, большим шагом вперед в строительной технике, но на нем она не могла остановиться. Нужна была, кроме того, новая рецептура, а последняя, естественно, наталкивала на теоретические обобщения, на те же задачи строительной механики, о которых мы говорили выше. Расчет свода, арки, перекрытия — вот чего настоятельно требовало все более развивавшееся и усложнявшееся строительное дело, что должно было быть выработано и действительно вырабатывалось.

Исключительно важное место в производственной и экономической жизни Италии, начиная с XIII в. и особенно в XV в., занимали гидротехнические сооружения. При громадном развитии торговли, и в первую очередь торговли заморской, проблема дешевой и удобной транспортировки грузов внутри страны и особенно вне ее, а также связанная с этим проблема водной связи с морем стояли в центре внимания. В частности, для Флоренции с ее производством на экспорт проблема эта была

[1] На важность введения моделей в строительную практику указал Я. Бургхардт в своей классической работе «Geschichte der Renaissance in Italien», V Aufl. bearb. von H. Holtzinger. Erzlingen a. N., 1912, VIII Kapitel. Das Baumodell. О нем же говорит неоднократное упоминание моделей как в трактате Филарете, так и во всех первоисточниках, относящихся к строительной деятельности крупных архитекторов, в том числе, как мы увидим ниже, Леонардо да Винчи.

особенно острой, так как река Арно, на которой она стоит, не была судоходной, в результате чего вся торговля Флоренции находилась в руках ее векового врага— Пизы, расположенной на море. Почти столь же актуальной, как проблема дешевого транспорта, была проблема воды как энергетического ресурса, проблема, значение которой в XV в., с победным шествием верхнебойного водяного колеса, приобрела исключительную важность. Вода каналов получила промышленное значение, она расценивалась на весовые единицы, протекающие в определенном количестве времени, она продавалась и жаловалась, часто в смехотворно малых дозах, государями за оказанные им услуги.[1] Немалое значение имели каналы как приспособления для осушки болот, окружающих большинство крупных городов Италии — Флоренцию, Милан, Рим, для орошения, и, наконец, для устройства рыбных бассейнов, которыми гордились Флоренция, Сиена и некоторые другие города. Естественно поэтому, что уже с самого начала XIII в. или даже с конца XII мы находим сведения о каналах, предназначенных сначала, очевидно, только для ирригации, но скоро приспособляемых и к навигации. Наиболее рано сеть каналов создается в Ломбардии, в частности в Милане, положение которого на перекрестке различных путей, естественно, требовало рационализации этих путей.[2] Но все каналы XIII в. были сооружениями сравнительно простыми, не требовавшими для своего устройства сколько-нибудь сложных технических

[1] Роль воды как энергетического ресурса, весьма ярко и выпукло выступающая в бесчисленных документах XV в., до сего времени никем для итальянского Возрождения (насколько нам известно) не изучена, хотя безусловно заслуживала бы такого изучения.

[2] Каналам в Италии посвящена старая, но еще не превзойденная работа E. L o m b a r d i n i. Dell'Origine e dell Progresso della Scienza draulica nel Milanese ed in altre parti d'Italia. Mem. d.R. Istit. Lombardo di Sc., Lett. ed Arti., v. VIII (II d., ser. II) 1862, pp. 212—263.

Много интересных материалов по этому вопросу приводит и вообще сравнительно богатая историко-техническими сведениями, классическая работа G. L i b r i. Histoire des Sciences Mathématiques en Italie, t. II Paris, 1838, pp. 228—233.

знаний или навыков. К XV в. положение, однако, резко изменилось. В XIV в. время от времени строились сооружения, несколько напоминающие шлюзы и применявшиеся для запора воды в устьях каналов; в 1438 же году в Милане построены настоящие водоподъемные шлюзы архитекторами Филиппино дельи Органи и Фиораванте да Болонья. С этого года до 1475 г., т. е., примерно, за сорок с небольшим лет, в Миланской области выстроено 90 км судоходных каналов с 25 шлюзами. Почти столь же энергично развивалось строительство каналов и в других городах — Флоренции, Риме, Венеции. Несмотря на то, что техника сооружения шлюзов в начале XV в. была сравнительно невысока, так как они строились или подъемными или открывавшимися, но прямолинейными (а не угловыми), все же и она требовала больших гидротехнических навыков, изучения свойств истечения воды, давления этой воды, волнообразования и тому подобных вопросов, т.е. опять-таки наталкивала на проблемы механики.

§ 2. ИНЖЕНЕРЫ

Даже беглое ознакомление с итальянской техникой XV в. показывает, во-первых, сравнительно высокий уровень ее, резко отличающийся от уровня техники феодальной и соответствующий тем сдвигам в области социальной и экономической, которые к этому времени окончательно определились в Италии. Во-вторых, техника эта во всех своих главных отраслях и ответвлениях достигла той ступени, когда для сознательного занятия ею недостаточно уже чисто эмпирических навыков и приемов, но должны быть привлечены к делу некоторые, хотя бы примитивные и грубые, теоретические обобщения и когда самый уровень техники настоятельно требует насыщения ее наукой. Наконец, в-третьих, несомненно, что наукой, которая была в наибольшей степени нужна технике этого времени, которая подсказывалась всей ее структурой, была механика в разных своих разделах. Таким образом, развитие производительных сил в итальянских городах, протекавшее

в тесной связи с изменениями в производственных отношениях, рассмотренными нами выше, повелительно диктовало новое отношение к науке вообще и к механике в частности. Совершенно ясно, что последняя не могла уже оставаться одним из ответвлений сложных, изощренных, но ни в какой мере не используемых на практике философско-богословских спекуляций. Она должна была резко изменить свои функции, а следовательно и свой характер. Однако, прежде чем рассмотреть механику итальянского XV в., следует для полноты картины остановиться на появлении новых людей, являвшихся носителями новой техники и новой науки, на создании новой научно-технической литературы, которая и подведет нас вплотную к новым работам по механике.

Фактом, на который, к сожалению, обыкновенно не обращают достаточного внимания, несмотря на то, что и в общеисторическом, и в историко-научном плане он, как нам кажется, имеет немаловажное значение, служит появление на исторической арене фигуры инженера, техника-специалиста, одним из основных, а позднее и единственным занятием которого является выполнение различных гражданских и военных технических сооружений.[1] Насколько можно усмотреть из сочинений Витрувия и Герона, последние десятилетия Римской империи, в области науки имеющие вообще что-то общее с итальянским XV в., тоже знали руководителей крупных технических работ и теоретиков техники, но оба эти занятия, как это четко сформулировал в начале своей восьмой книги Папп (см. стр. 77), были резко отделены друг от друга. Техник оставался либо старшим рабочим, либо только администратором, которому теория была не нужна; теоретик же был по большей части философствующим дилетантом. Совсем иначе обстояло дело в рассматриваемое нами время: бурное и быстрое развитие техники настоятельно требовало какой-то, хотя бы элементарной, теории и наличия инженера-специалиста, владевшего и

[1] Исключение составляет цитированная выше, на стр. 215, книга Parsons'a.

практическими навыками и немного разбиравшегося в теории. Действительно, именно в Италии и именно в XV в. инженер сделался постепенно необходимейшей фигурой в каждом передовом городе, при каждом значительном дворе. Самое слово «инженер» — «ingeniere», появившееся значительно раньше и происходящее, очевидно, как от слова «ingegno» — машина, приспособление, так и, косвенно, от слова «ingegno» — ум, сообразительность, несомненно получило и свое современное значение, и полные права гражданства именно в Италии в XV в. Л. Ольшки [1] принадлежит немалая, на наш взгляд, заслуга установления генезиса современной технической литературы и неразрывно связанной с ней современной техники вообще, хотя отдельные соображения в этом направлении высказывались и раньше, в частности цитированным выше Либри. Можно с полной неоспоримостью утверждать, что новая техника и тесно связанная с ней новая наука родились не в правящих, не в высших экономически, политически, интеллектуально слоях итальянского населения, — она вышла из цехового ремесла, из тех средних слоев населения итальянских городов, которые не разжирели и успокоились, подобно олигархической верхушке, и не отчаялись и опустили руки, как пролетарские низы, а сохранили в себе еще нечто от боевого задора прошлого века. Не имев еще возможности израсходовать бродившие в них силы в социальной и политической борьбе за улучшение своего экономического положения, ремесленники давали им выход в идеологической сфере. Недаром подавляющее большинство художников и скульпторов, писателей и гуманистов XV в. вышли из рядов средней и мелкой буржуазии. Замечательно при этом и чрезвычайно важно, особенно для нашей темы, что университетская наука, являвшаяся плотью от плоти феодальной системы, не принимала почти никакого участия в создании новой техники и связанной с ней новой науки. Тема-

[1] Мы имеем в виду трехтомное, вышедшее и в русском переводе, исследование Л. Ольшки. История научной литературы на новых языках, тт. I—III, М. — Л., 1933—1934.

тика ученых типа Пелакани, как будто бы и весьма близкая к запросам техники, трактующая те же механические проблемы, отражала только далекие отблески новых веяний. Наука этих ученых была слишком абстрактна, слишком укоренена в прошлом — и идеологическом и социальном. Сами они, слишком далекие от жизни, скованные окостеневшими университетскими традициями, не могли помочь грубой, неоформленной, искавшей немедленного и активного содействия технике. Последняя могла найти помощь и действительно находила ее только в рядах людей, которые силой обстоятельств выделились из цехового ремесла, сделали технику одним из основных своих занятий, и, идя от практических, эмпирических навыков, постепенно освоили и то ценное и нужное для их работы, что могла дать враждебная им по всему своему духу схоластическая университетская наука.

Одним из наиболее ранних и, повидимому, наиболее крупных представителей новой техники, еще не поднявшихся до овладения сколько-нибудь абстрактной теорией, но уже чувствовавших необходимость в ней и подходивших к ней вплотную, был неоднократно упомянутый нами создатель купола Флорентийского собора, скульптор и архитектор Филиппо Брунеллески (1377—1446).[1]

Начав, как и многие из техников своего времени, с обучения ювелирному ремеслу, которым он, между прочим, занимался и позже, Брунеллески скоро перешел к занятию архитектурой. На архитектуру как раз к этому времени, времени воцарения Козимо Медичи, существовал усиленный спрос; она стояла в центре внимания обстраивавшихся флорентийских богатеев. Уже в юности Филиппо, как говорит Вазари,

[1] Брунеллески посвящена старая, но превосходная монография Cornel von Fabriczy. Filippo Brunelleschi. Sein Leben und seine Werke. Stuttgart, 1892. На этой работе, особенно на ее документальных приложениях и главе VIII — B. als Ingenieur und Mechaniker, и на биографии Вазари и базируется наше изложение. См. также сборник Филиппо Брунеллеско. Биография и очерк творчества. Москва. 1935.

«познакомился с некиими учеными людьми, начал размышлять о времени и движении, о весах и колесах, о том, как можно заставить последние вращаться и чем их можно двигать, и в результате сделал собственноручно несколько превосходнейших и прекраснейших часов».[1] Это указание Вазари кажется нам исключительно важным и показательным. Во-первых, оно подтверждает высказывание Маркса о том, что механические часы были прибором, на конструировании которого воспитывалась научно-техническая мысль, подготовлявшая техническую революцию; занятие механикой не как отраслью философского осмысления мира, а как наукой технической в первую очередь, было теснейшим, правда очень своеобразным, образом связано с изучением и изготовлением часов. Во-вторых, в нем замечательно утверждение, что для занятий техникой в XV в. уже необходимо было как-то задуматься над проблемами механики, что это было неизбежно именно для техника-практика, каким собирался стать молодой Брунеллески, несмотря на то, и даже может быть именно вследствие того, что он был не учен и повидимому, не очень грамотен.[2] Не следует, однако, думать, что, занявшись рассмотрением вопросов механики, Брунеллески сразу же сумел подвести под свои практические инженерные занятия надлежащую научную базу, что он сумел поставить науку на службу технике. Вся его дальнейшая техническая деятельность говорит об обратном. Вазари сообщает о ряде специально архитектурных и вообще технических работ Филиппо: он строил укрепления и каналы и рядом с этими важными государственными заданиями немалое время тратил на устройство всяких механических трюков: появление

[1] G. Vasari. Le Vite в изд. «Le Opere». Firenze, 1832—1838, vol I, pp. 258—299. Ввиду важности данного отрывка мы приведем его в оригинале: «Laonde avendo preso pratica con certe persone studiose cominciò a entrar colla fantasia nelle cose de'tempi e de'moti, depesi e delle ruote come si posson far girare e da che si muovano, e cosi lavoro di sua mano alcuni oriuoli buonissimi e bellissimi».

[2] Тот же Вазари, упоминая о дружбе Брунеллески с Тосканелли, говорит: «E sebbene Filippo non aveva lettere...»

ангелов и чертей, полеты и провалы при частых и многообразных флорентийских празднествах и процессиях. Такое соединение серьезных и развлекательных функций в лице одного инженера типично для техников XV в., оно наблюдалось и значительно позже, свидетельствуя о далеко еще не полном понимании роли и значения техники как социальной силы.

Самой крупной и знаменитой технической работой Филиппо Брунеллески было сооружение купола Флорентийского собора. Купол этот имел такие масштабы и так прославился не только на всю Италию, но и за пределами ее, что до нас дошли довольно подробные сведения о его постройке. Сведения эти рисуют в таком виде процесс постройки: сначала архитектор в течение нескольких лет изучал, обмеривал, зарисовывал античные купольные здания, в первую очередь римский Пантеон; затем он делал эскиз проектируемого им сооружения и заказывал у столяра деревянную модель его, отражавшую все детали конструкции.

Модель эту он держал в глубоком секрете, ибо она — единственный залог его авторства, и, получив ее, всякий другой техник смог бы построить по ней данное соружение. К моменту конкурса проектов модель при объяснительной записке представлялась специально назначенному жюри, после чего архитектор или архитекторы (ибо нередки случаи поручения постройки двум строителям) проектировали и заказывали новую, уже рабочую модель, по которой и осуществлялась постройка, причем детали последней опять-таки держались в секрете. Затем архитектор сам руководил постройкой, лично указывая артелям каменщиков и других строительных рабочих, что, где, как класть и укреплять. Ни в момент создания модели, ни во время перевода ее на реальную постройку мы, по всей вероятности, не встретим никакого или почти никакого элемента расчета. Строитель рассматривал существующие сооружения, размышлял о природе веса, о действии рычагов и наклонных плоскостей и на основании этих чисто эмпирических наблюдений и размышлений

проектировал и затем осуществлял в модели и в натуральную величину свой проект. Необходимость науки, научного подхода к техническому заданию уже чувствовалась вполне ясно. Но, с одной стороны, техник, выйдя из среды мало ученых или даже малограмотных цеховых мастеровых, не владел сколько-нибудь свободно той наукой, которая культивировалась в современных ему университетских кругах; с другой же стороны, и самая эта наука, как мы неоднократно показывали выше, по всей своей природе была совершенно не способна ответить на запросы техники, оказать ей необходимую помощь. Чтобы наука могла помочь технике, а техника — поставить себе на службу науку, необходимо было, во-первых, создать новый тип техника, значительно более образованного, чем хотя бы создатель флорентийского купола; во-вторых, надо было в корне переработать науку, сделав всю ее структуру радикально иной. И действительно, техники берутся как за то, так и за другое, но понятно, что процесс этот протекает не сразу, что необходима была длительная и упорная работа нескольких поколений, прежде чем начали появляться сколько-нибудь ощутительные результаты.

Характерной фигурой начала и середины XV в. оставался инженер-практик, только размышлявший над теоретическими вопросами, как юный Брунеллески, но не способный осилить их сколько-нибудь радикально. Такую фигуру инженера-практика, инженера, не занимавшегося кроме техники ни архитектурой, ни тем паче живописью, рисует Вазари, описывая жизнь и деятельность нам ближе не известного и, насколько мы знаем, никем не изученного флорентийского инженера Чекки.[1]

Во вступительных строках своего очерка Вазари, хотя и писавший спустя столетие, но почти всегда базировавшийся на современных источниках, делает характерное замечание: «Бурное развитие строительного дела и архитектуры с неиз-

[1] G. Vasari. Op. cit. Vita del Cecca ingegnere fiorentino, pp. 365—368.

бежностью вызывает к жизни разного рода строительные приспособления и машины, они же изобретаются для военного дела и для гидротехнических сооружений, а необходимость в этих приспособлениях и машинах создает потребность в техниках-специалистах, самые выдающиеся из которых заслуживают особой похвалы, какую и заслужил Чекка-флорентинец».[1] Действительно, уже Брунеллески во время своей многолетней и многообразной деятельности в качестве архитектора постоянно наталкивался на проблемы техники строительного дела — флорентийские архивы его времени полны упоминаний об уплате ему за то или иное изобретение, главным образом в области подъемных машин для строительных материалов купола, а Вазари приписывает ему, впрочем без достаточных оснований, изобретение особого приспособления к крану для подъема больших каменных блоков. Естественно поэтому, что уже в следующем поколении,—а Чекка принадлежал к нему,—появилась потребность в людях, которые бы специально занимались такими вопросами. Чекка, как и Брунеллески, как и все остальные техники его времени, вышел из среды цехового ремесла, и притом из бедного и невлиятельного, полупролетарского цеха столяров, строивших для архитекторов модели и осуществлявших леса и подъемные сооружения, всегда, в то время, деревянные. Начал он с изобретения и проектирования военных приспособлений — осадных машин и укреплений — и скоро так прославился в этом деле, что был взят флорентийской коммуной на постоянный оклад в качестве городского инженера. В мирное время, которое, впрочем, становилось все более редким, он разъезжал по стране, осматривал крепости, ревизовал и ремонтировал; кроме того, он занимался техническими проблемами мирного характера. Не на последнем, а может быть и

[1] То же, примерно, положение было первоначально, в первом издании, высказано Вазари по поводу весьма сжато описываемого им техника Chimenti Camicia, но затем было отброшено в следующем издании. Очевидно, мысль эта не была случайной, а действительно соответствовала положению вещей.

на одном из первых мест в числе занятий Чекки были изобретения и приспособления для развлекательных целей. Мы видели, что народные развлечения, роскошные и замысловатые, были одним из серьезных политических средств в руках династии Медичи, особенно в руках Лоренцо «Великолепного». Естественно поэтому, что в них вкладывалось все быстро развивавшееся техническое уменье, которым щеголял вновь испеченный инженер того времени и которое он не всегда решался применять в полном объеме для более серьезных целей. Так, Вазари, описывая флорентийские праздники, попутно описывает и сложные технические приспособления, состоящие, повидимому, в основном из систем рычагов, блоков и зубчатых колес, применявшиеся на главных из них. Он приписывает Чекке устройство облаков, которые были обязательной и важнейшей составной частью всякого праздника; с них спускались на землю и на них возносились ангелы, святые, мифологические боги и герои. Облака эти состояли из системы блоков, рычагов, зубчатых колес, причем механизмы и площадки их прикрывались ватой (bambagia). Кроме того, он устраивал вращающиеся сцены, сложные колесницы и нечто вроде планетария, по птоломеевой системе, для тех же празднеств.

Но наряду с развлекательными выполнялись и более серьезные работы. Так, в числе изобретений Чекки биография упоминает «сооружение для очистки и ремонта мозаики купола баптистерия св. Джованни», которое крутилось, подымалось, опускалось, двигалось по желанию, и притом все это с такой легкостью, что два человека могли управлять им».[1] Смерть настигла Чекку при выполнении им одной из многочисленных работ. Находясь во флорентийском войске при осаде Пианкальдоли, он устроил подкоп, при помощи которого крепость была взята. За-

[1] G. Vasari. Op. cit., ed. cit., p. 368. «Fece il medesimo un edi izio per nettare e racconciare il musaico della tribuna di S. Giovanni. che si girava, alzava, abbassava, ed accostava secondo che altri voleva, e con tanta agevolezza, che due persone lo potevano maneggiare, la qual cosa diede al Cecca reputazione grandissima».

тем, будучи в одной из осажденных крепостей, он выглянул из-за стены и опустил с нее лот, чтобы определить высоту стены. Враги, увидев его «и опасаясь его изобретений больше силы всего войска», выстрелили в него из самострела и убили наповал. На могиле его в Сан Пьер Скераджо во Флоренции семья его установила памятник, на котором высечена надпись: «Fabrum magister» («Мастер-кузнец»). Ученая латынь, значительно менее гибкая, чем ее народная сестра — итальянский язык, не создала еще адекватного термина для новой профессии — инженера.

Мы столь подробно остановились на Чекке отнюдь не потому, что он является выдающимся, особо крупным техником своего времени. Он нас интересует как фигура заведомо мелкая, не особенно знаменитая, но поэтому особенно характерная и симптоматичная. Таких инженеров, главное занятие которых состояло в военной технике, но которые одновременно занимались и строительной техникой (либо как архитекторы, либо как конструкторы вспомогательных приспособлений), и техникой производственной, и развлекательной, было, несомненно, великое множество в XV в. К ним принадлежат и участник строительства московского Кремля — болонский инженер и архитектор Аристотель Фиоравенти, и флорентийский инженер и архитектор Джулиано да Сан Галло, и венецианец Джованни Фонтана, и ряд других, о которых мы будем иметь случай говорить ниже.[1] Все они

[1] Вопросу об инженере XV в. не посвящено до настоящего времени ни одной работы, за исключением цитированной на стр. 215 книги Парсонса. О Фиоравенти см. G u a l a n d i. Aristotile Fioravante, meccanico ed ingegnere del sec. XV. Atti e memorie della R. Deput. di. st. patria per le provincie di Romagna, A. IX, Bologna, 1870, p. 57 sqq.; M a l a g o l a. Delle cose operate in Mosca da Aristotile Fioravante meccanico ed ingegnere Bolognese del sec. XV. Atti e mem. d. R. Deput. di st. patria dell-Emilia, N. S., A. I, Modena. 1877 p. 207 sqq. О Джулиано ди Сан Галло см. Th. H o r w i t z. Giuliano da San Gallo. Beiträge zur Geschichte der Technik und der Industrie, B. 16, Berlin, p. 99. О Фонтане см. Lynn T h o r n d y k e. An unindentified work by Giov. da Fontana. Isis, vol. XV, p. 45. Febr. 1931; A. B i r k e n m a i e r. Zur Lebensgeschichte und wissenschaftlichen Tätigkeit von Giov. Fontana. Isis, Jan. 1932.

служили в городах или при дворах, все были сравнительно мало учеными выходцами из цехового ремесла, но все тянулись к науке, ощущая абсолютную необходимость ее для надлежащей постановки своих технических работ. Это стремление к теории, которая у Брунеллески проявлялась только в размышлении о природе веса, времени и механизмов, уже с середины XV в., с знаменитого трактата младшего современника его Леона Баттисты Альберти, начало отливаться в литературную форму, начало рождать технические трактаты, имевшие совершенно исключительное значение как для новой техники, так и особенно для новой науки.

Глава 3

НАУКА

*

§ 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Прежде чем перейти к рассмотрению технических трактатов XV в., мы должны в самых общих чертах охарактеризовать тот литературный и научный фон, на котором создавались эти трактаты, так как без этого оказались бы необъяснимыми не только их оформление, но и, зачастую, их содержание.

Наиболее характерным явлением в сфере идеологической жизни XV в., явлением, столь значительным, что наименование его нередко применяется в качестве наименования всего итальянского Возрождения, является, несомненно, гуманизм. Еще не особенно подчеркнуто в творчестве Данте в XIII в., затем с полной яркостью в творчестве, главным образом латинском, Петрарки и Боккаччио, и особенно в политической деятельности римского трибуна Кола ди Риенци, в XIV в. обнаруживается преклонение перед античностью, в первую очередь античностью римской, бывшей до некоторой степени героическим прошлым Италии. В течение всего XIV в. увлечение античностью нарастает. Ссылки на римских авторов как на высший, непререкаемый авторитет постепенно вытесняют из литературных и научных сочинений обязательные для средневековой литературы ссылки на «писание» отцов церкви. Термин «древний» становится синонимом всего прекрасного, героического, достойного подражания; латинский язык, и притом не латинский язык среднековья, а чистый и строгий классический язык, становится предметом фанатического изучения и

преклонения. Остатки древней литературы, архитектуры, скульптуры старательно разыскиваются, реконструируются, сохраняются. Даже в сочинениях религиозного содержания имена богов античного Олимпа нередко маскируют начинающие казаться вульгарными имена христианских святых.

Это бурное, охватившее всю Италию увлечение легко и бесспорно может и должно найти объяснение в тех социальных сдвигах, которые мы кратко рассматривали выше. Представители нового класса, захватывая власть в решительной борьбе с представителями уходящего в прошлое старого класса-гегемона — дворянами-феодалами, должны были провести самую решительную борьбу с их идеологией, составлявшей одну, и притом далеко не последнюю, из их опор. Городские жители, вышедшие из промышленно-торговых кругов, энергичные и жизнерадостные, не могли принять ни аскезу, сухо отрицающую мир и признающую только духовные блага, ни экстатический мистицизм. Они решительно и безоговорочно отворачивались от этих «варварских» заблуждений своих устарелых антагонистов и стремились выковать новое мировоззрение, резко от них отличное.

Но, стараясь решительно оттолкнуться от старой феодальной идеологии, представители новых социальных слоев чувствовали себя еще недостаточно прочно; они были еще слишком потомками феодализма (вся идеология которого целиком зиждилась на авторитете), чтобы начисто отказаться от идеи авторитета, чтобы сразу выработать собственную идеологическую систему и настаивать на ней.

Поэтому они, сохранив авторитет как основу идеологической системы, заменили только авторитет «священного писания» творений отцов церкви авторитетом античности. Не следует при этом забывать, что новый авторитет по своему характеру был несравнимо более свободным, а по содержанию более прогрессивным, чем охраняемый «крестом и мечом» авторитет церковный. С другой же стороны, не следует слишком преувеличивать революционного значения Возрождения античности, остающегося еще в очень многих своих чертах феодальным и не рвущего начисто

ни с религией вообще, ни с католицизмом в частности.[1] В пределах нашей специальной темы эти оттенки не имеют особого значения: для нас приемлемо правильное в общих чертах положение о замене церковного враждебным ему авторитетом античности.

Одной из основных особенностей гуманизма, имеющей, в первую очередь, значение в области научной, являются страстные поиски, восстановление и изучение античных текстов. В результате усиленной работы нескольких поколений гуманистов, к концу XV в. в научный обиход попадают почти все те античные сочинения, которые известны нам сегодня. Правда, внимание сначала сосредоточивается почти исключительно на латинских писателях и заметно тяготеет к изящной словесности, философии, истории и филологии, а не к точным наукам, представленным к тому же значительно полнее в греческой литературе. Но постепенно в круг внимания попадают и греческие тексты, изучение которых усиливается после падения Константинополя и переезда в Италию ряда греческих эмигрантов, старательно насаждавших греческий язык. Тексты же, посвященные точным наукам, начинают воскрешаться и изучаться позднее; только в самом конце XV и даже в начале XVI в. появляется к ним сколько-нибудь значительный интерес. Такое неравномерное распределение интереса к разным сторонам античной литературы не случайно; оно глубоко симптоматично. Гуманизм, ведущее научное течение Возрождения, мало занимался естественными и точными науками. Обстоятельство это обычно не принималось во внимание старой литературой по истории науки, утверждавшей нередко, что с гуманизма начинается бурный расцвет точных наук, что не соответствует действительности. С другой же стороны, новейшая, и в первую очередь американская, историография пытается

[1] В новой и новейшей научной литературе о гуманизме существует и обратная тенденция, тенденция глубоко пр страстная, — полностью отрицать революционный характер гуманизма, считать его движением, тесно связанным с религией Представителями этого течения являются Olgiati. Zabughin и, отчасти Toffanin

доказать обратное и утверждает, что Возрождение, насквозь гуманитарное, было эпохой глубокого упадка точных и естественных наук.[1] Это мнение также не выдерживает критики. Истина лежит где-то посредине.

Факт малой заинтересованности гуманизма в точных естественных науках в настоящее время более или менее установлен: наиболее крупные и типичные гуманисты Валла, Поджио и подобные им относились с некоторым презрением к этой отрасли литературы, нужной и интересной скорее мастеровым, чем богатым и утонченным снобам, для которых и в тесном контакте с которыми они работали.[2]

Сочинения по точным наукам не могли похвастать чистотой и изяществом стиля и изысканностью языка, а эти свойства интересовали гуманистов в первую очередь. Именно в этом направлении гуманисты произвели громадную филологическую работу, стремясь вместо грубо искаженных версий классических произведений, распространенных в средние века, восстановить античных авторов в их неприкосновенности и вместо вульгарной, испорченной латыни, составлявшей язык церкви и науки средних веков, восстановить латынь Цицерона и Тита Ливия. Такие произведения, как «Элеганции» Лоренцо Валлы, являвшиеся исключительно сухим и скучным филологическим трактатом о мелочах классической латыни, пользовались бурным успехом и являлись чуть ли не популярнейшими книгами. Одновременно, в качестве вспомогательного орудия для понимания античных текстов и для возможно более полного восстановления картины античной жизни, изучались исторические произведения античности и археологические памятники ее. Громадные своды вроде «Торжествующего Рима» и «Восстановленного Рима» гуманиста и археолога Флавио Биондо являются

[1] Оба эти течения мы вкратце рассмотрели в нашей статье «Итальянские энциклопедии XII—XIV вв.». Тр. Музея книги, документы и письма, вып. II, 1933.

[2] О социальном месте и роли гуманизма см. работу A. v. Martin, Soziologie der Renaissance. Stuttgart, 1933. Оценку ее см. в нашей рецензии. Исторический сборник, № 3.

памятниками такой работы. Вся эта усиленная, лихорадочная филологическая, историческая, археологическая деятельность проходит красной нитью через весь XV век. Однако на протяжении целого века и эти усиленные гуманистические штудии не могли оставаться, и действительно не оставались, неизменными — они проделали ту же линию развития, что и социальная жизнь века. Начавшись с юношески революционных, темпераментных порывов, они кончились к началу XVI в. сухим схоластицизмом, простым пересказыванием классических авторов, собиранием цитат из них в обширные энциклопедические или монографические своды, заменявшие рассмотрение самого объекта рассмотрением высказывания о нем того или иного античного автора и ссылкой на тот или иной античный авторитет, заставлявшей смолкнуть любого смелого оппонента.

Но и в таком своем как бы засушенном виде гуманизм оказался и не мог не оказаться явлением, несомненно, прогрессивным как в идеологической сфере вообще, так и в сфере наших специальных интересов в частности. Поставив авторитет античности на пьедестал, на котором в течение ряда веков высился непререкаемый авторитет «писания» отцов церкви, гуманизм ввел в обиход более соответствовавшие новому буржуазно-капиталистическому духу идеалы личного дерзания, достоинства и ценности отдельной человеческой индивидуальности — то чрезвычайно характерное и не вполне передаваемое нашей терминологией понятие «virtú», которым так усиленно занимается современная наука и которое означало сложный комплекс качеств — личную отвагу, добродетель, книжную ученость, благовоспитанность и щедрость. Это сознательное подчеркивание, выдвижение на первый план отдельной творческой индивидуальности, находившее особенно яркий отголосок в сфере политической, в деятельности знаменитых «надэтических» героев Возрождения, хотя бы Цезаря Борджиа,[1] несомненно

[1] Индивидуалистические тенденции Возрождения Бургхардт и его ближайшие исследователи считали вообще основной и наиболее важной чертой его. Начавшаяся затем ревизия Бургхардта, разрушив ряд его

сыграло громадную роль в формировании новой идеологии вообще и новой науки в частности. Не имея достаточной смелости отказаться от авторитета вообще, гуманизм доводами, опиравшимися на цитаты из античных авторов, воздвигал комплекс, постепенно подрывавший самый принцип непререкаемого авторитета, и обосновывал принцип самостоятельного дерзания, что, конечно, не могло не принести ощутительных результатов во всех областях, в первую очередь в области научной. Одновременно опираясь на авторитет античности, который давал ему общее направление работы, и провозглашая принцип индивидуального творчества в пределах путей, предписанных этим авторитетом, и ведет свою идеологическую работу гуманизм.

Отразилось это течение и в научных сочинениях, непосредственно подводящих нас к нашей теме, — в итальянских технических трактатах XV в. Первым важным фактом здесь, несомненно, была находка в 1414 г. одним из наиболее видных и страстных гуманистов, Поджио Браччиолини, в библиотеке Сан-Галленского монастыря полной рукописи Витрувия. Писатель этот не был совершенно неизвестен; в течение всего средневековья его изредка читали и иногда цитировали. Но находка Поджио, для которого разыскание полных старых текстов античных писателей и пропаганда их были делом жизни и который, раз найдя и прочитав рукопись, с необычайной энергией и настойчивостью пускал ее затем в научный обиход, несомненно явилась переломным моментом в судьбе книги Витрувия. С этого момента и до конца XVIII в. она, несмотря на ее отмеченные нами выше (см. стр. 61) отрицательные черты, несмотря на нечистый и трудный язык, остается в научно-техническом обиходе Европы образцом технического трактата. Ее неоднократно переводили и постоянно читали не только как памятник античности, но и как полезное техническое сочине-

---

утверждений, в результате все же должна была признать большое значение этой стороны идеологии эпохи. Именно в таком, более осторожном духе мы и говорим о ней.

ние. Примечательно и любопытно то, что в Сан-Галленской библиотеке Поджио нашел и вторую античную техническую рукопись, менее важную и знаменитую, чем труд Витрувия, но все же сыгравшую в дальнейшем немаловажную роль в развитии технической литературы, — сочинение Вегеция о военном деле.

Первые крупные техники-практики XV в., вероятно, знали по имени и Витрувия и Вегеция, но вряд ли были достаточно грамотны и подготовлены, чтобы их использовать. Все исследователи единогласно утверждают, что Брунеллески не читал Витрувия, а только слышал о нем от своих друзей-гуманистов, а инженеры типа Чекки — чистые практики — тем более вряд ли знали непосредственно принадлежавшего к области их профессии Вегеция. В течение всей первой половины XV в. инженеры-практики сравнительно далеки от гуманистов-теоретиков и относятся к ним с некоторым недоверием, хотя разделяют в принципе их преклонение перед античностью. В это время появляется человек, который, по всей вероятности, был только наиболее знаменитым представителем целой группы одинаково настроенных людей, пытавшихся, и небезуспешно, перекинуть мост между этими двумя берегами.

Человек этот многими считается как бы предтечей, несколько более бледным и менее талантливым прообразом Леонардо да Винчи. Действительно, во многих отраслях искусства и науки, в частности механики, он является его предшественником и потому заслуживает упоминания в данной работе.

Леон Баптиста Альберти (1404—1472) [1] — выходец из дворянской флорентийской семьи, по своему социальному происхождению был отделен глубокой пропастью от массы техников, архитекторов, художников своего времени, почти без исключения мелких буржуа или даже рабочих. С ранней юности,

[1] Для суждения об Альберти мы пользовались, кроме его сочинений, которые цитируются ниже, новейшей, весьма неглубокой, но чрезвычайно тщательной и подробной сводной работой P. H. Michel. Un idéal humain au XV s. La Pensée de L. B. Alberti. Paris, 1930.

протекавшей вне Флоренции, так как его семья, вместе с рядом других дворянских семей, находилась в изгнании, он примкнул к гуманистическому движению и в то же время проходил курс права на лучшем юридическом факультете того времени — в Болонском университете. Семнадцатилетним юношей он написал латинскую комедию «Филодоксеос», столь близкую к античным подлинникам, которым он подражал, что ему удалось выдать ее за сочинение римского писателя Лепида и обмануть самых тонких филологов, — а это являлось лучшей, почти недостижимой похвалой для гуманиста. Только с приходом к власти Козимо Медичи, Альберти вместе с рядом других дворян-изгнанников возвратился во Флоренцию. Здесь он попал в обстановку строительной и, можно сказать, технической лихорадки, которая овладела городом после его окончательного подчинения мягкой по внешности, но жестокой по существу власти старого Козимо. Он подружился с Филиппо Брунеллески, познакомился с математиком и географом Паоло Тосканелли и вообще расширил обычный для гуманиста, чисто филологический и антикварный горизонт, включив в него объекты из области точных наук и техники. Затем следует несколько лет странствований по Европе. Уже в 1432 г. он попадает в Рим, где почти тридцатилетним, вполне сформировавшимся человеком, он нашел свое истинное призвание. Вид величественных и разрушенных римских памятников, страстная любовь к античности во всех ее проявлениях, обязательная для него как для гуманиста, наконец глубокий интерес к техническим, точнее — архитектурным проблемам, зародившийся в нем во Флоренции, подсказывают ему его окончательную специальность — архитектуру. С этого времени он, оставаясь гуманистом-теоретиком по профессии, становится архитектором, но не практиком, как Брунеллески, а теоретиком. Да это и не могло быть иначе. Придя к занятиям архитектурой уже сложившимся человеком, он не имел той практической сноровки, тех технических навыков, которые архитекторы-практики получали в юности, во время своей тяжелой выучки в ремесленной, цеховой мастерской, проходя ученичество у мастера и выполняя

сначала различные мелкие, подсобные работы. Альберти прошел, как мы видели, другой путь: знатный человек по происхождению, он и ко всей своей технической работе подходил как филолог — от Витрувия, как археолог — от остатков античных памятников, но не как практик — от установленного и проверенного на опыте технического предписания. Правда, усиленным и внимательным изучением готовых построек, наблюдением над производством строительных работ и особенно дружбой, постоянными беседами и консультациями с техниками-практиками от знаменитостей, вроде Брунеллески, до мелких и безвестных плотников и кузнецов (следы таких бесед имеются в его произведениях) Альберти пытался компенсировать отсутствие профессиональной выучки, но это давалось ему с трудом. Вся его дальнейшая практическая работа, — а он усиленно во вторую половину жизни занимался ею, — носит следы барского дилетантизма и теоретизирования. Он работал скорее как консультант-оценщик или исправитель чужих работ, чем как архитектор, создающий и выполняющий оригинальные произведения.[1] Наиболее знаменитое его творение — церковь св. Франческо в Римини — является в этом отношении исключительно характерной и показательной. Альберти здесь не возвел нового сооружения, он только надел новый фасад на старую готическую церковку, устарелый и простенький вид которой раздражал властителя небольшого военного городка Римини — Сиджизмондо Малатеста, согласно моде преклонявшегося перед античностью. Само собой разумеется, что фасад этот оказался чисто античным, изобилующим колоннами и арками в строго римском стиле и носящим на своем фронтоне вместо изречения из Священного писания, выведенную

[1] Точка зрения на Альберти, как на гуманиста-теоретика в первую очередь, а не как на художника-практика, подробно, хотя и с большим преувеличением, развита в интересной но исключительно спорной работе: J. Schlosser. Ein Kunstlerproblem der Renaissance. L. B. Alberti. Wien — Leipzig, 1929 (Sitzungsberichte d. Akad. der Wiss. in Wien. Philos.-hist. Kl., 210 B.), подробную оценку которой мы дали в Архиве истории науки и техники, вып. I, Л., 1933, стр. 211—213.

античными (по форме) буквами надпись: «Divae Isottae Sacrum» («Святилище святой Изотты»). Изоттой звали возлюбленную герцога. Здание это, небольшое и сильно перегруженное декоративными деталями, далеко не принадлежит к лучшим постройкам Возрождения, но, несомненно, является одной из самых характерных из них. В нем проявилось с исключительной полнотой то, иногда излишнее, увлечение античностью и тот, иногда также излишний, теоретический подход к технической проблеме, который находил особенно яркое выражение в творчестве Альберти, в его литературных произведениях на технические темы.

В течение своей долгой жизни, вернее в течение второй ее части, посвященной архитектуре, Альберти написал ряд теоретических работ по интересовавшим его проблемам. Самой большой и значительной из них является, несомненно, его большой латинский трактат «De re aedificatoria libri decem» («Десять книг о строительном деле»), созданный между 1450 и 1452 гг., т. е. в период расцвета его архитектурной деятельности.

Трактат этот, написанный на сравнительно чистом, гуманистическом латинском языке, является первым большим теоретическим сочинением на техническую тему после позднеантичных работ, а потому, так же как и вся деятельность его автора, особенно заслуживает упоминания.[1] Книга эта сразу же по выходе в свет, и особенно после первого напечатания ее в 1485 г., завоевала всеобщее признание, пользовалась неизменным успехом и, наряду с произведением Витрувия, считалась необходимым культурным минимумом не только для архи-

[1] Мы пользовались изданием Parisiis opera B. Rembolt et L. Hornken. 1512, хранящимся в Библиотеке Академии Наук СССР, а также, ввиду особых условий пользования этой весьма редкой книгой, много кратно изданным восходящим к XVI в. итальянским переводом трактата, выполненным Козимо Бартоли — в издании Milano, 1833. Цитаты мы приводим по первому из названных изданий Существует и хороший, прекрасно комментированный русский перевод: Леон Баттиста Альберти. Десять книг о зодчестве. 2 тома М., 1935—1937 гг.

тектора, но и для всякого любителя изобразительных искусств вообще.

В предисловии к работе, текст которой разделен на десять книг, автор, по примеру античных писателей, говорит о целях и задачах книги и дает определение архитектуры и архитектора. Последнее весьма примечательно.

«Но раньше, чем я пойду дальше, — говорит он в самом начале предисловия, — я считаю правильным выяснить, кого я могу назвать архитектором: ведь я не поставлю перед тобой плотника, чтобы ты приравнивал его к людям, овладевшим другими науками, ибо несомненно, что тот, кто работает руками, служит орудием архитектору. Архитектором же я назову того, кто сумеет при помощи чудесных рассуждений и правил рассуждать умом, чувствовать всей душой и выполнить при помощи движений весов, соединений и сгружений тел все те вещи, которые могут быть превосходнейшим образом и с великим достоинством приспособлены для пользы человека. Для того же, чтобы суметь это, необходимо, чтобы он знал превосходные и возвышенные вещи и владел ими. Итак, таким должен быть архитектор».

Место это исключительно важно в двух отношениях. Во-первых, Альберти совершенно по-новому ставит вопрос об отношении науки к технике. Мы видели, что уже Витрувий прокламировал необходимость для архитектора научных знаний, но ставил этот вопрос довольно беспредметно. В своем предисловии Витрувий говорит о возможности существования архитектора, не имеющего научных знаний, хотя считает, что такой архитектор будет работать хуже техника, этими знаниями обладающего. Он отводит научным знаниям сравнительно второстепенную роль оценочного критерия и средства для поднятия общей культуры архитектора. Коренным образом отлична постановка вопроса у Альберти. Строителя, не имеющего научных знаний, он уже не считает возможным назвать архитектором и поставить его в один ряд с прочими культурными людьми, — такой строитель является не инженером, а рабочим, плотником, приобретающим производственную ценность только

под руководством других. Кроме того, Альберти прямо говорит о вещах, которые были совершенно непонятны Витрувию. И здесь мы подходим ко второму важному пункту утверждений предисловия Альберти. Впервые он ставит во главу угла в строительном деле не геометрические проблемы, а проблемы механики — «движения грузов и соединения тел», при помощи чего работает в первую очередь архитектор; и то и другое с несомненностью и ясностью подводит именно к проблемам механики.

В дальнейшем изложении трактат, передача которого, хотя бы в самых основных чертах, завела бы нас далеко за пределы нашей темы, старается, с одной стороны, следовать за Витрувием, которого Альберти неоднократно упоминает; с другой стороны, так как трактат Витрувия, написанный варварской латынью, неприемлемой для гуманиста, несколько устарел, он стремится дополнить его данными из современной архитектурной и строительной практики. При этом, насколько во внешнем оформлении трактата, в его цитатах и упоминаниях реальных памятников превалируют античные реминисценции, настолько же по существу наибольший вес имеют (и для нас наиболее интересные) элементы современной технической практики.

Довольно хаотически построенное и разделенное по примеру Витрувия на десять книг изложение может быть грубо и условно разбито на четыре части. Первая содержит сведения о строительных материалах, их добыче и обработке; вторая — вопросы строительной техники: кладки перекрытий, сводов и т. п.; третья — архитектурное оформление фасадов и внутренних отделок зданий; наконец, четвертая — различные данные, касающиеся архитектуры и строительного дела, профессии архитектора, машин и механизмов, применяемых им, и т. п. Все эти сведения не разбиты, однако, на указанные нами части, а размещены в трактате в сравнительном беспорядке. Нас особенно интересуют данные и высказывания двух из условно выделенных нами частей изложения: второй, содержащей собственно строительную технику, и четвертой, заключающей в се-

бе разные вспомогательные сведения. Внимательный просмотр этих частей показывает, что слова предисловия о необходимости для архитектора, для инженера вообще, твердо базироваться на научных данных не остаются, как у Витрувия, только вызванной модой декларацией, а действительно во многих местах являются рецептом. Так, говоря о возведении сводов, о постройке перекрытий и о других сложных строительных работах в третьей книге, Альберти постоянно стремится както теоретически осмыслить проблемы равновесия различных тяжестей и нагрузок, проблемы прочности того или иного сооружения, вообще вопросы, подводящие вплотную к статике сооружений. Правда, попытки эти еще не увенчиваются успехом, ничего связного в этом отношении он сказать не может, ибо научно он недостаточно оригинален и силен, чтобы создать новую дисциплину или применить добытые на другом материале данные к своей специальности, а произведение Архимеда «Об опорах» (неизвестное и нам) и героновa «Механика» ему, конечно, неизвестны. Поэтому он, в конце концов, удовлетворяется той же рецептурой эмпирического порядка, которой полностью ограничивался Витрувий, но мотивировки отдельных рецептов, описательная часть их уже вполне ясно говорят о радикально новом отношении к делу.

Еще более характерны в смысле выявления нового соотношения между наукой и техникой главы, в которых Альберти дает общую характеристику архитектуры вообще и говорит о требованиях, предъявляемых к архитектору. Так, во второй главе шестой книги он дает такую общую, весьма любопытную характеристику всякой технической дисциплины или искусства (ars): «Отцом каждого искусства или техники был случай и познание; учителем их была практика и опыт; растут же они благодаря знанию и рассуждению». Здесь в одной афористически заостренной фразе мы видим интересную и симптоматическую попытку совсем по-новому подойти к проблеме техники.

Не менее показательны и те требования, которые в десятой главе девятой книги трактата Альберти предъявляет архитектору. Последний должен, кроме ряда обычных, обще-

человеческих свойств характера, обладать еще обширной начитанностью и способностью интересоваться внутренним механизмом, техническим устройством всякого созданного человеческими руками, вызывающего изумление объекта и уменьем разбираться в этом механизме. Однако начитанность не должна переходить во всезнайство. В явном и, очевидно, осознанном противоречии с Витрувием, который, не чувствуя и не понимая по существу реальной связи науки с техникой, рекомендовал архитектору, как мы видели (стр. 62), изучить все науки, включая астрономию, медицину и философию, Альберти утверждает, что «необходимы и полезны архитектору живопись и математика (из дальнейшего текста очевидно, что сюда включается и механика), о прочих же не забочусь, будет ли он в них ученым или нет. Ибо я не дам веры тому, кто будет утверждать, что архитектор должен быть доктором прав, для того чтобы он мог судиться из-за отвода воды» и т. д. Перечисляются затем и астрология, и музыка, и риторика, и утверждается, что достаточно самых общих представлений и понятия о них. «Но что касается живописи и математики, то необходимо, чтобы ими он владел подобно поэту, не могущему не знать хорошо звуки и слоги, и я не знаю, допустимо ли, чтобы в этом отношении он знал только очень мало». Однако и в этих двух отраслях техники архитектор не должен быть самостоятельным творцом, ибо это только перегрузит его.

«Но я не хочу также, чтобы он в живописи был Зевксисом, или Никомахом в работе с числами, или же Архимедом в рассуждении об углах и линиях; будет вполне достаточно, если из написанных нами книг о живописи и рисунке он сможет извлечь первые основы и в математических вопросах будет иметь сведения об углах, числах и линиях, каковы, например, сведения об измерении весов, поверхностей и тел, которые греки называли «Подизмата» и «Эмбаза». При этих знаниях, прибавив к ним старание и усердие, архитектор приобретет милости, богатство, славу и известность у потомков».

Из приведенного рассуждения с полной очевидностью выступает противоречие с точкой зрения Витрувия: в то время

как последний только прокламирует необходимость науки для техники и конкретные указания его неоспоримо доказывают нереальность его требований, Альберти выставляет вполне реальную, конкретную и исполнимую программу, которую он сам пытается провести в своем трактате. При этом механика, наука о весах, как одна из частей математики входит в качестве обязательной составной части в багаж всякого техника. Правда, как мы уже говорили, поднять до сколько-нибудь значительной теоретической высоты свои рассуждения по механике Альберти удалось только в одном месте трактата об архитектуре — в главах шестой, седьмой и восьмой шестой книги, где он говорит о подъемных приспособлениях и деталях машин.

Конкретные высказывания Альберти по вопросам механики мы разберем ниже, здесь же отметим только, что как место, в котором прорываются эти высказывания, так и самый их тон исключительно характерны для техника-гуманиста, каким в первую очередь является строитель Сан-Франческо в Римини. То, что ему не под силу сломать построение Витрувия, поставить теоретические вопросы механики в иную связь, чем та, в которой они стояли, характеризует его как гуманиста, у которого суеверное преклонение перед античным памятником всегда стоит на первом месте. Но его старания упростить запутанное и местами непонятное изложение Витрувия, придать ему некоторую педагогическую окраску, показывающую, что изложение дается для реальной пользы, характеризует его как техника-практика, пишущего для того, чтобы его писания были использованы на деле. Может быть, наилучшим образом обнаруживают его научно-техническую установку слова, вложенные им в диалоге «О спокойствии души» в уста Пандольфини:

«Ничто в большей мере не удовлетворяет меня, чем математические изыскания и доказательства, особенно когда мне удается довести их до какого-нибудь жизненно полезного употребления, как это сделал Баттиста, извлекший свои основы живописи и свои элементы математики и получивший из них

прямо-таки невероятные предложения «о движении и весах».[1]

Трактат об архитектуре, являясь самым обширным и важным, не является, однако, единственным научно-техническим произведением Альберти. Последний, занимаясь всю вторую половину своей жизни технико-строительными работами, написал их сравнительно много, но не все из них до нас дошли. Так, до нас не дошли ни то сочинение «De motibus ponderibus», о котором так восторженно говорит вышеприведенная цитата, ни чисто технический трактат, составленный по данным работ над подъемом римского судна со дна озера Неми. Зато дошли до нас трактаты о куполе церкви Сан-Франческо в Римини, трактат о весах, рычагах и подъемных приспособлениях («Trattato sui pondi, leve e tirari») и знаменитые «Математические забавы» («Ludi matematici»), о которых, в их механической части, мы будем подробно говорить ниже. Во всех них позиция Альберти та же, что и в «Трактате об архитектуре». Всюду он выступает как ученый-гуманист, поклонник и знаток античности, занимающийся, правда несколько дилетантски и по-кабинетному, техническими, в первую очередь архитектурно-строительными вопросами и при этом сознающий, что высококачественная техническая работа может быть выполнена только на научной основе.

Научно-техническая деятельность Альберти и литературные работы его являются наиболее ранним и в то же время, пожалуй, наиболее показательным памятником этого рода, относящимся к XV в. Следующая за ними литература опять разделяет те два направления, которые стремился объединить и до некоторой степени объединил Альберти, — учено-гуманистическое и технико-практическое. Однако столь полное разъединение теории и практики, которое, как мы неоднократно отме-

[1] Opere volgari di L. B. Alberti... ann. e ill. da A. Bonucci... Firenze, 1843—1849, v. I, диалог «Della Tranquilita dell anima», p. 128. В приведенном нами сокращении текст Альберти цитирован в названной выше работе P. H. Michel на стр. 203.

чали, доминировало в течение всего средневековья, уже никогда не появляется вновь в своей неприкосновенности.

Не имея возможности (и необходимости) рассматривать в данной работе всю научно-техническую литературу итальянского XV в., мы рассмотрим в самых кратких чертах творчество трех кажущихся нам наиболее характерными и наиболее повлиявшими на Леонардо да Винчи писателей — Вальтурио, Мартини и Филарете, совокупность работ которых дает довольно полную картину всех жанров и типов литературы этого рода.

Роберто Вальтурио,[1] о жизни которого известно весьма немного, принадлежал к числу тех второстепенных гуманистов, которых немало было в XV в. при мелких итальянских дворах. Родился он, повидимому, в 1413 г., умер в конце века. Главная часть его творчества протекала, повидимому, в Римини, при дворе тех самых Малатеста, для которых работал и Альберти. Нередко, особенно в историко-технической литературе, можно встретить утверждение, что сочинение Вальтурио является первым научно-техническим произведением XV в., трактующим специально вопросы военной техники. Утверждение это ошибочно во всех своих частях. Достаточно бегло просмотреть составленный К. Промис весьма устаревший и далеко не полный список военных писателей XV и XVI вв.,[2] чтобы убедиться в абсолютной неправильности первого утверждения. Но самое важное то, что сочинение Вальтурио[3] является научно-техни-

[1] О Вальтурио как писателе не написано, насколько нам известно, ничего, несмотря на то, что сочинение его пользовалось в течение почти полутора веков, с самого момента выхода его в свет, совершенно исключительной популярностью.

[2] Список этот с соответствующими биографическими и библиографическими сведениями составляет первое приложение к цитируемому нами ниже изданию трактата: Francesco di Giorgio M a r t i n i. Della vita e delle opere degli italiani scrittori di artiglieria, architettura e meccanica militare da Egidio Colonna a Francescho Marchi. 1285—1560. Vol. II. Torino, 1841.

[3] Мы пользовались изданием Parisiis, 1532, хранящимся в Библиотеке Академии Наук СССР.

ческим трактатом только в минимальной степени: основная его установка другая — археологическая. Восстановить военную технику античности — вот основная задача Вальтурио. Нужно, однако, оговорить, что гуманисты, особенно наиболее страстные из них, отчасти сознательно, отчасти же в слепом увлечении, не всегда ясно сознавали разницу между тем, что было в античности, и тем, что должно быть в современности. Им нередко казалось, что точного восстановления античной действительности совершенно достаточно для того, чтобы указать пути в данной области своим современникам; ведь античность — идеал, а что может быть лучше стремления уподобиться идеалу? Поэтому в гуманистических сочинениях нередко трактовка того или иного научного вопроса подменяется собиранием высказываний по этому вопросу античных писателей. Именно так поступает и Вальтурио. Уже в пышном и замысловатом предисловии, имеющем целью отразить все возможные нападки на книгу (а среди них есть и обвинение в некомпетентности) и восхвалить Сиджизмондо Пандольфо Малатеста, которому посвящена работа, — автор прямо говорит: «Я стремлюсь не к тому, чтобы учить чему-нибудь новому и показывать его, а к тому, чтобы восстановить то, что было утеряно, (возродить) памятники славных мужей, изучить завещанное предками».[1] А в конце предисловия он советует пользоваться книгой, так как она доставит удовольствие, даст новые знания, а может быть и окажется полезной.

Самое изложение трактата вполне соответствует такой установке: он собирает и довольно хаотически сводит воедино высказывания античных авторов о военном деле и военной технике, только изредка и весьма кратко упоминая о современности. Так, описывая в десятой книге трактата различные осадные

---

[1] Мы переводим замысловатую фразу не вполне точно; в оригинале (op. cit., p. VIII , n. n.) она звучит так: «Illud denique peto, ut non erudiendi ostentandique novi aliquid magis, quam restaurandi gratia, quae deperdita erant clarorum virorum monumenta, quasi majorum demonstratione vestigiorum, scipta haec existimentur».

орудия, автор называет бомбарду, описывает в нескольких словах ее действие, а затем сообщает, что она, повидимому, была изобретена Архимедом и что самое слово «бомбарда» в античных источниках не встречается. Единственное развитое место трактата, с вопросами современной техники, занято совершенно не мотивированным (в третьей главе первой книги) описанием укреплений Римини. Чрезвычайно характерно и отношение трактата к науке; этим вопросом заняты почти целиком первые четыре книги. Как стопроцентный гуманист, Вальтурий, конечно, должен, вслед за античными авторами, требовать научной подготовки, но, в противоположность Альберти (правда, не надо забывать, что он говорит о военачальнике, а не о технике как таковом), он пропагандирует все науки вместе, причем в первую очередь и главным образом науки гуманитарные — ораторское искусство, историю, философию, даже музыку и медицину. Точным же наукам он посвящает одну, и притом крошечную, пятую главу второй книги, озаглавленную «De arithmetica et militari geometria» и наполовину заполненную описанием жизни и легендарных подвигов Архимеда. Даже названия механики как науки мы не встретим во всем трактате, сухом, многословном, напыщенном и до того переполненном классикой, что современному читателю чрезвычайно трудно без напряжения внимания прочесть из него десяток—другой страниц, в то время как читатель XV в., очевидно, поглощал его с восторгом. По крайней мере, об этом говорят многочисленные издания трактата как в латинском подлиннике, так и в итальянском переводе, увидевшие свет в течение XV и XVI вв.

Таким образом, трактат Вальтурио мог бы и не упоминаться в нашем изложении как сочинение скорее школьно-гуманистическое, чем научно-техническое. Однако умолчание о нем как об одном из образцов чрезвычайно богато представленного в XV в. литературного жанра несомненно исказило бы перспективу и создало бы неправильное представление о научно-технической литературе этого времени. Трактаты типа Вальтурио были если не наиболее распространенными, то, во всяком случае, очень

ходкими в эпоху расцвета Возрождения. Они представляли собой одну из сторон того двуединства, которое пытался, не слишком удачно, создать Альберти, — единства между восстанавливаемыми с каким-то детским преклонением античными памятниками и современной технической действительностью. При всей своей сухости и напыщенности они все же далеко не были бесполезными в создании новой науки и новой техники, так как с фанатическим упорством и прямолинейностью пропагандировали античную науку в ее настоящем, неиспорченном виде, что не могло не сказаться, и действительно сказалось, в дальнейшем.

Если Вальтурио представляет собой гуманистическую половину синтеза, к которому стремился Альберти, то другой автор знаменитого в XV в. технического сочинения — Мартини представляет собой его практическую половину.

Франческо ди Джиорджио Мартини, ни год рождения ни год смерти которого точно не известны, родился около 1423 г. и умер в первых годах XVI в.[1] О происхождении, юности и воспитании его мы также знаем очень мало. Повидимому, он происходил из цеховых низов и получил ремесленное воспитание в качестве столяра либо ювелира. С молодых лет, примерно с 24-летнего возраста, он выполнял более или менее ответственные технические и архитектурные поручения, противоположные тем, которые выполнял Альберти; насколько последний занимался только античным оформлением фасадов, настолько же Мартини почти не занимается фасадами, а работает в области сооружения самих построек, наиболее конструктивно ответственных их частей.

[1] Трактатом Франческо мы пользовались в единственном, очень старом и далеко не удовлетворительном издании «Trattato di Architettura civile e militare di Francesco di Giorgio Martini». Torino, 1841, с примечаниями и обширными, местами весьма ценными, статьями Carlo Promis. Франческо же посвящена одна из глав I тома цитированного выше сочинения Л. Ольшки. Вышедшая после окончания и сдачи в производство настоящей работы книга Weller Allan S t u a r t. Francesco di Giorgio. Chicago, 1943, к сожалению, использована быть не могла.

Альберти в первую очередь — художник-декоратор, Мартини — инженер-строитель. При этом основными объектами его работы являются не гражданские сооружения, а военные. Наибольшее количество работ он выполняет для крупнейшего кондотьера своего времени, знаменитого своей артиллерией и фортификационными сооружениями Федериго Монтефельтро, герцога Урбинского. Но, наряду со своими основными занятиями по военной технике, Франческо выполняет и отдельные гражданские постройки, работая над гидротехническими сооружениями и конструируя разного рода механизмы.

По роду и характеру своих занятий Франческо, таким образом, близок к упомянутому выше Чекке Флорентинцу, но он значительно крупнее его. Чекка всю свою жизнь проводит во Флоренции, на службе флорентийской коммуны. Франческо, пользующийся громкой общеитальянской славой лучшего инженера своего времени, только изредка гостит в родной Сиене и выполняет в ней те или иные работы. В остальное же время он то строит цепь укреплений у Урбино, то выполняет ряд ответственнейших технических поручений для герцога Калабрийского в Неаполе, то, наконец, участвует, вместе с Браманте, Леонардо да Винчи и рядом других архитекторов, в конкурсе на купол Миланского собора и получает первую премию (о конкурсе см. ниже стр. 364). Чекка за всю свою жизнь, повидимому, не написал ни одной строчки, Франческо же уже сравнительно рано начинает вести технические записи, которые затем оформляет в виде отдельных трактатов.

Таких трактатов, составляющих, собственно говоря, различные редакции одного и того же сочинения или же части его, сохранилось несколько десятков, что свидетельствует о настойчивой, упорной работе автора и о популярности их. Содержание трактатов, если их рассматривать как целое, распадается на три основные части: часть собственно архитектурную, наиболее обширную, но наименее интересную, как восходящую почти целиком к Витрувию и Альберти; часть военную — весьма подробную и конкретную, описывающую как фортификационные сооружения, так и артиллерийские орудия и приводящую,

чего нет в первой части, весьма большое количество конкретных примеров; наконец, часть собственно техническую, к сожалению не воспроизведенную в цитированном нами издании и содержащую описание подъемных машин и приспособлений, различных гидротехнических сооружений, мельниц, металлургических процессов и т. п.

Как и все античные трактаты, в частности трактат Витрувия, и как трактаты XV в., в частности — Альберти, сочинение Франческо ди Джиорджио начинается вступлением. Первым и основным вопросом, разбирающимся в нем, является особо нас интересующий вопрос о соотношении науки и техники. Франческо утверждает, в словах весьма близких к словам предисловия Витрувия, что никакое ремесло не может как следует выполняться без наук — в частности арифметики, геометрии и перспективы, но что вследствие погони за наживой до недавнего времени люди запустили занятия науками и занимались только непосредственно приносящей выгоду эмпирической технической деятельностью. Сам он, хотя и стремившийся от природы к знанию, все же нередко поддавался соблазну просто заниматься низкой механической деятельностью и пренебрегал высокой наукой;[1] в конце концов он все же занялся наукой и написал свой трактат. Второй темой, обсуждаемой во введении, являются источники трактата. Франческо откровенно и прямо признается, что в основе его лежит Витрувий, часто только объясняемый и комментируемый; последний нуждается в этом, будучи крайне неясным. Использованы также сочинения современников, очевидно в первую очередь Альберти.

Действительно, самое изложение, как в отношении расположения материала, так и его трактовки в основной части сочинения — архитектурной, очень недалеко уходит от изложения Витрувия и Альберти. В предисловии к каждой книге (всего

[1] Ma più volte mosso dalla ragione non sottoposta alle inclinazioni corporee, in qualche più vile e meccanica arte fui per esercitarmi, sperand in questa con minor peso di animo, se non di corpo, alle necessità del vitto mio possere supplire, non sapendo detestare alcun principe o potente della esigua retribuzione loro per l'influenza predetta (op. cit., p. 127).

их семь) автор обильно цитирует античных авторов и занимается рассуждениями в стиле гуманистов. Основной текст содержит совершенно конкретные рецепты, под пером техника практика Франческо приобретающие значительно бо́льшую осязаемость и детальность, чем в трудах теоретика Альберти. В отдельных случаях, обыкновенно относящихся к объектам, не имеющим прототипов в античности, изложение переходит просто к описанию того или иного выполненного автором сооружения. Так, в шестой главе второй книги, посвященной конюшням, после нескольких общих строк, содержащих ссылку на Витрувия, прямо говорится: «После этого я хочу описать конюшню, которую я соорудил для моего светлейшего Урбинского герцога; из нее можно будет уразуметь все части, которые должна иметь полная и совершенная конюшня».

Этот элемент конкретного описания реальных объектов, сообщения рецептов, заимствованных из собственной технической практики, а не из книг, только проскальзывающий то там, то тут в первых четырех архитектурных книгах трактата, становится доминирующим в пятой книге, разбирающей военное дело. Как объем этой книги, равный двум или даже трем предыдущим вместе взятым, так и построение выделяют ее из всего изложения. Начинается она с описания разного рода артиллерийских орудий и указания на новизну и значение их, а затем переходит к фортификации, которая трактуется весьма подробно. Но на этом книга не заканчивается. За основным изложением следуют примеры, числом шестьдесят, в которых рассматриваются различнейшие частные случаи устройства фортификационных сооружений и приводятся описания укреплений, выполненных или виденных автором. Вся эта часть целиком оригинальна. В шестой, весьма краткой книге дается описание гидротехнических сооружений, в седьмой — различных механизмов, главным образом мельниц.

Таким образом независимо от того, является ли та или иная часть трактата подражательной или оригинальной, все изложение его остается чисто описательным и рецептурным. Несмотря на помпезные обещания предисловия, применения

науки к разрешению тех или иных технических задач здесь нет. Правда, уже самый факт создания теоретического сочинения по технике является симптоматичным и говорит о начинающемся процессе теоретизации техники, насыщении ее наукой. Конкретные научные дисциплины и особенно механика остаются все же этим процессом совершенно не затронутыми.

Более тесный, хотя все еще исключительно внешний и односторонний контакт между наукой и техникой мы можем отметить и в последнем из рассматриваемых нами научно-технических сочинений, и притом, пожалуй, наиболее любопытном из них — «Трактате о строительном искусстве» Антонио Аверлино Филарете.[1]

Филарете, даже основные даты жизни которого в точности не известны, принадлежал к той же категории странствующих строителей-практиков, что и Франческо ди Джиорджио, но по своим творческим масштабам и по своему положению стоял значительно ниже него. Наиболее крупным из выполненных им реально сооружений был миланский «Большой госпиталь», построенный по поручению Франческо Сфорца, очевидно в пятидесятых годах XV в. Известно, что Филарете, по происхождению и обучению флорентинец, работал сначала во Флоренции, для Медичи, и в Риме, а затем около двадцати лет своей наиболее плодотворной деятельности (примерно, с 1445 по 1465 г.) провел в Милане, при дворе Франческо Сфорца; после этого он опять работал во Флоренции, в Бергамо и в ряде других городов. Свой трактат, единственное дошедшее до нас его ли-

[1] О Филарете см., кроме главы в цитированном выше сочинении Ольшки, старую, но очень неплохую статью R. Dohme. Filaretes Traktat von der Architektur. Jahrbuch d. königl. Preussischen Kunstsammlungen, B. I, Berlin, 1880, pp. 225—241; монографию W. v. Oettingen. Über das Leben und die Werke des Antonio Averlino gen. Filarete. Leipzig, 1880. Самый трактат издан, к сожалению, с некоторыми сокращениями тем же Эттингеном в серии Quellenschriften für Kunstgeschichte und Kunsttechnik, N. F., VII. B. Antonio Averlino Filaretes. Traktat über die Baukunst, hrsg. v. W. v. Oettingen, Wien, 1890. Этим изданием мы и пользовались.

тературное произведение, Филарете написал также для Франческо Сфорца, причем работал над ним, насколько можно судить по указаниям, разбросанным в самом сочинении, от 1460 до 1464 г.

Сочинение Филарете по своей форме резко отличается от всех рассмотренных нами трактатов; в то время как они претендуют на роль серьезных научных руководств, работа Филарете стремится быть научно-техническим романом, романом-утопией, некоторыми своими чертами напоминающим более поздние романы Кампанеллы, Бэкона и Мора. Трактат, написанный, конечно, по-итальянски, начинается с разговора придворных крупного властителя (Франческо Сфорца), из которых один высказывает мнение о ненужности для архитектора каких бы то ни было научных знаний, ибо для хорошего выполнения своей работы ему достаточно практической сноровки; другой возражает и высказывается за необходимость для архитектора знания мер, пропорций и прочих сведений. Спор этот, при котором присутствует автор, дает ему повод написать книгу, подкрепляющую точку зрения второго придворного. Автору хорошо известно, что Витрувий и особенно Альберти уже писали на эту тему, но трактаты их — ученые произведения, написанные по-латыни; он же, не желая конкурировать со столь славными мужами, хочет изложить то же самое по-итальянски, как практик для неученых практиков; ученые же пусть читают более серьезных авторов.

Изложение трактата ведется от лица самого автора, которому некий правитель, находящийся с ним в дружественных отношениях, поручил в возможно более короткий (не больше года) срок выстроить на новом месте новый, роскошный город под названием Сфорцинда. Но прежде чем приступить к описанию постройки, составляющему основное содержание работы, Филарете дает несколько общих указаний. Во-первых, он настоятельно требует от архитектора некоторой научной подготовки. Он говорит, что «есть мастера, которые, умея положить камень в известь и укрепить его, думают, что являются уже превосходными мастерами архитектуры. И если бы воскресли

Архимед или Дедал, построивший лабиринт, они бы считали себя более достойными». Во-вторых, он, следуя за Витрувием и Альберти, указывает на сходство между зданием и человеческим телом и говорит о происхождении и отношении друг к другу различных мер. В самом изложении весьма причудливо и хаотически сочетаются элементы теоретически-рецептурные, напоминающие Мартини, повествовательно-описательные и, наконец, анекдотически-новеллистические. Основной описательный стержень заключается в том, что автор беседует с повелителем о постройке города и в промежутках выполняет работу, выезжая для этого в разные места, где он видит различные достопримечательности. С этим основным сюжетом переплетаются два добавочных: один — разговоры с наследным принцем, которого автор попутно обучает началам строительного искусства и рисованию; другой — находка при постройке порта античной золотой книги, в которой описаны различные античные здания и сооружения, каковые автор и воспроизводит. После основного изложения следуют четыре книги, так сказать приложения: в трех из них — сухой, элементарный и в значительной мере заимствованный у Альберти трактат об искусстве рисования и перспективы; в последней — похвалы роду Медичи, на службу к которым Филарете в 1465 г., очевидно, перешел, и описание наиболее знаменитых их построек.

Основной сюжет (особенно описание путешествий, прогулок и съедаемых в это время вкусных обедов и ужинов) изложен очень живо. В противоположность изложению ранее рассмотренных трактатов, эти места читаются легко и даже не без интереса. Особенное внимание автор уделяет финансово-организационной стороне описываемых построек: дается подробная смета на каждую из них, говорится о количестве рабочих, их квалификации и т. п. Кроме того, интересна проходящая красной нитью через все сочинение тенденция борьбы против «варварской» готики, называемой еще «современным стилем» постройки, — за новые, возрожденческие архитектурные формы; эта тенденция тем более любопытна, что практически сам Филарете еще в очень многом стоит на позициях готики.

Что касается той стороны работы, которая нас наиболее интересует, — отражения в ней нового соотношения между наукой и техникой, то оно выражено довольно ясно и отчетливо. Приведенные слова предисловия о необходимости научных знаний для строителя не остаются, как у Витрувия или Мартини, пустой декларацией. Наоборот, на протяжении всего изложения они нередко применяются на деле. Но Филарете является, очевидно, в противоположность Мартини, больше архитектором-художником, чем инженером-строителем. Все работы технического порядка, например по перевозке тяжестей, он поручает другому руководителю — известнейшему технику Аристотелю Фиоравенти. Найдя в золотой книге изображение подъемного приспособления (кн. XV), он прямо признается, что не разбирается в нем. Поэтому он чувствует необходимость только в научном составлении планов и чертежей, в умении разобраться в них, т. е. в основах геометрии и учения о перспективе, которым в систематическом изложении он и посвящает XXII, XXIII и XXIV книги своего сочинения. О механике ни в прямом, ни даже в описательном смысле слова во всем трактате нет ни одного упоминания; в этой области мало самостоятельный и неглубокий автор стоит еще обеими ногами на почве дедовской эмпирики. Замечания Альберти по этому вопросу, не систематические, случайные, но все же вполне определенные, не доходят до его сознания — они еще слишком новы и не нужны на практике; в то же время он ясно сознает уже необходимость в геометрии и перспективе.

Рассмотренные выше произведения четырех технических писателей XV в. отнюдь не исчерпывают собой всей технической литературы этого времени: и произведений, и авторов было еще очень много, причем далеко не всех их мы достаточно знаем. Приведенный нами материал, во-первых, относится к авторам, с которыми либо лично, либо литературно хорошо знаком основной герой нашего изложения — Леонардо да Винчи; во-вторых, он охватывает собой все наиболее характерные типы произведений этого рода. Действительно, в произведениях Альберти мы видим осуществляемую теоретиком-

гуманистом попытку синтеза античной теории и современной практики; в произведении Вальтурио — только восстановление античности; в трактатах Франческо ди Джиорджио — только отражение практики, а в романе-утопии Филарете новую, но уже осуществляемую архитектором-практиком попытку синтеза теории и практики. Все эти научно-технические работы в своей совокупности позволяют, как нам кажется, почувствовать тот новый воздух, который вдыхала в XV в. широко развернувшаяся техника, пытавшаяся, с одной стороны, поддержать падающее благополучие нового установившегося в Италии социального порядка, с другой — придать этому эфемерному порядку наиболее роскошное и помпезное оформление, — тот воздух, в котором медленно и трудно рождалась новая наука, наука Леонардо и Галилея.

§ 2. МЕХАНИКА

То, что наука эта рождалась и медленно, и трудно, сказано нами отнюдь не случайно. Действительно, стоит только рассмотреть, — чего, к сожалению, до сего времени ни один исследователь еще не делал, — либо всю отрасль точных наук Италии XV в., либо одну какую-нибудь науку, в нашем случае механику, чтобы убедиться в справедливости этого утверждения. Мы видели в конце первой части нашего изложения, что к началу XV в. Биаджио Пелакани сделал одну из наиболее полных попыток сведения воедино всего наследия схоластической механики; попытка эта, в общем удачная, глубоко феодальная по всему своему характеру, только в очень незначительной мере отражала те глубокие и решительные перевороты, которые во время ее появления происходили в окружавшей ее творца жизни. Биаджио Пелакани остается в основных чертах своего творчества феодальным университетским ученым, чрезвычайно мало связанным (возможно даже и совсем не связанным) с технической практикой и потому совершенно абстрактным во всех своих теоретических построениях, стоящих на относительно довольно большой научной высоте.

Рассмотрим, что происходит в теоретической механике на итальянской почве в то время, когда окончательно закрепляются новые социальные отношения, когда бурно, хотя и не без топтания на месте, создается новая техника, когда в области искусств всех видов исключительно богатая и многообразная продукция бьет через край, создавая почти необозримый ряд шедевров. На первый взгляд, как это ни удивительно, не происходит вообще ничего. Ни одного сколько-нибудь нового сочинения по теоретической механике в течение всего XV в. в Италии не появляется. В университетах, еще сравнительно долго остающихся цитаделями старой феодальной науки, преподавание, — кстати сказать, в Италии никогда не бывшее особенно сильным в области точных наук, — ведется по старым руководствам: Иордан Неморарий и в лучшем случае Биаджио Пелакани царят, порождая только эпигонские компилятивные работы учебного характера. Из новых ученых, тесной толпой шедших за триумфальной колесницей нового класса-гегемона и воспевавших славу античного прошлого и его непосредственных преемников — различных Медичи и Сфорца, никто не занимался столь низкой и скучной материей, попахивавшей ненавистной монашеской рясой и замшелой школьной скамьей. Призывы техников-практиков, наиболее передовые из которых, как мы видели, все яснее сознавали необходимость какого-то нового развития науки, связанной с запросами техники и на эти запросы отвечающей, оставались гласом вопиющего в пустыне. Почти никто из гуманистов на них не откликался. Создавался явный и зияющий разрыв между запросами техники и положением науки.

Только внимательное изучение научной литературы этой эпохи обнаруживает некоторые, и притом весьма слабые, признаки движения в области механики.

Наиболее ранние, и при этом, как можно было ожидать уже из предыдущего изложения, наиболее яркие и характерные, фрагментарные данные об изменениях в теоретической механике на почве Италии XV в. мы находим в сочинениях Альберти.

К величайшему сожалению, специальный трактат по механике, несомненно написанный Альберти и названный им «О движении весов» («De motibus ponderibus»), до нас не дошел.[1] Но зато мы имеем в шестой книге рассмотренного нами выше «Трактата об архитектуре» сжатое изложение этого трактата, а в итальянском сочинении «Математические забавы», о котором будем говорить ниже, некоторые выдержки из него. Механические взгляды Альберти, насколько нам известно, никогда не служили объектом специального изучения,[2] а между тем эти взгляды, как сами по себе, так и по своему влиянию на дальнейшее развитие механики и особенно на создание механических концепций Леонардо да Винчи, представляются нам исключительно интересными. Мы позволяем себе остановиться на них более подробно.

Механические высказывания Альберти, которые мы находим в шестой книге «Трактата об архитектуре», могут быть условно отнесены к трем тематическим разделам, каждый из которых охватывает не более двух-трех страниц текста. Такая краткость изложения, принятая Альберти, и, как мы увидим ниже, некоторая излишняя упрощенность этого изложения объясняются, конечно, тем, что мы имеем дело не более как с экскурсом, вставленным в сочинение, посвященное другому сюжету. Но, что особенно важно, не это определяет основной характер изложения — его определяет назначение его, вполне ясно сформулированное самим автором в седьмой главе шестой книги трактата. «Я решил, — пишет Альберти, — говорить об этих вещах не как математик, но как техник (кузнец), и говорить

---

[1] P. H. Michel в цитированной выше работе считает существование его неоспоримым, базируясь на трех, правда, довольно глухих, — ссылках на него в других сочинениях Альберти, в первую очередь в главах 6 и 8 «Трактата об архитектуре», где он, впрочем, не назван, хотя и упоминается недвусмысленно.

[2] P. H. Michel посвящает этому вопросу несколько неопределенных и туманных страниц (op. cit., pp. 171—175). Мы посвятили ему статью Механика А. Б. Альберти и механика Леонардо да Винчи. Архив истории науки и техники, сер. I, вып. 7, 1935, стр. 105—128.

только о том, что не сможет быть опущено»[1]. Таким образом заданием основ механики в «Трактате об архитектуре» является изложение только самых необходимых для практиков-техников сведений из этой науки, без которых они не могут обойтись. Это обращение к технику-практику отнюдь не противоречит тому, что мы говорили выше и будем иметь случай упоминать и ниже о дилетантизме Альберти, о поверхностности его занятий техникой. Работы его в значительной степени были предназначены для магнатов-заказчиков, а не для техников-исполнителей, но целью их было объяснить техническую сущность дела, поставить заказчика на позицию исполнителя, так что в конце концов задание по существу не меняется от перемены фактического адресата. Несмотря, однако, на такое специфическое задание и на то, что каждый из трех разделов текста, трактующего вопросы механики, занимал, как мы говорили, две-три страницы, охваченным оказалось все главное, что к тому времени имелось в багаже механики. Действительно, три названных выше раздела касаются: первый — теоретических основ механики — учения о движении и его свойствах; второй — основ того, что мы в ходе нашего изложения условно называли конкретной механикой, т. е. в первую очередь учения о весах; наконец, третий— элементарных сведений по деталям машин и начатков сопротивления материалов. Познакомимся более конкретно с тем, что дает Альберти в своем изложении.

В первой части, рассматривающей основы механики, Альберти, как это делали все античные и средневековые механики, начинает с основной и фундаментальной перипатетической аксиомы о том, что «вес по своей природе всегда отягчает и всегда стремится к наиболее низкому месту». Это утверждение сопровождается еще несколькими выводами, как будто бы с несомненностью вытекающими из него, но по своим формулировкам необычными для механической традиции. Так, приведенная выше фраза продолжается следующими словами: «и

[1] Nam institui non ut mathematicus sed veluti faber de his rebus loqui non plus quod pretereundum non sit. Ed. cit., f. LXXXVIII.

всей своей силой сопротивляется тому, чтобы его поднимали и никогда не меняет места, не будучи победителем или будучи превзойденным бóльшим весом либо какой-нибудь противной силой, которая бы его победила».

Несколькими строчками ниже та же мысль повторяется в несколько другой форме.

«Мы твердо уверены в том, что веса никогда и никуда не движутся легче, чем когда движутся вниз, ибо в этом направлении они движутся сами собой (sponte), и никогда не движутся тяжелее, чем когда передвигаются вверх и по своей природе противятся этому, и что есть некоторое движение, среднее между этими (двумя), которое, может быть, заимствует нечто и от одного и от другого, ибо оно, несомненно, не движется от природы и не противодействует послушанию — как это бывает, когда веса двигаются по (горизонтальным) поверхностям (plane) и по путям, на которых они не встречают сопротивления. Все другие движения, которые более близки или к тому, или к другому будут или тем более легкими, или тем более трудными».

К этим вполне ясным высказываниям можно присоединить еще одну данную автором фразу: «Вес по своей природе является величайшим другом покоя, т. е. есть ленивым и медлительным (pigrum et morosum)».

Приведенными нами дословно высказываниями и исчерпывается, собственно говоря, вся первая, «теоретическая» часть механического отрывка «Трактата об архитектуре». Несмотря на свою чрезвычайную краткость (технику и практику незачем и некогда было погружаться в глубины теории), она говорит об очень и очень многом. Первое, что бросается в глаза при ознакомлении с высказываниями Альберти, это их анимистическая форма: тяжесть, вес, сопротивление не фигурируют, как хотя бы в трактатах школы Иордана Неморария, в качестве абстрактных философских категорий, а наделяются человеческими, живыми свойствами; они любят и не любят, дружат, хотят и не хотят, побеждают и терпят поражение. Такой способ выражения, несмотря, на то, что его литературные корни уходят далеко в глубь античной, в первую очередь философ-

ской, традиции, кажется нам далеко не случайным. Находя себе полное, наиболее яркое выражение спустя век после Альберти в творчестве натурфилософов XVI в., он свидетельствует об изменившемся отношении к самому объекту исследования. Альберти слишком много имел дела в своей реальной, практической деятельности с весами и грузами, чтобы говорить о них так сухо и абстрактно, как это делал кабинетный ученый XIII в. Все эти величины для него — живые реальности, и он говорит о них как о таковых, придавая старым, вековым перипатетическим положениям новые формулировки, которые, не изменяя в основном содержания высказываний, все же накладывают на них некую специфическую печать.

Что же касается содержания приведенных выше отрывков, то оно действительно, в основном, старое, перипатетическое. Утверждается только естественность стремления всякого тела вниз и довольно смутно определяется движение приобретаемое, либо полностью, либо частично противодействующее естественному. Какой-то оттенок нового вносит только последняя из приведенных нами фраз, содержащая нечто вроде смутного представления об инерции. Какая бы то ни было попытка выяснения взаимоотношений между отдельными величинами в высказываниях Альберти полностью отсутствует, да это и не могло быть иначе. Те хитроумные и искусственные соотношения, которые прокламировались школой Иордана, были неприемлемы для техника, на опыте своей деятельности убеждавшегося в их ошибочности. Создание же новых соотношений на новой основе, с непосредственной проверкой каждого положения на практике было исключительно трудно: для этого нужна была громадная, может быть гипертрофированная оригинальность, и Альберти —ученый полудилетант — не мог справиться с такой задачей.

Более подробно, но не менее характерно и интересно излагает Альберти и второй отдел механической части своего трактата. Он сначала довольно беспорядочно говорит о различных деталях машин: колесах, осях и прочих вещах, наиболее тесно связанных с непосредственной темой трактата. Затем,

очевидно следуя за Витрувием, оговаривает: «но все эти вещи, каковы бы они ни были, будь они большими колесами, вращаемыми людьми, ходящими внутри них, или же блоками, или винтами, — разумная основа конструкции всех их рождается законом весов...»[1]

После этого утверждения и после напоминания, приведенного нами выше, о том, что данное изложение преследует практические, а не теоретические цели, а потому будет неизбежно кратким и упрощенным, Альберти приступает к изложению закона весов. Отрывок этот звучит так:

«Для того, чтобы понять его, возьми в руки стрелу. Я хочу, чтобы в ней ты обратил внимание на три места, которые я называю точками: два конца, т. е. острие и оперение, и третья — средняя петля; два же расстояния, которые существуют между двумя концами и петлей, я называю радиусами (radios). Я не хочу спорить о том, почему это так, ибо это будет ясно из опыта. Ибо если петля будет помещена в середине стрелы, а конец оперения будет по весу соответствовать концу острия, то несомненно, что оба конца стрелы будут равны (по весу) друг другу и уравновешивать друг друга. Но если случайно конец острия будет более тяжелым, то конец оперения будет побеждаться им; тем не менее в этой стреле будет иметься определенное место, более близкое к более тяжеловесному концу, при передвижении в которое петли веса сразу же будут уравновешивать друг друга, точка же эта будет такова, что (определяемый ею) больший радиус настолько превосходит меньший, насколько меньший вес превосходится бо̀льшим. Ибо те, кто изучает эти вещи, нашли, что неравные радиусы соответствуют неравным весам; нужно только, чтобы численная величина (numerus) количеств (partium), которые соединяются (collecti sunt) друг с другом, т. е. радиуса и веса правой стороны, соответствовали такой же обрат-

[1] Sed istiusmodi omnia qualiacunque sint: sive sint ingentes rotae, quas immissi homines calcando invertunt, sive sint erganae aut codeae in quibus vectis in primis valet; aut cicleolae et guevis generis ejusdem: omnium estqu idem ratio ex principiis ducta librae». Ed. cit., f. LXXXVIII.

ной величине левой стороны. Так, если острие будет весить три, а оперение два, то необходимо, чтобы радиус между петлей и оперением был три. Поэтому, так как это число пять соответствует другим равным ему пяти, то по уравнению (aequatis) радиусов и весов они будут уравновешиваться. Если же числа не будут соответствовать друг другу, то они не будут уравновешиваться, но один конец будет стоять высоко, а другой — низко. Не хочу я также опустить того, что если от той же петли до концов радиусы будут равны, то, в то время как они будут вращаться, они будут описывать в воздухе равные круги; если же эти радиусы не будут равны, они будут описывать также неравные круги... Если эти вещи будут поняты достаточно, то закон действия (ratio) всяких машин, разыскать который мы стремимся, будет вполне ясен, особенно же это относится к колесам и ручкам».[1]

[1] Ввиду спорности перевода приведенного отрывка, мы приводим его полностью в оригинале: «Esto sit inter manus discendae rei graia jaculum: in eo tris (sic!) locos velim consideres, quos puncta nuncupo. Duo extrema capita ferrum atque pynnulas, tertium est medium amentum. Quae vero spatia inter puncta haec sint ab amento ad capita radios nuncupo. Non disputo quid ita sit, sed ipsa res patebit experimento. Namque is erit quidem amentum taelo situm, medio et aequalia pynnulis pondera respondeant ferro, stabunt sane alter utra jaculi capita mutuo renitentia et collibrata. Sin erit fortassis ferratum caput gravius pervincentur pynnulae. Erit tamen in jaculo certus locus graviori capiti propinquior, quo si amentum reduxeris sese pondera ilico aequilibrabunt. Is erit punctus ille a quo major hic radius tantum exuperat minorem, quantum minus hoc pondus ab maiore exuperatur. Compertum enim fecere qui ist a queritarunt radios non pares ponderibus, non paribus aequari modo numeri partium qui ex radjo atque ex pondere una collecti sunt in dextra contrariis talibus in sinistram numeris respondeant. Nam si erit ferrum tria pynnulae dua ab amento ad ferrum radius duo sit opportet, et radius alter ad pynnulas tria. Ex quo cum hic numerus quinque alteris quinque par respondebit, aequatis radiorum et ponderum rationibus quiescent aequi librati et compares, si non respondebunt numeri pervincent in quo excedent. Illud non praetereo ad eodem amento si pares protendentur radii pares dum capita movebuntur aere circulos signabunt. Si vero impares quoque et impares describent circulos... Haec si satis intelliguntur omnis quam quaerimus ratio hujusmodi machinarum in aperto est maxime rotarum et vectis».

Мы привели теорию весов Альберти полностью, несмотря на достаточную длину отрывка, потому что считаем ее исключительно важной. Действительно, если уже при изложении теоретических основ механики Альберти мы отмечали значительную разницу между ней и механикой школы Иордана, то здесь, на материале основного стержня всей античной и средневековой конкретной механики — на теории весов, это различие выступает с прямо-таки кричащей ясностью. Перипатетическая основа еще проглядывает, но от нее осталась не более чем слабая тень в виде приплетенных к концу, неизвестно зачем, кругов, описываемых концами весов. Несмотря на то, что и здесь изложение, повидимому, непосредственно восходит к Витрувию, оно глубоко самостоятельно и совершенно оригинально. Никакого философствования, столь запутывающего изложение Витрувия и завещанного аристотелевыми положениями и псевдоаристотелевыми «Проблемами механики», — все здесь ясно, четко и конкретно. Изложение построено так, чтобы на возможно более наглядном и простом примере объяснить закон, который дает общее правило для устройства всех нужных технику механизмов. Разрыв между технической практикой, реальной и грубой, и научной теорией, абстрактной и философской, почти начисто уничтожен — обе они дышат одним дыханием. Мы помним, что такую же попытку слияния теории и практики делал Герон, но он, еще полный благоговейного преклонения перед высотами «чистой науки», находящими выражение в творчестве Архимеда, не может, да и не находит нужным касаться этих высот: он только более или менее удачно применяет их. Нужна была совсем другая историческая обстановка, нужны были глубокие социальные сдвиги, выдвинувшие на первый план классовые силы, опирающиеся на новые основы, нужны были глубокие изменения во всем производственно-техническом базисе общества, чтобы стала возможной та коренная переделка механики, у истоков которой стоит Альберти. А он стоит действительно только у истоков, он только смело дерзает, но добивается весьма немногого — это доказывается в первую очередь его формулировкой закона

рычага, которая, на первый взгляд, кажется глубоко неправильной. Действительно, Альберти утверждает как будто бы, что при равенстве сумм весов и плеч по обе стороны точки опоры весы находятся в равновесии. В общей форме это совершенно неправильно, ибо равновесие определяется равенством моментов, т. е. произведений весов и плеч. Однако внимательное рассмотрение весьма неясного текста дает как будто бы возможность допускать, что Альберти принимал следующее предположение: плечо весов предварительно разделено на такое количество делений, которое равно сумме единиц веса, заключающейся в обоих грузах, т. е. деления на коромысле нанесены не согласно какой-нибудь определенной системе, а приспособляются к величинам грузов. При этом предположении, которое, как мы увидим ниже, иногда принимал и Леонардо да Винчи, если еще принять, что вес острия или оперения сосредоточен в крайней точке, формулировка Альберти оказывается правильной, хотя и в достаточной степени искусственной и неуклюжей. Но эта неуклюжесть не случайна, а глубоко симптоматична. Зная формулировки закона рычага, даваемые античными авторами, Альберти, однако, не повторяет их, ибо они кажутся ему слишком сложными и, главное, абстрактными. Он ищет своих, новых, более простых и более наглядных формулировок; он пытается не пересказывать известный закон, а обобщать собственные наблюдения над реальными техническими объектами, но при этом, что вполне естественно, сразу не находит нужных, в достаточной степени общих выражений.[1]

Формулировка Альберти показывает, что если уже созрело императивно диктуемое самими новыми условиями жизни новое взаимоотношение между наукой и техникой, если техника в лице своих наиболее передовых представителей уже требовала создания такой науки, которую бы она могла

[1] На возможность приведенного выше толкования текста Альберти, который мы склонны были первоначально считать грубо и несомненно ошибочным, нам указал С. Я. Лурье при обсуждении данной части работы, за что мы выражаем ему глубочайшую благодарность.

непосредственно использовать, а представители науки сознавали необходимость коренной перестройки, то осуществление всей этой программы было еще только начато, оно требовало еще большой и трудной работы.

Третий раздел части трактата Альберти, содержащий сведения по механике, отведен различным техническим применениям начал механики в технике, т. е. в основном началам деталей машин и сопротивления материалов. Естественно, что в книге технического содержания раздел этот наиболее обширен, подробен и наиболее интересует автора. Сведения и соображения этого рода, разбросанные в значительном беспорядке по всем трем главам (VI, VII, VIII) шестой книги трактата, рассматривающей вопросы механики, касаются в первую очередь следующих сюжетов. Первым рассматривается колесо, знакомство с которым и приводит к цитированному нами выше месту, содержащему теорию весов. Самое рассмотрение колеса показывает, что автор либо не знал, либо сознательно не использовал «Проблем механики» с их необъяснимым «колесом Аристотеля». Некоторый след воздействия «Проблем механики», может быть, можно вскрыть в отмечаемом и Альберти различии между колесами, у которых ось стоит на месте, и теми у которых она движется; в остальном же отношение к теме радикально другое. Альберти не задумывается над принципами работы колеса, а рассматривает преимущества и недостатки осей — толстой и тонкой, втулок большого и малого диаметра, говорит о необходимости смазки, изучает сравнительные достоинства разных материалов, из которых делаются части колес. Понятно, что в сочинении о строительном деле подробно трактуется вопрос о блоках и талях. Ввиду важности самого контекста высказываний Альберти мы приведем его полностью в его основной части:

«Но для того, чтобы ты понял, как обстоит дело, возьми камень в тысячу фунтов. Если он будет висеть на ветке дерева только на одной веревке, то совершенно ясно, что она одна будет выдерживать полностью тысячу фунтов. Привяжи затем к камню блок и перекинь через него веревку, на которой висел ка-

мень; протяни эту веревку обратно к ветке, так чтобы этот камень был подвешен на двух веревках; ясно, что тогда вес этого камня выдерживается двумя веревками, блок же в середине между ними оказывается уравновешенным. Пойдем дальше: прибавь к ветке другой блок и перекинь также через него эту веревку. Я хочу знать, какова будет часть веса, которую будет выдерживать эта часть нити, подтянутая вверх и перекинутая через блок, — скажем пятьсот. Так разве ты не замечаешь, что этому второму блоку нельзя придать бóльшую часть веса этой веревки, чем она имеет, а она имеет пятьсот; итак, не будем говорить о ней. До сих пор я, как мне кажется, показал, что вес разделяется блоками и вследствие этого большие веса двигаются меньшими, и чем больше применяются подобные инструменты (приспособления — orbiculi), тем больше делится вес, так что, чем больше будет блоков, тем более легко можно справляться с весом, как будто бы он был разбит и разделен на множество частей».

Приведенным высказыванием седьмой главы ограничивается теория блоков Альберти, восьмая же глава дополняет ее уже чисто техническими указаниями: как надлежит укреплять и располагать блоки, каковы должны быть диаметры шкивов, какова толщина веревок, из какого материала сделаны оси шкивов и т. д.

Но не только эта, уже сугубо техническая, часть придает изложению вопросов, связанных со шквивом у Альберти, специфический характер. Мы помним, что теорию шкива в краткой форме давали в своей двенадцатой главе «Проблемы механики», что ее мимоходом задевал Витрувий и подробно разбирал во второй книге «Механики» Герон. Но если сравнить самый метод изложения, метод подхода к материалу, то мы опять сразу же обнаружим глубокое своеобразие Альберти. И здесь, как при объяснении рычага, он не доказывает, а показывает, не стремится проникнуть в философскую сущность явления, а просто из непосредственного наблюдения выводит закон, управляющий этим явлением. Само собой разумеется, что закон этот получается довольно неуклюжим и сформулированным

с малой степенью общности, но зато он совершенно нов по всему своему существу. Здесь мы впервые не находим сведения действия блока к действию рычага, на котором основана теория шкива у всех античных авторов, — здесь делается попытка объяснить это действие самостоятельно, путем простейших самоочевидных наблюдений.

Менее подробно и, надо сознаться, менее удачно трактует Альберти проблему винта. Вот его сравнительно недлинный текст:

«Я хочу, чтобы ты знал, что винт состоит как бы из кругов или колес, каковые в действительности принимают на себя и выдерживают вес, если бы эти кольца были полными и неразрезанными, так чтобы конец одного не был началом, хотя бы он и двигался, но никогда не шел вверх ни вниз, но двигался бы вокруг, согласно движению нарезки, а следовательно, этот вес принужден итти вверх или вниз по наклону колец под действием силы рычага (in vectis). И опять-таки, если бы эта нарезка была малой и насколько возможно приближалась к центру, ясно, что меньшим рычагом и с меньшей затратой силы ты бы сдвинул вес».

И в этом объяснении, или, вернее, описании, действия винта мы находим те же черты, что и в объяснении рычага или блока. Винт не сводится, как это мы видели у античных писателей, к наклонной плоскости, не дается указаний о законе построения нарезки, а все изложение сведено к нескольким замечаниям — примитивным и довольно бесцельным, но зато основанным на собственных наблюдениях.

Кроме вышеприведенных, условно говоря — теоретических, замечаний по деталям машин, этот раздел содержит ряд разрозненных соображений, которые еще более условно можно отнести к области статики сооружений или сопротивления материалов. Некоторые из этих замечаний весьма интересны. Так, непосредственно после изложения теории винта Альберти говорит:

«Не умолчу я также о том, о чем, правду говоря, я не предполагал здесь рассказывать, т. е. о том, что ты устроишь таким

образом, чтобы дно (carina) любого веса, подлежащего движению, не было более широко, чем точка (конечно, насколько это может быть достигнуто искусством и рукою мастера), и чтобы оно двигалось по неподвижной и твердой плоскости, не делая при движении никакой борозды на этой плоскости, и я обещаю тебе, что ты сдвинешь архимедов корабль и тебе удастся любая подобная вещь. Но об этом мы поговорим в другом месте. Если одна из тех вещей, о которых мы говорили (очевидно, рычаг, блок, винт), имеет большую способность двигать веса, то, будучи соединены все вместе, они будут иметь весьма большую способность к этому. В Германии ты найдешь во многих местах молодежь, развлекающуюся на льду с некиими железными ботинками (socculo ferreo), которые внизу весьма тонки, причем они при легком движении благодаря скользкости (teste lubricitate) скользят по льду с такой скоростью, что их не может перегнать полет ни одной сколь угодно быстрой птицы».

В приведенном отрывке мы, во-первых, с чрезвычайной ясностью видим путаницу, которая царит еще в голове у нашего автора, перескакивающего с совершенно немотивированной легкостью с предмета на предмет; во-вторых, мы опять (см. выше стр. 273) можем при внимательном наблюдении рассмотреть легкую тень представления об инерции и о трении в качестве силы, препятствующей ее проявлению. Но опять-таки источником этих представлений являются не античные авторы, у которых (у Герона в частности) мы тоже отмечали предчувствия подобного рода, а наблюдения над реальной действительностью.

Заканчивается механическая часть «Трактата об архитектуре» сравнительно подробными указаниями, касающимися установки разобранных выше механизмов и комбинаций их и различных способов работы с ними. Среди этих чисто технических указаний рассыпаны, однако, и замечания полутеоретического характера, подчас весьма небезынтересные. Так, Альберти различает три способа перемещения грузов: тащение, толкание и ношение, — различие, которое мы встретим позднее

у Леонардо да Винчи. Особенно же интересно следующее замечание:

«Во всех этих устроенных таким образом приспособлениях для приведения их в действие необходимо при движении весьма больших грузов обращать внимание на то, чтобы приспособления не были слишком малы и чтобы не употреблялись слабые длины в веревках или стержнях, каким бы способом мы ни приводили их в движение; ибо они слабы по причине того, что длина по своей природе несомненно соединена с тонкостью, и, наоборот, короткие вещи имеют в себе некоторую толщину».

Замечание это опять-таки подводит нас к одному из положений сопротивления материалов.

Заканчивается раздел механики «Трактата об архитектуре» следующими, весьма характерными словами:

«Одно я хочу тебе напомнить: будет хорошо, чтобы, двигая любым способом какой-нибудь громадный вес, ты приступил к этому разумно, осторожно и по зрелом размышлении, имея в виду различные неверные и непоправимые несчастные случаи и опасности, которые в таких делах, вопреки всякому ожиданию, обычно случаются даже с самыми опытными; ведь ты не заслужишь никогда ни столь больших похвал, ни славы, если тебе удастся все, за что ты ни берешься, чтобы в случае неудачи порицание и ненависть за твое смелое безумие не были значительно бо̀льшими».

Таково содержание механической части крупнейшего и наиболее зрелого технического трактата Альберти. Из дошедших до нас произведений он останавливается на вопросах механики еще в одном — в «Математических забавах».[1] Произведение это, чрезвычайно своеобразное и в достаточной степени нелепое,

[1] Мы пользовались как первым изданием в книге Opuscoli morali di Leon Battista Alberti... tradotti e parte corretti da M. Cosimo Bartoli... In Venetia, appresso Francesco Franceschi Sanese, 1568, хранящимся в Библиотеке Академии Наук СССР, так и изданием A. Bonucci, помещенным в томе IV Opere volgari di Leon Batt. Alberti. Firenze, 1849. Цитаты даются по последнему изданию. О самом трактате подробно говорит Ольшки в цитированной выше работе.

представляет собой довольно случайное по составу собрание самых различных приемов при разрешении технических трудностей. В предисловии, адресованном маркизу д'Эсте, сам Альберти говорит так:

«Может быть, я Вас удовлетворю, если в этих забавнейших вещах, собранных здесь, Вы найдете развлечение как при рассматривании их, так и при применении их на деле. Я стремлюсь писать о них возможно более ясно. Но я все же должен напомнить Вам, что предметы (трактованные здесь) весьма тонки и плохо поддаются столь новой трактовке, чтобы не приходилось для понимания их быть весьма внимательным».

Уже эти вступительные слова показывают то же отношение к предмету, которое мы подмечали в «Трактате»: с одной стороны, Альберти осознает тесную связанность с практикой объектов своего изучения, тех методов, которые он описывает и рекомендует; с другой же стороны, он относится к ним, как к некоей забаве, и сам не слишком глубоко верит в серьезность тех практических результатов, которые они могут принести.

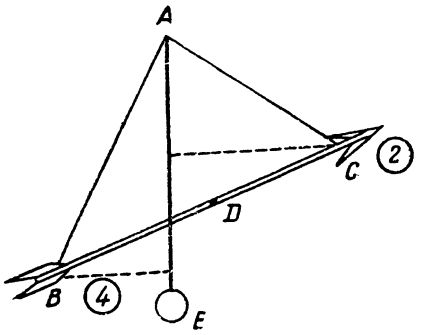


Рис. 26

Основное содержание «забав» посвящено вопросам измерения длин и площадей на расстоянии, только небольшая часть тринадцатой и вся четырнадцатая глава рассматривают вопросы механики (всех глав двадцать). Конец тридцатой главы дает в весьма сжатом виде теорию весов-рычага.[1] Вот что в ней говорится:

«Эти весы (рис. 26) (equilibra) измеряют всякий вес таким образом. Насколько нагруженная свинцом нить AE отходит от

[1] Деление на главы, отсутствующие в издании Bartoli, дано, повидимому, Bonucci; чертеж мы приводим по изданию Bartoli.

восковой метки (cera), настолько тот вес, к которому она будет ближе, весит больше другого, помещенного на другом конце. Узнается это следующим образом: сколько раз расстояние от одного конца стрелы до нити AE помещается в остальной части стрелы, столько раз один из этих весов помещается в другом. Пусть, например, стрела будет иметь длину в 6 локтей и пусть на конце B будет помещен вес в 4 фунта, а на конце C — вес в 2 фунта. Тогда вы найдете, что нить AE будет так расположена, что первое расстояние будет иметь 2 локтя, а второе 4 локтя».

В этом изложении мы совершенно неожиданно находим в скрытом и неясном виде формулировку закона коленчатого рычага, закона, который формулировал некогда Герон и который обосновывал подробно третий вариант трактата Иордана Неморария. Но как глубоко отличен подход у Альберти! Он дает просто рецепт взвешивания на особого типа весах, рецепт, возможно заимствованный из наблюдения и никак теоретически не обоснованный. Он ничего не говорит о том, что в данном случае он имеет дело с совсем другим видом рычага, чем в «Трактате об архитектуре», что решающими в этом случае являются расстояния грузов от вертикали, которые, вследствие подобия треугольников, могут быть заменены частями стержня. Вообще он ничего не объясняет и не доказывает, а только дает практическое указание.

Четырнадцатая глава подробно рассматривает случай взвешивания весьма большого груза при помощи небольшой гири и почти дословно повторяет изложение этого случая в «Трактате». Весьма характерно заключение сборника. Альберти говорит в нем, что, если нужно, он может сообщить еще о разных других, более сложных и трудных вещах, «но сомневаюсь, что смогу сказать о них что-нибудь сверх того, что говорили древние; они же говорили так, что и при знании математики с большим трудом могут быть поняты, и то не полностью».

Таким образом, Альберти, добросовестно старавшийся понять сложные математические соображения античных авторов, сам сознает, что понял их не целиком, — да это и не могло быть иначе. Будучи гуманистом-филологом, как все гуманисты ре-

лигиозно преклонявшимся перед античностью, он стремился уразуметь тонкую цепь рассуждений античных математиков. Но будучи в то же время человеком другой эпохи, одним из наиболее чутких участников создания новой культуры, отвечающей новой социальной обстановке, он не мог понять содержания математических построений античности. Для понимания же их формы, для приспособления научного наследия античности к нуждам и потребностям практики своего времени, необходимость какового он ясно сознавал, у него не было ни оригинальности, ни смелости. Возникает, однако, вопрос: в какой мере Альберти использовал для изложенной нами механической части своих писаний предыдущую специальную литературу, в какой мере он самостоятелен? Из того краткого изложения, которое мы дали выше, явствует, как нам кажется с полной несомненностью, что Архимед и, конечно, Герон остались ему совершенно неведомы. Безусловно, он был хорошо знаком с Витрувием; возможно также его знакомство с «Проблемами механики». Что касается произведений средневековой механики, наиболее поздние и наиболее полные из каковых создавались еще при его жизни (вспомним Биаджио Пелакани) то он либо был знаком с ними только понаслышке, либо поверхностно читал и забыл их; возможно, что он заведомо игнорировал их как произведения, рожденные радикально другой социальной системой, а потому идеологически чуждые и даже враждебные. Во всяком случае, сколько-нибудь заметного влияния на механические высказывания Альберти ни философское течение средневековой механики — школа Буридана и Альберта Саксонского, ни конкретная механика — школа Иордана Неморария — не оказали. С точки зрения чисто научной Альберти стоял на уровне значительно более низком, чем его античные и средневековые предшественники. В голове его царили еще изрядный туман и путаница, и он плохо разбирался в том, о чем писал. Но в то же время в его писаниях впервые появилось новое, глубоко прогрессивное отношение к науке, новая, живая и органичная связь ее с технической практикой, что с лихвой искупало все недостатки изложения его и

оправдывает, как нам кажется, значительное место, уделенное ему в настоящей работе.

Произведения Леона Баттисты Альберти являются, пожалуй, единственными, в которых находит себе отражение конкретная механика. В течение всего XV в. Альберти является одним из немногих гуманистов, которые, наряду с филологическими и историческими штудиями и даже преимущественно перед ними, занимались вопросами техники и точных наук. Но, несмотря на то, что гуманисты в своем большинстве не интересовались точными науками вообще и механикой в частности, они своей деятельностью подготовляли коренные изменения в них, продолжая ту линию, которую так ясно начинает Альберти. Главной заслугой их является бывшее основным объектом их деятельности воскрешение в оригинальном, неиспорченном виде античных произведений. Понятно, что, будучи в первую очередь филологами, историками, поэтами, гуманисты прежде всего принялись за реставрацию памятников художественной литературы и трудов историков; предпочтение при этом отдавалось главным образом латинским авторам, которые представлялись как бы непосредственными предками этих новых римлян, даже имена свои менявшими на помпезные римские и на каждом шагу клявшимися Юпитером и Юноной. Но постепенно все основные латинские произведения, известные и в наше время, входят в оборот, поэты и историки издаются и изучаются, расширяется круг античных произведений, интересующих гуманистов. В него попадают все чаще и чаще произведения греческие, что связано с быстрым распространением изучения греческого языка, которое усилилось после падения Константинополя, вызвавшего массовый отъезд в Италию ученых греков. В число указанных произведений попадают (правда, в XV в. еще весьма редко и случайно) и относящиеся к сфере точных наук. В своем месте мы говорили о том, что как «Проблемы механики», так и бóльшая часть произведений Архимеда, во всяком случае его «Равновесие плоских фигур», были известны уже в XIII—XIV вв., но мы говорили также о том, что они вряд ли правильно и полностью понимались и пользовались весьма

небольшой популярностью. Университетское изучение механики проходило мимо них. Что же касается сводных работ Герона и Паппа, то судьба их в течение средних веков нам вообще неясна. Полное молчание о них хотя бы в трактатах Неморария, усиленно и иногда невпопад цитирующего античных авторов, в первую очередь Евклида и Архимеда, показывает, что они вряд ли пользовались даже столь скромной известностью, как последние.

Гуманисты, особенно падкие до новинок, не известных или же мало известных средневековой науке, открывают, реконструируют, пропагандируют в первую очередь именно Герона и Паппа. При этом произведения по механике первого они знают, повидимому, только через «Собрания» второго. Геронова «Механика» в XV в., как и много позднее, повидимому совершенно не известна; зато превосходно известны его «Пневматика» и «Автоматы».

Хорошую картину того, в каком объеме и опираясь на какую литературу представлял себе гуманист-профессионал механику как дисциплину, дает нам принадлежащий к крупнейшим и характернейшим гуманистам XV в. флорентинец Анджело Полициано. Один из наиболее образованных людей своего времени один из наиболее крупных его поэтов как латинских, так и особенно итальянских, Полициано (1454—1494) входил в самый тесный кружок друзей Лоренцо Медичи Великолепного. Всю свою жизнь он провел, выполняя поручения этого просвещенного тирана, неустанно в стихах и прозе, на греческом, латинском и итальянском языках проводя преподанную им идеологическую линию.[1] Уже с юных лет (с 1480 г.) и до самой смерти

[1] Литература о Полициано весьма обширна. Не считая необходимым сколько-нибудь подробно осветить эту, в нашем изложении, второстепенную фигуру мы пользовались, в основном, старой, но, пожалуй, и досего времени лучшей работой I. del L u n g o. Florentia, homini e cose del Quattrocento. Firenze, 1897. Научной деятельности Полициано в ней посвящена глава II, названная Nello studio fiorentino. Специальных работ об этой стороне деятельности Полициано, насколько нам известно, несуществует.

Полициано толкует в флорентийском «Студио» (гуманистическом подобии университета, созданном в этом наиболее прогрессивном городе как бы в пику старым феодальным университетам, в первую очередь Пизанскому) латинских и греческих поэтов и писателей, наполняя свои комментарии самыми разнообразными сведениями. В одной из вступительных лекций к такому курсу-комментарию, каковые он обычно опубликовывал, Полициано пытается охарактеризовать в немногих словах все науки. Лекция эта называется «Всезнайка» («Panepistemon») и написана, конечно, на латинском языке, на той цветистой, несколько приподнятой, но достаточно чистой латыни, которой обычно пользовались гуманисты.[1] Механику Полициано в названной лекции рассматривал вслед за оптикой. С некоторыми сокращениями та полустраничка, на которой он говорит о ней, звучит в переводе, сделать который, кстати сказать, нелегко ввиду замысловатости выражений, так:

«Затем следует механика. Как Герон, так и Папп утверждают о ней, что в ней имеется одна часть теоретическая (rationalis), которая занимается изучением чисел, звезд и вообще природы (que numerorum, mensurarum, sider um naturaeque rationibus perficitur), другая же прикладная (chirurgice), которая распространяется особенно на следующие технические отрасли (ремесла — artes): металлообработку, строительное дело, обработку дерева (materiaria) и живопись. Частями же последних являются: машинная техника (manganaria), при помощи которой громадные веса подымаются наверх очень малой силой, гидротехника (mechanopoectice), при помощи которой осуществляется подъем воды, военная техника (organopoectice), при помощи которой изготовляются военные машины: стены, черепахи, движущиеся башни и прочие (в оригинале перечис-

[1] Мы пользовались двумя изданиями лекции, хранящимися в Библиотеке Академии Наук СССР. Первое. озаглавленное Angeli P o l i t i a n i. Prelectio cui titulus Panepistemon, относится. повидимому к XV в., но не имеет ни даты, ни имени издателя; второе относится к 1502 г. и вышло из типографии Jacobus Pentius de Leuco.

ление) и разные роды метательных машин (tormentorum), которые описаны в книгах Атенея, Витона, Герона, Паппа, Филона и Аполлодора, не говоря о латинских книгах. Кроме того, чудодейственная техника».

Дальше перечисляются разного рода автоматы геронова типа.

«Все эти (отрасли техники), как это разъясняется в специальных работах, используют либо веса (ponderibus utitur), либо давление (spiritu), причем в них превышение веса (preponderatio) вызывает движение и нарушает (sistit) равновесие, как это определяет уже Тимей. Или же при помощи жил и канатов подражают одушевленным перемещениям или движениям, или же при помощи (тел), всплывающих на воде, или же при помощи воды так, как приводятся в действие часы. Причем из этих (основ техники) первую описывает Герон в своей «Пневматике», вторую в «Автоматах» и четвертую в сочинении о жидкостях (in hydriis), третью же описывает Архимед в «Плавающих телах». В том же ряду отделов механики (in eadem mechanicae serie) имеется отдел, названный учением о центре тяжести (centrobarica), из которого, как говорят, вытекает все остальное. Кроме того, построение сфер (sphaeropoeia), какова та, построенная Архимедом и прославленная в стихах Клаудиана. Механика же доставляет архитектуре подъемные и пневматические (sensorias et spirituales) машины».

Приведенный текст кажется нам весьма замечательным. Первое и совершенно несомненное заключение, которое мы можем на основании его сделать, то, что Герон с его «Пневматикой» и «Автоматами», Папп и Архимед прочно вошли в арсенал гуманистов. Именно на них построено полициановo представление о механике, в то время как ни «Проблемы механики», ни псевдоевклидовы отрывки, ни арабские трактаты, ни, конечно, трактаты школы Иордана Неморария не заслуживали даже краткого упоминания. Наиболее зрелые механические сочинения античности в своем полном и оригинальном виде к середине XV в., очевидно, уже были доступны интересующимся и хорошо известны им. Второй вывод, на который наталкивает

лекция Полициано, тот, что, повторяя вслед за Паппом, которого он списывает, разделение механики на теоретическую и практическую, он, книжный человек, гуманист и придворный, подробно останавливается не на первой из них, что казалось бы естественным, а на второй. Очевидно, техническое применение науки, в частности техническое применение механики, было настолько актуальным, что даже кабинетному ученому было совершенно ясно, что именно в нем и лежит главная цель точных наук. То отношение к механике, которое с такой ясностью проявляется в творчестве Альберти, очевидно передается и члену того же кружка Лоренцо Медичи — Полициано. Наконец, третий вывод, который мы можем сделать на основании приведенного текста, тот, что в нем впервые после античности вводится в механику понятие центра тяжести и даже, правда весьма осторожно, высказывается предположение, что понятие это является центральным в механике. Само собой разумеется, что обстоятельство это не может быть ни в какой мере приписано механическому таланту Полициано, который вряд ли вообще что-нибудь понимал в точных науках, а ограничивался списыванием у античных механиков. Оно, конечно, объясняется именно введением в научный оборот Архимеда, Герона и Паппа, у которых, особенно у первого, центр тяжести действительно играет решающую роль; но самый факт от этого нисколько не теряет своего значения.

Анджело Полициано, блестящий поэт и филолог, принадлежал к ведущему типу гуманистов, интересовавшихся одной античностью, и притом только (или почти только) в разрезе филологическом и историческом. Остальных дисциплин он касался лишь мимоходом, да и то в порядке перечисления, а не рассмотрения по существу; средневековую же литературу он вообще игнорировал. Однако существовали и гуманисты другого типа — правда, являвшиеся несомненным исключением. Они старались соединить изучение античности, преклонение перед ней, со знанием презираемой большинством из них средневековой схоластики. У представителей гуманизма этого типа философские интересы преобладали обычно над филологиче-

скими. Они были в своем большинстве связаны с флорентийской Платоновской академией, созданной в середине XV в. Марсилио Фичино, официальным философом рода Медичи. Одной из наиболее характерных и показательных фигур среди довольно многочисленных членов этого кружка был Джованни Пико, граф Мирандолы (1463—1494), аристократ, красавец, чудак, философ и поэт. Задачей всей своей весьма недолгой жизни он поставил согласование всех религий — в первую очередь языческой в ее наивысших, философских проявлениях, иудейской и христианской, что было весьма естественно для этого блестящего отпрыска старинной феодальной семьи, обедневшего и жившего при дворе бесконечно более могущественных выскочек — Медичи. По своей придворной функции, по верованиям того кружка, к которому он принадлежал, он—гуманист и проповедник новых языческих идеалов, по своей социальной природе он еще полон феодально-аскетических настроений. Согласование этих двух тенденций и становится поэтому его жизненной задачей. В произведениях Пико мы не находим упоминаний о точных науках вообще и механике в частности, но мы встречаем в них постоянные высказывания в защиту тех или иных схоластов, занимавшихся этими науками. Так, в одной из своих «Апологий», которыми он защищался от постоянно угрожавших ему обвинений в ереси, он в двадцать втором тезисе выставил следующее положение: «Та наука, которая по заслугам называется естественной философией и которая Вильгельмом Парижским и Бэконом и всеми греческими авторами называется естественной магией, не содержит в себе ничего такого, что противоречило бы католической вере».[1]

[1] Мы пользовались изданием Johannis Pici Mirandulae omnia opera относящимся, повидимому, к последним годам XV в. и хранящимся в Библиотеке Академии Наук СССР. Издание это повреждено, и в нем отсутствуют указания даты и издателя. Самый текст гласит: «Scientia illa quae merito dicitur esse practica naturalis philosophiae et quae a Guilielmo Parisiensi et a Bacone et a graecis omnibus auctoribus dicitur magia naturalis nihil continet in se quod catholicae et orthodoxae fidei repugnat».

Под Вильгельмом Парижским Пико, повидимому, подразумевает Вильгельма Оклама; Бэкон, конечно, — Роджер Бэкон.

Другой, пожалуй еще значительно более редкой разновидностью гуманиста были гуманисты, интересовавшиеся проблемами точных и естественных наук. Кроме Альберти, которого целиком отнести к гуманистам, как мы видели, вообще затруднительно, единственным сколько-нибудь крупным представителем этого типа был далеко не первоклассный гуманист, несколько провинциального типа — Георгий Валла (1447—1500).[1]

Кабинетный ученый, поклонник античности и в то же время профессор схоластического типа, Валла с молодых лет чувствовал особенное пристрастие к точным и естественным наукам. Он тщательно собирал и изучал античные рукописи, касающиеся, в первую очередь, именно этих сюжетов; он перевел и издал столь важный и трудный текст, как «Конические сечения» Аполлония Пергейского, комментировал Евклида, Аристотеля, Галена, усиленно изучал Архимеда. Наиболее полный и старый список сочинений Архимеда, которым, очевидно, пользовался и Леонардо да Винчи, происходит из библиотеки Валлы. Под конец жизни он собрал все довольно хаотически накопившиеся у него сведения в единый громадный труд — энциклопедию, названную «О вещах, к которым следует стремиться и которых следует избегать». Над этой энциклопедией он работал с 1491 по 1498 г. и умер, не увидав выхода ее в свет (1501).[2] Энциклопедия Валлы — произведение весьма любопытное. Прямой потомок средневековых схоластических энциклопедий,

[1] О Георгии Валла см. кроме нашей статьи «Итальянские энциклопедии XIII—XVI вв.» Тр. Инст. книги, документа и письма, вып. II, Изд-во Академии Наук СССР, Л., 1932, стр. 53—55. Также работы I. L. Heiberg. Beiträge zur Geschichte Georg Valla's und seiner Bibliothek. Leipzig, 1896, и Die Handschriften Georg Valla's von Griechischen Mathematikern. Jahrbücher f. klass. Philologie. 12 Supplementband. Leipzig, 1881. Вообще же деятельность этого весьма своеобразного писателя заслуживала бы более современного и подробного изучения.

[2] Единственное, весьма ценное издание энциклопедии хранится в Гос. публичной библиотеке в Ленинграде; оно озаглавлено: «Georgii Vallae Placentini viri clarissimi de expetendis et fugiendis rebus opus... Venetiis in aedibus Aldi Romani impensa ac studio Johannis Petri Vallae filii Pientiss. Mense Decembri MDI».

с их стройно и искусственно расположенным, но обычно весьма случайно собранным и плохо понятым и переработанным материалом, она делится на части, соответствующие предметам университетского преподавания. Текст частей — более или менее краткий пересказ, а в отдельных случаях и просто перевод различных отрывков античных, реже арабских или средневековых писателей. При этом как пересказы, так и особенно переводы показывают весьма слабое понимание Валлой изучаемых и передаваемых им первоисточников. Если даже Альберти, имевший прямое отношение к технике своего времени и пытавшийся делать что-то самостоятельное в математике, не вполне ясно разбирался в законе рычага, то Валла, чисто кабинетный и притом некрупный ученый, бродил совершенно в потемках. Как гуманист он преклонялся перед античными текстами, независимо от того, понимал ли он их или нет; как индивидуальность он тянулся к наименее изученной части этих текстов — к текстам математическим и естественнонаучным. Но полученное им образование, личные способности, недостаток свободного времени и, наконец, полное отсутствие связей с живой технической действительностью не давали ему возможности добраться до самой сути текстов, перед которыми он преклонялся, и он удовлетворялся неуклюжей и часто бессмысленной компиляцией. Наиболее подробно в энциклопедии Валлы изложены части, посвященные арифметике, музыке, геометрии и медицине — главным наукам университетского преподавания на богословском и медицинском факультетах.

В первой книге энциклопедии, являющейся как бы введением ко всему труду и особенно к его математической части, в главе двадцать первой, названной «О частях математики», Валла перечисляет все математические дисциплины и после упоминания об оптике говорит:

«Также та (часть математики), которая называется механикой, относящаяся к вещественным и ощущаемым объектам, ей же подчинено уменье пользоваться приспособлениями, нужными для ведения войны, которые греки называют «военной техникой», в каковой области, как известно, с удивительным

уменьем отличался Архимед, защищая Сиракузы от осады. Подчинены ей также наука об использовании давления, которую развивали Ктезибий и Герон, наука о моментах весов, в которой движение весов выражает равенство весов и неравенство положений, как это передает Тимей, и наука о том, как при помощи жил и канатов подражать одушевленным движениям. Подчинена механике и наука, измеряющая равенство и неравенство весов, и знание того, что называется ученьем о центре тяжести, а также уменье изготовлять сферы, изображающие небесные тела, в каковом как будто отличался Архимед, и вообще все, что относится к движению. [1]

Как нетрудно заметить, приведенный отрывок очень близок к характеристике механики, данной Полициано в «Панепистемоне», ибо, повидимому, восходит к одному и тому же источнику или к источникам, повторяющим друг друга, т. е. к Паппу и Герону. Не исключена также ни в какой мере возможность прямого заимствования Валлы у Полициано, писания которого были к концу XV в. весьма популярны. Разбираясь лучше Полициано в сути вопроса, Валла подробнее развертывает изложение отдельных частей механики, давая сжатую формулировку закона весов и упоминая об учении о центре тяжести. Но все же и Валла не слишком, повидимому, глубоко проникает в суть вопроса — об этом говорит, в первую очередь, бесприн-

[1] Ввиду того, что наш перевод не вполне точно отражает оттенки подлинника, мы приведем его полностью в оригинале: «Item quae mechanica nuncupatur circa sensilia ac materiosa ipsa quoque versatur sub qua est quae in dijudicandi (sic!) versatur instrumentis, quae gerendis sunt bellis opportuna organopoeheticam vocant greci, qua usus mirifico quedam ingenio est adversum oppugnantes Syracusas fertur Archimedes. Quaedam ad spiritus concipiendas constructa qualia Ctesibii et Heronis fuere. quaedam ad momenta ponderum inventa, quorum motus ponderum inaequalitatem status aequalitatem ponderum exprimat, ut Timaeus tradidit. Quaedam nervis ac filis intenta animatas holcas et motus imitantur, sub mechanica est quae ponderum metitur aequalitates et inaequalitates et eorum quae centrobarica vocitantur dijudicandi peritia, necnon sphaeras conficiendi ad corporum imitationem coelestium qualem perhibent procudisse Archimedem et denique quicquid sub mobilem cadit materiam».

ципный и хаотический подбор приводимых им частей механики Ставить рядом с ученьем о весах и о центре тяжести уменье делать планетарий может только человек, не вполне ясно представляющий себе как теоретический смысл первых двух разделов, так и практический — третьего. Это далеко не полное понимание сказывается дальше и в самом расположении механического материала по главам гигантской энциклопедии. Так, в первых словах пятнадцатой книги, посвященной пневматике в героновском смысле этого слова, Валла пишет:

«По мнению древних математиков, механика, катоптрика, оптика и другие дисциплины того же характера являются частями науки геометрии и подчиняются ей как виды роду, чему следовали и мы, и после того, что мы показали из области геометрии, последнюю, шестую книгу, посвященную геометрии, мы посвятим механическим приспособлениям, действующим пневматически. То, что самая природа не переносит пустоты, но разными удивительными движениями наделяет сплошное и непрерывное тело, мы покажем на несомненнейших примерах и докажем механическими соображениями. А так как то, о чем мы выше говорили, больше относится к области духа, чем к области чувств, то же, о чем мы дальше будем говорить, больше относится к области чувств, чем к области духа, то, хотя можно было бы предполагать, что мы тут же будем рассуждать о пустоте, мы считали более удобным говорить об этом в разделе, посвященном физике».

Из этого отрывка следует, что промежуточное положение механики между математикой и физикой окончательно сбивает и так уже не слишком хорошо разбирающегося автора. Поэтому-то соображения и замечания, относящиеся к механике, разбросаны совершенно без какого бы то ни было плана по части книги, посвященной математике и физике.

Первое краткое, но очень показательное место мы находим совершенно неожиданно в тринадцатой книге энциклопедии, рассматривающей геометрию тел, в главе второй; в ней подробно разбирается знаменитая Делосская задача. В конце этой

преисполненной учености главы, пестрящей многочисленными античными именами, встречается следующее место, как будто бы совершенно не связанное с предыдущим:

«Аристотель и следующие в этом отношении за Аристотелем Птоломей и Платон, еще до Аристотеля и Тимей, называли моментом общий род тяжести и легкости. А именно Птоломей в книге, называемой «О моменте», Аристотель в физических разысканиях и Архимед в книге, посвященной равным моментам (?), считают центром момента плоской фигуры ту точку, будучи подвешенной за которую фигура остается параллельной горизонту, а центром двух или многих плоскостей —

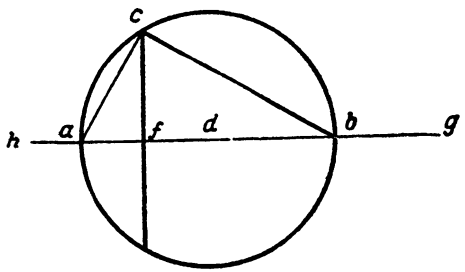


Рис. 27

центр момента или тяжести, почему (рис. 27) подвешенный стержень параллелен горизонту. Так, пусть имеем треугольник *abc* и в середине его точку *d*, будучи привешен за каковую он остается параллельным горизонту; тогда несомненно, что части *a*, *b*, *c* уравновешивают друг друга и одна не тянет другую в большей мере к горизонту. Таким же образом, если мы имеем стержень *ab* и отнимем от него величины *a* и *b*, если стержень будет подперт в *c*, то его части *a* и *b* будут уравновешиваться, и он будет оставаться параллельным горизонту, и *c* будет центром подвеса этих двух величин *a* и *b*.

«И Гемин вслед за Архимедом утверждает, что у равных и подобных плоских фигур при совмещении их друг с другом будут совмещаться и центры тяжести, так как все части их со-

ответствуют всем частям. У неравных же, но подобных фигур центры тяжести расположены подобно».[1]

Приведенный отрывок, вставленный, как мы говорили, в совершенно чуждый ему материал, чрезвычайно неясен и запутан. Очевидно, пытаясь вслед за Витрувием переводить греческое понятие ῥοπή, в большей или меньшей степени соответствующее современному понятию «момента», Валла вводит термин «momentum», но обозначает им не произведение веса на расстояние от точки приложения, а общую меру тяжести и легкости, рассматриваемых им, вполне в перипатетической традиции, как самостоятельные качества. Опираясь же на этот в достаточной степени бессмысленный термин, Валла вводит понятия «центра момента» или «центра тяжести» и затем устанавливает, что если тело подвешено в этом центре или, что то же самое, центр момента его совпадает с центром подвеса его, то тело оказывается в равновесии. Дальше этого утверждения, притом довольно сбивчиво выраженного, он не идет. Он не следует за Архимедом по пути сведения законов рычага

[1] Ввиду важности и трудности перевода данного отрывка, к тому же насколько нам известно, впервые вводимого нами в историко-научный оборот, мы его приводим полностью в оригинале: «Momentum commune genus gravitatis et levitatis Aristoteles et secutus in hac parte Aristotelem Ptolemaeus, Plato quoque ante Aristotelem et Timaeus esse dixerunt. Ptolemaeus certe in libro, cujus est index de momento et Aristoteles in naturalibus indagationibus Archimedes autem in libro qui aequalium momentorum inscribitur centrum momenti planae figurae putat, a quo elevatus manet finienti parallelus suum, aut plurum planorum momenti centrum, aut gravitatis, unde lanx elevata parallelus est finienti, ut sit triangulum *abc*, in medioque ipsius punctum *d* a quo elevatus manet parallelus finienti, non dubium putat quin aequilibrae sint *abc* partes sibi neque altera magis altera capit in finientem, itidem lance existente *ab* et sublatis ex ipsa *ab* magnitudinibus si lanx sustolletur ac equilibras habebit *ab* partes, parallelus manet finienti, atque centrum elevationis ipsarum *ab* magnitudinum *c*.

Aequalibus et similibus inquit Geminus cum Archimede planis figuris accomodantibus invicem etiam centra gravitatum invicem sese accomodant, nam omnes partes omnibus consentiunt. Inaequalium autem, at similium centra gravitatum similiter erunt affecta».

к рассмотрению различных случаев равновесия тел с расположенными определенным образом центрами тяжести, но и этого достаточно. В механику, в которой на протяжении веков не фигурировало даже выражение «центр тяжести», которая целиком и без остатка строилась на аристотелевых законах движения, все более и более настойчиво, со все более и более определенными ссылками на непререкаемый авторитет античных ученых, вводятся понятия и подходы, которые будучи и сами генетически не лишены некоторых связей с перипатетизмом, по всей своей структуре тянут все же совсем в другую сторону. Привитые к уже довольно мощному дереву схоластической механики, эти понятия должны дать совершенно новые плоды.

Дальнейшие сведения по механике в энциклопедии Валлы мы находим в двадцать второй книге, занятой вопросами третьей части физики, или, как автор чаще называет ее, «физиологии», и названной «Об основах и причинах природы» («De natura libus principiis et causis»).

Глава пятая этой книги озаглавлена «О движении», шестая — «О движении и покое». В первой из них мы находим чрезвычайно подробное и бессмысленно многословное изложение аристотелева учения о движении в широком смысле этого слова; во второй же несколько более кратко разбираются различные виды движения. Интересующее нас местное движение рассматривается по всем правилам и законам, установленным представителями схоластической механики. Начиная с обычного разделения движения на круговое и прямолинейное, Валла различает затем два вида прямолинейного движения — естественное, направленное вниз и ускоряющееся вследствие приближения к естественному месту, и приобретаемое, которое вначале обычно усиливается, затем же, теряясь, уменьшается, причем в середине движения (подразумевается — брошенного тела) имеется мгновение покоя («In medio autem limitis primi et principii secundi quies deprehenditur»). Ни о глубоком разборе причин ускорения или замедления движения, обычном, как мы видели, у серьезных схоластов, ни тем более о попытке

как-то количественно определить протекание движений, в кратком изложении Валлы речи нет. Вообще эта часть его механических высказываний, передаваемая почти без ссылок на античные авторитеты, очевидно восходит прямым путем к схоластическому университетскому преподаванию и представляет собой некое общее место школьной науки. Автор передает эту часть только для полноты изложения, без особого интереса к предмету, для которого он не может привести никаких близких его гуманистическому сердцу античных подкреплений и дополнений.

Рассмотренные нами пестрые высказывания Георгия Валлы в своей совокупности рисуют нам, однако, вполне определенную картину; кабинетный ученый схоластически-университетского, а не придворно-городского типа, он значительно меньше связан с основными течениями научной мысли Возрождения, чем рассмотренные писатели. Этим объясняется и его несвойственный гуманизму интерес к точным и естественным наукам, и то, что он не ощущает, подобно Альберти, особой актуальности вопросов механики; поэтому-то он уделяет им в своем изложении второстепенное место и не объединяет их в единое целое. Но в то же время Валла, несомненно, примыкает к гуманистическому движению, стремится итти по проложенным им путям, что сказывается в привлечении им — правда, случайного и плохо переваренного, но обширного античного материала.

Эта двойственность и вызывает то, что в геометрической части трактата вдруг появляется основанный целиком на архимедогероновской традиции отрывок о равновесии и центрах тяжести, совершенно новый и революционный для механики XV в., а в физической части того же трактата встречается пережевывание старой схоластической жвачки. Перенос гуманистического подхода на физико-математические тексты и объединение, пусть сколь угодно неудачное, античных и средневековых элементов механики в одном научном целом — вот те основные черты, которые нам демонстрирует, в своей положительной части весьма слабое, сочинение Валлы.

Разбором энциклопедии Валлы можно было бы, строго говоря, закончить рассмотрение сочинений, затрагивающих во-

просы механики в Италии XV в. Но прежде чем обратиться к основному объекту нашего исследования — Леонардо да Винчи и его учению о механике, нам представляется необходимым остановиться кратко на деятельности ученого, который хотя почти не затрагивал в своих произведениях вопросов механики, но был и лично, и своим творчеством настолько тесно связан с Леонардо, что, не упомянув о нем, мы бы в значительной степени исказили картину научного окружения великого флорентинца.

Лука Пачьоли (ок. 1445—ок. 1514), или, как он называл себя в своих ученых произведениях, Лука из Борго сан Сеполькро, является, несомненно, наиболее крупным, а вернее сказать и единственным крупным итальянским математиком XV в. Выходец из мелкобуржуазной семьи, сначала скромный школьный учитель, затем все более выдвигающийся и преподающий математику в крупнейших университетах и при наиболее пышных дворах, Пачьоли, кроме ряда менее значительных сочинений, написал два трактата, окончательно закрепивших его славу. Это, во-первых, сводная энциклопедия всех математических знаний его времени — «Сумма об арифметике, геометрии, пропорциях и пропорциональностях»; во-вторых — значительно меньший по размерам трактат «О божественной пропорции».[1]

---

[1] Первое из названных сочинений озаглавлено в оригинале «Lucas de Burgo, Summa de Arithmetica, Geometria, Proportioni e Proportionalità» и было издано два раза: впервые — в Венеции, у Paganino de Paganinis, в 1494 г., и второй раз — у Tocolano в 1533 г. К величайшему сожалению, нам не удалось найти в библиотеках СССР ни одного из этих изданий. Обращаться же к помощи иностранных библиотек в отношении сочинения, не имеющего прямого отношения к нашей теме, мы не считали целесообразным. Поэтому нам приходится базироваться на изложении, даваемом Ольшки в многократно названной работе и особенно Кантором во II томе его «Vorlesungen». Второй трактат, озаглавленный «Divina proportione opera a tutti gli ingegni perspicaci e curiosi necessaria ove ciascun studioso de Philosophia, Perspectiva, Pictura, Sculptura, Architectura, Musica e altre Mathematiche suavissime sottile e admirabile doctrina conteguira e delectarassi con varie questione de secretissima sci-

Как в том, так и в другом произведении вопросы механики упоминаются только мимоходом. Пачьоли — математик чистой воды, один из немногих в XV в. специалистов, действительно занявшийся математикой как своим основным делом. Поэтому он не занимается механикой, которая хотя и является математической дисциплиной, но все же не целиком относится к данной области. Так, перечисляя во второй главе «Божественной пропорции» математические дисциплины, Пачьоли называет «Арифметику, Геометрию, Астрологию, Музыку, Перспективу, Архитектуру и Космографию», но тут же оговаривает, что к собственно математической области относятся первые четыре, остальные же только подчинены математике. Механика вообще не названа. Несмотря, однако, на столь, казалось бы, абстрактный подход, Пачьоли как в том, так и в другом сочинении беспрерывно указывает на теснейшую связь между теорией, разрабатываемой им, и реальной технической практикой. Так, в первой главе «Божественной пропорции», называя предмет трактата, он говорит:

«В нем мы будем говорить о высоких и отвлеченных вещах, которые действительно являются связью и завершением всех названных выше наук и дисциплин и от которых происходит всякое другое мысленное научное действие, а также действие практическое и механическое. Без знания же и понимания их невозможно выполнить хорошо ни одно из человеческих действий... Ибо ложные вещи, согласно мнению философа, отличаются от истинных своим отношением к пользе, так как оборотная сторона и лицевая противоположны друг другу — ибо истинные вещи в максимальной степени полезны и выгодны нам, чего не происходит от вещей ложных. Из всех истинных (наук), как утверждают Аристотель и Аверроэс, наши математические науки наиболее истинны и имеют первую степень достоверности, и им следуют все остальные естественные науки».

---

entia», был издан несколько раз. Мы пользовались изданием C. Winterberg a. Wien, 1889 (Quellenschriften fur Kunstgeschichte und Kunsttechnik». N. F. B. II).

Изложенная здесь с абсолютной ясностью, четкостью и определенностью мысль, повторяющаяся еще в ряде мест трактатов Пачьоли, является как бы символом веры новой, по степенно, медленно, но непреодолимо растущей науки. Критерием истины науки является практика, в первую очередь практика, даваемая нам механикой, и этот критерий показывает, что наибольшей степенью достоверности обладают науки математические.

Глава 4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*

Оглянемся теперь, прежде чем перейти к рассмотрению жизни и деятельности Леонардо, на то, что мы видели нового в рассмотренной нами эпохе итальянского Возрождения. Создающиеся в XIII—XIV вв. новые классовые взаимоотношения, бурные вспышки классовой борьбы между феодальными элементами и элементами буржуазными, с одной стороны, и этими последними и растущими пролетарскими элементами — с другой, заканчиваются полной победой элементов буржуазных. Победа эта выдвигает на историческую арену новые творческие силы, социально полнокровные и стоящие в совершенно новом отношении к технике, являющейся одной из основных опор их положения. Новые, постепенно складывающиеся производственные отношения теснейшим образом связаны с развитием новых производительных сил, в первую очередь с созданием новой техники. Вместо чисто традиционной, цеховой, рецептурной деятельности техника все больше должна делаться творческой, быстро развивающейся, агрессивной. Вместо анонимных ремесленников все в большем количестве появляются техники-профессионалы, крупные технические индивидуальности, знаменитые далеко за пределами непосредственного места своей деятельности. Но быстрое и принципиально новое развитие техники требует и коренного изменения ее структуры. Техника доходит до состояния, в котором дальнейшее продвижение ее оказывается невозможным без насыщения ее наукой. Повсеместно начинает ощущаться потребность в создании новой технической теории, в кодификации технических знаний и в подведении под них некоего общего теоретического базиса. Техника требует привлечения науки.

В то же время изменившийся социально-экономический базис властно и настойчиво требует изменения и всей идеологической надстройки. Феодальная религиозно-схоластическая система мировоззрения сменяется новой, одним из наиболее характерных проявлений которой является гуманизм с его прославлением индивидуальной творческой личности, с его воскрешением античной культуры и науки. В научный обиход все в большем количестве попадают либо забытые, либо искаженные схоластической наукой античные тексты. А поскольку техника предъявляет все усиливающийся спрос на науку, она, будучи бесчисленными нитями связана с гуманизмом, опирается именно на эти вновь возрождаемые античные научные памятники. Мы видели на ряде примеров, особенно ярко на примере Альберти, что эта связь новой, прогрессивной техники и старой, археологически реконструируемой науки оказывалась мало полезной как для той, так и для другой, но так было только на первых порах. Здоровый, единственно правильный критерий проверки научной теории практической деятельностью, критерий, впервые прочно входящий в науку, именно в это время и четко сформулированный Лукой Пачьоли, должен был неминуемо оказать свое революционизирующее влияние на всю структуру научного знания, на весь метод его доказательства. Но для этого надо было отказаться от ученического переписывания античных образцов, дальше которого не шли гуманисты и современные им техники. Надо было использовать всю ту критическую и положительную работу, которую проделали арабские и западноевропейские схоласты, надо было в то же время обладать достаточной творческой индивидуальностью, чтобы, используя и схоластическое наследие, не подпасть под власть его системы, а отобрать из него все наиболее ценное. Все эти задачи и ряд других, более мелких, стоят перед наукой конца XV—начала XVI в., и все они скрещиваются, как в фокусе, в растрепанном, надрывном, по видимости безрезультатном и невиданно гениальном творчестве Леонардо да Винчи —флорентийского живописца.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ

Настоящая часть нашей работы по своему научному типу несколько отличается от двух предыдущих и последующей. В то время как в остальных частях мы проделываем самостоятельную исследовательскую работу, привлекая и объединяя ранее не привлекавшиеся или же не объединявшиеся первоисточники, в настоящей части мы не можем претендовать на такой подход. Дело в том, что биография Леонардо да Винчи основана на небольшом числе совершенно бесспорных первоисточников, которые изучены настолько детально и тщательно, что вряд ли можно надеяться найти здесь что-нибудь особенно новое. Так, вышедшая в 1931 г. превосходная аннотированная библиография всех изданных работ Леонардо и исследований о нем G. Verga («Bibliografia Vinciana» (1493—1930), Bologna, 1931) регистрирует 2561 название. Однако, несмотря на огромное количество работ, посвященных Леонардо, вопрос о формировании его научного творчества почти не освещен до настоящего времени, поэтому мы и сочли необходимым попытаться в настоящей части заполнить этот пробел. Чтобы не снижать исследовательского уровня работ, все передаваемые нами факты из жизни Леонардо мы проверяли по первоисточникам. Работа наша была облегчена превосходным сводом этих первоисточников, опубликованным Luca Beltrami, — Documenti e memorea riguardanti la vita e le opere di Leonardo da Vinci (Milano, 1919). Кроме этих первоисточников и немногих найденных нами самостоятельно, мы опирались на следующие сводные работы: G. Calvi —«I manoscritti vinciani», Bologna s. a. (Pubbl. dell Istituto Vinciano in Roma, VI), наиболее полную биографию W. Seidlitz —«Leonardo da Vinci—der Wendepunkt der Renaissance» (Berlin, 1909) и на ряд работ E. Solmi. На эти работы, чтобы не слишком перегружать текст, мы в дальнейшем не ссылаемся; там же, где мы приводим какие-нибудь более или менее новые факты или соображения, мы даем полные ссылки.

Глава 1

ФЛОРЕНЦИЯ

*

§ 1. ФОРМИРОВАНИЕ

В флорентийском кадастре — описи имущества, составлявшейся для определения размеров податей и налогов, старый Антонио да Винчи, сын нотариуса Пьеро да Винчи, в свою очередь бывшего потомком ряда нотариусов, в 1457 г., после перечисления своего недвижимого и движимого имущества, занес, как это требовалось формой, следующий список лиц, входивших в его семью:

«Антонио (названный выше), 85 лет.

Монна Лучиа, моя жена, 65 лет.

Сер[1] Пьеро, мой сын, 30 лет.

Франческо, мой сын, живет в деревне и ничем не занимается, 22 года.

Альбиера, жена названного Пьеро и моя сноха, 21 год.

Леонардо, незаконный сын названного Сер Пьеро, рожденный им от Катерины, теперь жены Аккатабриги ди Пьеро дель Вакка из Винчи, 5 лет».

А в старческом дневнике того же Антонио да Винчи находим запись: «1452 г. родился у меня внук от сера Пьеро, моего сына, 15 апреля, в субботу, в 3 часа ночи. Получил имя Леонардо. Крестил его священник Пьеро де Бартоломио да Винчи».[2]

---

[1] «Сер» обозначает в Италии того времени присяжных нотариусов.

[2] Приведенная запись впервые введена в научный обиход в цитированной выше книге Leonardo da Vinci. в статье C. Baroni, опирающейся на разыскания Müller'a. Там же приведена (p. 7) ее факсимильная репродукция.

Таковы первые документальные упоминания о будущем великом художнике и ученом.

Как видно из записей, Леонардо родился в 1452 г. и был внебрачным сыном молодого нотариуса Пьеро да Винчи и какой-то Катерины, позднее вышедшей замуж за другого.

Место рождения Леонардо — крошечный городок Винчи расположен на вершине одного из покрытых виноградниками и лесом холмов — отрогов Монте Альбано, который отделяет Флорентийскую долину от равнины города Пизы. Городок этот входил во владение Флоренции, до 1364 г. сохраняя некоторые остатки феодальной самостоятельности; после этого года он стал местечком, непосредственно управляемым флорентийским чиновником (podestà).

Немногочисленное население Винчи состояло главным образом из скромных землевладельцев. Небольшие участки заключали, как мы это можем видеть из той же записи в кадастре Антонио да Винчи, клочок пахотной земли, виноградник и несколько оливковых или плодовых деревьев и обрабатывавшихся самим владельцем или арендатором, отдававшим владельцу половину урожая в зерне, вине и прованском масле натурой. Нотариусами этих скромных мелких провинциалов и были из поколения в поколение предки Леонардо. Уже в 1339 г. на документах имеется подпись нотариуса сера Гвидо да Винчи, сына нотариуса сера Микеле да Винчи. Прадед Леонардо сер Пьеро покинул Винчи, живя и работая главным образом во Флоренции, где добился положения нотариуса Синьории. Сын его Антонио — единственный из рода не нотариус, женатый зато на дочери нотариуса, опять плотно оседает в Винчи и ведет здесь мирную рядовую жизнь: так же живет и его младший сын Франческо, дядя Леонардо.

Отец Леонардо — Пьеро да Винчи, очевидно, унаследовал черты своего деда и тезки. Уже молодым нотариусом (в нотариат он вступил не позднее 1448 г., т. е. девятнадцати лет) он подолгу живет во Флоренции, где учится и, очевидно, работает, но основным местом его жизни остается все же Винчи. Литературная традиция обыкновенно рядила мать Леонардо в наряд

крестьянки и с пафосом говорила о могучем порыве, соединившем молодого, энергичного нотариуса с здоровой и жизнерадостной жительницей гор и давшем жизнь гениальному художнику. Но фактически никаких сведений ни о социальном происхождении матери Леонардо, ни о ее характере и жизни мы не имеем.

В том же 1452 г., в котором увидел свет Леонардо, отец его женился, а затем, после смерти первой жены в 1468 г., женился вторично на пятнадцатилетней девушке. Ни от первой, ни от второй жены он детей не имел. Леонардо жил в доме отца как единственный ребенок, получая, очевидно, нормальное для своего круга воспитание: школьное обучение латыни, богословию, основам арифметики. Вряд ли еще что-нибудь дало ему его мирное детство в комнатах скромного домика на тихих улицах Винчи. Пока рос, учился и рисовал юный Леонардо, отец его делал карьеру и богател; его недвижимое имущество росло и множилось. Сначала имевший бóльшую часть работы в Пизе, он развил свою деятельность и во Флоренции, где в 1467 г. работал юрисконсультом монастыря св. Марии на Горе, а в 1468 г. получил высшую должность нотариуса республики. В 1469 г. умер отец Пьеро — Антонио, и отчасти в связи с этим, отчасти из-за все упрочивавшегося положения во Флоренции он переехал в столицу.

Точное время переезда Пьеро во Флоренцию неизвестно; по всей вероятности, он произошел между 1468 и 1470 гг. Так же точно неизвестно, когда, но, повидимому, в 1466 г., отец перевез четырнадцатилетнего Леонардо, проявлявшего (по Вазари) уже с раннего детства способности к рисованию, во Флоренцию, где он постоянно бывал по делам, и отдал его учеником в мастерскую знаменитого флорентийского художника и скульптора Андреа Вероккио (1435—1488). Здесь Леонардо и поселился по старой традиции цеховых учеников, распространявшейся и на еще не выделившийся из ряда других цехов — цех живописцев.

Живя в захолустном Винчи, мальчик, а потом юноша, получал от своего отца, постоянно бывавшего в столице, свежие

нолитические, скандальные и художественные новости, и несомненно, был в курсе того, что делалось во Флоренции, этих итальянских Афинах XV в. Поступив в мастерскую Вероккио скромным учеником, он вышел из нее через пятнадцать лет мастером, вызывавшим удивление, восхищение и зависть.

А во Флоренции семидесятых годов XV в. было что посмотреть и чему научиться. Как раз в это время на все более разваливавшемся фундаменте промышленности, торговли, банковского дела, при все более тираническом и хищническом хозяйствовании семейства Медичи, литература, живопись, скульптура, архитектура расцветали с невиданным блеском. Двор Медичи представлял собой коллекцию крупнейших талантов, бурное творчество било ключом, когда восемнадцатилетний Леонардо появился на шумных улицах Флоренции и впервые взялся за кисть в мастерской Вероккио.

В 1469 г. умер Пьеро Медичи, и некоронованным властителем Флоренции стал Лоренцо, прозванный Великолепным, — самый ловкий из ловких тиранов итальянского Возрождения, самый щедрый из его меценатов и самый талантливый из его поэтов.

Лоренцо, бывший на три года старше Леонардо, уже во время правления своего отца прославился своей страстью к поэзии и безумной роскоши, проявлявшейся в бесконечных празднествах, маскарадах, джострах. Эта роскошь достигла апогея в знаменитой джостре Лоренцо 1468 г., описанной многими восхищенными хронистами и поэтами. Лоренцо, несомненно, рассчитывал на политический эффект. Он ставил себе задачей отвлечь внимание населения от все ухудшавшегося хозяйственного положения, создать впечатление богатства, благосостояния и прочности режима, упрочить положение рода Медичи как правящей династии. Многие понимали истинную подоплеку «великолепия» Лоренцо, а смертельный враг и обличитель рода Медичи Савонарола прямо говорил, что они устраивают празднества для того, чтобы пускать пыль в глаза простому народу. Тем не менее внешняя веселость, пышность, маскарадная суета уличной жизни Флоренции, несомненно,

оказали большое влияние на молодого Леонардо. Мы не знаем источностью, принимал ли он сколько-нибудь активное участие в устройстве бесчисленных медичейских праздников; но позднейшая его деятельность в качестве устроителя празднеств при Миланском дворе подтверждает правильность этого предположения, а слова анонимного биографа Леонардо о том, что он был в тесной дружбе с Лоренцо Медичи, превращают это предположение в почти полную уверенность.

Как бы то ни было, но любовь к пышности, параду, костюму, вряд ли приобретенная Леонардо в захолустном Винчи, очевидно под влиянием этих первых впечатлений юности, осталась у него на всю жизнь.

Об этой любви Леонардо к роскоши, почти всегда не по средствам, — к многочисленным слугам, породистым лошадям, оригинальным, слегка причудливым костюмам, говорят все биографы его, так же как и о его исключительно красивой внешности и физической силе. Предание, довольно старое и упорное, хотя и не подтверждаемое документальными свидетельствами, считает портретом Леонардо в первые годы его пребывания во Флоренции изображение архангела Михаила на картине неизвестного художника (скорее всего Боттичини или Вероккио). На картине изображен юноша очень высокого роста, со спокойным лицом исключительной красоты. Описаниям биографов и общему впечатлению от личности Леонардо этот образ соответствует вполне, но является ли он действительно его портретом, мы вряд ли когда-нибудь узнаем, так как и тот старческий автопортрет, который обыкновенно воспроизводится биографами Леонардо и изображает лысую, необычайно значительную голову с длинной развевающейся бородой, густыми бровями и сверлящим умным взглядом, не является несомненным его портретом.

Красивая, выделявшаяся из толпы внешность, исключительная физическая сила, любовь и уменье оригинально и ярко одеваться, страсть к широкой жизни, наконец приобретенная, очевидно, в эти молодые годы любовь к празднествам, спектаклям, маскарадам,— таковы внешние черты, которыми от-

личался молодой ученик Вероккио. Черты эти существенны, но они дают только декоративное обрамление тому сложному комплексу внутренних свойств и качеств, который тоже, несомненно, начал формироваться в первые годы жизни Леонардо во Флоренции.

Вазари рассказывает, что Леонардо занимался рисованием, еще будучи ребенком, в Винчи, и что отец его, бывший другом Вероккио, желая определить будущую карьеру сына, повез ему однажды рисунки Леонардо, которые восхитили Вероккио, следствием чего и было поступление Леонардо в учебу к последнему.

Действительно ли это так, мы не знаем, так как сведения, сообщаемые Вазари, писавшим почти через сто лет, и притом на основании расспросов и рассказов, не всегда достоверны. Несомненен факт ученичества Леонардо у Вероккио, как несомненно и то, что вследствие случайной старой дружбы Вероккио с отцом Леонардо или же хорошего вкуса последнего выбор учителя был исключительно удачен.

Как уже неоднократно упоминалось, изобразительные искусства переживали в этот момент во Флоренции период совершенно исключительного, можно сказать лихорадочного расцвета. Со времени творчества Джотто, впервые внесшего в феодально-статическую иконную живопись разлагающий ее, но созидающий новое искусство дух реализма и индивидуальных эмоций, и Мазаччио — создателя живописного стиля Возрождения — Флорентийская школа стала определенно ведущей в художественной жизни Италии, а с ней и всей Европы.

Здоровый реализм, внесенный в живопись Мазаччио (1401—1428), интерес к живому, объемному человеку и обрамляющему его пейзажу идеально отвечали запросам и вкусам крепких, проводивших реальную завоевательную политику как в своем доме и лавке, так и в своем городе-государстве буржуа раннего флорентийского Возрождения. Искусство, нашедшее формы, адекватные социальному заказу, и притом нашедшее их в момент экономических, социальных и политических побед, вызвало исключительный взрыв энтузиазма и восхищения. Вопросы

живописи, скульптуры, архитектуры обсуждались в государственных учреждениях наравне с важнейшими политическими вопросами; художник был одной из центральных фигур общественной жизни. Естественно поэтому, что крупные события в области искусства дают на такой почве исключительно обильную жатву, — ряд художников, ступенька за ступенькой, ведет искусство вперед. Слегка беспомощный и нежный полумонах-полуавантюрист Филиппо Липпи (1406—1469), чудаковатый фанатик перспективы Паоло Учелло (1397—1475), внешне наивно парадный и веселый Беноццо Гоццоли (1420—1497), страстно изучающий анатомию, стремящийся к яркой иногда преувеличенной экспрессии Антонио Полайоло (1429—1498), наконец сухой, теоретический, немного загадочный учитель Леонардо — Андреа Вероккио, — вот те художники, произведения которых смотрели на юного Леонардо со стен соборов, церквей и дворов Флоренции, на которых он учился и от которых, как всякий крупный и оригинальный художник, отталкивался.

Но Вероккио был не только живописцем; вернее, он был, в первую очередь, не живописцем: скульптор-экспериментатор, глава значительнейшей школы в этом искусстве, он создал действительно бессмертные произведения (Давид, сомневающийся Фома и особенно одно из величайших и характернейших произведений Возрождения —конная статуя Бартоломео Коллеони), и потому естественно, что и этому искусству учился в его мастерской Леонардо, что выдающиеся произведения этого искусства также влияли на юного винчианца.

Еще более крупной фигурой, чем Мазаччио в области живописи, явился во флорентийской скульптуре раннего Возрождения Донателло, который не только внес в искусство те же соответствующие социальному заказу исторического момента черты здорового, резкого и прямого реализма, совмещаемого с освоением античных канонов, но и дал ряд скульптурных творений, не превзойденных до появления скульптур Микель Анджело. Его святой Георгий, его так называемый «Плешивый» (цукконе) и другие статуи в нишах колокольни собора

и цеховой галлереи Ор сан Микеле, несомненно, не раз привлекали к себе внимание бродившего по улицам Флоренции Леонардо и тщательно изучались в мастерской Вероккио, во многом, очевидно, шедшего по стопам великого учителя. Так, Давид Вероккио является как бы репликой Давида Донателло, но только репликой, выполненной в новых формах, отвечающей запросам другого времени; конная статуя Коллеони служит как бы параллелью конной статуе Донателло — знаменитому Гаттамелате. Наконец, как прямой символ преемственности, в одной из мраморных ниш Ор сан Микеле, выполненных Донателло, Вероккио ставит свою группу Неверия Фомы, в исполнении которой легенда приписывает некоторую роль Леонардо. Так от зачинателя флорентийской скульптуры Донателло, величайшего мастера раннего Возрождения тянется сложная, но многозначительная цепь к величайшему мастеру Возрождения высокого.

Наряду с гигантом Донателло, несомненно, влияли на Леонардо и другие крупные скульпторы: полный жизни и античных реминисценций Лоренцо Гиберти — автор дверей флорентийского Баптистерия, хорошо выполненная копия которых украшает двери ленинградского Казанского собора; поверхностный, возводящий характерное к канонически красивому Дезидерио да Сеттиньяно; автор весело блестевших на многих фасадах Флоренции терракотовых, покрытых яркими цветными эмалями барельефов Лука делла Роббиа и др.

Живопись и скульптура были, конечно, основными профессиональными занятиями Леонардо в школе Вероккио, но наряду с ними он уже в это время формировал свои познания в технике и в ее научной базе — математике. В биографии Вероккио Вазари отмечает усиленные и серьезные занятия его математикой — в первую очередь геометрией, которой он, несомненно, обучал и своих учеников. Вероккио был одним из очень ярких и характерных представителей той группы художников-техников XV в., с деятельностью которых мы познакомились в предыдущей части. Подобно Брунеллески и Франческо ди Джиорджио, он должен был сам прокладывать пути своей

многогранной деятельности. Как и они, Вероккио был ремесленник по происхождению, образованию и всей своей творческой физиономии. Чтобы итти нога в ногу со своим временем, пульс которого он, будучи плотью от плоти его, превосходно ощущал, Вероккио беспрерывно экспериментировал, искал, впадая иногда в сухой схематизм, но иногда достигая и больших высот творческого совершенства. Понятно, что, как и все представители этой группы, Вероккио ощущал недостаточность теоретической базы для своей работы и беспрерывно наталкивался на необходимость обосновать свою техническую деятельность какой-то общей теорией; отсюда усиленный интерес как его, так и его школы к математике, интерес, передавшийся и наиболее чуткому из его учеников — Леонардо.

Живописец, скульптор, техник, Вероккио выполнял и отдельные архитектурные работы, в частности завершил строительство купола Флорентийского собора, столь блестяще возведенного Брунеллески. Леонардо, при котором, повидимому, эта работа проходила, не мог не поддаться той строительной и архитектурной лихорадке, которая царила в это время во Флоренции. Магнаты и богатеи, чувствуя непрочность своего могущества, спешат строить, украшать, отделывать свои дворцы, фамильные церкви и капеллы; все более разоряющийся город пышным строительством общественных и частных зданий пытается убедить весь мир, и самого себя прежде всего, в незыблемости своего благополучия.

Новые церкви: создания Брунеллески — св. Лаврентия, капелла Пацци, св. Духа; создания Микелоццо — св. Марка; создания Альберти — санта Мария Новелла; новые дворцы: Питти — работы Брунеллески, Медичи — Микелоццо, Строцци — Бенедетто да Майано, вырастают на улицах Флоренции, строгие, спокойные, часто суровые.

Эта бурная строительная работа, требовавшая глубокого развития тех математических знаний, начатки которых были заложены школой Вероккио, не могла не захватить юного Леонардо, приехавшего из тихого Винчи, в котором солидный двухэтажный дом, конечно, являлся диковиной.

Но занятия архитектурой, основанные на углубленном изучении математики, обыкновенно, — даже, пожалуй, всегда, — делали архитектора, как мы это подробно указывали во второй части, не только строителем зданий, но и инженером в широком смысле слова — строителем крепостей, каналов, портов, проектировщиком осадных орудий, устроителем и монтировщиком театральных спектаклей.

Художественная, техническая деятельность сменялась временами у молодого Леонардо чтением книг, нередко научных, и научными занятиями, правда довольно случайными. Однако занятия эти отнюдь не сделали юного художника ученым профессионалом, не ввели его также в ряды тех насквозь пропитанных античной литературой людей, которые составляли цвет «интеллигенции» XV в.

Стало ходячим мнением считать для Леонардо счастливым то обстоятельство, что он не был «образованным человеком» с точки зрения высшего общества своего времени, что, несмотря на всю заманчивость и блеск круга придворных, сгруппировавшихся вокруг Лоренцо Великолепного, он не примкнул полностью к этому кругу, в котором все же вращался, и устоял перед чрезмерным увлечением античностью. Зато он, конечно, уже в эти годы своей юности внимательно читал и изучал произведения тех из схоластических писателей, которые разрабатывали вопросы математики, механики, физики, космогонии. К ним прибавлялись те из античных писателей, которые оставили произведения в области этих дисциплин. Как и под чьим влиянием пришел Леонардо к такому чтению, мы не знаем.

Проявилось ли тут влияние отца, настроенного, подобно большинству нотариусов, несколько консервативно и рекомендовавшего сыну читать старых докторов богословия — предмет изучения в университетах, еще остававшихся на позициях схоластики; сказалось ли детство, проведенное в провинциальном городишке, где любознательный мальчик встречал только те книги, по которым учились его отцы и деды, — определить трудно. Возможно, что сказались также литературные инте-

ресы еще почти полностью сохранившей цеховую замкнутость мастерской Вероккио, интересы, враждебные литературным вкусам верхушки, вышедшей из семьи этих же цехов, но все более бесцеремонно командовавшей ими. Как бы то ни было, мы можем почти с полной уверенностью утверждать, что уже в это время Леонардо начал читать космологические и астрономические работы Альберта Великого, математические, механические и космологические работы Альберта Саксонского, геометрию Евклида и физические и механические сочинения Аристотеля. Вместо изящной и напыщеной прозы Фичино, вместо блестящих и точеных стихов Полициано, молодой художник ломал голову над сухими физическими рассуждениями схоластов и в результате этого чтения совсем иными глазами стал смотреть на пеструю жизнь современной Флоренции, чем большинство окружающих.

О том, как складывалась жизнь Леонардо во Флоренции, мы знаем мало. В первые годы своего ученичества у Вероккио Леонардо, как это часто, даже почти всегда, делали цеховые ученики, жил в доме своего учителя. Отец его в это время оставался в Винчи и бывал во Флоренции только наездами.

В 1469 г., как сказано выше, умер дед Леонардо — Антонио. Примерно в то же время Пьеро, положение которого все более упрочивалось (в 1469 г. он был юрисконсультом богатого монастыря св. Аннунциаты), переселился во Флоренцию, где он снял половину дома и нанял прислугу. Переселил ли он к себе семнадцатилетнего Леонардо, или последний продолжал жить у своего учителя, — мы не знаем, хотя обычно исследователи считают, что период времени с 1469 по 1472 г. Леонардо провел в доме отца. Впрочем, особого значения это не имеет; важен тот факт, что все более богатевший, все более приближавшийся к правящей верхушке отец жил поблизости; атмосфера его буржуазного дома служила как бы противовесом богемно-цеховой атмосфере мастерской Вероккио, и он всегда мог оказать материальную поддержку любящему роскошь красавцу-сыну.

В 1472 г., т. е. по истечении обычного срока в шесть лет, Леонардо кончает учение у Вероккио, получает звание мастера и записывается в цех художников, внеся положенный членский взнос и отчисление на годовой праздник патрона цеха художников—св. Луки. После этого он, однако, продолжает работать и, по всей вероятности, жить в мастерской Вероккио, помогая последнему в его работе.

С этого времени, очевидно, началась самостоятельная деятельность Леонардо и в значительной мере сформировалась его творческая личность. Он вращается в группирующемся вокруг Лоренцо Великолепного кругу гуманистов, поэтов, художников и кутил и (по словам анонимного биографа Леонардо) выполняет некоторые мелкие работы для самого Лоренцо. Он заводит знакомство и с мастером Чеккой Флорентинцем — крупнейшим инженером в городе, с Леоном Баттистой Альберти — крупнейшим в Италии теоретиком искусства и техники.[1] Общение с ними, несомненно, толкало Леонардо, который с юных лет всегда хотел делать все лучше всех, на соперничество с ними, усиливало его интерес к техническим проблемам, заставляло заниматься ими серьезнее и тщательнее, ибо гуманистические, чисто литературные и исторические интересы были, как мы уже отмечали, в значительной мере чужды ему.

Произведений времени его ученичества мы не знаем; начиная же с семидесятых годов появляются уже более определенные сведения о произведениях, а дальше и сохранившиеся работы. Вазари рассказывает подробно о том, как сер Пьеро, по просьбе одного из своих крестьян, дал Леонардо расписать круглый кусок фигового дерева. Такие куски дерева, так называемые «тондо», и до сего времени украшают лавчонки торговцев всякой мелочью в итальянских городках; они были, очевидно, и тогда

[1] Об отношениях Леонардо и Чекки нам ничего не известно, так что наше утверждение является не более чем гипотезой. О личных отношениях Леонардо с Альберти мы также сведений не имеем, но зато бо́льшую часть произведений Альберти Леонардо знал прекрасно, из чего обычно и вполне закономерно заключают о знакомстве его с автором этих произведений.

излюбленными украшениями домов невзыскательных поселян. Молодой художник, получив грубый и неровный кусок дерева, решил подшутить над заказчиком. Вместо того чтобы, как наверное ожидал отец, нарисовать на тондо наспех что-нибудь легкое и понятное, не отрываясь сколько-нибудь серьезно от настоящих больших работ, которыми уже в это время он был занят, Леонардо весь отдался своей причуде. Он начал с того, что выровнял и отделал надлежащим образом поверхность тондо. Затем он заперся в отдельной комнате и приступил к работе. Задачей, которую он себе поставил, было создать изображение, вселяющее ужас, почти подобный тому, какой вселяла, по преданию, Медуза. Для исполнения своего замысла Леонардо натащил в свою закрытую комнату всякого зверья — хамелеонов, ящериц, сверчков, змей, летучих мышей и т. п. и стал комбинировать из них свое чудовище, которое он хотел изобразить вылезающим из расщелины скалы. Из открытой пасти комбинированного страшилища разливался яд, из глаз вылетал огонь, а из ноздрей дым, так что все вместе представлялось в самом деле чем-то чудовищным и страшным. Увлекшись не на шутку работой, Леонардо просиживал в своей комнате дни и ночи. Другая работа стояла, звери дохли и наполняли комнату тяжелым зловонием, а молодой франт, не замечая ничего в своем увлечении, старался склеить своих зверей так, чтобы созданное его руками страшное чудовище оставалось все же похожим на что-то живое, было правдоподобным. Наконец, когда и отец и заказчик-крестьянин давно забыли о своем незначительном поручении, работа была окончена, и Леонардо попросил отца зайти за тондо. Отцу он, однако, не просто показал свое произведение, а попросил его обождать в другой комнате, сам же расположил свое произведение так, что весь слабый свет, проходивший из задрапированного окна и освещавший комнату, падал прямо на картину. Вошедший на зов почтенный сер Пьеро, попав в полутемную комнату, в которой ярко выделялось только отвратительное, выползавшее на него чудовище, отшатнулся и вскрикнул, чем доставил громадное удовольствие сыну, принявшемуся его успокаивать

и объяснять замысел работы. В результате, понимавший толк в живописи, но расчетливый и прижимистый, как полагалось хорошему нотариусу, сер Пьеро с похвалами и благодарностями забрал работу сына, но по дороге зашел в первую попавшуюся лавчонку, купил грошовое тондо с изображением сердца, пронзенного стрелою, и отдал его заказчику-крестьянину, который остался ему благодарен. Произведение Леонардо Пьеро спустил за сто дукатов каким-то купцам, перепродавшим его скоро герцогу Миланскому за втрое более высокую цену.

Самый тондо до нас не дошел, и рассказ, передаваемый Вазари, как многие из его анекдотов, легко может оказаться вымышленным, но мы остановились на этом эпизоде так подробно потому, что он, как в фокусе, показывает все отличительные свойства характера Леонардо, очевидно уже окончательно сформировавшегося в эти годы его юношества. Безумное увлечение своей работой независимо от ее важности; большой интерес, возможно несколько болезненный, ко всяким необычным произведениям природы; страстное и опять-таки не всегда сознающее свои цели и задачи, часто балансирующее на грани между пустой забавой и научным опытом, но всегда упорное, настойчивое, систематическое экспериментирование; интерес к созданию из элементов, заимствованных у природы, комбинаций правдоподобных, но оригинальных и невиданных; любовь и вкус к театральному эффекту и костюмировке, слегка отдающей шутовством; наконец, полная практическая беспомощность, полное неуменье подвести баланс затраченных сил и получающегося в результате затраты эффекта и извлечь надлежащую выгоду из этой затраты — вот те черты, которые подмечены в этом анекдоте, пусть выдуманном или подкрашенном, но сочиненном, несомненно, современниками, а следовательно верно передававшем образ Леонардо.

Рядом с тондо Вазари говорит еще о многих, также безвозвратно погибших для нас юношеских произведениях Леонардо — о картоне для ковра по заказу португальского короля, с Адамом и Евой в раю, на котором наиболее замечательным

было необычайно правдивое изображение растений и животных, понятное после всего, что мы выше говорили об острой и внимательной любви Леонардо к природе; о голове Медузы (родной сестре тондо) — очевидно также рассчитанной на испуг зрителя, которого она удивляла причудливыми извивами своих волос-змей; наконец, о ряде голов и отдельных деталей с натуры.

Очевидно, одновременно со всеми перечисленными, не дошедшими до нас работами, Леонардо выполнил и тот рисунок, который является наиболее ранним из сохранившихся его произведений. Это сделанный пером эскиз, изображающий широкий горный пейзаж с легко и небрежно набросанными контурами лесистых холмов и спускающейся к морю долины с частью крепостной стены. Пейзаж широк, воздушен и, несомненно, навеян образами родного Винчи, навсегда оставшегося милым сердцу художника. В левом верхнем углу рисунка имеется надпись, сделанная справа налево витиеватым прямым почерком и гласящая: «В день святой Марии снеговой пятого августа 1473». На оборотной стороне листа с рисунком нарисован мелом и слегка обведен пером другой, но близкий к первому пейзаж с высокими, угловатыми скалами, деревьями и перекинутым через ручей изогнутым мостиком. Под пейзажем набросаны мужской профиль и мужская обнаженная фигура, над пейзажем — женское туловище без головы и надпись тем же почерком, но слева направо: «Зоанджокондо д'Антонио — я доволен».

Рисунок этот, ценный сам по себе как произведение Леонардо с ранней датой, интересен и важен для нас потому, что с несомненностью подтверждает данные, сообщаемые Вазари о ранней и настоящей любви художника к природе, о внимательном, можно даже сказать мелочном наблюдении действительности. Кроме того, из рисунка явствует, что как раз в это время Леонардо начинал привыкать вести свои записи справа налево, т. е. письмом, ясно прочитываемым только при помощи зеркала. Эта манера письма, очевидно, еще не стала для него единственной; он одновременно пишет и нормально, что

показывает надпись на обороте рисунка, но те не вполне понятные и известные нам причины, которые побудили его в дальнейшем все свои записи делать именно письмом справа налево, уже, очевидно, были налицо. Этот же рисунок дает и серьезное подтверждение гипотезе, наиболее правдоподобно объясняющей один (но, конечно, не единственный) из главных мотивов этой странной привычки — подтверждение гипотезы о том, что Леонардо был левшой. Действительно, хорошо известно, что художник, работающий нормально, правой рукой, штрихует свои рисунки справа налево, левша же штрихует их слева направо, — а на рисунке 1473 г. вся штриховка ведется именно слева направо.

Вазари рассказывает, что еще в бытность свою учеником Вероккио Леонардо должен был помочь учителю в его работе над созданием картины «Крещение Христа», на которой ему, как ученику, было поручено написать крайнего из двух ангелов в нижнем левом углу картины. Молодой человек выполнил данное ему поручение, но выполнил его так, что его ангел затмил собою все остальные фигуры картины. Учитель, поняв, что мальчишка-ученик опередил его, так огорчился, что навсегда забросил живопись, отдавшись только скульптуре. Таков рассказ Вазари. К счастью, картина, о которой идет речь, до нас дошла. На ней, на фоне сложного пейзажа со скалами, реками и растительностью, расположены две крупные, стоящие в воде фигуры — обнаженного, стоящего лицом к зрителю, Христа и одетого Иоанна, обливающего Христа водой. Иоанн стоит в полупрофиль к зрителю. В левом же углу, на береговых камнях, стоят два мальчика-ангела, охраняющие одежду Христа: один — смотрящий прямо на зрителя, второй — в сложном раккурсе, расположенный спиной к зрителю по диагонали в глубь картины, но поворачивающий голову под углом в 45°, так что взор его обращен почти на зрителя. Фигуры Христа, Иоанна и первого ангела, действительно, в соответствии с рассказом Вазари, суховаты в своем исполнении, поставлены в картине просто и традиционно и как будто бы режут глаз, если сравнить их со сложным, но естественным расположением тела,

легкостью рисунка, нежной моделировкой лица второго ангела и особенно любовным изображением легких и вьющихся волос, которые так любил Леонардо. Таким образом, рассказ Вазари как будто бы находит подтверждение. Тщательный анализ картины, однако, показал, что, в то время как левый ангел является целиком произведением Леонардо, пейзаж картины в значительной мере принадлежит ему же, так как при детальном обследовании удалось обнаружить под нынешним следы другого пейзажа, написанного, очевидно, Вероккио; фигура же Христа, очевидно, переписана Леонардо по рисунку учителя.

Таким образом, мы имеем в «Крещении» первую дошедшую до нас настоящую работу Леонардо, точная хронологическая датировка которой спорна, но которая скорее всего относится не ко времени ученичества, а ко времени самостоятельной, но совместной с Вероккио работы Леонардо, т. е. к промежутку между 1472 и 1476 гг.

Как и рисунок 1473 г., «Крещение» прибавляет ряд черт к облику молодого Леонардо. Первое, что обращает на себя внимание, — это применение масляной краски. Среди художников, оказавших некоторое влияние на Леонардо, были фламандцы, писавшие маслом. Так, в 1476 г. Гуго фан дер Гез заканчивал маслом во Флоренции свой алтарь Портинари. Но, несомненно, основную роль в желании Леонардо найти новые средства выражения сыграло его стремление подойти по-своему ко всему, к каждой детали работы, самому найти новые наиболее широкие и прямые пути, которые, правда, на поверку далеко не всегда оказывались такими.

Примерно об этом же стремлении, но и о глубоком новом эстетическом мироощущении говорит и расположение фигуры левого ангела. Сложность и некоторое беспокойство композиции этой фигуры, желание поставить ее так, чтобы изображение ее дало наиболее трудное решение из всех возможных в данных условиях, — все это резко противоречит спокойствию и простоте, отличающим картины художников, по которым учился Леонардо.

Если «Крещение» не поддается точной датировке, то зато близкий к нему по времени рисунок 1478 г. дает эту датировку с полной несомненностью. На этом большом листе, правый нижний угол которого оторван, слева набросана пером сравнительно вырисованная голова старика с растрепанными кудрями и позднее ставшей столь характерной для Леонардо сухой складкой губ. Правее написана совсем бегло, одним контуром, молодая, очевидно мужская голова, по своему расположению напоминающая голову леонардовского ангела в «Крещении», что и дает основание для хронологического сближения картины с рисунком. Еще правее — ряд набросков технического характера, бóльшая часть которых оторвана. Здесь мы видим какие-то строительные детали, приспособления для автоматического выключения или включения какого-то механизма, осадные машины и еще какие-то фрагменты. По верху рисунка идет надпись почерком витиеватым, но уже несколько более простым, чем на рисунке 1473 г., с зеркальным письмом, содержащая несколько небольших отрывков, очевидно из черновика какого-то письма, с упоминанием имени Фиоравенти ди Доменико Флорентинца. По низу же рисунка тем же почерком написано: «...бря 1478 начал две девы Марии», и ниже: «Джакопо в Пистойе».

На оборотной стороне этого рисунка — наброски технического характера, продолжающие, очевидно, рисунки на лицевой стороне.

В данном рисунке для нас важно то, что уже в это сравнительно раннее время Леонардо, наряду с живописью, работал над техническими вопросами, изобретал новые машины и механизмы военного и гражданского характера, что он, еще почти мальчиком, почувствовал все значение технического прогресса для своей бурной и переломной эпохи осознанное, как мы видели выше, в его время еще далеко не многими.

Рисунок 1473 г. одинок в наследии Леонардо, рисунок 1478 г. окружен целой семьей близких к нему по почерку, манере, тематике листков, не датированных, но, несомненно,

относящихся к этому же времени. Листки эти сохранились в громадном томе, составленном из разнообразных листков и отрывков рукописей Леонардо в XVII в. и известном под названием «Атлантический кодекс». Расположены они в кодексе в невообразимом беспорядке, так что только путем очень детального и глубокого анализа удается с известной степенью достоверности произвести хронологическую датировку того или иного из них.[1] Записи, относящиеся к периоду, близкому к 1478 г., содержат, кроме немногочисленных личных заметок, непонятных в своей отрывочности, наброски к картинам, записи химического содержания о способах приготовления красок, рецепты последних и главным образом зарисовки и краткие записи технического содержания. Эскизы и наброски к картинам состоят, как мы это видели на датированном 1478 г. рисунке, из зарисовок мужских и женских голов, молодых и старых, красивых какой-то специфической для молодого мастера, слегка жеманной красотой или уродливых до невероятности. Здесь же зарисовки фигур, большей частью нагих, находящихся в бурном движении; эскизы складок одежды, тщательно в деталях зарисованных и оттушеванных, — очевидно, те эскизы, о которых Вазари рассказывает, что молодой Леонардо делал глиняные фигуры, набрасывал на них пропитанные глиной ткани, ложившиеся замысловатыми складками, и затем тщательно и детально зарисовывал. Образцом такой зарисовки может служить сохранившийся рисунок складок одежды левого ангела в картине «Крещение», сделанный пером и оттушеванный.

Среди этих зарисовок особенно поразительна одна. На большом листе сверху нарисован проект гигрометра и вокруг него одна стоящая и ряд сидящих фигур, изображенных как бы в последовательном приближении к задуманной художником теме: наверху одна фигура в позе оживленного разговора,

[1] Чрезвычайно сложная, трудная и неблагодарная работа по датировке этих отрывков произведена в цитированной нами выше работе G. Calvi.

ниже две также разговаривающие фигуры и еще ниже сидящая за столом группа из пяти лиц, увлекшихся общим разговором. Слева фигура, закрывшая обеими руками глаза, а совсем внизу одинокая фигура, несомненно Христа. Это наброски, явно относящиеся к задуманной картине на тему о «Тайной вечере», картине, исполненной только через ряд лет, но уже теперь в своих основных чертах и характеристиках продуманной художником. У него, очевидно, уже в то время сложилась характерная как для его художественной, так и особенно для научной деятельности черта: постоянное, как бы циклическое возвращение к одним и тем же темам и вопросам, постепенное вынашивание своих мыслей и идей, стремление сначала детально и внимательно изучить отдельные составные части интересующего задания, а потом уже пытаться выполнить его путем соединения этих частей.

Об экспериментах, которые молодой Леонардо проделывал над красками и вообще над техникой живописного искусства, экспериментах, погубивших впоследствии многие его шедевры, мы уже кратко упоминали. Желание выработать собственные, никем еще не употребленные выразительные средства, желание, являвшееся выражением, с одной стороны, оригинальничанья заносчивого юнца, с другой же — гения, не довольствовавшегося завещанным отцами и дедами, сказывалось не только в отказе от старой техники темперы, требовавшей к тому же быстрой и решительной работы и почти не допускавшей исправлений, и в применении масляных красок, но и в самостоятельных поисках новых рецептов для составления отдельных красок.

Ряд различных рецептов занесен в эти ранние записи, но в них содержатся не только рецепты. Здесь же набрасывается иногда сложная, иногда простая химическая аппаратура для варки красок, для дестилляции разных составов и даются краткие указания на способы работы с этой аппаратурой; здесь мы встречаем колбы и змеевики, стеклянные трубки и нагревательные печи, реторты и воронки, всю аппаратуру, ко-

торую молодой художник наверное не раз видел в лабораториях аптекарей и алхимиков и которую он, несколько изменив и приспособив к своим целям, занес в свои листы.

Другой тип ранних рисунков Леонардо относится, как мы видели, к чисто техническим сюжетам: мы встречаем рисунки пушек и бомбард с указаниями на способы стрельбы и прицела, рисунки отдельных технических деталей, особенно всяких передач зубчатого типа, передач между цилиндрическими шестернями, наиболее удобная форма зуба которых также изучается, передач между диском с перпендикулярными к его поверхности зубцами и цевочным барабаном, передающих движение под прямым углом, и особенно часто передач между гребенкой и червяком, изучаемых в мельчайших подробностях. Здесь же находим рисунки приспособлений для литья, различных подъемных и транспортных сооружений (кранов, своеобразных грейферов, блоков), отдельных инструментов (пил, сверл, целых станков), ряд близких друг к другу эскизов станка для шлифования круглых поверхностей и, наконец, детальные рисунки приспособлений к текстильным машинам (шпульки для прядения шелка).

Все эти рисунки сделаны довольно неловко и грубовато, крупными штрихами, с не всегда строгим соблюдением пропорций, и своим видом и техникой напоминают технические миниатюры рукописей XV в. и особенно зарисовки Франческо ди Джорджио Мартини. Только постепенно овладевает Леонардо техническим рисунком, вносит в него свои индивидуальные черты.

Не менее, чем техника рисунков, характерна в этих ранних листах их тематика. Мы видели в предыдущей части, что современники Леонардо делают отчаянные попытки вырваться из тисков все более давящего кризиса путем решительного изменения производственной техники. Мы знаем также, что для Флоренции этой техникой была техника текстильная. Естественно, что молодой Леонардо, сын богатого и влиятельного нотариуса, близко стоявшего к правящей верхушке города, не мог не знать, не чувствовать того, что было так насущно необходимо его

городу или, вернее, его классу в его городе. Но, с другой стороны, Леонардо не вполне сын своего класса. И в прямом и в переносном смысле он сын незаконный. В 1476 г. у сорокадевятилетнего Пьеро рождается первый законный сын, и Леонардо постепенно отходит на второй план. В то же время его жизнь и работа в мастерской Вероккио приводит его в непосредственное соприкосновение с группой художников-техников, которые как раз в это время начинают оформляться как особая социальная прослойка. Экономически и социально в большинстве своем прослойка эта тяготеет к эксплоатируемым элементам, но имеет возможность создать карьеру своему представителю только путем беспредельного подчинения элементам эксплоатирующим. Как член этой прослойки Леонардо имеет в руках технические средства, имеет нужную сноровку для разрешения актуальных производственных задач. Это-то промежуточное положение между двумя лагерями — буржуазных магнатов и технической интеллигенции, повидимому сыгравшее большую роль в формировании творчества Леонардо, толкает его, как ни одного из рассмотренных нами выше техников, на разрешение чисто производственных задач.

Текстильная техника, текстильные машины часто встречаются и подробно разбираются в технических зарисовках Леонардо этого времени. Основная проблема, которая стояла перед Леонардо, — это проблема автоматизации или, вернее, на данной стадии, машинизации максимального числа производственных процессов. Его занимает процесс прядения и крутки шелка; он конструирует поистине гениальные приспособления, до которых техника дошла только несколько столетий позднее; он конструирует машины для стрижки шерсти— простые и производительные; он, наконец, упорно занимается энергетической проблемой; работая над усовершенствованием водяного колеса — основного промышленного двигателя XV в. Наряду с имеющими особое значение для Флоренции текстильными машинами, молодой техник занимается и другими, менее важными производственными механизмами, — например, он про-

ектирует различного типа шлифовальные машины для стекла, мрамора, дерева.

Совершенно естественно, что конструкторская работа как над текстильными, так и над прочими машинами должна была подвести Леонардо в первую очередь к проблемам передаточного механизма, к системам рычагов, шестерен, реже — блоков, являющихся самой ответственной и трудной для техника-конструктора частью машины, исполнительный механизм которой был еще совершенно примитивным. И действительно, в ранних технических листах Леонардо мы находим в сравнительно большом количестве зарисовки различных передаточных механизмов. Естественно также, что работа над передаточными механизмами наталкивала непосредственным образом на проблемы механики, теоретическое осмысление которых было, конечно, еще не под силу молодому мастеру.

Если Леонардо уже в молодые годы чувствовал всю остроту производственно-технических проблем, упорно работая над их разрешением, что как мы видели, отнюдь не было обычным для инженера XV в., то, он, конечно, не мог не заняться теми проблемами, которые обычно стояли в центре внимания этого инженера, — проблемами строительного и военного дела. О начатках его интереса к архитектуре мы уже говорили; ранние записи еще раз подтверждают это, причем они показывают особенно острый интерес молодого Леонардо к вопросам строительной техники — перемещению и поднятию грузов, т. е. к тем вопросам, над которыми работали и Брунеллески, и Альберти и которые обычно приводили к изучению теоретической механики. Строительное дело интересует Леонардо как в связи с постройкой зданий, так и в связи с сооружением каналов, особенно актуальным во Флоренции, для которой вопрос навигации по Арно был одним из основных политических и экономических вопросов. Не в меньшей, если не в большей мере обнаруживают ранние технические записи интерес к военному делу, особенно в части артиллерийской: изготовление и эксплоатация орудий постоянно занимают молодого художника, которого и эти сюжеты, в частности вопрос правильной

ориентировки стрельбы, неизбежно должны были привести к проблемам теоретической механики.

Листов разобранного типа сохранилось сравнительно немного, но все они свидетельствуют о том, что у Леонардо к семидесятым годам прочно образовалась привычка вести постоянные записи, снабжаемые беглыми зарисовками всего, что он видел, над чем думал и над чем работал. В них он заносил эскизы к своим живописным, скульптурным и архитектурным работам, зарисовывал виденное. Вазари рассказывает, что в своем стремлении к оригинальному, неиспользованному предшественниками, резко выраженному, доходящему иногда до изумительной красоты, иногда до отвратительного уродства. Леонардо следил на улицах и площадях за незнакомыми людьми и если встречал какую-нибудь интересную черту — бороду, волосы, то мог итти по пятам, всматриваясь и разглядывая с разных сторон и запоминая, хотя бы целый день, с тем, чтобы, вернувшись домой, зарисовать и сохранить как материал для будущих произведений. Как многие великие мастера, Леонардо, еще не зная, что́ он будет делать, но уже чувствуя, как он будет делать, с молодых лет копил впрок материал, который потом в его больших работах проявлялся с поражающей свежестью. Здесь же рядом с набросками картин и зарисовками помещаются и технические эскизы, и записи личного характера, сделанные почти без исключения письмом справа налево, как мы видели, твердо принятым Леонардо еще в юном возрасте.

В ранних листах зарисовки и технические эскизы еще довольно раздельны и редко встречаются вместе; очевидно, художник делал то и другое в небольших количествах, еще отделяя свою работу над картинами от работы инженера. Сама инженерная работа уже в этот период поражает своей оригинальностью, сложностью некоторых конструкций. А между тем мы далеко не можем быть уверены в том, что эти изобретения, эти технические конструкции были беспочвенными, хотя и гениальными вымыслами Леонардо, не применимыми потому, что время для них еще не пришло. Наоборот, можно

почти с полной уверенностью утверждать, что многие из технических рисунков Леонардо — не его конструкции, а зарисовки с натуры. Из этого, конечно, не следует, что в его технических набросках, особенно относящихся к более позднему времени, не было значительного числа и фантастических проектов, но многое было безусловно реальным. Такими, например, были встречающиеся уже в ранних листах проекты каналов, шлюзов, осушительных приспособлений, о которых Вазари говорит: «Он был первым, который еще в юности задумывался о проведении канала от Арно для соединения Пизы с Флоренцией». Канал этот, остро нужный для экономического и политического развития Флоренции, был действительно осуществлен через много лет после смерти Леонардо. Приводимый тем же Вазари в качестве примера нереальности технических замыслов Леонардо проект приподнять флорентийский баптистерий Сан-Джиованни, не разрушая его, и подвести под него лестницу также вряд ли был нереальным, так как, примерно в то же время болонский инженер и архитектор Аристотель Фиоравенти осуществил переноску на другое место башни св. Андрея в Болонье.

Во всяком случае можно с несомненностью, на основании ранних рисунков и отдельных замечаний Вазари, утверждать, что все основные технические проблемы его времени занимали юношеский ум молодого художника, волновали его, заставляя серьезно работать над вопросами техники и часто мешая ему заниматься своей основной работой — живописью. Эти проблемы создавали в нем ту широту интересов, которая привлекала к нему заинтересованные, хотя часто и недружелюбные взоры современников и постоянный, хотя по большей части поверхностный интерес потомков.

Интерес этот постепенно вырастал в настоящую известность, поддерживаемую, наверное, сравнительно высоким положением и богатством старого Пьеро, бывшего с 1469 г. нотариусом Сеньерии и, следовательно, близко стоявшего к правителям города Желая выдвинуть своего сына, он не раз доставал ему выгодные и почетные заказы. Но медленно работающий, эксперименти-

рующий, не укладывающийся ни в какие рамки молодой оригинал-художник своей неисполнительностью безжалостно разрушал хитроумные комбинации своего трезвого родителя.

Сведения об одном из таких случаев документы, по счастливому стечению обстоятельств, донесли до нас.[1] 24 декабря 1477 г. флорентийская Сеньерия заказала Пьеро Поллайоло — одному из виднейших флорентийских художников — картину для часовни св. Бернардо во дворце Сеньерии. Договор точно определял сюжет картины и возможно короткий срок исполнения. Но Пьеро не суждено было выполнить заказ — уже 10 января 1478 г. та же Сеньерия передала заказ на эту картину Леонардо да Винчи, с оговоркой, что все предыдущие заказы этим аннулируются, причем не оговаривала ни сюжета, ни срока. Причин отнятия заказа от Поллайоло и передачи его Леонардо мы не знаем, но можно предположить, что здесь дело не обошлось без вмешательства влиятельного и вхожего ко всяческому начальству нотариуса. 16 марта Леонардо получил за работу, очевидно авансом, 25 флоринов, т. е. довольно значительную сумму, но этим, повидимому, дело и оканчивается. Леонардо, вероятно, по своему обыкновению начал экспериментировать, готовить эскизы, делать зарисовки, а самая работа не двигалась с места. Затем появились другие заказы, и картина для дворца Сеньерии осталась невыполненной. 20 мая 1483 г. заказ на нее был передан Гирландайо, который тоже не выполнил его, и только в 1485 г. Филиппино Липпи, наконец, написал эту картину.

Что̀ именно готовил Леонардо для дворца нам неизвестно, но этот случайно донесший до нас свои следы эпизод показывает, что уже двадцатилетним юношей Леонардо отличался всеми чертами, давшими возможность Микель Анджело (по рассказу анонимного биографа) горько упрекнуть уже стареющего мастера и наложившими свою решающую печать на все творчество винчианца: нежеланием укладываться в какие бы

[1] Документы эти напечатаны наиболее полно в цитированной нами выше книге L. Beltrami.

то ни было сроки, неуменьем довести до конца начатую работу, вспышками интереса к работе, сменяющимися охлаждением к ней. В этом, как и во многом другом, проявляется избалованный первенец богатого нотариуса, сформировавшийся на улицах Флоренции, которые оглашались строфами карнавальной песни, сочиненной ее властителем:

И на завтра не надейся...

и никогда не смогший целиком сжиться с рядами художников-мастеровых, что составляло и его слабость, и силу.

В том же году, когда Леонардо, среди многих до нас не дошедших рисунков, делал набросок, который первый донес до нас свидетельство о его ранних технических работах, Флоренция пережила несколько беспримерно кровавых и тревожных дней. Группа денежных и родовых магнатов, экономическое существование которых все более подрывалось, с одной стороны, усилиением рода Медичи, вытеснившим, в первую очередь, с денежного рынка всех конкурентов, с другой стороны — все углубляющимся развалом экономического благосостояния Флоренции, решилась на смелый удар, как бы воскрешающий кровавые и решительные деяния старых флорентинцев, характеризуемых легендарными словами Моска Ламберти: «Дело сделано—дело в шляпе» («Cosa fatta capo a»). Решено было убрать со сцены обоих представителей рода Медичи и с ними весь существующий строй. Во главе заговора стояли аристократический и богатый род Пацци, действовавший при ближайшей поддержке, а может быть и по наущению папской курии, имевшей свои основания побаиваться роста могущества Медичи, родственники папы Сикста IV, в первую очередь Джироламо Риарио, племянник папы, и архиепископ пизанский Франческо Сальвиати.

Кроме того, к участию в заговоре был привлечен ряд знатных и разорившихся авантюристов, стремившихся половить рыбку в мутной воде. Наиболее видным из них был Бернардо Бандини, «человек отпетый, отчаянный и бесстрашный»,

как его называет описавший заговор в изящных латинских периодах поэт-гуманист и друг Лоренцо Великолепного — Анжело Полициано.

Нападение на Лоренцо и его брата Джулиано было произведено 26 апреля в соборе св. Марии под куполом Брунеллески. В то время как священник поднимал над молящейся толпой причастие, заговорщики, окружившие братьев Медичи, набросились на них. Бандини ударом короткого меча сразил Джулиано, другие заговорщики пытались заколоть Лоренцо, но он, легко раненный в шею, отскочил. Тогда на него напал самый смелый из врагов, убийца Джулиано — Бандини; но окружавшие Лоренцо друзья отразили и это нападение. Некоронованный властитель Флоренции был спасен, а заговор — раскрыт. Лоренцо и его сторонникам удалось быстро собрать свои силы. Большинство заговорщиков было поймано и повешено на окнах дворца флорентийской Сеньерии. Даже его святейшество архиепископ не избег общей участи; только самый решительный и смелый из всех, Бандини, бежал в Неаполь, затем в Константинополь. Ботичелли, модный в то время художник, получил заказ, по старому флорентийскому обычаю, нарисовать повешенных на стенах дворца, что он и выполнил, проработав два месяца. Вероккио — одному из первых по времени и по искусству скульпторов по воску — и мастеру-восковику Орсино было поручено сделать ряд статуй Лоренцо в натуральную величину, в натуральной одежде и с накладными волосами, таким, каким он был в день спасения от заговора. Этот заказ был выполнен, и три фигуры, напоминавшие живых людей, украсили собой три флорентийские церкви. Так крупнейшие художники, прославившиеся нежными и одухотворенными мадоннами, старались, как честные ремесленники, извлечь максимум выгоды из кровавой трагедии, разыгравшейся в их городе.

Казалось, что главный убийца Бандини избег кары, однако весть о том, что он скрывается в Константинополе, скоро дошла до Лоренцо, и последний, вообще заигрывавший с султаном, потребовал выдачи Бандини. Магомет II согласился. Это произвело колоссальное впечатление на всю Италию и осо-

бенно на граждан Флоренции, начавших считать своего властителя всесильным. Бандини был привезен во Флоренцию и 29 декабря 1479 г. повешен на окне дворца Капитана. Опять зашевелились художники, ожидая выгодного и легкого заказа. Среди них был и Леонардо. Неизвестно, по заказу или авансом он сделал рисунок пером, спокойно и с деловым реализмом передающий сухое, изможденное лицо висящего на веревке заговорщика, его связанные за спиной руки и длинную, подбитую мехом одежду, цвета которой обычным зеркальным письмом Леонардо надписал тут же, в одной колонке, отрывисто, очевидно в спешке; между названиями цветов вписано и имя — Бернардо ди Бандини Барончелли.

Заговор Пацци — только один из эпизодов «великолепного» владычества рода Медичи, эпизодов, которые наблюдал и с которыми соприкасался Леонардо. Сухость, деловое спокойствие, с которым он зарисовал повешенного, лаконизм его записи показывают, что кровавые расправы и политические интриги, так же как и ясно понятая пытливым умом молодого ученого неотвратимая гибель экономики, политики и культуры его родного города, уже создали в нем то жестокое, скептическое, иногда кажущееся нечеловеческим спокойствие, тот политический и этический индиферентизм, который ровным, но печальным светом освещал всю его дальнейшую жизнь.

Рассказ о юности Леонардо был бы неполным без упоминания об одном факте, наложившем серьезный отпечаток на всю его жизнь. Во Флоренции исстари существовал обычай, согласно которому у каждого правительственного учреждения вывешивался жалобный ящик; всякий мог бросить в него анонимный донос или жалобу на любого из граждан города, по возможности немедленно разбираемую в судебном порядке. Само собой понятно, что выплывающей из бурного моря социальных и политических волнений династии Медичи эти ящики давали в руки прекрасное оружие для того, чтобы убирать со своего пути неугодных. В один из таких ящиков в первых числах апреля 1476 г. был брошен анонимный донос, обвинявший четырех мужчин: золотых дел мастера Бартоломео да Пасквино,

портного Баччьо, знатного купца Леонардо Торнабуони и Леонардо да сер Пьеро да Винчи, живущего у Вероккио, в незаконном сожительстве с некиим семнадцатилетним развратником Джакопо Сальтарелли. 9 апреля донос был рассмотрен «комиссией по надзору за ночной и монастырской жизнью» ufficiali di notte e de'monasteri) — трибуналом по вопросам нравов, причем решение гласило, что все обвиняемые условно оправданы до вторичного и окончательного рассмотрения дела. июня того же года обвиняемые были вторично оправданы и опять на условии дальнейшего рассмотрения. Как протекал оба раза суд, чем дело окончилось и что делали обвиняемые в промежутке между двумя рассмотрениями дела, — неизвестно, но весьма возможно, что они провели это время в тюрьме. Во всяком случае об этом говорит запись обычного для Леонардо афористического типа в одной из его тетрадей: «Когда я, будучи юношей, поступал как следует быть, вы меня засадили в тюрьму; если же теперь, когда я вырос, я сделаю то же самое, вы со мной поступите еще хуже». Несомненно, что процедура суда, даже если она не была связана с арестом, не могла не сыграть своей роли в формировании характера Леонардо.

Уже одинокое детство вне жизни городской детворы, в тихом Винчи, сделало юношу замкнутым и плохо срастающимся с грубоватой демократичностью флорентийской жизни, только ярко размалеванной снаружи пышностью двора Лоренцо. Кровь заговора Пацци, унижение суда окончательно укрепили в Леонардо сознание своего одиночества, своего противостояния, даже может быть враждебности всему живому миру, который представляет большой интерес как материал для ученого—наблюдателя и экспериментатора, но не играет, не должен играть никакой роли в личной жизни. «Где больше чувства, там для нас, мучеников, больше муки» (Cod. Triv. Tav. 35), записал в свою тетрадь несколько позднее Леонардо. Жизнь его освещена искусством, пропитана наукой, но чувство, личный элемент в ней почти уничтожены.

Таковы все сколько-нибудь достоверные сведения о жизни и работе Леонардо да Винчи в юношеские годы; их не-

много, но в своей совокупности они дают почти полную картину.

Мальчик вырос в тихом горном Винчи, в не вполне родной для него, незаконного сына, зажиточной семье провинциального нотариуса. Он был воспитан на слегка устарелых идеалах героической поры флорентийской буржуазии, семейной строгости и хозяйственности, ненависти к феодально-дворянскому строю, страстной тяге к карьере и богатству, так хорошо дававшимся его отцу. Попав на шумные улицы Флоренции, где сверкали драгоценные камни, золото и восточные ткани турниров и карнавалов Лоренцо Великолепного, звучали проникнутые звериной жаждой плотского наслаждения и отрицающие как ненужные пустяки все вечные идеалы карнавальные песни того же Лоренцо, на улицах, где возвышались все новые и новые дворцы и соборы, украшенные шедеврами живописи и скульптуры, он должен был формироваться и расти под влиянием весьма сложного комплекса сил и явлений.

Детство в семье Винчи прочно укоренило в мальчике складывавшееся миросозерцание буржуазии — трезвое, расчетливое, спокойно-эгоистическое отношение к жизни, дало ему энергию и выдержку завоевателя. Юность на улицах и площадях Флоренции тоже оставила свой след. Упорная, ловкая и убедительная пропаганда наслаждения моментом, имевшая отчасти сознательной, отчасти бессознательной целью отуманить, заставить забыть о все более ухудшавшемся экономическом и политическом положении, создать впечатление прочности и благополучия, подорвала этическую базу Леонардо, создала политический, моральный и религиозный индифферентизм. Но она не достигла, однако, той цели, которая почти безошибочно достигалась у индивидуумов, менее выдающихся, — не заставила верить в прочность и благополучие существующего строя. Наоборот, развертывавшиеся на глазах молодого художника события все больше и больше создавали впечатление неизбежности и неотвратимости гибели. Углублявшееся разложение всего хозяйства города; подгнивание материальной базы власти дома Медичи, принужденного при-

бегать к мерам воздействия незамаскированной тирании; восстания бывших под властью Флоренции городов Прато и Вольтерры (1470 и 1472), подавленные с нечеловеческой жестокостью «великолепным» Лоренцо; наконец потопленное в крови восстание Пацци — все это видел и заметил изощренный на живописи, скульптуре и архитектуре взгляд художника. Ум его, с юных лет заинтересовавшийся научными объяснениями всего сущего, не соблазненный песнями флорентийских поэтических и филологических сирен, пытался все более уверенно осмыслить, понять, переложить в область рационального то мироощущение (скорее чем мировоззрение), которое создалось под влиянием все усиливавшихся грозных предзнаменований.

Суховатый скептицизм и сознание надвигающейся катастрофы родили то бесстрастное любопытство, с которым зарисован повешенный Бандини. Они же вместе с гордостью, оскорбленной грубостью судебного разбирательства и сознанием своего одиночества, создали нелюдимость, насмешливо-враждебное отношение к окружающим. Такому отчуждению от людей сопутствовала глубокая и настоящая любовь к природе во всех ее проявлениях, любовь, являвшаяся следствием проведенного на лоне природы детства и подмеченная уже нами в ранних рисунках Леонардо. Особенно он любил животных. Вазари говорит, что он «постоянно держал лошадей, которые ему доставляли много удовольствия, даже больше чем другие животные, с которыми он постоянно имел дело, проявляя при этом величайшую любовь и терпение. Это он ясно показывал тем, что, проходя мимо мест, где продавались птицы, своей рукой вынимал их из клетки и, заплатив продавцу запрошенную цену, возвращал им потерянную свободу». Для Вазари, принадлежавшего уже к другому, напыщенному и псевдосветскому поколению, поведение Леонардо непонятно, так же как ему непонятно и даже, очевидно, неизвестно, что, выпуская птиц на волю и следя за их радостными движениями в воздухе, Леонардо не только развлекался, но запоминал и зарисовывал эти движения, стремясь понять их технику и затем воспроизвести

ее. Несомненно, однако, что в юношеские годы преобладал именно момент несколько сентиментальной любви к животным, крайним выражением которой было то, что Леонардо, по сведениям одного из путешественников начала XVI в. и по некоторым его собственным замечаниям, был вегетарианцем. [1]

Чуждаясь людей своего круга и страстно любя природу, молодой художник любил общаться с людьми, ниже его стоявшими. «Он умел и любил сходиться с простыми людьми»,—говорит о нем анонимный биограф, но мы бы жестоко ошиблись, если бы начали умиляться по поводу этого, впрочем несомненного, влечения нашего героя к «народу». Интерес его был интересом барина к «простому человеку», как некоторой зоологической особи, с которой можно не стесняться, которую можно бесцеремонно рассмотреть и изобразить любым образом, подчеркнув смешные или уродливые стороны; карикатурные крестьянские головы в листах Леонардо — верный этому свидетель. Он чувствовал себя с «простыми людьми» легко и свободно, не должен был держать себя в руках, играть роль светского очарователя; но их судьба, их жизнь, их бедствия его мало интересовали.

С людьми своего круга, когда положение, нужда в заработке или честолюбие сталкивало его с ними, он был всегда сдержан, обворожителен. Биографы не жалеют красок для изображения его прекрасной наружности и исключительной физической силы, его своеобразной манеры одеваться; они описывают короткий, открывающий стройные ноги красный плащ, так резко отличавшийся от бывших тогда в моде длинных одежд, его длинную, тщательно расчесанную бороду и самое пленительное — его блестящую беседу, уменье играть на лютне и импровизировать стихи. Но этот очаровательный щеголь любил и понимал шутку — ту слегка циничную, иногда жестокую «бурлу», которая с веселой подробностью изображена в современных флорентийских новеллах. Ранний пример такой шутки — проделка с тондо крестьянина; позднее они будут

[1] L. Beltrami. Op. cit., p. 145.

более научны — изготовление летающих драконов, страшных чудовищ, устройство отчаянных зловоний, раздувание кишек, скромно лежавших в углу комнаты и вдруг наполнявших ее всю.

Шутки эти, однако, отнюдь не противоречили общему образу светского художника, вообще щеголявшего своей оригинальностью — в шутках, одежде, даже в манере письма не как у всех людей. Наоборот, они как бы последним штрихом дорисовывали образ Леонардо, сына быстро выдвигавшегося и богатевшего провинциального буржуа, попавшего в полуцеховой, полуинтеллигентский мир мастерской художника, оторвавшегося от породившей его буржуазной среды, но и не вросшего в цеховую среду художников. Со своим развитым интеллектом и чувством собственного превосходства, со своими привычками к роскошной жизни и пустым кошельком он может рассматриваться как один из ранних представителей той прослойки интеллигентов, которая начала появляться при разраставшихся дворах итальянских тиранов и дала свои яркие цветы в ряде деятелей XVI в., в первую очередь в фигуре Аретино.

Все эти черты, создавая очень своеобразный облик молодого Леонардо, неизбежно наложили глубокий отпечаток на его творчество. Основной чертой этого творчества все больше делается отталкивание от всего принятого другими, подчеркнутая самостоятельность и оригинальность, легко переходящая в оригинальничанье. Как в художественной, так и в научной деятельности Леонардо проявляется стремление тщательно изучить все, что делали другие до него, найти в нем слабые стороны и самому создать что-то принципиально новое, отличное и свободное от замеченных недостатков. При этом, именно вследствие специфических особенностей духовной физиономии Леонардо, он никогда не делает критерием для оценки своих творений ни мнение окружающих, которых он презирает и отчасти боится, ни сравнение с признанными шедеврами; для него важна лишь непосредственная связь с действительностью, с данным соотношением вещей, с той природой, которую он так любит и чувствует.

§ 2. ЮНОСТЬ

В 1481 г., когда Леонардо было 29 лет и он уже, несомненно. был не начинающим художником, а более или менее известным мастером, он получил большой и серьезный заказ; как и при заказе 1477 г., в деле замешан рачительный Пьеро. Монахи церкви Сан Донато ди Скопето, расположенной в окрестностях Флоренции, получили около этого времени, по завещанию от некоего флорентийского торговца Симоне, земельное имущество с условием, что по достижении дочерью Симоне совершеннолетия, ей будет выплачено определенное приданое. Получение завещания, весьма выгодного для монастыря, и самое его оформление, по всей вероятности, было делом рук Пьеро да Винчи. Отец Леонардо специализировался на завещаниях и на монастырях. Нет ничего удивительного в том, что преуспевающий и стареющий нотариус, озабоченный тем, что его красавец-сын больше думает об экстравагантных нарядах, лошадях, странных и непонятных шутках и еще более странных и непонятных научных занятиях, чем о заработке денег, опять попытался выхлопотать сыну выгодное поручение. Он устроил так, что в счет завещанных монастырю благ Леонардо был передан заказ на образ для главного алтаря монастырской церкви. При этом хорошо знавший своего сына, наученный опытом заказа для дворца Сеньерии, трезвый и прижимистый нотариус предусмотрел такие условия заказа, которые должны были заставить работать молодого художника; по окончании же работы они должны были прилично обеспечить его.

Договор точно оговаривал срок исполнения работы и гарантии в случае невыполнения ее вообще. Очевидно, медлительность и непостоянство работы Леонардо уже тогда были известны. Через 24 или, самое позднее, 30 месяцев картина должна быть готова. За работу Леонардо получал третью часть завещанного монастырю участка, но все расходы по работе (закупка красок и т. п.) он брал на себя и, кроме того, должен был выплатить из своих средств приданое дочери завещателя. Из того, что договор оговаривал право монастыря на обратную

закупку участка за 300 флоринов, а приданое состояло из 150 флоринов, мы можем заключить, что старый нотариус под сложной юридической формулировкой скрыл хороший заработок для сына.

Однако расчет Пьеро да Винчи не оправдался. Даже денежный пресс не мог быстро выжать из медленно экспериментирующего художника большую работу; к тому же известное нам по его ранним записям тяжелое материальное положение молодого Леонардо делало для него невозможным производство расходов, связанных с работой, — покупку красок, кистей и т. п. Нечего и говорить о том, что, когда пришлось (в июле 1481 г.) уплатить часть обусловленного договором приданого, Леонардо принужден был просить аванс в счет окончательной уплаты; аванс был ему выдан. Затем следует еще несколько мелких авансов на покупку красок, но работа подвигалась медленно, а затем, по всей вероятности, и совсем прекратилась. Вернул ли Леонардо полученные авансы и как вообще произошел расчет, мы не знаем; во всяком случае, только через 15 лет, в 1496 г., монахи заказали опять у вездесущего Филиппино Липпи и получили «Поклонение волхвов», заменившее так и не выполненную Леонардо работу.

Принимая во внимание то обстоятельство, что работа Липпи по сюжету и размерам, а отчасти и по композиции, повторяет дошедшую до нас неоконченную работу Леонардо «Поклонение волхвов», можно почти с полной уверенностью утверждать, что последняя и предназначалась для монастыря Сан Донато. Если это так, то становится вполне понятным невыполнение Леонардо заказа: столь щепетильно подошел он к своей работе, столько предварительных в разных вариантах эскизов он сделал, так медленно и детально выполнял всякую мелочь, что терпение могло лопнуть и не только у монахов, желавших скорее получить заказанное.

Среди ранних рисунков Леонардо, безусловно не полностью дошедших до нас, мы находим около десятка набросков к «Поклонению»: отдельные фигуры, нагие и одетые, в разных позах, позднее использованные в картине, зарисовки лошадей, фигу-

рирующих на заднем плане, и, наконец, выполненные с разной степенью проработки наброски всей композиции с нагими фигурами или только фона к ней как перспективного этюда.

Постепенно выбирая, бракуя, экспериментируя, как исследователь, а не как связанный сроком исполнитель заказа, подошел Леонардо и к этой работе. Такой подход создал все предпосылки для рождения шедевра, но не дал этому шедевру возможности родиться на свет.

Произведение это, во многом странное, показывает на фоне архитектурных руин и деревьев, за которыми бурно скачут нагие всадники, Марию с ребенком на руках, окруженную расположенными в самых разнообразных (может быть, слишком разнообразных) позах волхвами, пастухами, воинами. Картина далеко не закончена—даны только основные тона и моделировка, и то не всюду; вследствие этого композиция и манера письма уже овладевшего своим искусством мастера обнаруживаются в этом наиболее раннем из дошедших до нас его больших произведений с особенною ясностью.

Необычайный и необъяснимый с точки зрения сюжета фон, композиция симметричная, но заполненная несколько преувеличенным движением, заставляющая невольно вспоминать односюжетные и, примерно, современные работы Ботичелли, говорят о поисках особой экспрессии, о стремлении создать общее настроение произведения, какой-то общий ритм его. Все свидетельствует о страстном желании путем полного овладения всеми техническими деталями, всем механизмом живописи, перескочить через эти детали, этот механизм, создать вещь сложную по технике, но простую и сильную по производимому ею впечатлению. И здесь, как всегда, сказывается художник, не ограниченный в своих чаяниях и стремлениях узким горизонтом своих товарищей, исследователь и, может быть, богатый любитель больше, чем четко работающий профессионал.

Не подлежит никакому сомнению, что в конце семидесятых годов Леонардо выполнил или, во всяком случае, начал выполнять ряд более или менее значительных работ, из которых

до нас дошли только две, да и то подлинность их не вполне несомненна: небольшое продолговатое «Благовещение», тонкое, но довольно традиционное, может быть (судя по размерам) предназначенное служить нижней частью образа, главным элементом которого должно было явиться поклонение волхвов, и незаконченный «Святой Иероним», опять обнаруживающий все характерные черты творчества молодого Леонардо. В нем мы видим на фоне резко очерченных темных скал, между которыми и за которыми расстилается горный пейзаж, опустившегося на одно колено лысого старика, прикрытого только спускающимся с левого плеча плащом, с лицом, искаженным покаянием, бьющего себя левой, держащей камень рукой в обнаженную грудь. Справа на первом плане лежит только слегка намеченный большой лев. Как фигура самого Иеронима, так и фигура льва даны максимально сложно — повороты, противоположные положения, раккурсы использованы даже, может быть, слишком усиленно. С другой стороны, и в пейзаже, и в выражении лица, и в позе Иеронима ясно стремление к повышенной, несколько кричащей экспрессии, напоминающей опять, как мы это видели в «Поклонении», творчество Ботичелли.

«Поклонение волхвов», «Благовещение», «Иероним» показывают нам Леонардо в семидесятых годах в качестве уже зрелого художника, работающего в первых рядах флорентийского искусства, вместе с крупнейшими его представителями— Доменико Гирландайо, Сандро Ботичелли и Филиппино Липпи. Многие черты его творчества роднят последнее с произведениями этих и ряда других мастеров. В частности, как мы уже несколько раз отмечали, творчество Ботичелли с его тягой к выражению невыразимого, с его беспорядочным, иногда кричащим, создающим впечатление преувеличенной динамики движением, очевидно вызвано той же психологической струей, в свою очередь обусловленной тем же состоянием экономического и политического декаданса, которая затем вызвала к жизни безумную революционно-мистическую реформу Савонаролы.

Совершенно несомненно, хотя и не подтверждено никакими документальными доказательствами, кроме многочисленных, но точно не датируемых записей и зарисовок «Атлантического кодекса», что именно к концу семидесятых — началу восьмидесятых годов Леонардо усиленно занимался техникой. Возможно, что именно в это время он, как об этом сообщает аноним, работал в качестве штатного инженера у Лоренцо Медичи, в саду которого производил какие-то, нам мало известные работы, — может быть, строил оросительные установки и тот классических очертаний фонтан, который с такими деталями зарисован в нескольких ранних листах Леонардо. Листы записей, относящиеся с большей или меньшей степенью вероятности к этому времени, полны разными, иногда простыми, иногда чрезвычайно сложными и запутанными техническими эскизами, зарисовками, рецептами. Основные темы, над которыми работал в это время Леонардо, были, как и раньше, техника живописи, производственная техника, строительное искусство и военное дело. В первой он продолжает экспериментирование над лаками и красками, в третьей и четвертой работает над важнейшими проблемами поднятия тяжестей, строительных материалов, устройства и рытья каналов и, наконец, изготовления орудий и стрельбы из них. Но наиболее любопытной для нас в это время и, очевидно, особенно интересовавшей все более зрелого инженера была работа его в области производственной техники. И здесь, как в живописи, он стремится наметить новые пути, старается своими изобретениями и усовершенствованиями дать толчок затухающей промышленной жизни Флоренции. В этих рисунках характернейшей чертой является стремление к максимальной механизации производственного процесса. Вопрос замены механизмом при любых условиях дорого стоящего и, при рабском положении, недобросовестного рабочего был и во флорентийской неудавшейся промышленной революции столь же центральным экономическим и техническим вопросом, как три столетия спустя в победоносной общеевропейской промышленной революции. И здесь, как в живописи, не ограниченный цеховою узостью горизонт Леонардо

дал ему возможность увидеть и почувствовать то, чего не видели и не чувствовали техники-профессионалы. Но эти же черты определили и неосуществленность, а иногда и просто неосуществимость многих из его проектов. Как бы то ни было, но попытки механизировать, даже, можно сказать, автоматизировать производственные процессы Леонардо обнаруживал по отношению почти ко всем отраслям промышленности Флоренции. Он работал над механическими приспособлениями для стрижки сукна, над автоматом для насечки напильников, над усовершенствованием мельницы, над методами обработки и изготовления строительных материалов, в первую очередь кровельных пластин, и над рядом других технических вопросов.

Рисунки и эскизы, в которых даны эти работы, по своей рисовальной технике уже значительно сложнее и совершеннее ранних технических набросков Леонардо. Сложнейшие разрезы, виды, планы изображаются с играющей легкостью и с пленяющей грацией, благодаря которым эти обычно сухие и неэмоциональные технические чертежи вызывают восхищение как произведения искусства.

Усложнение технических заданий требовало, конечно, укрепления научной базы, необходимой для их выполнения. Вне математических и элементарно-механических расчетов невозможно было правильно сконструировать те сложные сочетания зубчаток разных форм, видов и размеров, рычагов и воротов, которые мы видим на чертежах Леонардо, и поэтому естественно, что он усиленно занялся углублением своих математических знаний. В записях, сопровождающих технические зарисовки конца семидесятых годов, мы находим имена Карло Мармокки, астронома и географа, Бенедетто дель Абако, математика, автора многочисленных учебников арифметики, и, наконец, Паоло дель Поццо Тосканелли — врача, географа, астронома и математика, одного из весьма немногих крупных ученых Италии XV в.

Со всеми ними, представлявшими во Флоренции математические и естественные науки, Леонардо, был, очевидно, знаком,

встречался и беседовал, черпая в разговорах необходимые математические знания и пополняя их затем чтением схоластов-математиков.

Живопись, техника, наука попеременно сменяли друг друга в занятиях Леонардо, находившего еще время для веселой беседы в обществе, для которого у него всегда были припасены какие-нибудь фокусы или развлекательные шутки, записи о чем перемежаются в листах этого времени с научными и техническими заметками.

Естественно, однако, что такое разнообразие интересов и занятий с неизбежностью сказывалось на продуктивности каждого из них.

Подходя к своим живописным произведениям со скрупулезной строгостью исследователя, а к своим ученым и техническим работам с требованием художественной стройности и законченности, Леонардо бесконечно долго готовился к каждому начинанию, проделывал множество подготовительных опытов, мудрил, экспериментировал и никак не мог довести до конца ни одного из этих начинаний. Уже первый его анонимный биограф в начале своей краткой заметки говорит о нем: «Он был весьма силен в математике и не меньше в учении о перспективе, работал в области скульптуры, а в области рисунка далеко превосходил всех других. У него были прекраснейшие мысли (сюжеты), но в красках он выполнил очень немногие; как говорят, он никогда не был удовлетворен своей работой, почему так и редки его произведения». Позднее Вазари во многих местах биографии Леонардо развивает ту же мысль, что слишком большое количество занятий и слишком большая требовательность к себе помешали Леонардо создать великие, законченные произведения. Так, в начале биографии он говорит: «Действительно замечателен был Леонардо, сын сер Пьеро да Винчи: и в науке и в литературе он достиг бы многого, если бы не занимался столь разными вещами и не был так непостоянен». И несколько дальше: «Ясно, что Леонардо, прекрасно понимая основы своего искусства, начал множество произведений и ни одного не кончил, так как ему казалось, что рука не может

выразить те совершенные создания, которые он воображал, из-за чего он выдумывал всякие трудности в своей работе, настолько тонкие и удивительные, что уже никак не мог выразить их работой своих рук, хотя и бывших превосходными». Но как мы уже видели выше, такая придирчивость художника к себе и своим работам отнюдь не удовлетворяла заказчиков картин, а может быть и инженерных работ Леонардо. Трезвые флорентийские буржуа, любящие и считающие свою копейку монахи и даже щедрый и расточительный только напоказ Лоренцо Великолепный требовали за свои деньги выполнения работы в срок.

Один заказ за другим проваливал молодой мастер, и слава о его неаккуратности, о его странных выдумках, мешавших работе, все больше распространялась по улицам любящей и умеющей сплетничать Флоренции. Постепенно даже хитроумные комбинации и влиятельные знакомства старого Пьеро теряли свою силу, работу получить становилось все труднее, а вместе с этим ухудшалось и материальное положение. Выделившийся из отцовской семьи (документы, относящиеся к «Поклонению волхвов», говорят о нем как о живущем на собственной квартире), любивший широко жить, Леонардо все чаще попадал в неприятные ситуации, находящие косвенное отражение в записях того времени, ссылающихся на бедность. Трезвый и спокойно расценивавший положение, Леонардо прекрасно понимал причину всех своих неприятностей и с предельной полнотой выразил ее в горьком самокритическом афоризме: «Кто имеет в своем распоряжении время и не использует его, теряет друга и никогда не имеет денег» («Chi tempo ha e tempo aspetta, perde l'amico e danari non ha mai»). Но несмотря на это, он и не думал менять своего образа жизни, отказываться от разнообразия своих занятий, делаться спокойным и исполнительным ремесленником, подобным какому-нибудь Ботичелли или Филиппино Липпи. Он, очевидно, ясно сознавал, что именно в этом разнообразии занятий — его ни с чем не сравнимая сила, и предпочитал, не меняясь сам, менять места приложения своих способностей.

Как раз к 1482—1483 гг. возможности такой перемены более или менее определенно наметились.

В 1471 г. миланский герцог Галеаццо Мария Сфорца, в сопровождении трех братьев и роскошной свиты, посетил Флоренцию, затмив пышностью и богатством даже своего «великолепного» хозяина, который все-таки числился только простым гражданином и должен был несколько сдерживаться. На совсем юного, только что приехавшего во Флоренцию Леонардо, еще чувствительного ко всем проявлениям роскоши и богатства, пышность свиты миланского властителя не могла не произвести впечатления. 26 декабря 1476 г. Галеаццо Мария был убит начитавшимися античных писателей заговорщиками, представителями миланской, республикански настроенной аристократии, враждебной буржуазно-феодальной тирании рода Сфорца, и постепенно власть в Милане перешла к ловкому интригану и политику Лодовико Сфорца, по прозванию Моро (Мавр). Рядом с Лоренцо Медичи он сделался важнейшим лицом в Италии, так что недаром флорентийский посланник Пандольфини в момент завладения Лодовико властью писал Лоренцо Медичи: «Если он хорошо использует свои возможности, он станет хозяином всей Италии». Естественно, что как узурпатор, новый, втершийся ловкими комбинациями властитель, Лодовико неизбежно должен был обращать особое внимание на впечатление, производимое первыми годами его правления; он должен был пускать пыль в глаза другим государствам и своему населению, а испытанными средствами для этого были показная роскошь, меценатство, щедрость по отношению ко двору, в первую очередь к придворным художникам и поэтам. Все это и учел, наверно, Леонардо, сохранивший еще юношеское воспоминание о роскоши Миланского двора при посещении им Флоренции, когда в 1482 г. он обратился к регенту Милана по названию, герцогу Милана по существу, — Лодовико Моро с предложением своих услуг. Ни одна из сколько-нибудь обширных работ, посвященных Леонардо, не обходится без того, чтобы не привести это письмо,—так полно, красочно и непосредственно передает оно положение, занятия,

настроения Леонардо в этот переломный для него момент Приведем его и мы:

«Так как я, светлейший государь, уже достаточно видел и изучал произведения всех тех, которые считают себя мастерами и изобретателями военных орудий, и убедился, что замысел и действие этих орудий ничем не отличаются от обычно применяемых всеми, я хотел бы, чтобы без ущерба для кого бы то ни было Ваша светлость выслушала меня, причем я открою ей свои секреты и предлагаю на ее усмотрение в удобное время оправдать на опыте все то, что частично и вкратце ниже изложено:

«1. Я знаю способ делать чрезвычайно легкие, выносливые, прочные и легко переносимые мосты, пригодные для преследования врагов и для бегства от них, и другие безопасные и предохраненные от огня и боя, легко подымаемые и опускаемые; знаю также способы сжигать и разрушать мосты противника.

«2. Я знаю способ, как во время осады какого-нибудь места спустить воду из рвов и как сделать множество мостов, кошек и лестниц и других приспособлений, нужных в таких предприятиях.

«3. Также, если благодаря высоте стен, или укрепленности места, или его положения при осаде его невозможно будет пользоваться бомбардами, я знаю способ разрушить всякую цитадель или другого рода крепость, если только она не построена на скале, и т. п.

«4. Кроме того, я знаю системы удобнейших и легких в перевозке бомбард, умею метать ими камни наподобие бури и их дымом нагонять великий ужас на врага с большим для него уроном и смятением и т. п.

«9. (Очевидно, в чистовике этот параграф должен был быть перенесен на свое место). И если случилось бы быть в море, я знаю множество систем приспособлений для нападения на суда и для защиты судов, которые не будут повреждены выстрелами бомбард любой величины, и пороха, и дыма.

«5. Также я знаю способы прокапывать тайные изогнутые ходы без всякого шума (несколько неразборчивых слов), даже если бы пришлось проходить под рвами или какой-нибудь рекой.

«6. Также я могу сделать закрытые и совершенно неуязвимые повозки, которые со своей артиллерией, ворвавшись в ряды врагов, вызовут поражение силы любой величины. И за ними может следовать пехота совершенно безопасно и без затруднения.

«7. Также, если потребуется, я могу сделать бомбарды, мортиры и огнеметы прекрасной и целесообразной формы, не похожей на обычные.

«8. Где нельзя будет применять бомбарды, я сконструирую катапульты, манганты, стрелометы и другие орудия удивительного действия и не похожие на обычные. И вообще в соответствии с каждым данным случаем могу сконструировать бесконечное множество разных приспособлений для нападения и (защиты).

«10. В мирное время я надеюсь выдержать сравнение со всяким в архитектуре, в постройке зданий, как общественных, так и частных, и в проведении воды из одного места в другое.

«Также я берусь в скульптуре — в мраморе, бронзе или глине, так же как и живописи, выполнить все, что возможно, не хуже всякого, желающего померяться со мной.

«Можно будет также выполнить бронзового коня, что принесет бессмертную славу и вечный почет счастливой памяти синьора Вашего отца и славного рода Сфорца.

«И если какая-нибудь из вышеизложенных вещей покажется кому-нибудь невозможной и неисполнимой, я готов показать ее на опыте в Вашем парке или любом другом месте по выбору Вашей светлости, которой я всеподданнейшим образом себя препоручаю, и т. д.»

Письмо это исключительно четко сбрисовывает образ молодого художника, самоуверенного и нуждающегося, рекламирующего в первую очередь и главным образом свои технические

изобретения и фантазии, вряд ли в сколько-нибудь значительной степени проверенные на практике, но зато тщательно обдуманные, начерченные и рассчитанные в долгие часы, которые следовало бы употребить на исполнение спешных живописных заказов. Твердая, несколько высокомерная и настойчивая вера в то, что продукты его ума, эксперимента и расчета не могут оказаться несоответствующими своему назначению, что во всяком деле он может изобрести что-нибудь новое и сразу же осуществить его в большом масштабе, вера, может быть больше свойственная дилетанту-самоучке, чем терпеливому мастеру-профессионалу, сквозящая в каждой строчке письма, обнаруживает одну из основных, характернейших и пагубнейших для него черт Леонардо как творца и человека.

Было ли послано приведенное выше письмо к Лодовико Моро и если да, то когда именно, мы не знаем, но знаем, что, очевидно в 1482 г., Леонардо вместе с музыкантом Аталанте Мильоротти приезжает в Милан по поручению Лоренцо Медичи, чтобы поднести новому властителю города лиру, по сведениям анонима, или же как музыкант и импровизатор по значительно менее правдоподобным сведениям Вазари. Не знаем мы также и того, в эту ли поездку или в следующую, в результате ли предложений своего письма к Моро или вне связи с ними Леонардо остается в Милане придворным инженером и художником.

Необходимость и желание уехать из ставшей ненавистной Флоренции, как мы говорили выше, назрели уже давно. Поэтому Леонардо, очевидно, легко расстался с городом, в котором он сформировался как мастер, с отцом, так неудачно пытавшимся сделать ему карьеру, с учителем, которому он был стольким обязан, с заказчиками, которых он обманул, с Медичи, которые не создали ему надлежащей обстановки для работы.

То немногое из своих работ, что бедный, но полный гордых надежд и мечтаний, художник вывез с собой из неблагодарной Флоренции, он записал в особую опись. Вот она:

Множество цветов, нарисованных с натуры.
Голова en face с волосами (?).
Несколько святых Иеронимов.

Размеры человеческого тела.
Рисунки печей.
Голова герцога.
Много рисунков.
4 рисунка к картине «Св. Ангел».
Картинка (с изображением) Джироламо да Фелине.
Голова Христа, нарисованная пером.
8 святых Бастианов (?).
Много рисунков ангелов.
Халкедон.
Профиль с красивой прической.
Несколько тел в перспективе.
Инструменты для судов (рисунки?).
Гидравлические инструменты (рисунки?).
Голова, нарисованная с Атталанте, поднимающего лицо.
Голова Иеронима да Фильино (Джироламо да Фелине).
Голова Джиан Франческо Боссо.
Множество старушечьих шей.
Множество стариковских голов.
Множество полных рисунков обнаженных тел.
Множество ног и разных положений.
Законченная Мадонна.
Другая почти в профиль.
Голова Мадонны, возносящейся на небо.
Голова старика с очень длинной...
Голова цыганки.
Голова в шляпе.
Распятие (рельеф).
Голова девушки с завязанными косами.
Голова с убором.

Все эти рисунки голов: стариков, старух, девушек с сложными прическами, этюды рук и ног в различных положениях, наброски известных нам и неизвестных картин, чертежи технических приспособлений — как раз те сюжеты, которые мы встречаем в ранних листах Леонардо. Обращает на себя внимание тот повторяющийся позднее факт, что художник зарисовывает головы тех или иных своих знакомых, используя их впоследствии для картин. Интересно также то, что, только вступив в переписку с Лодовико Сфорца и предложив ему сделать конную статую его отца, Леонардо

уже, как всегда, увлекается предстоящей работой до ее начала и рисует или, может быть, лепит голову старого герцога Франческо. Упоминание имени Атталанте, несомненно Атталанте Мильоротти, с которым Леонардо и совершил поездку, доказывает, что список составлялся именно во время переезда в Милан.

С таким-то, впрочем весьма скромным, запасом своих произведений, надо полагать со значительно более богатым гардеробом, с пустым кошельком и большими надеждами, поддерживаемыми колоссальным самомнением, появился тридцатилетний мастер Леонардо да Винчи при дворе миланского тирана герцога Бари, опекуна и тюремщика молодого законного герцога Джан Галеаццо, Лодовико Моро.

Глава 2

МИЛАН

*

§ 1. НАЧАЛА

Флоренция сформировала Леонардо как человека и мастера. В Милан он приехал уже с определенным мировоззрением, навыками, привычками, которым существенно другая миланская атмосфера могла придать только то или иное направление, но вряд ли изменить их сколько-нибудь глубоко. А атмосфера эта действительно во многом отличалась от атмосферы Флоренции.

Во Флоренции, несмотря на все более открытую тиранию рода Медичи, была возможна и фактически существовала еще во времена Леонардо экономическая, политическая, культурная, художественная жизнь и вне непосредственной связи с Лоренцо Великолепным. В Милане, монархическом уже два столетия, экономически и социально почти совершенно бесплодном, вся эта жизнь концентрировалась при дворе Сфорца, управлялась и непосредственно финансировалась им. Возможно, что именно это обстоятельство, а также то, что узурпатор власти Лодовико должен был лихорадочно укреплять свое политическое положение, заботясь о военной мощи Милана, и импонировать всей Италии, предпринимая ряд грандиозных художественных работ, привлекло Леонардо в Милан. После неустойчивой и полной разочарований, необеспеченной жизни во Флоренции, он надеялся здесь, войдя в круг придворных блестящего двора, получая постоянное, гарантирующее ему безбедное существование жалованье, отдаться без принуждения

своим интересам, отплачивая хозяину только славой своего имени, уже начинавшего становиться известным и особенно яркого на сравнительно тусклом миланском фоне, прелестью своей светской беседы, пересыпаемой импровизацией, и игрой на различных инструментах, и только изредка, без принуждения, выполнением тех или иных технических или художественных работ.

Двор, членом которого сделался Леонардо, обстановка, в которой он должен был работать, были в достаточной степени специфическими.

Настоящей, сколько-нибудь значительной, своей культуры, которая хотя бы отчасти могла соперничать с культурой Флоренции, Венеции или Неаполя, Милан не имел. Но Сфорца хотели иметь блестящий двор, слыть меценатами; хороший тон требовал этого от всякого крупного властителя, и поэтому они, особенно Лодовико, прибегали к своеобразному импорту.

Ко времени прибытия Леонардо в Милан там подвизались: флорентинец-поэт Бернардо Беллинчионе, посредственный рифмоплет и присяжный льстец; брешианец Винченцо Фоппа, не менее посредственный художник, но, подобно Альберти или Учелло, глубокий знаток перспективы; умбриец Донато Ладзари, известный под прозвищем Браманте, один из крупнейших архитекторов Возрождения, гармонический и разнообразный, строгий и в то же время не слишком сухой; математик, физик, гуманист Георгий Валла, хорошо нам известный, и ряд других, менее крупных лиц. Все они были более или менее тесно связаны с двором, от которого исходили все блага, в котором они были перемешаны с далеко превосходящими их числом и смотревшими на них как на несколько докучных и дорогих, но необходимых развлекателей любовницами Лодовико, его фаворитами, крупными чиновниками и военными, придворной челядью, шутами и многими прочих званий людьми, толпящимися вокруг власть и деньги имущих.

В этой среде Леонардо не встретил, как видно из данного выше перечисления, ни одного сколько-нибудь крупного представи-

теля искусства, являвшегося для него до этого времени основным, — живописи, но зато встретил величайшего архитектора своего времени и значительных представителей естественных и точных наук, что, несомненно, повлияло на все дальнейшее направление его разнообразных работ и окончательное формирование его личности.

Фактический хозяин Милана Лодовико Моро был на год моложе Леонардо. Завладев после убийства брата в 1479 г. властью, он постепенно освободился от всех опасных ему лиц: от некогда всесильного советника своего отца и брата — Чекко Симонетты, от фаворита и любовника регентши Боны Савойской — Антонио Тассино и, наконец, от самой Боны. Оставшись регентом и опекуном герцога Джан Галеаццо, он как раз в 1481—1483 гг. всеми средствами упрочивает свое положение, устраивая союзы и браки, с одной стороны, и предпринимая войны — с другой. Уже в 1480 г. он официально обвенчался с дочерью феррарского герцога Эрколе д'Эсте, девятилетней Беатриче, завязывая таким образом семейные связи и с Феррарой, и с Мантуей; с герцогом последней Джан Франческо была обвенчана старшая сестра Беатриче — Изабелла. В 1481—1483 гг. Милан как союзник Феррары участвовал в богатой разными политическими комбинациями войне с Венецией и в те же годы вел борьбу с пытавшейся сбросить иго миланского владычества Генуей. Более чем вероятно, что именно этими военными предприятиями и был оправдан преимущественно военный характер письма Леонардо к Моро и ими же были определены его основные работы во время первых месяцев, а может быть и годов его пребывания в Милане.

Точных сведений об образе жизни и работах Леонардо в эти первые годы мы не имеем и принуждены ограничиваться догадками, извлекаемыми, правда из богатого, интересного и разнообразного, но только весьма примерно датируемого материала его записей. Записи эти как раз в первые годы пребывания Леонардо в Милане приобрели новый характер. В то время как записи флорентийского времени дошли до нас, как мы выше упоминали, только в разрозненных листах, записи

миланского времени сохранились как в разрозненных листах, входящих в тот же «Атлантический кодекс», так и в отдельных книгах и тетрадях разного размера и характера. Очевидно, именно в это время окончательно закрепилась у Леонардо привычка всегда носить с собой маленькую записную книжку в кожаном переплете, укрепленную шнурком у пояса, и заносить в нее на ходу свои мимолетные мысли, соображения, вычисления, беглые наброски и заметки. По возвращении Леонардо домой те из заметок или эскизов, которые казались наиболее важными и нужными в работах данного времени, переносились в большие книги, из этих последних эскизы в дальнейшем попадали уже на картины или в живописные подготовительные работы, а записи научного характера должны были, по замыслу Леонардо, подбираться, систематизироваться и составлять целые обширные научные сочинения с единым, а не пестрым, как в книжках записей, содержанием.

Ко времени, нас в данном случае интересующему, т. е. к началу пребывания Леонардо в Милане, с большей или меньшей степенью вероятности относятся три книги его записей — так называемая рукопись «B» из собрания Institut de France, Миланский кодекс Тривульцио и хранящийся в Лондоне, в Кенсингтонском музее Кодекс I.

В этих рукописях, как и в ранее описанных нами отдельных листах, впоследствии вошедших в «Атлантический кодекс», царит полный беспорядок: рисунки вкраплены в текст, с которым они не всегда связаны; самый текст перескакивает с сюжета на сюжет неожиданно и произвольно; афоризмы и записи личного порядка сменяются решениями математических задач, техническими набросками и соображениями; иногда одному сюжету отведено несколько строк, иногда же ряд страниц и т. д.

Если мы сравним содержание ранних (поскольку можно говорить даже о такой приблизительной датировке) частей названных рукописей с обещаниями приведенного нами выше письма Леонардо к Моро, то убедимся, что основными занятиями Леонардо в первое время его пребывания в Милане были имен-

но те технические работы, которые названы в этом письме и наиболее подробно очерчены им.[1]

На первом месте здесь стоят военно-инженерные работы. Как уже выше сказано, первые месяцы пребывания Леонардо в Милане были заполнены военными заботами, и поэтому работа Леонардо именно над этими темами более чем понятна. Свои занятия Леонардо, очевидно, вел, как обычно, читая соответствующую, не слишком многочисленную, находившуюся у него под руками техническую литературу, расспрашивая окружающих специалистов и присматриваясь к их работе. Размышляя с пером или карандашом в руке, он вычерчивал разные, иногда повторяющиеся конструкции, виденные им, нередко выдуманные и вполне фантастические, продумывал общие принципы и мельчайшие детали действия механизмов, прикидывал, зачеркивал, рассчитывал и экспериментировал.

Для своих военных занятий этого времени Леонардо мог использовать некоторые произведения античной и современной литературы, но действительно явные и несомненные заимствования мы находим в записях из «De re militaria» («О военном искусстве») Роберто Вальтурио, сочинения, подробно разобранного нами выше. Леонардо заимствовал у Вальтурио в первую очередь сведения об античном оружии и военных приспособлениях. Страница за страницей рукописи «B» покрыты краткими описаниями тех или иных деталей древнего вооружения, причем Леонардо сам реконструировал и своим легким пером живописца зарисовывал и их внешний вид. Но изучение античного оружия было только первым шагом работы — оно зарисовывалось и регистрировалось, наверное, отчасти для забавы, отчасти для зарождения новых мыслей, отчасти, может быть, впрок на случай, если придется писать книгу по военному делу. Дальше надо было из Вальтурио извлечь помощь в осуществ-

[1] Соотношение между письмом Леонардо к Моро и его миланскими зарисовками подробно разобрано в старой, но не потерявшей значения и до сего времени работе P. M ü l l e r-W a l d e. Leonardo da Vinci. Munchen, 1889, в главе «Leonardos Brief an Lodovico Sforza», p. 159 sqq.

лении тех несколько фантастических обещаний, которые были даны программным письмом и, наверное, не раз повторены при личных беседах молодым, слишком уверенным в своем превосходстве и своих силах художником-инженером. И вот фантастические, чисто кабинетные выдумки Вальтурио под карандашом первоклассного художника и оригинального экспериментатора, прошедшего трезвую школу мастерской флорентийского мастера на все руки, начинают приобретать если не вполне реальные, то, во всяком случае, близкие к реальности формы. Осадные лестницы и крюки для влезания на стены чередуются с приспособлениями для сбрасывания лестниц и отражения взлезающих на стены; пушки, бомбарды и кулеврины, как мы видели, почти отсутствующие у Вальтурио, перепевавшего античных и феодальных писателей, в бесчисленных видах и разновидностях сменяются проектами самых различных ядер и снарядов — шрапнельных и газовых, простых и сложных. Само собой разумеется, что не один Вальтурио являлся источником технических вдохновений и учителем; несомненно, использовались и другие книги и, что еще более важно, привлекался живой опыт практиков-техников, бомбардиров, военных. С лихорадочным любопытством, тем любопытством, с которым он часами и днями изучал ящериц и змей для чудища фигового щита, Леонардо выспрашивал, высматривал, записывал и зарисовывал технические приемы и ухищрения, чтобы затем применить их в своих собственных конструкциях. Среди записей нередки следующие: «Напомни Джованино бомбардиру о способе, которым возводилась феррарская башня без дыр»; или: «Спроси у мастера Антонио, как расставляют бомбарды или бастионы, днем или ночью»; или, рядом с зарисовкой: «Способ устройства подъемного моста, который мне показал Доннино».

Круг специалистов, к которым мог по таким вопросам обращаться Леонардо, был в Милане довольно значительным. Вокруг нового и многообещающего двора группировались в первую очередь именно военные специалисты. Виднейшим из них был любимец Лодовико — Галеаццо да Сан Северино, будущий муж его внебрачной дочери, неизменный победитель

всех турниров и джостр, на которых он, почти профессионал, участвовал не только в Милане, но и во всей Италии. Галеаццо был другом и вместе с тем покровителем Леонардо.

У военных специалистов Леонардо получал сведения о потребностях в тех или иных орудиях и приспособлениях и получал задания; разрешать же их ему помогали те бомбардиры Джованино, Антонио и другие, о которых упоминают его записи, — бомбардиры, ведавшие и изготовлением пушек и снарядов, и использованием их. А эти бомбардиры были в Милане первоклассными. В одном из бесчисленных хвалебных сонетов Беллинчионе воспевает четырех знаменитейших людей, процветавших под сенью Моро.[1] Четыре знаменитости эти: ювелир Карадоссо, гуманист Мерула, сам Леонардо и, наконец, бомбардир Джанино, — по всей вероятности тот, о котором говорит и запись Леонардо.[2]

Так, читая и расспрашивая, смотря и рисуя, проектировал Леонардо свои сложные, остроумные, изумительно нарисованные военные машины и приспособления, создавал проекты новых укреплений самого Милана и городов миланской территории. К сожалению, мы не знаем, что́ из разработанных им проектов было реально предложено к осуществлению и, тем более, что было осуществлено. Но по тому, что Беллинчионе и еще более близкий к Леонардо лично Лука Пачьоли говорили о нем всегда почти исключительно как о художнике, скульпторе, режеархитекторе, и по тому, что в течение дальнейшего его пребывания в Милане военные работы интересуют его, повидимому, значительно меньше, можно предположить, что проекты его казались, а может быть и были в действительности, либо слишком сложными и неисполнимыми, как и проекты других теоретиков, либо, наоборот, мало оригинальными. Во всяком случае несомненно, что особой славы своими военно-техническими работами

[1] «Моро» обозначает не только мавр, но и тутовое дерево, что постоянно давало повод как поэтам, так и художникам строить на этом различнейшие хвалебные аллегории.

[2] B. Bellincione. Le rime. Bologna, 1876, p. I, pp. 25—26.

в Милане Леонардо не снискал и не добился тех поразительных успехов, которые обещал своим письмом.

Второй отраслью, которой Леонардо занялся в первые миланские годы, была архитектура. Не менее, чем военные подвиги, с образом нового властителя, просвещенного тирана и мецената, связывалось представление о грандиозных строительных предприятиях, о постройках целых новых идеальных городов или, по крайней мере, о полной перестройке старых феодальных уличек, закоулков, башен и лавчонок в широкие площади и прямые улицы, обстроенные церквами и дворцами в новом, приближающемся к античности вкусе. Недаром совсем незадолго до Леонардо такой же флорентинец, как и он, — если можно ставить рядом столь различные по масштабу величины, — знакомый нам Антонио Аверлино Филарете, прибывший в Милан к новому двору Франческо Сфорца, выстроил в полуготическом, полувозрожденском стиле монументальное здание миланской больницы и посвятил Франческо, затем перепосвятил Пьеро Медичи свое любопытнейшее литературное произведение. Мы не знаем точно, читал ли Леонардо сохранившееся во многих списках, но в его время ненапечатанное произведение Филарете, но, повидимому, следует предполагать, что он его знал, так как упоминает имя Филарете в своих заметках миланского периода (C. A. 12 v). Но даже если самый трактат Филарете и остался ему неизвестным, то традиция этого фантастического и не особенно талантливого техника-мечтателя продолжала, несомненно, жить при Миланском дворе, заражая и Леонардо замыслами о создании, уже в честь сына Франческо, фантастических и идеальных городов или, по крайней мере, улиц и зданий.

Во всяком случае, именно в это время Леонардо усиленно штудирует трактат об архитектуре Витрувия, доставая различные списки и издания его у своих знакомых, о чем имеются многочисленные пометки в его рукописях (например, F. r. обл. K. v. об. K. 109 v.). По всей вероятности, одновременно с Витрувием Леонардо изучал и архитектурные работы Леона Баттисты Альберти.

В результате этих занятий страницы рукописей его покрылись рядом архитектурных и строительных рисунков, проектов и записей. Наиболее любопытны из них несколько фантастические проекты целых новых городов, отдельных улиц или зданий, выполненные, несомненно, в традиции Филарете. Идеальный город Леонардо проектировал бесконечно смелее, чем Филарете, и бесконечно ярче проявил он социальный заказ, вызвавший к жизни его архитектурное, а может быть и вообще все его художественное и техническое творчество. Улицы проектируемого города, обстроенные роскошными дворцами с колоннадами, портиками и лоджиями, расположены в трех ярусах. В первом ярусе на уровне второго этажа домов помещаются парадные улицы, проходящие между разукрашенными фасадами дворцов; по этим улицам запрещено всякое движение, кроме пешеходного движения знатных и богатых граждан города, — так прямо и заявляет текст Леонардо. Для обслуживающей челяди, движения грузовых телег и редких карет, а также, очевидно, для ходьбы рабочего цехового люда, о котором Леонардо вовсе не упоминает, предназначены улицы второго яруса. Расположенные на уровне земли, улицы эти идут перпендикулярно к первым и примыкают к задним фасадам и служебным дворам домов. Наконец, в третьем ярусе, ниже уровня земли, опять перпендикулярно к улицам второго яруса, идут расположенные под улицами первого яруса узкие подземелья-каналы для спуска нечистот. Схема радикальна, технически чрезвычайно остроумна и социально очень показательна. Город Леонардо как бы вещественно демонстрирует ту явную грань, которая, заменяя собой многоступенчатую иерархию феодализма, отделяет правящий и владеющий всеми благами класс от класса работающего и ничем, кроме своей рабочей силы, не владеющего, и притом отделяет его так резко, что с несомненностью дает почувствовать уже неоднократно отмеченную нами аристократизацию правящего класса.

Конечно, Леонардо занимался не только новыми принципами построения городов; они были скорее технической забавой, так как вряд ли кто-нибудь мог серьезно думать об их

проведении в жизнь, так же как и об осуществлении фантазий Филарете. Леонардо набрасывает проекты устройства идеальной конюшни с автоматической подачей корма в стойла, расположенной тоже в трех ярусах, дает эскизы и проекты дворцовых зал, фонтанов и ванных комнат, приспособлений для безопасного хранения большого числа крупных драгоценностей, уборных и даже публичных домов с оригинально устроенной системой выходов. Эти проекты прекрасно, хотя и бегло, зарисованы, имеют оттенок смелой оригинальности, граничащего с трюком и насмешкой новаторства, какой-то самоуверенной беспочвенности. Все это вряд ли делало их приемлемыми для кого бы то ни было и вряд ли особенно располагало к их автору заказчиков и всю придворную челядь, предпочитавшую, и может быть не без основания, более традиционных, но и более реальных архитекторов-ремесленников.

Такое отношение с чрезвычайной ясностью сказалось в первом известном нам достоверном эпизоде миланской жизни Леонардо. С 1480 г. был очень популярен вопрос о достройке венчающего все здание тамбура Миланского собора. Тамбур этот никак не удавалось закончить ни одному из работавших над собором архитекторов, хотя он был намечен уже в первом проекте. Более чем вероятно, что сразу же после своего приезда жаждавший выдвинуться и доказать на деле обоснованность своих письменных обещаний художник, наряду со многими другими архитекторами и инженерами, работал над проектом тамбура. В 1487 г. эта его работа получает официальное оформление: в этом году три известнейших архитектора, находившихся в то время в Милане (все не миланцы) — Лука Фанчелли из Сеттиньяно, автор ряда работ во Флоренции, Браманте и Леонардо, привлекаются к работе над тамбуром. Фанчелли и Браманте, повидимому, были экспертами, Леонардо — исполнителем одной из моделей. Леонардо сразу же принялся за дело, причем для технического выполнения пригласил плотника Бернардино Маджи, который с помощником исполнил модель по эскизам. С 8 августа 1487 г. по 11 января 1488 г. как Леонардо, так и Маджи, получили ряд авансов в счет оплаты

работы, размеры же последней выплаты и формулировка документа, ее фиксирующего, говорят о том, что в январе 1488 г. модель была выполнена и сдана. Мы точно не знаем, какая судьба постигла модель Леонардо, равно как и другие модели, но с несомненностью можем заключить, что окончательного решения в 1488 г. еще не было, так как в апреле 1490 г. к работе над тамбуром, в качестве ли проектировщиков или в качестве экспертов — не вполне ясно, вторично приглашаются Лука Фанчелли и Браманте, а также знаменитый Франческо ди Джорджио. Возможно, что только к этому времени и поступили все модели и что именно теперь предполагалось торжественное их рассмотрение при содействии Фанчелли, ди Джиорджио и Браманте. Как бы то ни было, 10 мая этого года Леонардо взял обратно свою модель, чтобы сделать в ней некоторые исправления, причем обещал вернуть ее по первому требованию. Через семь дней он получил аванс под эту новую работу и, конечно, не справился с ней к сроку, так что при рассмотрении проектов 27 июня его модель не фигурировала. В сохранившемся в делах Миланского собора заключении Браманте по проектам мы не находим его имени, и тот факт, что через некоторое время с Леонардо взыскали (или пытались взыскать) выданный ему аванс, с несомненностью говорит о том, что он, как обычно, вообще не выполнил начатой с необычайным рвением работы. Вместо сложных, может быть гениальных, но, несомненно, весьма трудно понятных и исполнимых проектов Леонардо, на конкурсе фигурировали модели скромных архитекторов-ремесленников, и премию получил проект последних строителей собора — Амадео и Дольчебоно. Они и закончили тамбур к 1500 г.

Работа, над которой Леонардо с обычной для него бурной страстностью ломал себе голову в течение нескольких лет, для которой он сделал сотни эскизов, прочитал десятки книг и продумал ряд сложнейших проблем, осталась невыполненной. Очевидно, он и в данном случае, как и в предыдущих, слишком усложнил свою задачу, слишком критически и оригинально подошел к ее решению, для того чтобы можно было надеяться

получить какой-нибудь реальный результат в короткое время, определенное условиями конкурса.

Задача, которая стояла перед Леонардо при проектировании тамбура, была далеко не легкой и чрезвычайно важной во всем развитии его творчества. Постройка больших куполов, как мы говорили выше, была одной из наиболее сложных, даже, пожалуй, наиболее сложной из технических задач его времени. Здесь перед архитектором почти с полной неизбежностью ставился ряд вопросов теоретического характера, наталкивавших его на необходимость либо производства детальных экспериментов над уже существующими постройками и моделями, либо же довольно сложных по состоянию науки того времени подсчетов и научных умозаключений, либо, наконец, и того и другого. Крупнейшие инженеры-архитекторы до и после Леонардо увековечили свои имена именно постройками или проектами куполов: имя Брунеллески нераздельно связано с первым большим куполом после античности—куполом Флорентийского собора; имя Леона Баттисты Альберти — с куполом церкви св. Франческо в Римини; наконец, имя товарища Леонардо по работе над тамбуром Миланского собора — Браманте — с первым проектом купола собора св. Петра в Риме, затем блестяще завершенного последним зодчим Возрождения—Микель Анджело. Все перечисленные мастера были в большей или меньшей степени теоретиками; разрешение сложной конструктивной задачи заставляло их всех заниматься предварительно проверкой своих проектов, но все они пользовались эмпирическими испытаниями моделей и к рассуждениям теоретического характера почти не прибегали. Достаточно сравнить докладную записку Леонардо с экспертным заключением Браманте,[1] чтобы понять всю глубокую творческую самостоятельность первого. Знаменитый урбинец, спокойно, кратко и совершенно эмпирически рассматривая сравнительные достоинства и не-

[1] Текст заключения напечатан в заметке за подписью G. M. и под названием «Bramante e il Duomo» в Archivio Storico Lombardo, A. V, 1878, pp. 538—544.

достатки отдельных проектов, отмечает, что̀ можно было бы взять в одном и что̀ в другом, но о каком-нибудь теоретическом подходе отнюдь не думает. Тон его заключения такой же деловой и несколько ремесленный, какой мы находим, например, в трактате другого эксперта — Франческо ди Джиорджио, рассмотренном выше.

Не так подошел к разрешению вопроса Леонардо. Его привычка браться за каждое дело обязательно не так, как другие, находить в каждом случае свои оригинальные пути, его уже неоднократно отмеченное выше стремление к теоретизированию, наконец его научная подготовка подсказали ему более сложные пути разрешения в общем обычного вопроса, чем те, которыми шли его конкуренты. Его шансы на успех были этим снижены почти до нуля, но это же дало ему возможность поставить и разрешить задачи, до сего времени являвшиеся загадочными для самых упорных исследователей его творчества.

Сохранившийся в записях Леонардо черновик письма, которым он сопроводил, повидимому, свою модель тамбура, с исключительной ясностью обнаруживает этот чрезвычайно характерный подход к вопросу. Вот этот черновик:

«Синьоры отцы депутаты! Как врачам, попечителям и целителям больных тел, надлежит разбираться в том, что есть человек, что есть жизнь, что есть здоровье и каким образом равенство и согласие элементов сохраняет его и несогласие их разрушает его и губит, так и, выяснив хорошо вышесказанное обстоятельство, они смогут восстанавливать здоровье у тех, кто его лишен. Вы знаете, что лекарства, будучи правильно применены, возвращают здоровье больным, и тот, кто хорошо их знает и будет хорошо их применять, сам также будет знать, что есть человек, что есть жизнь и комплекция, что есть здоровье, и, зная все это хорошо, будет знать их противоположности, и если он будет таков, он будет более близок к правильному лечению, чем всякий другой.

«То же нужно и больному собо́ру — т. е. врач-архитектор, который бы хорошо понимал, что есть здание, и от каких правил зависит правильная постройка, и откуда эти правила берутся,

и на сколько частей они делятся, и каковы причины, держащие здание как единое целое и делающие его прочным, и какова природа тяжести, и каково стремление тяжести, и каким образом тяжести должны быть сплетены, связаны вместе, соединены и какие действия рождают; и тот, кто будет обладать настоящим знанием этих вышеназванных вещей, оставит вас удовлетворенными своими рассуждениями и работами.

«Почему и на основании чего я, не порицая и не очерняя никого, постараюсь удовлетворить вас частью рассуждениями и частью работами, иногда объясняя результаты их причинами, иногда дополняя доказательства опытами, подкрепляя их некоторыми мнениями древних архитекторов, касающихся уже выстроенных зданий и того, каковы причины их гибели или их сохранения.

«Но чтобы не быть слишком пространным, я изложу вашим светлостям, во-первых, замысел первого архитектора собора и ясно покажу, каковы были его намерения, подтверждая это существующим зданием, и когда вы это ясно уразумеете, вы, несомненно, убедитесь в том, что сделанная мною модель имеет в себе ту симметрию, то соотношение частей, то единообразие, которые должно иметь строящееся здание» (С. А. 270 г.).[1]

В этом письме все примечательно — и чрезвычайно ранняя, вполне сознательная попытка построить техническую работу на научном исследовании, попытка, почти не повторявшаяся у современников Леонардо, и широкая программа исследовательской работы, намечаемой в качестве необходимой подготовки для разрешения архитектурной задачи.

Мы уже упоминали о том, что, очевидно, самая грандиозность этой программы вызвала неуспех работы, для которой она предназначалась. Но, повидимому, неуспех этот не отпугнул идущего упорно своими собственными путями мастера. Даль-

[1] На исключительное значение для анализа творчества Леонардо приведенного выше черновика письма обратил впервые внимание Кальви в названной нами выше работе.

нейшая работа его, работа, выполнявшаяся для самого себя, отнимавшая, повидимому, наибольшее количество времени, стоявшая в центре внимания и потому находившая постепенно все большее отражение на страницах его записей, пошла именно по пути, намеченному этой программой.

Действительно, в рукописях раннего периода пребывания в Милане технические, военные и архитектурные темы постепенно все чаще перемежаются с заметками научного содержания. Заметки эти по большей части касаются механики или близко с ней связанных начал сопротивления материалов, которые и в вышеприведенном письме находятся в центре внимания. При начальном обучении Леонардо получил самые основные знания по арифметике в пределах общепринятого тогда «абака». Молодым художником в мастерской Вероккио он, заглядывая во все уголки сущего, познакомился с основными физиками-схоластами. Теперь, когда он сам поставил перед собой задачу сознательного подхода к техническому творчеству, в первую очередь к строительству, потребовалось значительное углубление знаний в специальной области — механике. Леонардо, как мы уже имели несколько случаев отмечать, не был сторонником книжной эрудиции, но его презрение к «авторитетам», на которые молились окружавшие его гуманисты, относилось главным образом к преклонению перед текстом, перед фразой, которое претило его самостоятельности. Изучить или по крайней мере прочитать работы своих предшественников в разработке того или иного научного вопроса он считал необходимым. С обычной для него страстностью он разыскивает нужные ему книги, о которых узнает из других книг или даже только слышит в разговорах. Бегает по знакомым, владеющим этими книгами или хотя бы имеющим знакомых, владеющих ими, входит в сношения с книгопродавцами. Записи, вроде: «У наследников маэстро Джованни Гиринделло есть произведения Пелакано» (Foster III, 3 r.); «У мессера Вичентио Алипрандо, живущего в гостинице Медведя, находится Витрувий, принадлежащий Джакомо Андреа» (K. 109 v.); «У врача маэстро Стефано Капони, живущего у писцины, есть Евклид о весе (Foster,

III, 43 г.), или, наконец, «Поискать Витрувия у книгопродавцев» (K. v. обл.), постоянно встречаются в его записных книгах этого времени. Из этих записей, а также из текста самих научных заметок мы можем с достаточной достоверностью определить круг тех авторов, которых особенно рьяно разыскивал и с особенным рвением изучал новый миланский инженер.

Список этих авторов почти полностью совпадает со списком тех писателей по механике, произведения которых мы разбирали в первой части настоящей работы.

Здесь фигурируют и Аристотель, и Евклид, и Архимед, и Витрувий, и Герон, а затем Табит Бен-Курра, Иордан Неморарий во всех вариантах, Буридан, Альберт Саксонский, Биаджио Пелакани. Подробно на работах, на которых базировались механические штудии Леонардо, мы останавливались выше; в данной же связи достаточно упомянуть, что докладная записка к модели тамбура Миланского собора с неоспоримой ясностью свидетельствует о том, что уже к началу пребывания в Милане Леонардо упорно работал над сложными техническими проблемами. Он пришел к твердому убеждению в том, что эти проблемы разрешимы надлежащим образом только при помощи науки, в первую очередь механики, в изучение которой он с этого периода углубился, пересматривая все сравнительно богатое механическое наследие древности, средних веков и раннего Возрождения, с совершенно новым критерием в руках, критерием проверки научных теорий технической практикой, и совершенно новым заданием — так перестроить это наследие, чтобы оно понадобилось для этой практики.

Мы видели, что Леонардо в своем письме к Моро предлагал ему свои услуги в первую очередь в качестве инженера, военного и гражданского; видели, что деятельность его в первые годы пребывания при Миланском дворе была именно технической; жалование он также получал, повидимому, именно как инженер, а не как художник. По крайней мере об этом говорит, к сожалению точно не датированная, запись в миланском архиве, относимая ее издателем Кальви к промежутку между 1490 и 1500 гг.

и содержащая список миланских герцогских и городских инженеров, причем среди первых фигурирует «Леонардо да Винчи, инженер и художник».[1] Но, работая главным образом как инженер, Леонардо 25 апреля 1483 г. вместе с двумя миланскими художниками Эванджелистой и Джованни Амброджио да Предис заключили контракт на отделку часовни в церкви св. Франциска в Милане. Контракт с чрезвычайными подробностями оговаривает все мелочи выполнения работы, а для Леонардо предусматривает особые условия на случай, если работа не будет выполнена. Очевидно, слава о неаккуратности флорентийского мастера дошла и до Милана.[2] Работа, согласно договору, должна была быть выполнена в весьма короткий срок, к декабрю того же 1483 г., а сравнительно высокое вознаграждение в 900 лир плюс добавка по заключению экспертизы подлежали выплате в рассрочку до февраля 1485 г. Однако и первый и второй сроки прошли, а работа закончена не была. Значительно позднее, очевидно в девяностых годах, художники какую-то часть работы сдали, но заказчика она не удовлетворила, и он оплатил ее далеко не полностью. После этого в течение двадцати лет тянется тяжба между заказчиками, не желающими платить и требующими окончания работы, в первую очередь работы, выполняемой как раз Леонардо да Винчи, и художниками, представителем которых выступает Джованни Амброджио да Предис (так как брат его в девяностых годах умирает, а Леонардо уезжает из Милана), считавшими, что уже и представленная

---

[1] G. L. Calvi. Notizie dei principali professori di belle arti che fiorirono in Milano, p. III. Milano, 1869. Doc. II. Ingeniarii ducales: Bramantus ingeniarius e pinctor, Jo. Jac. Dulcebonus ingeniar. et sculptor. Jo. Batagius de laude ingeniar. et murator Leonardus de Florentia, ingeniar. et pinctor. Ali ducales ingeniarii —6 имен. Ingeniarii civitatis Mediolani— 3 имени.

[2] Все обстоятельства, связанные с этим заказом, изучены G. Biscaro в статье: «La commissione della Vergine delle roccie...» Arch. Stor. Lomb., s. IV, vol. XIII, A XXXVII, 1910, pp. 125—161. Некоторые новые документы добавлены в цитированной работе Beltrami — «Memorie...»

работа стоит полной оплаты. Тяжба заканчивается только 23 октября 1508 г. компромиссным решением. Самая работа в церкви св. Франциска заключалась для Леонардо, повидимому, в написании масляными красками образа Мадонны, в то время как Эванджелиста должен был резать и золотить алтарь, а Дж. Амброджио — писать добавочные образа. Образ, написанный и сданный в неготовом виде Леонардо, до нас дошел, и даже в двух экземплярах, из которых исследователи до сего времени не могут выбрать подлинный. Это знаменитая «Мадонна в скалах», первая близкая к завершению из известных нам крупных леонардовских композиций. В ней мы опять находим те же черты, которые подмечали в ранних, более мелких работах художника и которые для нас важны как отражающие и его научную индивидуальность. Наделенные знаменитыми «таинственными» леонардовскими улыбками, расположенные в труднейших раккурсах и помещенные в фантастический и мрачный пейзаж, фигуры этой картины свидетельствуют об обостряющемся стремлении к оригинальности, к самостоятельности, преодолению технических трудностей, к получению максимального и притом неожиданного эффекта. Детальное наблюдение и изображение мелочей, тщательная и хитроумная передача игры света и теней обнаруживают даже в этой живописной работе ученого-экспериментатора не меньше, чем художника-живописца.

«Часовня церкви св. Франциска» была частным заказом, выполнявшимся Леонардо. В восьмидесятых же годах он приступает уже по своей службе при дворе к выполнению другой, значительно более ответственной и трудной работы, которую ему также не суждено было закончить и которая принесла ему, может быть, наибольшую славу и безусловно наибольшие огорчения. Уже в своем письме к Лодовико Моро Леонардо предлагал ему выполнить конную статую отца его—кондотьера Франческо Сфорца. К работе над статуей, которую он, а вслед за ним и его друзья, называют «Колоссом», Леонардо приступил, повидимому, сразу же после приезда в Милан. По своему обыкновению, он начал грандиозные предварительные штудии —

изучал анатомию лошадей и античные конные статуи, рисовал бесчисленные варианты, думал о техническом выполнении. Однако, как обычно, за многочисленными приготовлениями работа не двигалась вперед. Отчаявшийся Лодовико в 1489 г. пишет Лоренцо Медичи, прося его послать ему другого скульптора, так как «хотя я поручил это дело Леонардо да Винчи, я не думаю, чтобы он смог выполнить его».[1]

Это ли или другое какое-нибудь обстоятельство подзадорило Леонардо, но во всяком случае в одной из своих относящихся к этому времени тетрадей он делает следующую запись: «23 дня апреля 1490 г. я начал эту тетрадь и снова приступил к конной статуе» (C. 15 v.). Повидимому, в том же 1490 г. он в основном заканчивает глиняную модель «Колосса»; об этом говорят латинские эпиграммы, которые придворные поэты, друзья Леонардо, пишут по поводу памятника, предназначая часть их, очевидно, для пьедестала его.

Как выглядел знаменитый «Колосс», мы точно не знаем, так как тетради Леонардо сохранили нам очень много совершенно различных и часто противоречащих друг другу зарисовок к памятнику; зато мы точно знаем размеры его. Друг, помощник и почитатель Леонардо, Лука Пачьоли, в предисловии к своему трактату «О божественной пропорции», восхваляя славные деяния Лодовико Моро в области науки и техники, говорит о пребывании при его дворе «знаменитейших и мудрейших людей, в том числе архитекторов, инженеров и также страстных изобретателей всяких новинок (e di nuove cose assidui inventori), как Леонардо да Винчи флорентинец, наш соотечественник, который с любым может состязаться в области скульптуры, отливки статуй (getto) и живописи, что всем доказывает удивительная и поражающая конная статуя, высота которой от макушки до поверхности земли — 12 локтей, т. е. в 36 раз больше представленной здесь линии *ab*, а вся масса использованной в ней меди достигает, примерно 200 000 фунтов (причем в каждом

[1] L. Beltrami. Memorie cit., p. 25, doc. 36.

фунте содержится 12 обычных унций)..» Из этого указания Пачьоли мы можем заключить, что и в данном случае, как обычно, Леонардо поставил себе задачу, явно выходящую за пределы всего виденного до него. Не только по художественному замыслу и выполнению, но и по размерам памятник должен был поражать. Но эти же гигантские размеры ставили перед исполнителем и поистине гигантские технические задания. Обращение с гипсовой моделью, ее перевозка и особенно отливка столь крупного объекта — все это должно было быть обдумано и разрешено, и Леонардо проектирует и заносит в тетради особые леса и подъемные приспособления, разрабатывает особую систему литья. Работа длится пятнадцать лет. Текст приведенного выше свидетельства Пачьоли как будто бы указывает на то, что статуя была закончена, между тем дело обстояло далеко не так. Глиняная модель действительно была закончена в девяностых годах, к отливке же Леонардо приступить не удалось. Определенное высказывание Пачьоли, повидимому, должно быть отнесено за счет его дружеского оптимизма. Он, очевидно, предполагал, что, пока книга его будет печататься, Леонардо закончит отливку, и все будет в порядке. Расчет Пачьоли, однако, оказался неправильным: он не принял во внимание ни особенностей характера своего друга, ни того политического положения, в котором в это время находился Милан. Леонардо бесконечно экспериментировал, затягивал дело и не решался приступить к отливке, пока политическое положение было благоприятным и Милан с его властителем Лодовико Моро был на гребне волны. Когда же художник, наконец, решился приступить к работе, политическое положение стало таким, что было не до грандиозных художественных начинаний. То громадное количество бронзы, которое должно было пойти на памятник и которое с колоссальными хлопотами в результате беспрерывных просьб и вымаливаний Леонардо удалось собрать, начало растрачиваться на отливку все более нужных орудий и просто продаваться, так как недостаток в деньгах давал себя чувствовать особенно остро. Так, очевидно, в 1494 г. большая партия бронзы, предназначенная для статуи, была продана феррарскому герцогу

также для изготовления артиллерии.[1] Сам Леонардо не получал даже своего жалованья, а на постройку памятника он вскоре перестал надеяться. В черновике письма к герцогу, относящегося к девяностым годам, он изобразил свое бедственное положение, прося хотя бы о скромной выплате и как бы в скобках прибавляя: «О коне я ничего не скажу, ибо знаю, какие стоят времена» (C. A.. 335 v.).

§ 2. РАСЦВЕТ

Таким образом, и работа Леонардо над «Колоссом» осталась незаконченной, причем крушение этой особенно горячей его надежды исключительно больно отразилось на мастере. В своем письме к Моро он обещал сделать невиданный памятник, работа над которым как-то особенно торжественно рекламировалась; уже были готовы латинские надписи к пьедесталу,— и все оказалось блефом: глиняная модель в течение нескольких лет еще стояла, но затем и она разрушилась. Сильное впечатление, произведенное на Леонардо этой неудачей, устанавливается с несомненностью несколькими его записями, например следующей, очевидно просто регистрирующей подслушанный разговор: «Вот человек, которого государь вывез из Флоренции для того, чтобы он выполнил эту работу; он достойный мастер, но у него столько дел, что он ее никогда не кончит» (C. A. 323 v. b.). Напоминания о неоконченном памятнике до конца

[1] Сведения об использовании для нужд артиллерии бронзы, предназначенной на памятник, несомненно, являвшемся одной из основных причин невозможности закончить статую, найдены и опубликованы M. Herzfeld в статье «Zur Geschichte des Sforzadenkmals. Raccolta Vinciana», XIII, 1930, 1. Сведения эти сообщаются Marin Sanuto в «Spedizione di Carlo VIII» и в своей наиболее интересной части гласят так: «Havendo fatto far (il duca di Ferrara) a maistro Danin fiol del quondam maistro Albergeto, tre modelli di pasavolanti, habuto in dono dal Duca 100.... di metallo, il quale era sta compra per costruire el cavallo in memoria del duca Francesco». Здесь очевидно тот же maistro Danin, о котором упоминает в своих записях Леонардо и которого воспевает в приведенном выше сонете Беллинчионе.

жизни Леонардо были для него худшей обидой. Так, известен рассказ Вазари о том, что не любивший Леонардо и соперничавший с ним в ряде флорентийских работ Микель Анджело, желая особенно больно уязвить его, напомнил ему о предпринятой им в Милане работе, которую он не сумел довести до конца.

Неудача в крупнейшем его начинании не сломила Леонардо; наоборот, он с еще большей энергией принялся за вторую свою большую работу —«Тайную вечерю», но неудача эта, несомненно, еще более обострила свойственную ему и до того замкнутость, еще больше отвлекла его внимание к научным работам, которые он в тиши своего кабинета обдумывал и записывал своим как бы шифрованным почерком. В этой области он работал не для заказчиков, а для себя самого. Здесь он был полновластным хозяином, и, казалось, успех ему был обеспечен. Действительно, чем дальше мы углубляемся в миланский период жизни Леонардо, тем больше находим в нем научной работы. В записях, ориентировочно датируемых девяностыми годами, заметки по оптике, по анатомии и особенно по механике занимают все больше места. Самые эти записи становятся все более продуманными и проработанными. Поиски и изучение книг, в первую очередь античных, арабских и схоластических работ по механике, становятся все более упорными, чтение этих работ все более внимательным и вдумчивым.

В это время создается ряд кодексов Леонардо, заполненных его научными записями. Из интересующих нас в первую очередь должен быть назван кодекс «А» Парижского института, содержащий значительное количество еще достаточно неуклюжих и часто грубо ошибочных записей, относящихся к области механики, рассыпанных среди записей технического характера и более или менее тесно с ними связанных.

Не прекращались в этот период жизни Леонардо и его технические занятия; наоборот, они продолжались в широких масштабах. Может быть наибольший интерес представляют технические работы, непосредственно связанные с научными

штудиями его, работы, составлявшие наиболее глубокую и тайную сердцевину всей деятельности этого чудака и фантазера, проекты и конструкции наиболее смелые и потому наименее осуществимые. Первое место здесь, конечно, занимали работы над летательным аппаратом. Уже в ранних флорентийских записях мы встречаем отдельные и пока еще скромные наброски аэропланов, если только можно применить современное слово к еще не оформившейся технической фантазии. В Милане эти работы приобрели большой масштаб. Мы не знаем точно, в какой последовательности шли работы Леонардо над летательными аппаратами, но с большой степенью вероятности можем предположить, что они прошли те же этапы, что и все его техническое творчество. Начав с чисто изобретательского экспериментирования, он в Милане постепенно стал понимать, что на этой базе ничего серьезного не построишь, что нужно внимательно и детально изучить всю обстановку полета, чтобы добиться чего-нибудь реального. И опять-таки на сцену появилась механика: сначала надо до малейшей точности изучить методы летания живых существ, осуществляющих полет естественно, т. е. птиц. Леонардо посвящает дни и месяцы наблюдению и зарисовке этих полетов, причем беспрерывно натыкается на вопросы о сопротивлении воздуха, об инерции, о планировании, т. е. на вопросы механического характера; затем надо создать машину, повторяющую движения птиц — нужно сконструировать сложную систему рычагов, тросов, блоков, т. е. опять-таки хорошо владеть основами механики. Именно в разгаре этих работ Леонардо делает следующую замечательную запись: «Птица есть аппарат, работающий на основании математических законов, причем вполне в силах человека сделать такой аппарат со всеми его движениями».[1]

Как видим из записи, сознание того, что все сущее подчинено математическим законам, уразумение которых только и дает возможность овладеть и распоряжаться по-своему этим

[1] C. A. 161 r. a. «L'uccello è strumento operante per legge matematica, il quale strument è in potestà dell'omo poterlo fare con tutti li sua moti...»

сущим,— сознание, столь характерное для всего механического материализма, у истоков которого стоит Леонардо, уже прочно владеет им и заставляет все более внимательно изучать эти законы, в первую очередь законы механики. Он говорит: «Механика есть рай математических наук, ибо при помощи ее мы подходим к математическому плоду».[1] Недаром он чрезвычайно картинно и выразительно называет землю «универсальной земной машиной» (A. 59 v.— «universal machina della terra»).

Работа над аэропланом была, конечно, в первую очередь личным и, наверное, тайным развлечением Леонардо. Технические занятия его ею отнюдь не исчерпывались,— он продолжал исполнять функции герцогского инженера и, следовательно, должен был вести ряд военно-строительных и просто строительных работ. В военных предприятиях, которые становились все более актуальными по мере усложнения политической обстановки, он, слишком медлительный и слишком фантазирующий, выступал чаще всего не как непосредственный руководитель работы, а как эксперт-консультант. В гражданских сооружениях, менее важных и срочных, он, повидимому ближе стоял к реальной технической практике. Он командировался в различные подвластные Милану города, например в Павию и в Геную, для выполнения в них различных технических поручений. Он усиленно работал над расширением и усовершенствованием миланской системы каналов, и так уже лучшей во всей Италии, а может быть и во всей Европе. Ряд каналов, соединявших Милан с окрестностями, и внутригородских каналов, очевидно, выстроен по его проектам и под его руководством. Усиленная работа над гидротехническими сооружениями, не менее чем работа над проблемами полета, приводила Леонардо опять-таки к механике, к вопросам истечения жидкостей из отверстий, давления жидкостей на стенки и дно сосудов, волнообразования.

---

[1] E. 8 v. «De la mechanica — La mechanica è il paradiso delle scientie matematiche perche chon quella si viene al frutto matematicho».

Но не работы производственно-технического характера отнимали в это время наибольшее количество сил и внимания у все более враставшего в миланскую придворную жизнь художника-инженера. На первом месте среди его технических занятий стоят, повидимому, работы технически-увеселительного характера. Мы видели, что одной из основных задач и Брунеллески и Чекки было устройство празднеств, спектаклей и шествий; Леонардо, пробовавший свои силы в этом направлении еще во Флоренции и сразу по приезде в Милан начавший подвизаться на этом поприще, по мере втягивания в придворную жизнь Миланского двора все более занимался этими пустыми, но хлопотными забавами.

В 1487 г., во время празднеств по поводу свадьбы номинального герцога Джан Галеаццо, Леонардо спроектировал и выполнил сложную сценическую установку, в которой вращались, появлялись и исчезали планеты, боги и герои. Рисунки в тетрадях мастера показывают, какие сложные механические приспособления должны были быть осуществлены, для того чтобы установка могла безукоризненно работать. В 1491 г., во время свадьбы фактического герцога Лодовико Моро, Леонардо опять в центре торжеств — режиссирует грандиозные и великолепные джостры, рисует костюмы и декорации. Однако среди пустых занятий и светских забав Леонардо не терял из виду своих все более настойчивых научных интересов. Устройство вертящейся сцены послужило ему для наблюдения над сложной системой рычагов, наблюдение джостры — праздничной стычки копьями — дало ему пример перемещения центра тяжести или же удара, передающегося другому телу.[1]

Но, выполняя те или иные технические или художественные поручения для придворных нужд, Леонардо старался быть не только мастеровым, обслуживавшим двор, но и равноправным

---

[2] A. 32 v. Quello che giostra, quando mette la lancia in resta trassmuta il cientro del suo peso inverso la parte dinnanzi del chavallo» C. A. 241 r. a «Conmie il giostrante immobile lascia il percussore immobile, e lo immobile ripiglia il moto lasciato da quel che si fece immobile».

членом блестящей придворной клики. Он фигурировал в ней как выдумщик и рисовальщик начинавших усиленно входить в моду замысловатых политических и любовных эмблем и аллегорий. Он выступал как рассказчик анекдотов, загадок и особенно любимого им жанра — пророчеств, в которых, описывая библейским языком современные факты, привычки и обычаи, показывал всю их неприглядность, жестоко и умно высмеивал их, причем особенно часто задевал религию и культ, к которым трезвый мастер относился более чем скептически. Приведем для примера два таких пророчества (из C. A. 37 v. c.):

«О деньгах и золоте: из темных пещер выйдет оно и заставит в поте лица трудиться все народы мира с великими горестями, страхом, потом, для того чтобы получить его помощь».

«О страхе бедности: злая и ужасная, она будет так устрашать людей, что они, как безумные, думая избежать ее, будут попадать в быстром движении в ее безграничную власть».

Само собой понятно, что более тесное срастание с Миланским двором и вообще акклиматизация в Милане расширили круг знакомства замкнутого, но внешне общительного и блестящего художника и инженера. Мы уже говорили о его дружбе с Галеаццо да Сан Северино, любимцем герцога, франтом и воякой, и о его близости к разного рода военным специалистам, с которыми ему пришлось столкнуться сразу же по приезде. Расширение научных интересов, все более интенсивное стремление к чтению научных работ и к разбору сложных научных вопросов вызывали и соответствующие новые знакомства. Леонардо старался сближаться со всеми людьми — не только профессионально занимавшимися науками, в первую очередь механикой, ибо таких было весьма немного в Милане, но и просто с дилетантами или владельцами научных книг. Среди таких лиц на первом месте, очевидно, стоял Фацио Кардано, отец знаменитого ученого Джироламо Кардано, богатый юрист, дом которого, наверное, был особенно приятен Леонардо, так как напоминал детскую обстановку родного дома. Фацио

был страстным любителем точных и естественных наук и большим знатоком их. Особенно внимательно и любовно занимаясь античными авторами, и в первую очередь Евклидом, он в то же время изучал и схоластических писателей и даже (единственная его печатная работа) издал трактат о перспективе (так называемая «Prospectiva communis») Иоанна Пекхама. Этот живой интерес не только к античным авторам, которым отличались гуманисты, и не только к схоластам, которых заставляли зубрить университетские математики, должен был особенно привлекать Леонардо, своим умом дошедшего до такого же отношения к научной литературе. Но, кроме родной атмосферы богатого дома, кроме близости подхода к научной теме, и самый характер всего на восемь лет старшего Фацио не мог не привлекать Леонардо. Так же, как он, миланский юрист хотел заниматься всем и ничего не мог кончить. Недаром много писавший сын его говорил о нем: «В математике он знал только основы, ничего не придумал нового и ничего не перевел с греческого, что происходило больше от разнообразия занятий и неустойчивости намерений, чем от недостатка природных данных»,— характеристика, которая почти буквально повторяет вазариеву характеристику Леонардо. С Фацио Леонардо, очевидно, беседовал на научные темы и особенно часто брал у него книги, необходимые для собственных занятий. В «Атлантическом кодексе» имеется ряд записей вроде: «Книга Джованни Таверна, которую имеет мессер Фацио» (С. А. 232 г.), или: «Попросить мессера Фацио показать тебе «О пропорции».[1]

Меньшее, но, несомненно, также серьезное значение для Леонардо имело его знакомство с другим, пожалуй еще более любопытным и оригинальным ученым-дилетантом, жившим в девяностых годах при Миланском дворе,— Пьетро Монти. Этот солдат, инженер, философ и богослов, проведший бо́льшую часть своей юности в Испании, выпустил в 1492 г. философскую

[1] Цит. по E. S o l m i. Le fonti dei manoscritti di Leonardo da Vinci. Giorn. Stor. d. lett Italiano, suppl. № 10—11, Torino, 1908.

работу «О познании человека» («De dignoscendis hominibus»), в которой рьяно защищал эксперимент в науке и резко выступал против засилия авторитета. Одновременно он усиленно занимался военным делом и военной техникой и выпустил в первых годах XVI в. (1509) две книги, посвященные этим вопросам. И как теоретик науки вообще, и как военный техник, в первую очередь энаток баллистики, Монти интересовал Леонардо; в его записях мы находим такие слова: «Поговорить с Пьетро Монти о способах метания стрел» (J. 120 r.).[1]

Семьей, с которой Леонардо поддерживал, повидимому, тесную связь, была семья Марлиани, два представителя которой — врачи и математики Джироламо и Пьер Антонио — интересовали Леонардо и сами по себе, и особенно как хранители научного наследия отца своего Джиованни Марлиани, крупнейшего итальянского математика, физика и механика первой половины XV в., ученого схоластически-университетского типа, подобного Биаджио Пелакани.[2] В этом доме Леонардо проводил много времени, роясь в рукописях покойного ученого (он умер как раз ко времени переезда Леонардо в Милан) и беседуя с его сыновьями. Рукописи Леонардо сохранили множество следов знакомства с трудами Марлиани. Запись же C. A. 225 r.—«Алгебра, которая находится у семьи Марлиани и написана их отцом» подтверждает и его знакомство с сыновьями.

Более или менее несомненно, хотя, насколько нам известно, не подтверждено упоминаниями Леонардо, и знакомство его с Георгием Валлой, о сочинениях которого мы подробно говорили в предыдущей части. Наконец, может быть важнейшим

---

[1] Сведения о Монти заимствованы нами из цит. работы E. Solmi — «Le fonti...»

[2] О Марлиани см. новую, достаточно исчерпывающую работу: Marshall Clagett. Giovanni Marliani and late medieval physics. N. Y., 1941, о которой нами опубликована рецензия в Известиях АН СССР Серия истории и философии, 1946, № 2.

из всех, хотя и наиболее поздним, было знакомство, быстро перешедшее в дружбу, с крупнейшим математиком второй половины XV в. Лукой Пачьоли.

Выпустив в 1494 г. свою «Сумму» (см. выше, стр. 300), Пачьоли в 1496 г., по приглашению Лодовико Моро, переехал в Милан для чтения лекций по математике и сразу же встретился с Леонардо, увлечение которого точными науками как раз к этому времени достигло апогея. Возможно, что уже до приезда Луки в Милан Леонардо читал его «Сумму», запись о покупке которой за большую цену в 119 сольди имеется в «Атлантическом кодексе». Но во всяком случае, отношения между художником-техником и математиком сразу же установились очень близкие. Леонардо учился у Пачьоли математике и механике в их школьном, университетском объеме, восполняя систематическими занятиями с ним пробелы своего образования. Об этом говорят записи вроде: «Выучи умножение корней у маэстро Луки» (С. А. 120 г.), или: «Попроси брата из Борго показать тебе книгу «О весах» (С. А. 90 v.). С другой стороны, сам Леонардо помогал математику в его как раз в эти годы заканчиваемой работе над трактатом о «Божественной пропорции», изготовляя рисунки для него и делясь своим опытом художника. Пачьоли, пожалуй, единственный из современников, который, подробно, во многих дружеских беседах познакомившись с научными начинаниями Леонардо, не отнесся к ним как к пустым бредням избалованного мастера. Наоборот, он чрезвычайно высоко ценил самостоятельные и смелые изыскания своего друга. Рассказывая в предисловии к «Божественной пропорции», на которое мы уже имели случай ссылаться о достопримечательностях Миланского двора и среди них о своем друге «архитекторе, инженере и изобретателе Леонардо да Винчи — флорентинце», описав подробно заканчиваемую им конную статую и «Тайную вечерю», Пачьоли говорит: «И не будучи удовлетворен этим, он принялся за неоценимый труд о местном движении, об ударе и весе и о всех силах, т. е. приобретаемых весах, и после того, как он уже с великим старанием закончил книгу о животном и людском движениях,

он стремился со всяческим рвением закончить надлежащим образом и эту книгу».[1]

Близость с Пачьоли, постоянные личные и научные разговоры с ним, несомненно, наложили печать на научное творчество Леонардо, которое к девяностым годам — последним годам его миланской жизни — можно считать окончательно сформировавшимся.

Однако не с одними придворными и учеными общался в это время мастер из Винчи. Приобретая, несмотря на все дефекты своей творческой физиономии, все бо́льшую известность, Леонардо сгруппировал вокруг себя как всякий крупный художник своего времени несколько учеников, образуя школу. Ученики эти, как обычно, жили вместе с ним, делали более легкие и вспомогательные живописные работы и одновременно учились приемам искусства мастера. Насколько нам известно, к научной деятельности Леонардо, составлявшей до некоторой степени его тайну, ученики его вовсе не имели отношения, и поэтому мы можем в данной связи ограничиться только упоминанием о них. Обращает на себя внимание то, что Леонардо подбирал своих учеников не по признаку художественной одаренности или же ума, а по признаку красивой наружности. По крайней мере и записи его, и воспоминания современников сохранили сведения либо о костюме, либо о внешности, но никогда о талантах его учеников. При этом один из учеников обыкновенно бывал особенным любимцем мастера, с необычайным вниманием, богато и по своему вкусу одевавшего его и прощавшего ему и безделие и даже прямые преступления, как это имело место с юным Джакомо. Большинство исследователей не без основания отождествляют последнего с упоминаемым позднее Салаи — воришкой, лгуном, франтом и обжорой, но все же постоянным объектом внимания и заботы мастера.

В начале девяностых годов Леонардо приступил к работе над своим наиболее крупным, наиболее знаменитым и, как это

[1] Op. cit. ed. cit., p. 33.

ни удивительно, почти законченным живописным произведением — громадной «Тайной вечерей» в доминиканском монастыре Санкта Мария делле Грацие. Тема «Тайной вечери», дававшая хороший повод к созданию большой, многофигурной композиции, была одной из излюбленных тем живописцев Возрождения; Леонардо же она занимала, как мы видели (см. стр. 325), уже с юношеских лет. Ему хотелось именно в этой столь традиционной и избитой теме сказать совершенно новое слово. Эскизы общего расположения группы апостолов, наброски отдельных голов, рук и ног их встречаются в юношеских и зрелых записях Леонардо постоянно. Получив же заказ, художник принялся за пересмотр их и за составление окончательных эскизов. Повидимому, в это время он выполнил те изумительные по техническому совершенству и экспрессии рисунки голов апостолов, которые являются, может быть, наиболее ценным из всего, что дошло до нас из его художественного наследия. Однако неоднократно отмеченное нами стремление Леонардо к постоянному экспериментированию выразилось не только в его отношении к содержанию художественного задания, но и к технике его выполнения. До него живописные изображения на стенах всегда писались фреской, т. е. особыми жидкими красками по непросохшему грунту. Техника эта подразумевала значительную быстроту работы и почти не допускала переделок и исправлений. Ни то, ни другое не подходило Леонардо. Он, уже с юношеских лет экспериментировавший над красками и грунтами, теперь с особенным рвением принялся за эту работу и, в результате многих опытов, получил особый грунт, по которому можно было писать масляными красками. Затем началась сложная работа по сооружению помоста, на котором художник должен был писать, и не менее сложная и кропотливая работа по грунтовке стены; только после окончания этой работы Леонардо приступил к самому живописному выполнению. Таким образом, даже в своем наиболее крупном художественном произведении Леонардо сочетал деятельность собственно художника с деятельностью техника-экспериментатора.

Как это обычно бывало у Леонардо, такой научно-экспериментаторский подход к заданию бесконечно затягивал его исполнение. Прошло три года — срок, в который обычный фресковый живописец давно выполнил бы в три раза большую работу, а Леонардо был еще далек до конца. 29 июня 1497 г. Лодовико Моро, напоминая одному из своих секретарей о срочных делах, предписывает ему «Торопить Леонардо флорентинца, чтобы он окончил работу в рефектории «Делле Грацие», чтобы приступить затем к другой стене этого рефектория, и заключить с ним соглашение, которое он должен подписать своей рукой, обязав его закончить работу в срок, который он сам укажет».[1] Очевидно, все средства воздействия были исчерпаны, оставался только юридический нажим. К этому же 1497 г. относится и знаменитое вступление к 58-й новелле первой части сборника новелл Банделло, в котором описывается метод работы Леонардо. Ввиду того, что описание это, как нам кажется, исключительно ярко характеризует метод работы Леонардо, применявшийся им, очевидно, как в художественной, так и в научной области, мы приведем это место полностью:

«Были как-то в Милане во времена Лодовико Сфорца Висконти, герцога миланского, несколько дворян в монастыре «Делле Грацие» братьев св. Доменика и в рефектории остановились, чтобы рассмотреть удивительнейшую и знаменитейшую «Вечерю» Христа с его учениками, которую в это время писал превосходный художник Леонардо Винчи Флорентинец, очень любивший, чтобы каждый, увидев его живопись, свободно высказывал свое мнение о ней. Он также часто имел обыкновение — и я много видел и наблюдал его — рано утром взлезать на помост, ибо Вечеря расположена довольно высоко над землей, и от восхода солнца до потемнения не выпускать кисти из рук и, забыв о еде и питье, беспрерывно писать. Затем могло пройти два, три и четыре дня, в течение которых он не брался за работу, или же он проводил около картины один,

[1] L. Beltrami. Op. cit p. 43—44.

два или три часа в день, но только созерцал ее, рассматривая и внутренне обсуждая ее, оценивая свои фигуры. Я видел также, как, в соответствии с тем, что ему подсказывал его каприз или что ему взбрело в голову (secondo che il capriccio o ghiribizzo lo toccava), он уходил в полдень, когда солнце находится в созвездии Льва, со старого двора, где он делал из глины своего удивительного коня, и шел прямо к монастырю «Делле Грацие»,— там взлезал на помост, брал кисть, делал один или два мазка на одной из фигур и тотчас же уходил и шел в другое место».

Именно так, как он работал над «Тайной вечерей», работал Леонардо, наверное, и над своими механическими и другими научными записями. Раздумье и экспериментирование, внезапное страстное увлечение работой и столь же внезапное охлаждение, беспрерывные мельчайшие поправки и постоянное недовольство результатом своей работы, одной из многих работ, выполняемых одновременно, — таковы основные характеристики метода Леонардо. Однако задержки, которые являлись неизбежным результатом этого метода, все больше начинали раздражать заказчиков. Положение, создавшееся в 1494—1498 гг., прекрасно рисуется анекдотом, передаваемым Вазари, который мы приведем с некоторыми сокращениями:

«Говорят, что приор этого монастыря очень назойливо торопил Леонардо с окончанием работы, так как ему казалось странным видеть Леонардо, стоящего иногда в течение полудня погруженным в раздумье, а он бы хотел, чтобы так же, как рабочие, копающие грядки в саду, он не останавливался, работая кистью. Не удовлетворившись, однако, этим, он пожаловался герцогу и так его зажег, что тот послал за Леонардо и стал торопить его, показывая, однако, что все это он делает по настоянию приора. Леонардо, зная, что ум этого правителя остер и разумен, захотел (чего бы он никогда не сделал с самим приором) побеседовать как следует о своей работе с герцогом. Он ему привел много соображений об искусстве и дал ему понять, что возвышенные умы нередко чем меньше работают, тем больше успевают, так как они в уме ищут новых

изобретений и формируют в нем те совершенные идеи, которые они потом руками срисовывают с того, что уже существует в их духе».

Леонардо сообщил затем герцогу, что им не окончены еще две головы — Христа и Иуды, для которых он не может найти выразительные лица, и, чтобы ускорить дело, предложил для головы Иуды в качестве образца голову надоедливого приора, что вызвало всеобщий смех и повело к посрамлению недостаточно возвышенного, по мнению Леонардо, заказчика, которой впредь «занимался только копанием грядок в саду».

В рассказе Вазари, несомненно основанном на вполне достоверном источнике (об этом говорит совпадение с Банделло), Леонардо времени расцвета своей творческой деятельности встает перед нами во весь рост. Бесконечное экспериментирование, неудержное новаторство в работе, а в жизни гордая заносчивость, замкнутое самомнение, уменье вести легкую светскую беседу, расцвеченную злыми остротами, но предназначенную только для понимающего, а не для недалеких людей вроде злополучного приора. Здесь мы видим опять ту же двойственность, которой отмечено социальное лицо Леонардо и которая немало повлияла на все его творчество. Выходец из высших кругов общества, к которым он принадлежит полузаконно, проведший детство в богатом буржуазном доме, а затем попавший в полупролетарскую, полумелкобуржуазную среду ремесленников, он в своем творчестве, в его утонченности, оригинальности, новизне, в своем подчеркнуто светском поведении ищет путей, внутренних и внешних, чтобы занять опять то положение равного среди привилегированных бездельников, которых он внутренне презирал, но к обществу которых толкало его глубоко сидевшее в нем честолюбие и взращенное воспитанием презрение к низшим, эксплоатируемым классам.

«Тайная вечеря», слишком широко известная для того, чтобы нужно было давать хотя бы краткую ее характеристику, была, как это ни удивительно, почти закончена Леонардо. Но если бесконечное экспериментирование художника привело только к задержке, а не к срыву исполнения самой крупной

его работы, то оно привело к медленной гибели самого произведения, свидетелем начала которой был сам художник. Грунт и состав краски, изобретенные им, оказались неудачными. Уже через несколько лет после окончания картина начала тускнеть и осыпаться, так что и в данном случае упорное новаторство Леонардо оказалось для него пагубным.

Окончание «Тайной вечери» совпало с последними годами, можно даже сказать месяцами пребывания Леонардо в Милане. Все это время Леонардо беспрерывно нуждался в деньгах, несмотря на то, что он получал немалое вознаграждение и, будучи, как мы видели, вегетарианцем, тратил весьма немного на свой домашний обиход. Свидетельством этого могут служить многочисленные счета, вкрапленные среди научных записей его кодексов, например (C. A. 27 r. a.):

Воскресенье

Мясо	10	сольди		
Вино	12	»		
Крупа	5	»	4	дин.
Зелень	10	»		
Сливочный сыр	4	»	4	»
Апельсины	3	»		
Хлеб	3	»		
	47	сольди	8	дин.

Понедельник

Свечи	6	сольди		
Вино	12	»		
Крупа	5	»	4	дин.
Сыр	4	»	4	»
Зелень	8	»		
	35	сольди	8	дин.

Вторник

Мясо	10	сольди		
Вино	14	»		
Хлеб	5	»	8	дин.
Крупа	9	»		
Зелень	8	»		
	46	сольди	8	дин.

Среда

Вино	5	сольди	
Апельсины	2	»	7 дин.
Стручки	1	»	
Крупа	5	»	4 »
Зелень	8	»	
	21	сольди	11 дин.

Приведенные счета, очевидно, регистрируют расходы на пропитание всего дома, т. е. Леонардо, его учеников и прислуги, причем ученики, которые, как видно из черновика письма к герцогу в C. A. 335 v., в числе двух-трех, жили в доме мастера на полном его иждивении, за это иждивение платили. Так, в кодексе H (41 v.) Леонардо записывает: «14 марта 1494 г. поселился со мной Галеаццо на условии уплаты 5 лир в месяц за свое содержание, с уплатой 14-го каждого месяца».

Было бы слишком громоздким да и затруднительным произвести полную экономическую расшифровку настоящей записи, но если мы учтем, что ученик платил Леонардо пять лир в месяц, а лира заключала в себе 20 сольди, средний расход в 35—40 сольди на все хозяйство не был слишком большим. Таким образом, Леонардо должен был, повидимому, быть вполне обеспеченным, в действительности же его материальное положение было постоянно катастрофическим. Причин этому много: во-первых, задержки выплаты жалованья,— из того же черновика письма (C. A. 335 v.) мы узнаем, что оно задерживалось чуть ли не на два года; во-вторых, значительные расходы на обширные и практически не оправданные эксперименты и, наконец, самое главное — отмеченная Вазари барская привычка тратить много на ненужные предметы роскоши и особенно на подарки своим красивым любимцам-ученикам, которые к тому же еще немало выпрашивали у него и просто крали. Записи вроде (J. 94 г.): «Плащ Салаи — 4 апреля 1497 г.»; «Салаи украл деньги», встречаются в этот период постоянно. Кроме того, надо иметь в виду, что просьбы о деньгах были одним из обязательных свойств придворного, так что Леонардо не всегда можно полностью верить. Как бы то ни было, но,

снисходя к этим просьбам и в награду за все выполненные Леонардо художественные и технические работы, Лодовико Моро в 1498 г. подарил ему участок земли, который тот, повидимому, сдал в аренду, значительно увеличив этим свои доходы. Подарок этот явился как бы последним актом многолетних отношений между герцогом и художником. Политический горизонт к этому времени с потрясающей быстротой покрывался грозными тучами, которые уже давно бродили вокруг. В августе 1499 г. французские войска Людовика XII вступили на итальянскую землю; в октябре они, не вынимая меча, заняли Милан, который предварительно был очищен Лодовико. Леонардо был мало сентиментален и не слишком обуреваем патриотическими чувствами,— с его эгоцентрическим скепсисом они плохо мирились,— просто он решил не подвергаться риску репрессий за близость к бывшему герцогу. Поэтому он срочно перевел все деньги, которые мог реализовать, в свой родной город — Флоренцию и, вместе со своим другом Лукой Пачьоли и любимым учеником Салаи, уехал в Венецию. Так закончилось первое пребывание Леонардо да Винчи в Милане, период, охватывающий, примерно, семнадцать лет его жизни, единственный длительный спокойный период, когда окончательно сформировалась его творческая личность и расцвело его разностороннее, беспорядочное, но во всем удивительное творчество.

Глава 3

СКИТАНИЯ

*

§ 1. НАЧАЛО КОНЦА

Сорокасемилетним мастером, с именем, знаменитым на всю Италию, человеком усталым и разочарованным, но в то же время еще полным разного рода замыслов и начинаний, уехал Леонардо из Милана. Несколько месяцев он, очевидно вместе с Лукой Пачьоли, жил в Венеции, а затем, проехав через ряд городов, возвратился в свой родной город Флоренцию.

Флоренция последних годов XV и первых годов XVI в. значительно отличалась от Флоренции того времени, когда юный Леонардо учился в мастерской Вероккио и создавал свои первые произведения. Она перенесла падение тирании Медичи, несколько лет власти фанатического доминиканца Савонаролы и ко времени приезда Леонардо находилась в состоянии некоего неустойчивого равновесия. В ней были на словах восстановлены старые, республиканские формы государственной жизни, на деле же властью овладели крупнобуржуазные элементы. Героические времена социальных, политических и экономических побед флорентийской крупной буржуазии давно прошли, внутренние беспорядки и общее политическое крушение Италии окончательно подорвали производство, торговлю и банковское дело, на котором базировалась власть некогда неукротимо энергичных и деятельных флорентийских магнатов. Положение этих магнатов теперь основывалось только на накопленных капиталах, все в большей мере вкладываемых в землю, и на некоей политической инерции.

Правители Флоренции этого времени, как и вся ее политика, робки, неуверенны в себе, осторожны и неудачливы. Характерно то, что в качестве своего главы — пожизненного гонфалоньера юстиции — они избрали в 1502 г. Пьеро Содерини, честного, неглупого, богатого, но настолько бесцветного и нерешительного вождя-лавочника, что за ним как историческая характеристика навсегда осталась злая эпиграмма его секретаря и врага Макиавелли о том, что место Содерини после смерти не в аду, а в лимбе для детей.

Во Флоренции Леонардо,— пожалуй, известнейшего мастера этого времени, когда величайшие художники XV в. начали сходить со сцены, а титаны XVI в. еще только появились на ней,— осаждали заказчики как местные, так и иногородние.

Особенно старалась получить возможно большее количество работ Леонардо Изабелла д'Эсте, герцогиня мантуанская, законодательница мод, образованная женщина, претендовавшая на то, чтобы задавать культурный тон во всей Италии. Она была одной из наиболее ярких представительниц того феодального перерождения итальянской правящей верхушки, которое все более глубоко проникало во все поры итальянской жизни. Она бомбардировала своих агентов письмами, в которых настаивала на том, чтобы они добились от Леонардо какой-нибудь его работы.

Но все попытки, попытки неоднократные и достаточно энергичные, рассыпались в прах. Леонардо не отказывался выполнить работу, он даже давал на это свое принципиальное согласие, но фактически не выполнял ничего. Он вообще не стремился к живописи, которой все в большей степени занимался только для заработка. Интересы же его, настоящие, глубокие интересы, лежали в другой сфере—в сфере науки, и в первую очередь механики. С первых годов жизни в Милане наука — познание той природы, которую обычный художник призван только изображать, все в большей степени занимала внимание Леонардо. Он постоянно метался от живописи и техники, которые его кормили и давали далеко

не безразличную для него славу, к кропотливым, почти никому не понятным и совершенно практически бесполезным занятиям математикой и механикой.

Первые месяцы после отъезда из Милана дали как бы окончательный перевес этим научным интересам. Придворная карьера Леонардо окончена — двор, при котором он надеялся обосноваться на всю жизнь, разрушен до основания. Очевидно, в конце 1499 г. Леонардо занес в свою тетрадь следующую меланхолическую запись, в которой со свойственным ему научным хладнокровием, не лишенным известного скептицизма, регистрировал крушение жизни ряда своих миланских друзей и покровителей: «Кастеллан засажен в тюрьму, Висконти увезен, а сын его убит, у Джан Делла Рода отняты деньги, Бергонцо начал, затем не захотел и потому судьба изменила ему. Герцог потерял государство, имущество и свободу, и ни одно из его дел не было закончено им...» (L. 1 r.). Последние слова Леонардо, несомненно, могли быть отнесены и к его собственным грандиозным начинаниям.

Ему не хотелось браться за новые заказы. Положение в Италии было катастрофически непрочным — выполнять мелкие, рядовые работы он органически не мог, а начинать что-нибудь большое не имело смысла. К тому же Леонардо в это время был сравнительно материально обеспечен. Вывезенные из Милана деньги, помещенные в надежные руки банка госпиталя св. Марии Новой, давали возможность получать ежемесячно в течение года-полутора приличную сумму и жить с двумя-тремя учениками по своему усмотрению, может быть первый и последний раз в жизни. Он с восторгом и увлечением предается своим любимым научным занятиям, перескакивая с одного предмета на другой, размышляя, экспериментируя, записывая.

Недаром один из агентов Изабеллы д'Эсте, сообщая ей письмом о своих довольно безрезультатных попытках получить что-нибудь у Леонардо, пишет между прочим: «Жизнь Леонардо весьма разбросана и неопределенна, так что кажется, что он живет ото дня к дню..., он усиленно занимается гео-

метрией и проявляет отвращение[1] к кисти», и в другом письме: «В общем его математические эксперименты (li suoi esperimenti matematici) так отвлекли его от живописи, что он не может выносить кисти».

Техническая работа Леонардо, повидимому, в течение этого времени не прекращалась. Так, сразу же по приезде он наряду с несколькими другими архитекторами и инженерами, дал заключение о причинах оседания церкви сан Сальвадоре и о способах ликвидации этого оседания. Заключение это, будучи весьма кратким, все же довольно заметно отличается от мнений других экспертов своим научным характером и явно связано с геологическими трудами Леонардо, которые как раз в это время усиленно занимали его.

Несмотря на то, что он уклонялся от просьб и поручений Изабеллы д'Эсте, Леонардо не оставлял и живописной работы, хотя, как сказано выше, предпочитал ей работу научную. В первые же месяцы своего пребывания во Флоренции он принялся за работу над одним из наиболее странных и непонятных своих произведений — так называемой «Св. Анной»— и закончил картон к этой картине. В картоне этом, так же как в выполненной несколько позднее на его основании картине маслом, экспериментаторство и заведомое оригинальничанье Леонардо выступило с особой силой. Все произведение задумано как известная пространственная и перспективная головоломка: нагроможденные на маленьком поле картины четыре фигуры расположены в возможно более сложных и трудных раккурсах, в возможно более сплетенных соотношениях, так что все вместе производит впечатление странной искусственности. Картон «Св. Анны»— первая живописная работа Леонардо после возвращения на родину — произвел, повидимому, громадное

[1] Перевод не вполне точен, но лучшего нам найти не удалось. В тексте сказано «impacientissimo al penello». Оба письма написаны доверенным лицом Изабеллы монахом Пьетро Нувелара и датированы: первое 3-м, а второе 4 апреля 1501 г. Цит. по L. Beltrami. Documenti cit., p. 65—67.

впечатление на художников и знатоков, о чем свидетельствует восхищенный отзыв того же уполномоченного Изабеллы д'Эсте. Но, несмотря на это, творец его не добился ни материальной, ни моральной компенсации.

Как и восемнадцать лет назад, незаметная жизнь в республиканской Флоренции не удовлетворяет избалованного придворным блеском мастера. В 1502 г. он опять сделал попытку связать свою судьбу с судьбой монарха-тирана, надеясь получить возможность более широкой творческой деятельности, в первую очередь технической и научной. В это время особенно высоко стояла звезда беззастенчивого, хитрого и жесткого политика, прообраза макиавеллевского «Государя», сына и полководца папы Александра VI — Цезаря Борджиа. Начав духовную карьеру, убив родного брата, расстригшись, продав и перепродав несколько раз сестру — знаменитую Лукрецию Борджиа, совершив ряд изумительных по тонкости и беспринципности политических махинаций, Цезарь быстро и ловко завязал тесные дружеские отношения с распоряжавшимся Италией французским королем и, казалось, уверенно шел к созданию для себя крупной, чуть ли не общеитальянской монархии.

Бессовестность этого самого классического из тиранов Возрождения мало беспокоила Леонардо, который и в молодости был в достаточной степени политически беспринципен, а к пятидесяти годам, после пережитых неудач, окончательно стал в позицию хладнокровного, слегка подсмеивающегося наблюдателя, блестящая же быстрая карьера Цезаря сулила громадные творческие возможности. В августе 1502 г. Леонардо поступает главным военным инженером к Борджиа. Художник получает сохранившийся до нас и помеченный 18 августа мандат, согласно которому все начальники гарнизонов, командиры и гражданские чины обязаны допускать его к осмотру интересующих его объектов, а все другие инженеры — выполнять его приказания. В качестве инженера Борджиа Леонардо странствует по Средней Италии, осматривает, консультирует, строит. Однако работа, взятая им на себя, скоро раскрыла

свои серьезные отрицательные стороны. Странствующий образ жизни не давал возможности серьезно сосредоточиться; постоянные и совершенно конкретные, по большей части весьма неинтересные и шаблонные технические задания не желавшего терять ни минуты Цезаря не давали возможности приняться за что-нибудь большое и оригинальное даже в области техники. Наконец, самое положение Цезаря при ближайшем рассмотрении оказалось далеко не прочным. Повидимому, по всем этим причинам и, может быть, и по ряду других Леонардо уже через несколько месяцев бросил службу у Борджиа и возвратился во Флоренцию, где мы застаем его в марте того же 1502 г. Четыре года, которые он здесь проведет,— последний творческий и сколько-нибудь спокойный период его жизни.

Вернувшись во Флоренцию, где у него на текущем счету еще оставались деньги, Леонардо сразу же принялся за все свои обычные занятия. В июле 1503 г. мы застаем его за важными для Флоренции политически и сложными технически работами по отводу реки Арно в другое русло со стратегическими целями войны с Пизой. Технические занятия (которые в это время вообще главным образом относились к сфере гидротехники), как обычно, сопровождались и усиленными научными занятиями. Повидимому, именно в это время уже свыше чем пятидесятилетний мастер начинает осознавать необходимость свести в какие-то, хотя бы предварительные, тематические комплексы те тысячи наблюдений, замечаний и мыслей, которые рассеяны по его многочисленным тетрадям. Он чувствует, что годы уходят, что острота глаза и мысли начинает притупляться и что в научной области, еще больше чем в живописи и скульптуре, не закончено решительно ничего.

И вот, используя каждый спокойный и свободный час Леонардо переписывает свои до того времени совершенно беспорядочные заметки в своего рода тематические тетради. Эти тетради он не считал окончательными трактатами на ту или другую научную тему; он считал их только предварительными сводами материала на эту тему, подлежащими еще дальнейшему упорядочению и обработке. Работа эта, судя по

приведенным выше сведениям, сообщаемым Лукой Пачьоли, была начата Леонардо в последние годы его жизни в Милане и относилась к наиболее интересовавшим его темам — учению о живописи и механике. Теперь же во Флоренции он работает над двумя сводными томами: одним, суммирующим научные обобщения его основных технических работ этого времени и содержащим почти исключительно наблюдения и мысли, посвященные воде, так называемым «Лейчестерским кодексом», и другим, суммирующим его аэромеханические записи и наблюдения, так называемым «Кодексом о полете птиц». Эти работы над проблемами полета, совершенно лишенные какой-нибудь непосредственной практической направленности, как некий аккомпанемент, сопровождали все научно-техническое творчество Леонардо, начиная с его первых юношеских лет во Флоренции, и получили широкое развитие в период усиления его научных интересов в Милане. Теперь же, во время его лихорадочной работы во Флоренции, они решительно сделались одним из главных, а временами, повидимому, главным сюжетом его работы. Он проводил часы за часами, иногда целые дни, за наблюдением полета птиц разных видов, внимательно и детально рассматривал их крылья, хвост, туловище и не менее внимательно пытался сконструировать машину, действующую по законам механики, которым подчинены птицы, и настолько сильную, чтобы человек при ее помощи мог, подобно птице, свободно летать по воздуху. Он обдумывает и вычерчивает в сотнях вариантов каждую часть летательного аппарата, каждое его сочленение, конструирует разного рода вспомогательные приспособления, и в первую очередь парашют, изобретателем которого он, несомненно, является. Временами ему казалось, что он уже совсем близок к осуществлению своей мечты, что вот-вот он создаст такое техническое творение, которое одним ударом уничтожит все препятствия на его пути, сразу сделает его знаменитым и покажет превосходство его методов работы и его гения. Именно в это время он записывает на обложке «Кодекса о полете птиц» знаменитые строки: «Большая птица начнет свой первый полет на спине своего большого

лебедя (cecero), наполняя вселенную изумлением, наполняя своей славой все писания, создавая вечную славу гнезду, из которого она вылетела». Однако такие почти мистические взлеты восторженной надежды, один из которых отражен в приведенной записи, ни на минуту не заглушали в Леонардо ясного сознания того, что достигнуть этого, годами страстно ожидаемого результата можно только упорным и спокойным научным трудом. Характерна в этом отношении запись «Атлантического кодекса», относящаяся скорее всего к этому же времени (С. А. 161 г. а.): «Птица есть инструмент (или приспособление — strumento), действующий на основании математических законов, причем вполне в силах человека сделать этот инструмент со всеми его движениями». И Леонардо страстно пытался создать такой инструмент, а для этого усиленно занимался механикой, в первую очередь проблемами рычага, так как аппарат его весь построен на системе рычагов, а затем и другими, более сложными проблемами. Само собой понятно, что в данном случае, как и в других, ему вряд ли во многом могли помочь геометрическая механика Архимеда и хитроумные измышления Иордана Неморария. Самая постановка вопроса должна была с абсолютной неизбежностью толкать его на другие пути.

Однако и в это время усиленных научных и технических штудий Леонардо отнюдь не оставляет своей художественной деятельности. Наоборот, он выполняет теперь две свои последние крупные работы, одна из которых на века осталась наиболее знаменитым памятником его творчества — «Джиоконду» и картон «Битвы при Ангиари».

Портрет монны Лизы, жены богатого флорентинца Франческо ди Джиокондо, занимал Леонардо, по сведениям Вазари, в течение четырех лет, т. е., повидимому, с 1502 по 1506 г. В этой скромной фигуре, которую художник обычного типа например Перуджино, мог написать в один, максимум два месяца, Леонардо хотел, повидимому, изобразить не нечто условно живописное, а настоящего живого человека, со всеми мельчайшими деталями и оттенками. Жилки на руках и на лбу,

два уловимые оттенки цвета, блеск глаз — все это, так же, как полет птицы или изгибы волн, с бесконечным, почти мучительным вниманием изучал Леонардо изо дня в день и заносил на бумагу и полотно. Подробно описывающий этот портрет Вазари говорит: «Всякий, кто хотел бы убедиться в том, насколько искусство может подражать природе, легко может убедиться в этом на данном портрете, ибо в нем были изображены (собственно подделаны — contrafatte) все мелочи, которые могут быть написаны с величайшей тонкостью».

В этом портрете, может быть известнейшем, популярнейшем из всех когда бы то ни было существовавших произведений искусства, несмотря на то, что он дошел до нас сильно реставрированным, а следовательно испорченным, мы имеем исключительно показательный памятник той тесной связи, которая существовала в творчестве Леонардо между искусством и наукой. В основе этого произведения лежит несомненная глубокая и настоящая исследовательская работа, работа не только гениального художника, но и ученого-экспериментатора. Недаром как раз в это время Леонардо усиленно занимался кроме механики еще и анатомией, присутствуя на весьма редких и непопулярных в то время вскрытиях и составляя целые тетради анатомических зарисовок, которые специалистами считаются первыми и, пожалуй, наиболее совершенными из ранних зарисовок этого типа.[1]

Работа над портретом Джиоконды была, повидимому, глубоко частным делом Леонардо, так же, например, как его работа над аэропланом. Он не мог рассчитывать на большие выгоды или большую славу в результате ее окончания, текущий же счет в банке начинает истощаться; надо браться за какую-нибудь более выгодную и крупную работу, и с октября 1503 г. мы застаем его за такой работой. По заказу флорен-

[1] Об анатомических штудиях Леонардо существует целая литература, сведенная воедино в превосходной монографии Ph. Mc. M u r r i c h. Leonardo da Vinci — the anatomist. Baltimore, 1930 (Carnegie Inst.., Publ № 411).

тийской Сеньерии, в которой играл в это время большую роль недавно избранный пожизненным гонфалоньером Пьерто Содерини, Леонардо выполняет роспись для одной из зал Сеньерии — центрального правительственного здания Флоренции. Заказ был ответственным, и, даже по условиям договора, его исполнение должно было растянуться на ряд лет. Первый этап, выполнение картона, должен был быть закончен к февралю 1505 г., т. е. через полтора года. Работа над ним велась Леонардо в одной из зал монастыря Санта Мария Новелла, причем, что чрезвычайно характерно для мастера и его технических наклонностей и увлечений, он продолжительно и с особенной любовью занимается конструированием рабочего помоста, берет для этого специальных мастеров, требует у Сеньерии материалов, создает сложные и замысловатые конструкции. Так и к выполнению большой, чисто живописной работы Леонардо привлекал занятия своей любимой механикой,— «раем математических наук», ибо чем, как не системой рычагов, блоков, шестерен, винтов, мог быть выстроенный им помост?

Официальным сюжетом для своей картины Леонардо избрал битву, происшедшую в 1440 г. при Ангиари между миланскими и флорентийскими войсками, фактической же темой—изображение человеческого зверства в его наиболее ярком проявлении— войне, которую Леонардо не раз видел на службе и у Лодовико Моро, и у Цезаря Борджиа и которую он в своих записях называл «наиболее зверским безумием» («pazzia bestialissima»).

Своим неопределенным, можно сказать двусмысленным социальным положением, исключительной одаренностью, грандиозными замыслами и постоянными неудачами Леонардо, уже с юности проявлявший признаки некоторого скептицизма, с годами все больше скатывался на позиции стороннего наблюдателя, презрительно и несколько брезгливо осматривающего все происходящее на его глазах. Жизнь, которую он с такой страстью старался понять, изучить и победить, не удавалась ему, и он, обладавший весьма замечательным и, нужно сказать, вполне законным самомнением, склонен был приписывать это

не себе, а ей. В своем последнем большом произведении Леонардо и захотел, повидимому, изобразить жизнь такой, какой она ему представлялась, — звериной, грязной и кровавой схваткой людей, почти не имеющих человеческого облика.

Работа подвигалась, как обычно, медленно, но в августе 1504 г. была подстегнута тем, что Сеньерия передала роспись противоположной стены зала совета быстро выдвигавшемуся и грозившему затмить все старые светила Микель Анджело. Последний избрал своим сюжетом мужественную и оптимистическую сцену купанья флорентийских воинов, которые, захваченные военной тревогой, быстро и дисциплинированно вооружаются, чтобы встретить врага. Вместо леонардовской пыли, крови и ярости замысел Микель Анджело давал свежий воздух, героизм и спокойствие. Разному замыслу соответствовало и разное исполнение. Уже через несколько месяцев после начала картон Микель Анджело был закончен и выставлен в зале совета для обозрения. Успех его превзошел все ожидания. Сотни восторженных зрителей каждый день толпились у картона, восхищаясь им. Леонардо же все еще работал. Его желание не отстать от своего конкурента диктовалось не только вполне понятным чувством соревнования, но и тем, что между ним и Микель Анджело отношения были уже к этому времени, очевидно, натянутыми, в результате разногласий по вопросу о месте установки знаменитого «Давида» Микель Анджело. Леонардо, участвуя вместе с рядом других художников в обсуждении этого вопроса, 25 января 1504 г. высказал мнение, противоположное мнению самого Буонаротти, чем, повидимому, настроил против себя раздражительного и мнительного скульптора.

Очевидно, к этому времени относится передаваемый анонимным биографом Леонардо анекдот, который, независимо от того, отражает ли он действительно имевший место факт, как будто бы правильно передает и отношения между художниками, и особенно мнение, которое прочно сложилось о Леонардо и его творчестве. Вот перевод этого места:

«Когда названный Леонардо проходил вместе с Г. ди Гавина у церкви Санта Тринитá, против скамьи Спини, там находилось общество почтенных людей, которые обсуждали одно место из Данте. Они подозвали Леонардо и попросили, чтобы он объяснил это место. Случайно как раз в это время проходил там Микель Анджело, и один из компании подозвал и его. Леонардо же ответил: «Микель Анджело вам объяснит это место». Микель Анджело же показалось, что он сказал это, чтобы подшутить над ним, и он ответил гневно: «Разъясни его ты сам, сделавший рисунок коня для того, чтобы потом отлить его из бронзы, не смогший отлить его и со стыдом бросивший это дело». Сказав это, он повернулся и пошел прочь. Леонардо же остался и сильно покраснел. И еще Микель Анджело, желая уязвить Леонардо, сказал: «И эти каплуны миланцы верили тебе!»[1]

Из этого рассказа ясно, что положение Леонардо во Флоренции было незавидным; слава о его медлительности, подтверждавшаяся исполнением им «Битвы при Ангиари», распространилась повсеместно, да к тому же начинали поговаривать о том, что он вообще ничего не может окончить, что он фантазер и мечтатель, а не мастер. При таких условиях надо было скорее кончать работу, и к концу 1504 г. Леонардо, очевидно, закончил картон и приступил к росписи стены залы совета. Но бросить свои обычные методы он все-таки не мог; сначала начинается постройка сложного и замысловатого помоста, затем экспериментирование с грунтами и красками и только после этого постепенно самая работа. Однако подгоняемый нетерпением заказчиков и собственным нервным состоянием, художник экспериментирует поспешно и результат получается еще более неудачный, чем в «Тайной вечере». Грунт, по которому он пишет масляными красками, подогревая затем снизу поставленными жаровнями, хорошо держит краски внизу, в непосредственной близости к огню, наверху же краски текут. Едва начав работу, Леонардо бросает ее, подтверждая сложившееся о нем мнение, и в середине 1506 г. уезжает в Милан, где в это

[1] Перевод дан по L. Beltrami. Doc. cit., p. 163.

время, казалось, окончательно упрочилось французское владычество.

Так полным крахом кончился последний спокойный, условно говоря, период жизни Леонардо, период, в который он пытался создать итоговые произведения — картины, выражающие его отношение к окружающему миру, и свести воедино свои научные заметки, создав из них цельные трактаты. Ни то, ни другое ему не удалось. Последние тринадцать лет жизни Леонардо — годы беспрерывных скитаний, тяжб и постепенного увядания его творчества. Поэтому мы в настоящей работе, занимающейся биографией нашего героя, лишь поскольку она отражала формирование его творческой физиономии, пройдем через эти последние годы быстрым шагом, не задерживаясь на деталях.

§ 2. УМИРАНИЕ

6 июля 1504 г. умер отец Леонардо, и таким образом порвалась последняя нить, связывавшая его с родным городом. Дела его были плохи. В счет платы за «Битву при Ангиари», были получены и истрачены значительные суммы; отношение Сеньерии, возглавляемой недалеким и расчетливым Содерини, к художнику, который умел обещать, брать деньги, но не умел выполнить работу, были решительно испорчены. Денег на текущем счету не было. Только одна надежда на часть отцовского наследства давала возможность думать о безбедном существовании в течение нескольких месяцев. Но наследство оспаривается законными детьми, затянувшаяся тяжба в течение ряда дальнейших лет отнимает у Леонардо массу сил и энергии, а их у него и так уже остается немного.

Понятно поэтому, что Леонардо охотно принял приглашение маршала д'Амбуаза, французского начальника Миланской области, приехать для выполнения неизвестных нам, очевидно живописных работ, в Милан, хотя для этого ему 30 мая 1506 г. пришлось дать письменное обязательство и выставить поручителя в том, что он вернется в течение трех месяцев. Срок этот, однако, прошел, но Леонардо, который

с легким сердцем отдыхал под крылышком богатого и могущественного мецената от дрязг и хлопот флорентийской жизни, и не собирается возвращаться. В августе д'Амбуаз пишет флорентийской Сеньерии, прося ее продлить срок пребывания Леонардо в Милане, на что Сеньерия отвечает, что она не возражает против того, чтобы Леонардо остался в Милане сколько ему угодно, но категорически требует, чтобы он вернул полученные им деньги. Сам гонфалоньер Содерини занес в свои записи, что Леонардо «вел себя по отношению к нашей республике не так, как следует, ибо он взял значительную сумму денег и только начал большое произведение, которое должен был сделать».[1]

Между тем Леонардо, как обычно, принялся за многочисленные и разнообразные работы. Грандиозными планами, глубокими и тонкими предложениями и светской беседой он окончательно очаровал миланского наместника, который 16 декабря опять просит флорентийскую Сеньерию отсрочить время отъезда Леонардо, причем пишет: «После того, как мы лично встретились с ним (Леонардо) и на опыте проверили все его доблести, мы действительно убедились в том, что имя его знаменито в области живописи, но темно в тех областях, которые заслуживают не менее похвал, ибо в них он весьма доблестен, и мы должны признать, что в доказательствах, на деле данных им во всем, что мы просили,— в чертежах и архитектуре и других вещах, нужных нам, он нас удовлетворил в такой мере, что мы не только остались довольны им, но испытываем восхищение к нему».[2] Затем положение еще более осложняется, в дело вмешивается сам король Людовик XII, который в январе 1507 г. просит оставить Леонардо на его службе. Сеньерия, не желая портить дипломатические отношения с Францией из-за нескольких десяткой дукатов, соглашается, скрепя сердце, еще отсрочить время возвращения Леонардо и дает ему даже соответствующее официальное распоряжение.

---

[1] L. Beltrami. Doc. cit., p. 112.

[2] Ibidem, p. 113.

В Милане Леонардо, очевидно, живет прекрасно. Д'Амбуаз возвращает ему подаренный некогда Лодовико Моро участок земли с виноградником, отобранный было французами. Тот же д'Амбуаз в июле 1506 г. просит Сеньерию оказать поддержку Леонардо в его тяжбе с братьями, разрешает, наконец, бесконечную тяжбу с церковью св. Франциска по поводу «Мадонны в скалах» и даже отпускает Леонардо на короткое время во Флоренцию для улажения личных дел. Леонардо едет туда в августе 1507 г. и остается до середины 1508 г., когда возвращается в Милан, чтобы больше уже не увидеть своего родного города.

Творческая деятельность Леонардо за эти годы хотя и не угасает совершенно, но постепенно падает. В области живописи он берется только за сравнительно небольшие произведения— портреты, станковые картины; в области техники занимается вопросами строительства каналов и укреплений, все меньше думает об аэроплане и все больше времени и внимания уделяет разного рода развлекательным приспособлениями, вроде описанного Вазари механического льва, который при въезде в Милан Людовика XII пошел к нему навстречу и открыл свою грудь, оказавшуюся наполненной королевскими лилиями. В области науки, в наименьшей мере зависевшей от внешних неудач, работа продолжается более упорно, хотя и здесь начинает замечаться умирание. Усиленно и постоянно ведутся анатомические штудии, и соответствующие зарисовки продолжают заполнять листы и тетради. Не прекращаются и наиболее близкие исследователю работы по механике, которые он опять и опять, как некогда в 90-х годах, пытается свести воедино, создав трактат, суммирующий работу ряда лет. Но и здесь сил у него уже немного, и некогда бодрые надежды на будущее сменяются неуверенностью в успехе грандиозного начинания, которое, будь оно выполнено, наверное серьезно изменило бы развитие науки.

Характерно звучит запись первых строк той тетради, которая составляет начало нынешнего «Кодекса Арундель», тетради, где связано вместе значительное количество механи-

ческих отрывков и как будто бы сделана попытка целостной их обработки: «Начата во Флоренции, в доме Пьеро ди Баччьо Мартелли, дня 22 марта 1508 г. И это будет собрание без порядка, извлеченное из многих бумаг, которые я писал, надеясь затем поместить их на свои места, в соответствии с темами, о которых они трактуют. Я думаю, что раньше достижения конца этой тетради мне придется повторять одну и ту же вещь много раз; поэтому, читатель, не ругай меня, ибо предметов много и память не может их сохранить и сказать: этого я не хочу писать, ибо уже раньше написал, так что если бы я хотел не впасть в эту ошибку, мне было бы необходимо в каждом случае, когда я хотел бы написать какую-нибудь запись (V), чтобы не повторять ее, перепечатывать все ранее написанное, тем более что я пишу с большими перерывами...» (Cod. Arund. 1 г.).

Непосредственно за этой записью мы находим тянущееся на первых двенадцати листах сплошное и почти строго последовательное изложение одного из вопросов механики (прогиба нити). Затем, на ряде следующих страниц — записи, относящиеся к различным проблемам той же дисциплины. Записи эти отражают, повидимому, наиболее высокий уровень механических штудий Леонардо. Отличаясь значительной зрелостью и ясностью физической мысли, они еще не носят на себе следов старческого разложения, которые мы отметим в следующих кодексах. Чувствуя приближение старости, Леонардо стремился зафиксировать еще живые для него, но уже начинавшие терять свежесть научные достижения своей юности.

Из характера его работы, равно как из приведенной записи, явствует, что к 1508 г. он уже вряд ли вел какие-нибудь серьезные новые исследования по механике. Главная его работа в этой области сосредоточивается на списывании старых записей и приведении их в порядок. Однако сил и энергии уже нехватает, чтобы надеяться на составление из хаоса разновременных записей цельного, стройного произведения. Из обращения к читателю, немыслимого в записях молодости, ясно, что он внутренне уверен в том, что дальше предварительного,

глубоко суммарного подбора отрывков своих исследований по широким темам ему пойти не удастся, что и это его, может быть грандиознейшее и важнейшее из всех, творческое предприятие останется неоконченным и по существу недоступным потомству.

Для характеристики научного творчества Леонардо последнего десятилетия его жизни весьма показательно и то, что в нем все бóльшую, а в последние годы и абсолютно доминирующую роль играют геометрические упражнения. При этом не упражнения, связанные с запросами строительной или живописной техники, попадавшиеся нередко и в его ранних записях, а имеющие чисто созерцательный характер: задачи перестройки одних фигур в другие, комбинирование фигур и тому подобные забавы, отражающие уже несомненно старческий упадок сил и научных чаяний, хотя иногда и не лишенные интереса сами по себе.

Возвратившись в Милан в 1508 г., Леонардо продолжает те же занятия. Он немного рисует, немного занимается тех, никой, немного наукой и, повидимому, довольно часто бывает при дворе, от которого получает определенное жалованье, часто, впрочем, подолгу задерживаемое. Кроме того, в качестве дополнительного вознаграждения он получает доход от некоторого количества воды в одном из миланских каналов. Способ вознаграждения доходами от воды в городах, где было распространено промышленное использование каналов, был довольно обычным, но еще более неверным, чем жалованье. Действительно, записи Леонардо, относящиеся к этому времени, пестрят жалобами королю и его представителям на обсчеты, недостаток воды и т. д. Вообще эти последние годы жизни Леонардо производят чрезвычайно тяжелое впечатление. Никогда не обладавший хорошим характером, он к старости стал брюзглив, раздражителен и придирчив. Как раз в это время, очевидно, старый любимец Салаи сменился новым, Франческо Мельци; его, а также слуг надо было кормить и одевать, да и сам начинавший прихварывать мастер нуждался во все более внимательном, а следовательно и дорогом уходе. И Леонардо требует

и просит, судится и выпрашивает, тратя значительную часть своего драгоценного времени на тяжбу с братьями, на окончание тяжбы с церковью Сан-Франческо, на переговоры о недоплатах жалованья и споры о недодаче воды.

В области живописи Леонардо в это время, очевидно, выполнял свои последние, наиболее спорные работы — искусственные как по замыслу, так и по выполнению. Полные каких-то непонятных намеков и недомолвок, эти Иоанны крестители, Вакхи и Леды ясно говорят о творческом умирании гениального мастера. В области науки он занимался в это время геометрическими построениями и анатомией. Последняя интересовала Леонардо как художника и экспериментатора, особенно же усердно занялся он ею, повидимому, во время работы над «Битвой при Ангиари» во Флоренции, где принимал участие во вскрытиях; этим он продолжает заниматься и в Милане и особенно во время своего вторичного краткого пребывания во Флоренции в 1507—1508 гг. Как сообщает один из современников, Леонардо сам говорил о том, что участвовал во вскрытиях свыше тридцати трупов как мужских, так и женских.[1] Результатом же этих вскрытий явилось поистине громадное количество мелких и крупных, детальных и более общих анатомических зарисовок, которые предназначены были опять-таки для того, чтобы составить единую, большую, всеобъемлющую работу по анатомии человека и млекопитающих — нечто вроде того, что через несколько лет дал в своей основоположной «Фабрике» Андрей Везалий. В 1510 г. работа продвинулась уже настолько далеко, что Леонардо рассчитывал в ближайшие месяцы закончить ее и занес на один из анатомических листов запись: «Этой зимой 1510 года я надеюсь закончить всю эту анатомию».[2] Однако и это намерение, повидимому, не осуществилось. Анатомические штудии Леонардо, потрясающие по глубокой наблюдательности, остроте и свежести зрения и в

[1] Сообщение De Beatis, приведенное у W. v. Seidlitz, op. cit., v. II, p. 150 и 292.

[2] Windsor. Anatomia F. A. 2 v. Цит. по L. Beltrami. Doc. cit., p. 131.

особенности по чистоте, легкости и совершенству рисунка, вызвали и вызывают восхищение анатомов вплоть до наших дней. Для нас же они важны как последний, наиболее поздний памятник некогда неутолимой, но теперь все более утоляющейся жажды его к детальному, серьезному и самостоятельному изучению природы, к страстному стремлению вырвать у нее ее тайны, пользуясь при этом любым доступным оружием — книгой, экспериментом, карандашом художника.

Казалось, Леонардо обрел в Милане, своей второй родине, место окончательного успокоения; но уже в 1512 г. начало выясняться, что это не так. Положение французов в Милане начинает колебаться все более серьезно. Союз папы — воинственного, упрямого и своевольного Юлия II — с венецианцами и, что особенно важно, с испанцами опирался на наемные швейцарские войска и выставлял в качестве законного наследника на миланский престол сына Лодовико Моро — двадцатилетнего Максимилиана. Он начинает военные действия с французами и к 1512 г. одерживает победу за победой, так что в декабре 1513 г. сын когда-то наиболее близкого Леонардо покровителя торжественно въезжает в завоеванный Милан. Но Леонардо за это время успел из друга и любимца Сфорцы сделаться другом и любимцем французского короля и вряд ли мог ожидать чего-нибудь кроме репрессий от нового миланского властителя. Поэтому, просидев тихо несколько первых месяцев торжества новой власти, Леонардо в сентябре того же года уезжает из Милана, направляясь в Рим. Флоренция, после неприятностей с «Битвой при Ангиари», была для него закрыта, и он ограничивается одним-двумя днями пребывания в ней проездом. Выезжая, Леонардо заносит в одну из своих тетрадей: «Я уехал из Милана в Рим 24 сентября 1513 г. с Джиованни Франческо Мельци, Салаи, Лоренцо и Фанфойя» (Е. 1. г.). Он ехал не один, а в сопровождении целой школы учеников, любимцев и слуг.

Содержать такой большой штат можно было, только устроившись сразу же под крылом у какого-нибудь богатого и могущественного покровителя, и Леонардо, уже при выезде из Милана, имел в виду такового. В мае 1513 г. на папский престол

избирается сын Лоренцо Медичи Великолепного кардинал Джиованни Медичи, принявший папскую тиару под именем Льва X. Новый папа и ряд его ближайших родственников, которых он по твердо установившейся папской традиции тащил за собой, был знаменит как великий жуир, любитель искусств, весельчак и расточитель. Именно про него ходил знаменитый анекдот о том, что, вступив на папский престол, он сказал своему брату Джулиано, будущему покровителю Леонардо: «Будем наслаждаться папством, если бог его дал» («Godiamoci il papato, poiché Dio el l'ha dato»). У такого папы, которого, при избрании, надписи на триумфальных арках квалифицировали как Палладу, в противоположность Юлию II, названному Марсом, и Александру VI, названному Венерой, Леонардо, естественно, мог надеяться получить покровительство и поддержку. Папа любил блестящих придворных и шутов, а Леонардо был мастером острого слова и еще с молодости непрочь был подшутить над кем угодно. Папа был богат и щедр, а шестидесятилетний Леонардо более чем когда-либо нуждался в деньгах. Однако очень скоро выяснилось, что надежды Леонардо были преждевременны. Папа был избалован и торопился жить, а Леонардо, более чем когда-нибудь медлил, экспериментировал и раздумывал. Вазари, выражающий, очевидно, и в данном случае если не фактическое течение событий, то мнение о них, сложившееся уже у современников, так описывает пребывание Леонардо в Риме:

«Он поехал в Рим с герцогом Джулиано Медичи при посвящении папы Льва, который весьма интересовался философскими предметами и особенно алхимией; во время дороги он (Леонардо) изготовив некую массу из воска, делал тончайших животных, полных ветра, которые при дуновении летали по воздуху, при прекращении же дуновения падали на землю. Он прикреплял к ящерице, найденной бельведерским виноделом, животному весьма странному, чешую, снятую с других ящериц, на спине в виде крыльев, при помощи смеси ртутей, причем, когда ящерица ходила, эти крылья тряслись. Ей же он сделал глаза, рога, бороду и, приручив ее, держал в шкатулке, заставляя

всех друзей, которым он ее показывал, убегать в страхе. Он часто поручал тщательно очистить от жира и промыть кишки d'un castrato, сделав их настолько тонкими, что они могли поместиться в ладони. Устроив затем в другой комнате пару кузнечных мехов, он соединял с ними конец этих кишек и дуя в них, наполнял ими всю комнату, которая была весьма велика, так что находившийся в ней должен был жаться к стенке, так как прозрачные, полные воздухом кишки, которые раньше занимали весьма мало места, в конце концов занимали всю комнату, уподобляясь тем добродетели. Он делал бесчисленное количество таких безумств, занимался зеркалами и пробовал необычайнейшие методы, чтобы получить массу для живописи и лака с целью сохранения уже созданных произведений...

«Говорят, что, когда ему папой Львом была поручена работа, он тотчас же начал перегонять масла и травы, чтобы сделать лак, почему папа сказал: «Горе мне! Этот никогда ничего не сделает, ибо он начинает думать о конце еще до начала работы».

Этот рассказ Вазари является как бы заключительным аккордом творческой характеристики Леонардо, которую можно было бы начать с рассказа того же автора о леонардовой шутке с деревянным щитом, на котором он написал Медузу. Та же страстная любовь к глубоко оригинальной, научно окрашенной, несколько жестокой и не веселой ни в какой мере шутке проявляется и в проделках двадцатилетнего, и в выдумках шестидесятилетнего художника. Но в то время как первые были одновременно и шуткой, и научным и живописным экспериментом, в то время как они свидетельствовали о громадной творческой силе и лежащем впереди большом творческом пути, последние — уже только забавы и ничего больше, забавы, использующие большой научный опыт, но не ведущие вперед. В молодости — это шутка-эксперимент, в старости — это ухищрение, чтобы развеселить избалованного покровителя и тем заработать побольше денег. Ведь Лев X был известен не только своей любовью к наукам и искусствам, где вкус его был весьма поверхностным, но и своей страстью к шутам. Старый же художник и ученый, своим громадным ростом и

длинной седой бородой напоминавший волшебника из «Влюбленного», или «неистового Роланда», должен был порой, очевидно, выступать рядом со знаменитым обжорой и шутом — братом Мариано, импровизатором и шутом —«архипоэтом» Камилло Кварко или полуполитиком, полупоэтом, полушутом кардиналом Бернардо Биббиеной.[1]

Вступая иногда в ряды шутов и увеселителей, Леонардо не был и не мог быть таковым с начала и до конца — он оставался живописцем, ученым, техником. Но как только он захотел выступить в этих областях, его постигло быстрое и тяжелое фиаско. Папа-флорентинец, великий любитель сплетен, конечно, был в курсе твердо установившейся за Леонардо репутации. Когда Леонардо начал свои обычные медленные эксперименты, папа и его придворно-шутовская клика высмеяли его, и Леонардо должен был бросить начатую работу. Таков смысл рассказа Вазари. Однако из него, равно как и из других свидетельств, явствует, что, разойдясь с самим папой, Леонардо все же не бросил сразу работы в Риме. Он выполнил несколько мелких живописных произведений и устроился придворным живописцем у брата папы, дегенеративного мечтателя, мистика и алхимика Джулиано Медичи. Отказавшийся от флорентийского престола при восстановлении во Флоренции принципата рода Медичи, слабый и изнеженный, Джулиано, очевидно, подпал под влияние слегка таинственной и необычной личности Леонардо, а так как еще отец его, Лоренцо Великолепный, говаривал, что «старший сын его — Пьеро — глуп, второй — Джиованни (будущий папа Лев)— умен, а третий — Джулиано — добр», то Леонардо сумел использовать это расположение к себе, получая приличное жалованье (такое же, как в Милане) и выговорив бо́льшую часть времени для своих личных работ и занятий. В научной области Леонардо

[1] Любовь Льва X к шутам служила неоднократно объектом специального изучения; мы пользовались краткой, но удачной характеристикой данной в работе W. Chledowski. Rom, Die Menschen der Renaissance übers. v. R. Schapire. B. I. München 1913.

опять несколько больше занимается механикой, но и анатомия и геометрия не отходят на задний план.

Повидимому, именно в это время он заносит значительную часть записей в кодекс «Е» Парижского института, последний кодекс, содержащий большое количество заметок, относящихся к механике, почти всегда математически наиболее совершенных, но нередко небрежных, противоречивых, старческих, отражающих уже не живое научное творчество, а скорее воспоминание о нем. В области техники, которой он занимался хотя и постарчески, но много, главными его занятиями являются как работы по устройству каналов, так и особенно проекты (возможно, осуществленные) реорганизации или, вернее, механизации римского монетного двора. Богатый и расточительный покровитель построил для старого мастера особую мастерскую-лабораторию, в которой последний и проводил свои опыты над новым методом чеканки монет. Попутно, по всей вероятности, он не брезговал и милым сердцу Джулиано алхимическим экспериментом.

Однако и этот период спокойной и сравнительно счастливой жизни Леонардо оказался весьма непродолжительным. В рукописи Леонардо сделал следующую запись: «Великолепный Джулиано Медичи уехал 9 января 1516 года, на заре, из Рима, направляясь в Савойю для женитьбы, и в тот же день умер король Франции». И то и другое событие оказались решающими в последних годах жизни Леонардо: через несколько месяцев покровитель его покинул навсегда Рим, а новый французский король, честолюбивый, воинственный Франциск I, вступил с войском на полуостров, быстро овладел Миланом и заключил в Болонье в декабре 1515 г. союз со смертельно напуганным папой. При случайном свидании с Леонардо, которого он, повидимому, встретил в Милане или в Болонье, так как последний, потеряв покровителя, очевидно, разъезжал, в поисках нового места, Франциск пригласил его к себе на службу. Франциску еще больше, чем его предшественнику Людовику, импонировал этот пользующийся европейской славой внушительный и светский старик, и он считал, что пребы-

вание его при французском дворе будет неплохой рекламой и, следовательно, немало поможет его честолюбивым замыслам. Для Леонардо же не было другого исхода, как принять материально весьма выгодное и выраженное в крайне почетной форме предложение французского короля. Хоть и трудно было 64-летнему старику покидать родную почву Италии, но родина проявила себя в течение всей его жизни столь неблагодарной, столь мало понимающей особенности его творчества, что вызывала в усталом художнике скорее презрение и злобу, чем любовь, да и искать нового места в Италии не было сил. В конце 1516 года или в начале 1517 г. Леонардо переезжает первый раз в жизни через Альпы и поселяется в королевской резиденции Амбуаз, где Франциск предоставляет ему небольшой, но комфортабельный замок Клу. В нем Леонардо и живет последние свои два с половиной года. Старческие болезни все более разрушают его некогда геркулесовский организм. Очевидно, сразу после приезда в Клу его разбивает удар, из которого он выходит с парализованной правой рукой. Несмотря на то, что работает он левой, это затрудняет его живописные занятия и позволяет только либо рисовать, либо подправлять работы учеников. Из научных работ он иногда возвращается к анатомии и к геометрическим забавам; об остальных же работах вспоминает как об ушедших в прошлое, и только техника, и это весьма характерно, опять занимает его. Он набрасывает планы создания новой системы каналов в местности, в которой живет, рассчитывает их промышленное использование и, возможно, сам консультирует начало работ по ним. Продолжает он также работы по устройству различных придворных празднеств, великим любителем которых является французский король.

В апреле 1519 г. физическое состояние Леонардо резко ухудшается. Он пишет завещание, оставляя все свое научное и художественное наследие последнему, самому верному из своих учеников и любимцев — Франческо Мельци. Материальные ценности он разделяет между предыдущим любимцем Салаи, слугой Баттистой де Вилланис и служанкой Матуриной.

Как это ни удивительно для скептика и атеиста Леонардо, довольно значительные суммы оставляются церквам и богоугодным заведениям и на устройство пышных церковных похорон.

2 мая 1519 г. Леонардо умирает в Клу шестидесяти семи лет от роду, окруженный только небольшой группой своих ближайших учеников и слуг,— в комнате, наполненной сотнями листов неоконченных научных рукописей и полуоконченных живописных произведений, умирает, может быть вспоминая фразу, которую он записал при крушении своего покровителя Лодовико Моро: «И ни одно из его предприятий не было закончено им».

Глава 4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*

Читателю, который возьмет в руки настоящую работу, может показаться странной и излишней в историко-научной работе да еще посвященной только одной, узкой отрасли науки — механике, та обстоятельность, с которой мы развернули перед ним биографию Леонардо да Винчи. Нам, однако, кажется, что, только раскрыв личность творца той или иной научной теории,— конечно, после того как будут проанализированы научные корни его творчества и выяснен социальный заказ, по которому он работал, и социальное окружение, в котором он находился,— можно действительно подойти к анализу генезиса этой теории. Без анализа жизни тех крупных индивидуальностей, которые стоят на поворотах истории, вряд ли можно понять и объяснить что-нибудь в этих поворотах. Действительно, мы видели, что весь жизненный путь Леонардо, все его социальное лицо, вся глубоко индивидуальная окраска его творчества были таковы, что без понимания их не могут быть поняты ни потрясающе сильные, ни удручающе слабые черты этого творчества, ни то совершенно исключительное место пророка-предтечи (причем пророка, пораженного проклятием Кассандры), который стоит у порога земли обетованной — новой науки и, как библейский Моисей, не может войти в нее. В своей гениальной характеристике эпохи Возрождения, называя Леонардо да Винчи первым ее представителем, Фридрих Энгельс пишет: «Это был величайший прогрессивный переворот, пережитый до того человечеством, эпоха, которая нуждалась в титанах и которая порождала титанов

по силе мысли, страстности и характеру, по многосторонности и учености. Люди, основавшие современное господство буржуазии, были чем угодно, но только не буржуазно ограниченными. Наоборот, они были более или менее обвеяны авантюрным характером своего времени. Тогда не было почти ни одного крупного человека, который не совершил бы далеких путешествий, не говорил бы на четырех или пяти языках, не блистал бы в нескольких областях творчества... Леонардо да Винчи был не только великим художником, но и великим математиком, механиком и инженером, которому обязаны важными открытиями самые разнообразные отрасли физики...»[1]

Именно в руках этого человека, стоявшего между двумя социальными слоями, наиболее творческими в эпоху Возрождения, человека, всем своим нутром чувствовавшего насущнейшие нужды этой эпохи и страстно стремившегося в гигантском, героическом, глубоко революционном усилии эти нужды удовлетворить и для этого создать новую технику, базирующуюся на новой науке, мог и должен был быть выкован тот метод, который действительно в дальнейшем, в других, более скромных и осторожных руках, создал и новую технику, и новую науку.

Светский франт и чудак, но в то же время глубокий мыслитель и экспериментатор, салонный болтун и бесконечно скрытный творец, художник и ученый героически смелых дерзаний и детски слабого упорства, решительный новатор, все и всегда стремящийся разрешить сам, по-новому, по-своему, не как другие, и в то же время никогда и ничего не заканчивающий, человек, страстно любящий и жалеющий животных и с холодным цинизмом зарисовывающий казненных людей,— таков Леонардо, один из творцов современной науки.

---

[1] Ф. Энгельс. Старое введение к «Диалектике природы». К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. XIV, стр. 476.

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

МЕХАНИКА ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ

*

Глава 1

МЕХАНИКА КАК ЦЕЛОЕ

*

§ 1. ТРАКТАТ О МЕХАНИКЕ

В предыдущих трех частях мы подробно проанализировали три линии явлений.

Мы видели в первой части, как многовековое развитие механики, изменяющейся в глубокой и тесной связи с порождающим ее к жизни обществом, приходит в середине XV в. к какому-то несомненному рубежу. Перипатетическая система основных положений и законов механики и построенное на ней сначала в Элладе, эллинистическом мире, а затем в Риме, позже на феодальном арабском Востоке и, наконец, в западной феодально-схоластической науке сложное и разнородное здание «конкретной механики» к XV в. оказываются так глубоко и детально разработанными в своих отдельных частях, некогда составлявших одно целое, что они уже только по видимости тяготеют к этому целому. Фактически они представляют собой куски, отдельные кирпичи, из которых может быть или, вернее, должна быть начата стройка нового здания, как только на это здание поступит в достаточной степени мотивированный и серьезный социальный заказ.

Мы видели во второй части, как такой социальный заказ, к тому же XV в., создается новой техникой, органическими и неразрывными узами связанной с теми решающими социальными сдвигами, с той новой расстановкой классовых сил, которые определяют собой многогранное историческое явление, обычно называемое итальянским Возрождением. Новая техника

создает новые кадры специалистов и властно требует создания новой науки, которая явилась бы в ее руках не игрой более или менее досужего и изощренного ума, а мощным рабочим орудием, помогающим конструировать и строить. Мы видели, как наука, и, в частности, механика, эпохи Возрождения делает первые робкие и почти полностью неудачные шаги в этом направлении, как она пытается порвать линию научной традиции, обращаясь непосредственно к опыту и отказываясь от сложного кружева аксиом и доказательств, завещанного научными дедами и прадедами, создает беспомощные и наивные, но глубоко симптоматичные произведения, свидетельствующие о наступлении новой эры.

Наконец, в третьей части мы познакомились с фигурой одного из творцов, которые, по выражению Энгельса, «создавали владычество современной буржуазии», одного из титанических и наиболее универсальных представителей титанической и универсальной эпохи Возрождения. Мы видели, как социальное происхождение и воспитание гениально одаренного сына нотариуса из Винчи — Леонардо, постоянно колебавшегося между феодально-буржуазным дворцом и почетным креслом при дворе властителя, с одной стороны, и скромной мастерской, грязью и копотью горна и тяжелым трудом цехового мастера — с другой, создавали неутомимое, ненасытное, не лишенное скепсиса и некоторой жестокости любопытство, доминирующее стремление к самостоятельности, к оригинальности, иногда переходящей в оригинальничанье. Это стремление, причудливо соединяясь с исключительной, свойственной только крупнейшим художникам чуткостью, уменьем слышать ритм времени и с действительно дикой жаждой к познанию, делало Леонардо как бы фокусом, в котором преломлялись все художественные, научные и технические чаяния его времени.

Совершенно естественно поэтому, что в точных науках вообще, и в частности в механике, стоявшей на пороге перелома, Леонардо должен был сказать новое слово. Реформа механики созрела, нужны были только люди, которые могли бы ее произвести и одним из первых и наиболее талантливых таких

людей был художник из Винчи. Утверждение это кажется нам несомненным, и если бы до нас не дошло по какой-нибудь несчастной случайности ни одной строчки из механических работ Леонардо, мы могли бы, пожалуй, зная технику его творчества, восстановить в основных чертах систему его механики: настолько закономерно вырастает она из предыдущего развития дисциплины, настолько точно отвечает социальному заказу эпохи. Но, к счастью, нам не приходится заниматься столь сложной работой, ибо механические записи Леонардо дошли до нас в количестве, которое можно смело назвать громадным. В предыдущей части нашей работы мы говорили о том, что Леонардо занимался механикой в течение всей своей творческой жизни, особенно же во время первого пребывания в Милане и второго пребывания во Флоренции. Поэтому естественно, что рукописи его, относящиеся к этому времени, полны заметок по механике. Наиболее полно представлена механика в трех рукописях Леонардо: в «Атлантическом кодексе», в так называемом «Кодексе Арундель» и кодексе «Е» Парижской национальной библиотеки, хотя и другие рукописи, в частности кодексы «А» и «G» Парижской национальной библиотки содержат их весьма большое количество. В целом же все заметки, относящиеся прямо или косвенно к области механики твердого тела, без записей, относящихся к гидро- и аэромеханике, число каковых также весьма значительно, составляют, примерно, 20—25 печатных листов текста. Механика, несомненно, представляет собой область, которой отведено наибольшее количество заметок Леонардо. Отсюда ясно, что предмет этот является для него основной научной дисциплиной, наиболее важной и актуальной.

Однако, несмотря на это, анализ и изложение механики Леонардо далеко не легки и требуют реконструктивной работы, хотя и не столь ответственной и смелой, как названная нами выше, но зато более хлопотливой, мелочной и, пожалуй, трудной. Мы уже говорили о том, что Леонардо не окончил ни одного из своих научных трудов; не окончил он (или, может быть, окончил, но до нас оно не дошло — подробнее этот вопрос

мы будем разбирать ниже) и свое любимое произведение: трактат о механике. Отдельные заметки или группы заметок, иногда связанных некоторой общей темой, а чаще таковой не связанных, разбросаны по отдельным листам рукописей исследователя в беспорядке, поистине художественном. Только в очень немногих местах сплошное связное изложение занимает несколько страниц подряд. В большинстве же случаев страничка или полустраничка с вопросами механики сменяется страничкой или полустраничкой с вопросами геометрии или оптики, записью аллегории, счетом кухарки или анекдотом, чтобы затем опять смениться отрывком по механике. При этом самые записи по механике далеко не всегда закончены; сплошь да рядом они начинаются чуть ли не с середины фразы, почти всегда записаны небрежно и совершенно не отделаны, что понятно в записях чернового характера, подлежащих еще дальнейшей обработке, систематизации и переписке начисто.

Пожалуй, еще большими препятствиями в реконструировании истинной и полной системы взглядов Леонардо в области механики являются их хронологическая разнопланность и терминологическая невыдержанность. Одна и та же мысль, одна и та же тема повторяется в записях почти всегда несколько раз — в отдельных случаях десять, пятнадцать раз — и получает нередко совершенно различное, иногда противоречивое объяснение или доказательство. На протяжении своей жизни Леонардо нередко менял свои взгляды, под влиянием расширения круга своих чтений, повторения и углубления опытов, сопоставления итогов, полученных при разрешении различных вопросов, и при проверке своих выводов на практике. А между тем установить хронологическую последовательность отдельных записей или групп их часто весьма трудно или даже невозможно. Если мы знаем, что датированное самим Леонардо начало «Кодекса Арундель», представляющее собой самый большой из сохранившихся до нас отрывков по механике относится к 22 марта 1508 г. и написано во Флоренции, в доме, Пьеро ди Браччьо Мрателли; если мы с большой степенью вероятности можем предполагать, что записи по механике ко-

декса «Е», представляющего собой единую, неразрозненную со времени ее написания тетрадь, датируются, примерно, 1516—1517 гг.,[1] то относительно записей «Атлантического кодекса», представляющего собой, как известно, совершенно беспорядочно выполненное, много времени спустя после смерти Леонардо, собрание вырванных из разных записных книжек отдельных листов, сколько-нибудь убедительная датировка является невозможной. А вследствие этого, реконструируя систему механики Леонардо, мы, несомненно, можем поставить рядом высказывание, относящееся, предположим, к 1498 г., с высказыванием, относящимся к 1517 г., т. е. свести воедино отрывки, отражающие совершенно разные пласты творчества Леонардо. Еще затруднительнее выбор окончательной, принятой самим автором редакции того или иного положения. Ни хронологическая последовательность, установить которую к тому же, как мы только что видели, нередко является невозможным, ни большая правильность и стройность с точки зрения современной науки не могут служить окончательными критериями такого установления, хотя и с тем и с другим приходится весьма серьезно считаться.

Несмотря на все эти трудности, мы, вслед за рядом других исследователей, беремся за изложение системы механики Леонардо, ясно сознавая неизбежность ошибок в нашем изложении.

При этом, реконструируя систему механики великого винчианца, мы, вопреки некоторым новым исследователям, несмотря на все трудности, стараемся восстановить именно единую, более или менее однородную систему. При отборе высказываний, включаемых нами в изложение, мы руководствуемся как упомянутыми выше критериями хронологического и смыслового порядка, так и соображениями или, вернее, ощущениями соответствия того или иного высказывания со всей

[1] Во всех случаях, когда она имеет место, мы принимаем датировки G. Calvi, данные им в неоднократно цитированной его работе «I manoscritti». Датировки эти кажутся нам наиболее обоснованными и являются самыми новыми, принимающими во внимание все, что было сделано ранее.

реконструируемой нами системой. Поступая таким образом, мы предполагаем, конечно, что такая система существовала, что в каждый данный момент и особенно к концу своей творческой жизни, когда Леонардо делал героические попытки свести воедино распадающиеся на тысячи частей осколки своих записей, он сам ощущал их единство и предполагал отразить его, а может быть и отразил в едином большом трактате — сочинении по механике.

В своей неоднократно нами упоминавшейся работе Л. Ольшки [1] категорически отрицает возможность реконструкции отдельных монографических сочинений Леонардо, полагая, что, вопреки совершенно ясным указаниям самого Леонардо на намерение в дальнейшем разобрать свои разрозненные заметки по сюжетам и несмотря на неоднократные его отсылки к тем или другим его монографическим сочинениям, эти сочинения и не были и не могли быть созданы. Творчество Леонардо якобы слишком фрагментарно по самому своему существу, сам Леонардо слишком беспомощен в обращении со своим материалом, который он абсолютно не умеет переводить из стадии эмпирической констатации в стадию абстрактного обобщения, чтобы можно было считать реальным создание из этого материала некоего единого научного целого. А если бы несомненно существовавшее у Леонардо намерение систематизировать собранный им громадный и разнообразный материал и было осуществлено, то дало бы в результате не монографическое научное исследование, а всеобъемлющую, практически направленную энциклопедию типа схоластических сумм.

С подобной точкой зрения мы совершенно не согласны, так как она, представляя легкий и соблазнительный путь для преодоления пугающей пестроты леонардова научного наследия, в то же время решительно противоречит, что, впрочем, чувствует и сам Ольшки, всем высказываниям Леонардо и, что, может быть, не менее важно, всему характеру его научного и известного нам лучше художественного творчества.

---

[1] Л. Ольшки. Op. cit., т. I, стр. 162 и сл. русск. пер.

Действительно, есть ли основание сомневаться в том, что Леонардо имел в виду написать,— а может быть и в самом деле написал,— сочинение или несколько сочинений по теоретической механике? Нам кажется, что нет, и вот по каким соображениям.

Вступление к «Кодексу Арундель», на которое ссылается Ольшки и которое мы привели полностью выше, говорит, действительно, только о том, что разнообразные заметки в дальнейшем должны быть рассортированы по сюжетам, что как будто бы может быть истолковано и в смысле утверждения Ольшки, хотя отнюдь не обязательно требует признания его; зато ряд высказываний Леонардо не допускает различных толкований. Так, в «Атлантическом кодексе» дважды упоминаются, повидимому уже готовые, трактаты по механике: на стр. 335, v. d. говорится: «...как доказывается в моем трактате о местном движении, о силе и весе (come si mostra n'un miotrattato di moto locale e di forza e di peso)», а на стр. 353 v. c.— «... как доказывается в моей книге о движении (come si dimostra nel libro delli mia moti)».

Это и несколько других подобных указаний в самих рукописях Леонардо говорят с несомненностью о том, что трактат о движении, силе и весе был им либо написан, либо подготовлялся и решительно противоречит концепции Ольшки. Кроме ссылок на данный трактат, содержащий, как мы увидим ниже, основы теоретической механики, мы встречаем столь же прямые указания на два других трактата — трактат о деталях машин (elementi machinali) и трактат об основах сопротивления материалов и статики сооружений.

Но если указания самого Леонардо могут быть подвергнуты сомнению, ибо можно сказать, что увлекающийся художник ссылался на то, чего он еще и не начинал делать, то вряд ли можно высказать такое же скептическое отношение к другу и сотруднику Леонардо в девяностых годах XV в.— Луке Пачьоли. В уже цитированном нами предисловии к «Божественной пропорции» он говорит о том, что Леонардо «приступил к бесценному произведению, разбирающему местное движение,

удар, вес и все силы, т. е. приобретаемые веса, каковое произведение он со всяческим старанием стремится довести до надлежащего окончания».[1]

Леонардо и Пачьоли говорят, таким образом, о трактатах, как об уже существующих или близких к осуществлению произведениях. Но можем ли мы из этого одного заключить, что такие произведения существовали, и как тогда объяснить тот факт, что до конца своей жизни Леонардо продолжал вести записи на темы, которые, казалось бы, уже окончательно разобраны в названных трактатах.

Решительный ответ на этот вопрос мы вряд ли сможем когда-нибудь дать, если, по какой-нибудь счастливой случайности, не расширится значительно круг наших источников. Но мы склонны полагать, что трактаты Леонардо если и не были готовы окончательно, то, во всяком случае, к концу его жизни находились в состоянии, близком к окончанию, и, вернее всего, были более законченными, чем даже тот наиболее разработанный и цельный отрывок, который мы имеем в начале «Кодекса Арундель». Основанием для такого предположения служит тот факт, к сожалению обычно недостаточно учитываемый исследователями, что во многих десятках своих заметок, особенно в заметках, которые мы имеем все основания относить к поздним периодам творчества Леонардо, он ссылается на свои сочинения и при этом в кавычках цитирует тот или иной отрывок текста, упоминая обозначение книги и главы, из которых этот отрывок заимствован. Ссылок таких много, но мы ограничимся приведением лишь нескольких, относящихся к разным типам: «доказывается это седьмой элементов, утверждающей, что то тело будет более легким... (E. 37 r.); или: «доказывается это четвертой о тяжести, утверждающей, что то весомое

---

[1] Fra Luca Pacioli. Divina Proportione. Wien, 1889, p. 33: «E non de questo satio al opera inextimabile del moto locale, delle percussioni e pesi e delle forze tutte cioè pesi accidentali (havendo gia con tutta diligentia al degno libro de pictura e movimenti humani posto fine) quello con ogni studio al debito fine attende de condurre».

делается более быстрым...» (E 37 v.); или: «доказывается это четырнадцатой о местном движении, гласящей, что то весомое тело, которое занимает меньше воздуха...» (E. 37 v.); или: «доказывается это третьей этого, утверждающей, что то весомое тело, которое занимает меньше воздуха...» (E. 37 v.); или, наконец: «доказывается это третьей этого, утверждающей, что выпуклые части тел более приспособлены к проникновению через воздух...» (E. 46 r.).

Между тем, ни в одной из известных нам рукописей Леонардо мы не имеем сколько-нибудь значительного числа нумерованных аксиом или теорем. Это заставляет выдвинуть два предположения, взаимно исключающих друг друга. Первое — что Леонардо держал в уме сложное оглавление всех частей своего механического сочинения и цитировал их на память — кажется нам совершенно невероятным. Остается второе — что им был составлен некий черновой вариант отдельных частей задуманных им механических трактатов или одного трактата, каковые или каковой были разбиты на главы, имевшие словесные наименования: «О весе», «О движении», «Об ударе», и разделявшиеся на нумерованные параграфы. К последнему предположению нас склоняет то обстоятельство, что заметки со ссылками, подобными вышеприведенным, совсем не встречаются в ранних тетрадях Леонардо, например в кодексе «А» Парижской Национальной библиотеки или в ранних листах «Атлантического кодекса». Таким образом, напрашивается вывод, что в последние годы своей творческой жизни, после 1509—1510 гг., Леонардо осуществил то, о чем он мечтал давно и о чем говорил во вступительных строках «Кодекса Арундель»: подобрал рассыпанные по сотням страниц своих тетрадей механические отрывки, распределил их по главам и пронумеровал. В результате получилось некое подобие готового трактата. Леонардо, по своему обыкновению, не считал его законченным, так как нашел в нем множество дефектов, которые и начал исправлять, перерабатывая и дорабатывая отдельные части. Обстоятельство это и объясняет наличие в поздних рукописях отрывков, трактующих те же темы,

которые, казалось бы, уже были проработаны в сводном труде.

Таким образом, мы, в противоположность Ольшки, считаем несомненным, что Леонардо да Винчи предполагал создать монографический трактат или несколько трактатов по механике; к выполнению этой работы он, несомненно, приступил и, по всей вероятности, закончил ее в предварительном виде. А это дает нам право, не прячась за удобный агностицизм, попытаться реконструировать механику Леонардо именно как нечто целое и проанализировать ее как первый крупный и значительный памятник новой науки. Памятник этот не дошел до нас в законченном виде, о чем, конечно, можно пожалеть, но зато он позволяет вскрыть самый процесс становления этой науки, все ее многоразличные связи и обусловленности.

§ 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА

Прежде чем перейти, однако, к изложению и анализу самого содержания механики Леонардо, мы должны выяснить, как он понимал предмет механики, как осуществлял работу над ним и как предполагал строить свое сочинение по механике.

При изложении методологической основы научных занятий Леонардо все исследователи ставят обычно во главу угла изречение, записанное на листе 96 v. кодекса «G»: «Нет уверенности там, где нельзя применить одну из математических наук или где нет связи с этой математикой». И действительно, изречение это, сопоставленное с несколькими другими, менее яркими, но не менее отчетливыми, вроде перифраза сократовского изречения: «Пусть меня не читает в моих основах тот, кто не является математиком» (W. An. IV. f. 163 v.)[1] с неоспоримой ясностью показывает, что Леонардо, как, впрочем, и ряд его предшественников в науке Возрождения и в античной

[1] Рукописи, не доступные нам в фотографических репродукциях, цитируются по своду Рихтера: I. P. Richter. The literary works of Leonardo da Vinci, цитированному выше.

науке, считал математику наиболее надежным путем в достижении точных и вполне объективных научных результатов. Установив это несомненно центральное положение, мы не должны, однако, преувеличивать оригинальность Леонардо в этом вопросе или слишком упрощать подход его к разрешению научных проблем: и то и другое нередко делается исследователями. Действительно, мы видели на стр. 254, что Леон Баттиста Альберти придавал чрезвычайно большое значение математике; Георгий Валла, с которым Леонардо и лично и литературно был, несомненно, знаком, в упомянутой нами выше энциклопедии высказывает ряд мыслей, также близких к только что приведенным положениям Леонардо.

С другой стороны, совершенно неправильно было бы представлять дело так, будто Леонардо признавал только абстрактную математику в нашем понимании этого слова и что вся наука его была строго математической.

Такое утверждение было бы неправильно в двух отношениях: во-первых, под словом «математика» Леонардо, как и вся его эпоха, понимал далеко не то, что понимаем мы в настоящее время. Математика для него — понятие довольно расплывчатое и неустановившееся, охватывающее, в первую очередь, очевидно, все, что имеет дело с подсчетом и измерением. Во-вторых, и это наиболее важно, Леонардо всегда твердо понимал и напоминал, что настоящая наука основана на наблюдении действительности, на эксперименте, математика же есть только способ обработки результатов этих наблюдений и этих экспериментов. Подробный анализ методологии науки Леонардо лежит вне рамок настоящей работы, но мы все же считаем необходимым привести высказывания Леонардо по этому вопросу; хотя они неоднократно приводились в посвященных ему работах, но должны быть восстановлены в памяти приступающего к анализу одной из сторон его творчества.

«Всякое наше знание начинается с чувств», утверждает Леонардо (Tr. 20 r.) и затем подробно разбирает путь, которым внешний мир воздействует на эти чувства, создавая известные впечатления, которые затем и составляют материал знания.

Упорядоченное, систематизированное чувственное восприятие явлений внешнего мира дает эксперимент, который и должен быть обязательным первым этапом всякого знания. Это сознательное, многократное, упорное подчеркивание необходимости, первостепенной важности эксперимента, хотя и может быть в слабой степени замечено в работах ближайших предшественников Леонардо, но в столь ярком, определенном и решительном виде является его собственным достижением, результатом длительной, упорной, самостоятельной и дерзающей научной работы. Опыт — единственный абсолютно надежный критерий при закладке фундамента любой научной теории.

«Опыт никогда не ошибается, ошибаются только наши суждения, обещая себе от него вещи, которые ему не по силам. Напрасно люди жалуются на опыт, обвиняя (con somme rampogne) его в обманчивости. Пусть они оставят в покое опыт и обратят жалобы на свое невежество, заставляющее их впутывать свои пустые и глупые желания и требовать от опыта того, что не в его силах» (C. A. 154 r. c.).

И дальше:

«Опыт никогда не ошибается, но ошибаются только наши суждения, ожидая таких результатов, которые не вызываются нашими экспериментами. Если дано основание, то необходимо, чтобы вытекающее из него было истинным следствием этого основания, если ничто ему не противодействует. Если же имеется какое-нибудь противодействие, то результат, который должен возникать из этого основания, тем более или менее заимствует от этого противодействия, чем это противодействие сильнее или слабее названного основания» (C. A. 154 r. b.).

Разрешая одну из основных механических задач, он говорит:

«Определим природу составных весов как в круговых весах (т. е. шкивах и колесах), так и в прямолинейных. Но раньше, чем я пойду дальше, я произведу некоторые опыты, ибо я намерен раньше привести опыт, а затем уже доказать соображениями разума (colla ragione), почему данный эксперимент должен протекать таким образом, и это есть истинный метод (la vera regola), которому должны следовать рассуждающие

о естественных явлениях. И хотя природа начинает в разуме и кончает в опыте, нам надлежит итти обратным путем, т. е., начиная (как я сказал выше) от опыта, при помощи его искать разумного объяснения (la ragione)» (E. 55 r.).

Примерно то же самое, но короче выражает следующая запись:

«Опыт — переводчик между искусной природой и человеческим родом — учит нас тому, что эта природа производит среди смертных и, принужденная необходимостью, не может действовать иначе, чем ей велит поступать разум, ее рулевой» (C. A. 86 r. a.).

Опыт, таким образом, согласно Леонардо, обнаруживает разумную основу, рациональные закономерности природы-которые наблюдателем вскрываются именно и только при его, помощи, а затем уже формулируются в общей форме. Этим и объясняется противоположность природы и человеческого мышления: природа идет от закономерности к частному ее проявлению, научное мышление наоборот — от наблюдения ряда частных проявлений к формулированию общего закона.

Устанавливая примат, безошибочность эксперимента как метода научного познания, Леонардо отнюдь не становится на точку зрения голого эмпиризма. Первое, от чего он предостерегает, есть опасность широких выводов из недостаточно повторенных или обобщенных экспериментов.

«Прежде чем ты выведешь из этого (частного) случая общий закон, повтори опыт два или три раза и посмотри, вызывают ли всегда одни и те же эксперименты те же самые следствия» (A. 47 r.).

И еще более определенно:

«Я напоминаю тебе, чтобы ты создавал свои положения (propositioni) и чтобы ты приводил вышенаписанные вещи в качестве примеров, а не в качестве положений, что было бы слишком простой вещью, и чтобы ты говорил так» — следует частный пример (A. 31 r.). Опыт, даже повторенный много раз и доведенный до полной несомненности, не дает еще окончательных научных результатов. Если бы это было так, наука

была бы слишком проста и неинтересна. На основании такой серии опытов должно быть выведено общее положение закон, основанный целиком на этих опытах, но не ограничивающийся их голым описанием, а вносящий некоторое общее причинное объяснение в цепь явлений, констатируемых экспериментом.

«О, рассуждающий о вещах, не хвались тем, что ты знаешь вещи, которые в определенном порядке природа производит сама собой, но радуйся тому, что ты знаешь цель этих вещей, которая рисуется тебе твоим духом» (G. 47 r.).[1]

И вот, для получения из результатов строгих, многократно проверенных экспериментов общих положений и законов наиболее верным и правильным путем является математика или, вернее, математический метод. Но и на создании общих законов научная деятельность настоящего ученого не заканчивается. Законы эти были бы совершенно не нужны, если бы они не приносили человечеству полезных плодов: практического, в первую очередь технического применения, являющегося одновременно и способом их проверки. Дисциплиной же или, вернее, одной из дисциплин, которая имеет своей целью именно применение общих математических законов к технической практике, является механика.

«Механика есть рай математических наук, ибо при помощи нее достигается плод математики» (E. 8 v.).

Таким образом, механика как наиболее нужная и ценная отрасль точных наук начинается с эксперимента, использующего восприятие чувств, проходит через математические доказательства, придающие ей неоспоримость, и заканчивается в практической деятельности, являющейся для нее оправданием и проверочной инстанцией. Положение это чрезвычайно четко выражено в первой книге «Трактата о живописи», где сказано:

---

[1] Ввиду неполной неоспоримости данного нами перевода этого отрывка мы приведем его и в подлиннике: «O spechulatore delle cose non ti laudare di conosciere le cose che ordinariamente per se medesima la natura conduce, ma rallegrati di conosciere il fine di quelle chose che son disegnate dalla mente tua».

«Но мне кажется, что те науки пусты и полны ошибок, которые не рождены опытом, матерью всяческой несомненности (certezza), и которые не кончаются в опыте, т. е. такие, начало, или середина, или конец которых не проходит через хотя бы одно из пяти чувств».

Практическая направленность специально механических штудий подчеркнута в следующем месте «Атлантического кодекса»:

«Если бы ты мне сказал: что рождают твои правила и на что они годятся?—я тебе отвечаю, что они дают узду инженерам и изобретателям (investigatori), для того чтобы они не позволяли себе обещать самим себе или другим невозможные вещи, в результате чего их будут считать безумцами или обманщиками» (C. A. 337 r.)

Место это исключительно важно для понимания подхода Леонардо к науке вообще и к механике в частности. Если мы сравним его с приведенными нами в предыдущей части высказываниями Альберти на ту же тему, то легко обнаружим большое сродство между подходом к механике двух флорентинцев. Но в то время как Альберти, уже осмеливающийся возражать Витрувию, в понимании роли науки, в живом и конкретном ощущении этой роли все еще недалеко ушел от римского инженера, в то время как его наука еще только маленький и слабый вспомогательный инструмент,— Леонардо уже совсем не связан завещанными от предков рецептами, с которыми он по своей природе вообще не склонен был особенно считаться. Для него наука — мощный, необходимый, основной фактор технической деятельности. Он уже недвусмысленно может утверждать, что «тот, кто влюбляется в практику без науки, уподобляется корабельщику, который входит на судно без руля или компаса и потому никогда не знает наверное, куда направляется. Практика должна быть всегда построена на хорошей теории» (G. 8 r.).

Новая точка зрения на природу, созревавшая в науке Возрождения под влиянием новых социальных условий (появления на исторической арене новых классовых сил, рождения

и быстрого роста новой техники), была резко отлична от всего, что знали античность и особенно феодализм. В научном наследии Леонардо, оригинала, чудака, разрушителя традиций, эта точка зрения приобретает впервые вполне четкую, ясную форму, форму почти манифеста, который может быть поставлен на первой странице книги развития новой науки, науки Галилея и Ньютона.

Как же осуществлял Леонардо в своей конкретной научной работе в области механики те задачи, которые он ставил перед всякой наукой? Как он вел свое исследование и как хотел построить механику, понимая ее как нечто целое (ибо мы показали выше, что он этого, несомненно, хотел)?

Первая стадия научной работы Леонардо есть наблюдение тех или других явлений природы. В точном соответствии со своими теоретическими убеждениями, являющимися, очевидно, только сравнительно поздней формулировкой уже сложившихся навыков, Леонардо, как мы это отмечали в третьей части настоящей работы, ходит по улицам и площадям городов, по дворам и залам дворцов и замков, по полям и лесам, по мастерским и лавкам со специальной целью — наблюдать все необычное и замечательное. Но, как известно, усиленное, сосредоточенное внимание имеет свойство решительно изменять критерий необычного. При близком и внимательном рассмотрении самые нормальные вещи начинают казаться удивительными. Леонардо наблюдает вращение колеса и падение мяча во время игры, и положение центра тяжести бойца на копьевом турнире — джостре, и обвал куска крепостной стены, и приемы, применяемые ремесленниками-строителями при подъеме тяжестей, и способы взвешивания товаров торговцами, не упускающими случая надуть покупателя. Все эти наблюдения, иногда мимолетные, иногда же длительные и трудные, он заносит в свои путевые, висящие у него на поясе записные книжки.

Затем, как мы уже об этом говорили (см. стр. 359), придя домой, в тот же день, а нередко спустя дни, недели, иногда и месяцы, он просматривает беглые заметки. Некоторые удовлетворяют его — запись ясна и полна, явление вполне может

быть понято; некоторые же оказываются недостаточными, и он заносит в свои домашние тетради напоминания о повторении наблюдения — вроде: «заметь сгибы суставов и как растет на них мясо» (E. 16 r.). В тех случаях, когда наблюдение записано удовлетворительно, Леонардо начинает размышлять по поводу него, записывая результаты своих размышлений без особого порядка, так, как они приходят в голову, в те же свои домашние тетради. Он вспоминает, в каких из прочитанных им книг объяснены соответствующие явления и в каких книгах из тех, которые он не читал, они могут быть объяснены; он разыскивает эти книги либо на своих, далеко не богатых по́лках, либо, чаще, у своих друзей и знакомых, у знакомых своих знакомых, у книгопродавцев. Достав книгу, он сравнивает то, что в ней написано, со своими наблюдениями, и отмечает разногласия (см., например, ниже разногласие с Альберти), а затем, если явление кажется ему важным и заслуживающим серьезного изучения, он ставит ряд последовательных опытов для наблюдения его со всех сторон. Эти систематически проводимые опыты — одна из основных особенностей научного метода Леонардо, дающая ему право претендовать на звание одного из создателей современной науки.

В тетрадях Леонардо так много записей о производстве опытов и все они настолько конкретны и определенны, что невозможно усомниться в том, что опыты эти действительно производились: мы имеем дело с настоящим экспериментированием в современном смысле этого слова. Ввиду важности этой стороны научной методики Леонардо мы приведем несколько из его записей, подтверждающих вышесказанное:

«Запомни сделать опыт — сделай опыт, будет ли данный кусок дерева, подвешенный вдоль на двух подвесках за свои концы, выдерживать 10 фунтов и т. д., ибо опыт дает хорошие законы (perchè la sperienza fa bona regola)» (A. 33 r.).

«Сделай завтра фигуры, опускающиеся в воздухе, из картона разной формы и дай им падать с нашего мостика, затем же зарисуй фигуры и движения, которые производит при падении каждая в разные моменты падения» (C. A. 375 r. c.).

«Опыт. Если ты хочешь проверить (provare), насколько скорее падает вес в 1 унцию, чем вес в 2 унции, если они падают с одной и той же высоты, то ты сделай так: возьми 2 куска сахару...» (A. 30 v.).[1] Или: «Помести завтра два твоих крайних груза во всех известных тебе пропорциях и следи за более тяжелым средним грузом, как он меняет положение вследствие изменения своей тяжести, и на основании всего этого выводи правило» (C. A. 238 r. a.).

Если первые из приведенных нами записей говорят о производстве единичных экспериментов, то в последних двух мы уже имеем серию опытов, предназначенных для установления некоего общего закона; последний прямо указывает на то, что на данной серии экспериментов строится определенный закон.

Но этот переход от эксперимента к общему закону производится с особой осторожностью. Уже выше (см. стр. 433) мы приводили требование Леонардо повторять опыт два или три раза и смотреть, вызывает ли всегда один и тот же эксперимент одни и те же следствия (A. 47 r.). В другом месте, давая геометрическое доказательство одного из положений механики, он пишет:

«Сделай, чтобы это изображение было повторено на опыте раньше, чем ты выскажешь о нем дальнейшее» (C. A. 274 v. b.).

Самая техника производства опытов не всегда отражена в обычно очень лаконических записях, но иногда все же мы можем разглядеть ее вполне определенно. Весьма характерен, например, лист 268 v. b. «Атлантического кодекса», фотографию которого мы здесь приводим (рис. 28). Лист этот, несомненно, изображает серию весьма простых, но систематически проведенных опытов над нагрузкой, которую горизонтально лежащая балка передает на две опоры. Текст на листе (конкретное содержание его мы будем разбирать ниже) гласит:

---

[1] Об этом чрезвычайно любопытном и показательном опыте мы будем говорить подробно ниже.
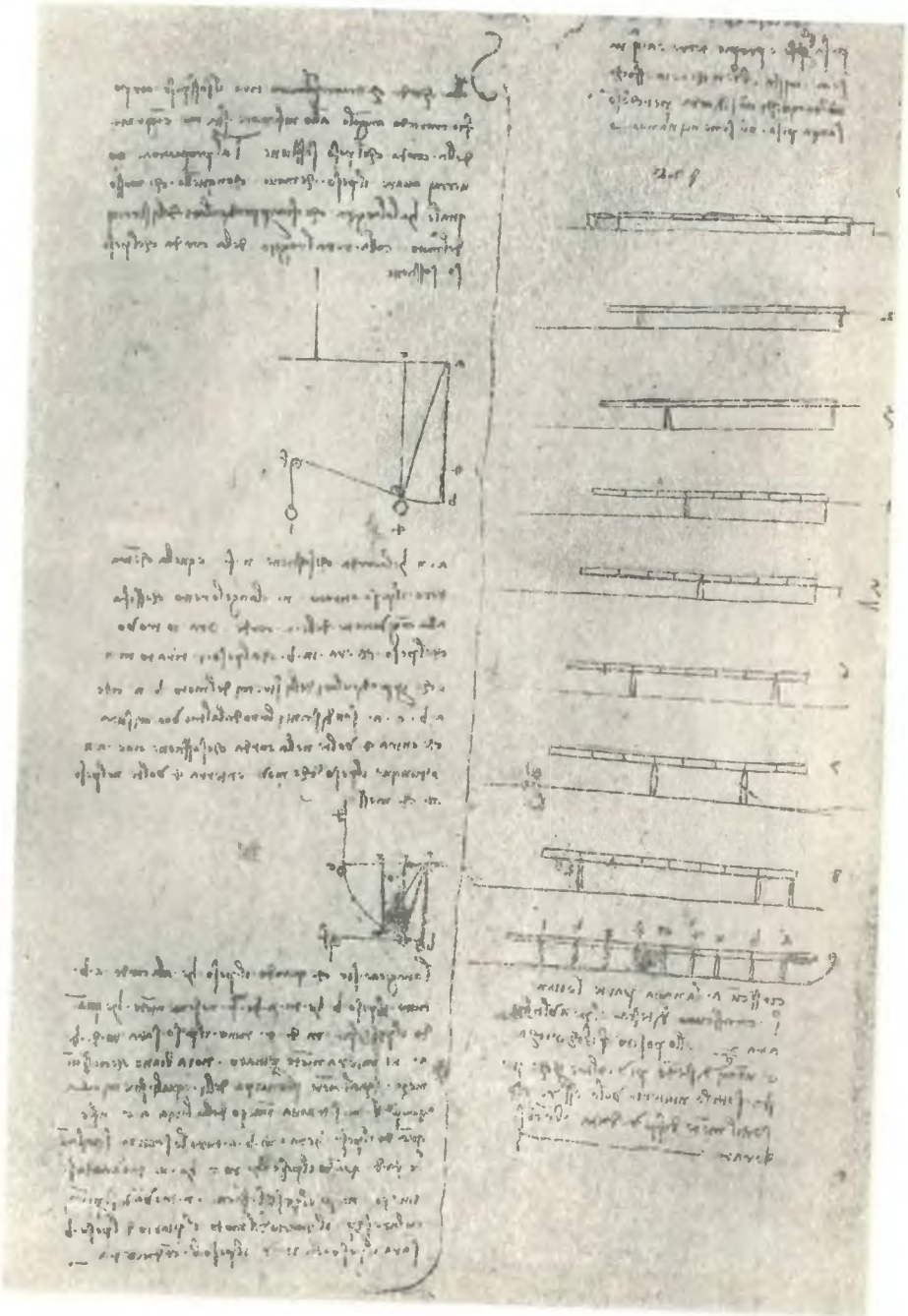


Рис. 28

«Каждая имеет девятую часть; отними одну из них от головы, и предпоследняя будет иметь 49, а противоположная разгружается. Дальше я не распространяюсь, так как этот тонкий предмет требует более тонкого рассмотрения и тщательного размышления».

Весьма также показателен для характеристики отношения Леонардо к опыту следующий текст:

«Опыт, подтверждающий вышеприведенное заключение о движении (la sperienza della predetta conclusione del moto), должен производиться следующим образом: должны быть взяты 2 шарика равного веса и формы и отпущены падать с большой высоты, так чтобы в начале движения они касались один другого, и экспериментатор (lo sperimentatore) пусть стоит на земле и смотрит, будет ли при их падении сохранено соприкосновение или нет. И этот опыт пусть будет произведен много раз, так чтобы какое-нибудь случайное обстоятельство (accidente) не помешало или не исказило (falsassi) это доказательство, ибо опыт может оказаться ложным и обмануть или не обмануть экспериментатора» (M. 57 r.).

Исключительно показательны также описания опытов, которые Леонардо дает в раннем кодексе «A» и которые мы по существу будем разбирать значительно ниже.

«О тяжестях (de ponderibus). Если вес в один фунт заставляет втыкаться в землю опору в одну унцию, то насколько вес в 2 фунта заставит втыкаться другую подобную опору в ту же землю и в то же время? Сделай опыт таким образом (fa la pruova in questa forma):

«Возьми кусок стержня и перепили его в середине так точно, как только можешь; затем при помощи воска уравновесь куски на весах, прибавляя воск к тому куску, который меньше весит. Затем возьми землю, из которой делают кубки (формовочную?), и обработай ее размешиванием, сделав равномерно мягкой и нежной. Затем распластай ее, ударяя по плоскому месту, и возьми два куска стержня. Поставь их вертикально так, чтобы они касались земли теми частями, которые раньше были соединены и которые пила разъединила, чтобы они имели

равную толщину. Закрепи их сверху, пропустив через два равных отверстия в тонкой доске — на нить более тонкую, чем толщина стержня, затем нагрузи их: один одним фунтом веса, другой же двумя, и оставь их стоять час, внимательно наблюдая за ними (ponendole antento?), и затем вынь их вместе и измерь дырки, произведенные ими. Но раньше, чем ты выведешь из этого случая общий закон, произведи опыт два или три раза и посмотри, дают ли опыты одинаковые результаты (ma innanzi che tu facci di questo chaso regola generale prucvalo 2 altre volte e guarda se le pruove fanno effetti)».

«Ты произведешь опыт следующим образом. Приготовь железные проволоки, вытянутые на вытяжном станке квадратного сечения, закрепи одну внизу двумя закрепами и нагрузи ее сверху равномерным весом и заметь, когда она начинает сгибаться; проделай то же на проволоке с противовесом внизу и заметь, на какой ступени она начинает сгибаться; затем удвой ее в 2 двойные и соедини их тонкой шелковой нитью, обернутой вокруг, и увидишь, что этот опыт подтверждает мои соображения; таким же образом проверь на 4 двойных и так постепенно, насколько тебе представляется нужным, все время связывая редкими нитками шелка» (A. 47 r.).

Ряд других опытов описан Леонардо в записях, относящихся к определению скоростей падения тел разного веса и разной формы, к изучению удара шаров и к другим вопросам, которые мы будем рассматривать в соответствующих местах. Здесь же нам достаточно установить, что экспериментальное хозяйство винчианца было довольно развитым и систематическим.

Однако, выдвигая необходимость постоянного экспериментирования и постоянно им занимаясь, Леонардо, вопреки утверждению Ольшки, понимал всю опасность излишнего увлечения им — опасность утонуть в большом числе отдельных частных наблюдений; он, очевидно, останавливал себя, когда был готов впасть в эту ошибку.

«Когда ты хочешь достигнуть результата при помощи приспособлений (fare uno effetto per istrumento), — пишет он,— не распространяйся в сети многих членов, но ищи наиболее

короткий способ и не поступай, как те, которые, не умея назвать вещь ее собственным именем, идут по окружному пути и через многие запутанные длинноты» (C. A. 206 v. a.).

На базе повторных опытов, в точном соответствии со своими теоретическими взглядами, изложенными выше, Леонардо, при помощи математических, в первую очередь геометрических и арифметических соображений, пытается подойти к построению общих законов. Как он это делает, конкретно показывает хотя бы следующая запись (C. A. 104 r. a.):

«Сделай этот рисунок сначала простым, только с 6 противовесами без других полукругов, и положи, сколько должен был бы весить каждый противовес, чтобы быть в равновесии с балкой в 60 фунтов, и сколько должен был бы весить каждый в отдельности, если бы он был единственным противовесом балки; и это правило примени ко всем, а затем выведи общее правило с полукругами».

Из этого и из ряда других отрывков, которые мы будем разбирать ниже, мы, как нам кажется, имеем право вывести предварительно такое заключение (окончательное может быть выведено только в конце и как бы в результате всего настоящего труда): вряд ли правильно утверждение тех исследователей, а их подавляющее большинство, которые считают, что Леонардо в своей научной работе ограничивался наблюдениями, экспериментами, но до формулирования законов не поднимался.

Наоборот, мы увидим дальше, что он не только теоретически считал необходимым восходить от эксперимента к общим правилам или законам (regole), но и фактически многократно формулировал их. Записывал он их в домашних черновых тетрадях, куда переписывал из дорожных записных книжек результаты наблюдений и куда заносил записи опытов и отдельные элементы математических доказательств; поэтому не столь частые общие формулировки тонут в значительно более богатом материале обоснований. Именно эта многопланность основных рабочих тетрадей Леонардо, сосуществование в них записей разных стадий работы исследователя, особенно

затрудняет понимание и реконструирование как техники, так и результатов этой работы.

Как мы неоднократно упоминали, Леонардо рассматривал свои рабочие тетради как вспомогательный промежуточный аппарат, как своего рода вторую ступень лестницы, ведущей от наблюдения повседневных фактов к формированию науки как целого. После записей в этих тетрадях он предполагал провести свои научные изыскания, и в частности изыскания механические, еще через две стадии. Он надеялся сначала перенести в отдельные тетради, без особого порядка внутри них, все записи, относящиеся к каждой отдельной дисциплине. Такие своды мы имеем, например, по гидромеханике в так называемом «Кодексе Лейчестер», по оптике в кодексе «С» и по механике в начале «Кодекса Арундель». Наконец, последней стадией работы должна была быть систематизация материала уже внутри каждой научной специальности. Довел ли Леонардо хотя бы одну из них до этой стадии, мы не знаем, и склонны сомневаться в этом, так как ни одного даже сколько-нибудь значительного отрывка такого упорядоченного типа до нас не дошло. Но бесспорно то, что он подходил вплотную к такой систематизации, свидетельством чему являются сохранившиеся в его записях планы расположения материала в ряде задуманных им отраслевых монографий. Что план работы Леонардо был именно таков, мы знаем из широко известных и уже несколько раз нами упоминавшихся первых строк «Кодекса Арундель»:

«Начата во Флоренции, в доме Пьеро ди Браччьо Мартелли, дня 22 марта 1508 г., и будет этот сборник без порядка, извлеченный из многих записей (carte), каковые и написал (списал— copiate), надеясь затем поместить их в порядке по своим местам, в соответствии с темами, которые они трактуют».

Запись эта не только рисует нам всю сложную технику работы Леонардо, но и говорит о том, что в начале «Кодекса Арундель» мы имеем уже третью стадию научной работы его — тематическую, но еще беспорядочную выписку из рабочих тетрадей второй стадии, и притом выписку, посвященную именно ин-

тересующим нас вопросам механики. Содержание кодекса, которое нам придется в дальнейшем не раз цитировать, полностью подтверждает это.

Реальная техника научной работы Леонардо в общем, следовательно, соответствовала его методологическим теориям. Излагая историю механики до Леонардо, мы не говорили ничего о той технике, при помощи которой создались те или иные механические теории. Да мы и не могли бы, за отсутствием соответствующих данных, сказать об этом что-нибудь определенное. Несмотря на это, мы вряд ли сильно ошибемся, если будем утверждать, что техника научной работы Леонардо была глубоко новой, не менее новой, чем его методология. Ученый-мастеровой, ученый-техник, ученый-художник, обладатель пары ловких рук, привык вести свою теоретическую работу, не упускающую все же из виду конечной практической цели, совсем иначе, чем ученый-монах, белоручка[1] и созерцатель, создающий свою науку для отвлечения благородного ума от тлена и суеты земной. Оригинал и новатор и в то же время верный сын своего времени, Леонардо формирует свою научную деятельность так, как от него требует это время, и проводит ее так, как ему кажется наиболее естественным и легким ее проводить.

§ 3. ПОСТРОЕНИЕ

Как же представлял себе Леонардо в законченном виде свой трактат по механике, трактат, который должен был объединить в себе в упорядоченном виде многие сотни его записей, накопленные в тетрадях за десятки лет? На листе 155 v. b. «Атлантического кодекса» мы находим черновой и, несомненно, не окончательный, но, повидимому, близкий к окончательному набросок плана этого трактата. Он гласит:

«Говори сначала о движении, затем о весе, почему он рождается из движения, затем о силе, которая рождается от веса и движения, затем об ударе, который рождается от движимого веса и часто от силы.

«Говори о движении и об импето.

«Говори о колесах, вращающихся в одну сторону

«Говори о колесах, идущих и возвращающихся.

«Говори о колесе увеличения.

«Говори о бесконечных винтах.

«Говори, во-первых, о рычаге и весах.

«Говори о мельницах и других приспособлениях (strumenti) для движения и бросания.

«О зубьях.

«Сначала ты скажешь подробно об осях и том, где они помещаются, затем о колесах и шкивах (carelli) без зубьев, затем о колесах и шкивах с нитью и затем с зубцами. И скажешь, какие зубья более пригодны по природе, по движению и правилам» (C. A. 155 v. b.).

Приведенная запись дает нам, несомненно, полную возможность реконструировать все построение механики Леонардо, особенно если мы вспомним (см. стр. 427) названия тех частей ее, на которые он сам ссылается. В основном этих частей три: «о движении» (или, вернее, о местном движении), «о весах» и «о машинных элементах». Действительно, из оглавления «Атлантического кодекса» явствует, что, подобно всем писавшим о механике как в античности, так и в средние века, Леонардо кладет в основу всей механики учение о движении. На нем он, подобно Аристотелю и следуя за Иорданом Неморарием и особенно, очевидно, за Биаджио Пелакани, строит или, вернее, хочет строить все свои доказательства и формулировки.

Второй отдел, упомянутый в оглавлении «Атлантического кодекса» только одной строчкой, хотя и с характерной оговоркой «во-первых», есть отдел, посвященный рычагу и весам. То, что Леонардо говорит о нем столь кратко, вполне понятно. Отдел этот — обычная тема многочисленных и широко распространенных трактатов «De ponderibus»— был наиболее ясен и не нуждался в особых пояснениях.

Наконец, последний отдел, наиболее подробно представленный в оглавлении, есть отдел «деталей машин» или «машинных элементов». Этот отдел, может быть самый оригинальный, наи-

более близок сердцу Леонардо, ибо именно он давал непосредственную смычку теории с практикой, именно при его помощи можно было подойти к разрешению ряда конструктивных задач и понять все реальные движения, существующие в природе. В этот же отдел входят рассуждения Леонардо о сопротивлении материалов или строительной механике, о которой Леонардо так говорит в «Кодексе Арундель»:

«Напиши раньше трактат о причинах, рождающих разломы стен, а затем отдельно трактат о средствах борьбы с ними» (Ar. 157 г.).

Таково содержание трактата о механике Леонардо — той механике, которую он называл «знатнейшей и полезнейшей среди других наук» (C. V. U. 3 г.).

Таким образом, в окончательном виде трактат этот должен был состоять из трех больших разделов, рассматривающих: 1) движение и вообще общие основы механики; 2) вес и его проявления, в первую очередь в рычаге и весах; 3) сопротивление материалов и детали машин. Характерно, что в трактате о строительном деле Леона Баттисты Альберти, который мы разбирали выше, в зародыше были намечены эти же темы. Очевидно, сама жизнь, сама действительность, окружающая ученых техников, требовала именно такого построения механики. Оно, не порывая окончательно с традиционным построением науки, особенно с ее перипатетической теоретической основой, вело ее в новом направлении, ставило перед ней новые задачи — задачи помощи развивающейся и крепнущей технике, приобретающей все большее значение.

Глава 2

ДВИЖЕНИЕ, ВЕС И СИЛА

*

§ 1. СУЩНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ. ДВИЖЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЕ

Основные положения механики, на которых она строится и с которых начинается ее аргументация, Леонардо называл «учением о движении», следуя в этом за Аристотелем и всей последующей механической традицией. Однако мы видели уже при разборе отрывков по механике, встречающихся в работах Альберти, стоявшего на той же точке зрения, что под руками ученого-техника эпохи Возрождения, подходившего к своей теме с совсем другими предпосылками и с совсем другими методами, каноническая концепция Стагирита решительно видоизменяется. Процесс этого видоизменения в первой части механики Леонардо заметен уже с полной ясностью.

Мы помним, что как в оригинальном перипатетическом учении, так и в его схоластических трансформациях, особенно в различных вариантах трактатов, приписываемых Иордану Неморарию, все земные движения считались изменяющимися в зависимости от веса движущегося тела и от приложенной к этому весу силы; таким образом, движение, вес и сила образовали как бы неразрывно связанный комплекс определяющих друг друга величин. Уже из первой позиции приведенного выше оглавления леонардова «Трактата о механике» мы могли убедиться в том, что Леонардо не только не отказывается от ут-

верждения этой связи, но, наоборот, подчеркивает ее с особой настойчивостью. Соотношение между тремя понятиями — движением, весом и силой, которое констатировалось и античной и схоластической наукой как само собой очевидное и не требующее особого рассмотрения по существу, изучалось только в отношении влияния количественного изменения одной величины на количественные изменения других. Оно становится постоянным предметом размышлений Леонардо, который в десятках формулировок пытается наиболее пластично, понятно и в то же время наиболее точно выразить это соотношение и наиболее адекватно определить при его помощи каждое из входящих в него понятий. При этом весьма характерно, что к трем понятиям — движения, веса и силы, обычным для механической традиции, Леонардо почти во всех случаях прибавляет четвертое — удар, вообще, как мы видели уже из оглавления, усиленно занимавший его и нередко служивший объектом его наблюдений.

Из ряда формулировок Леонардо, относящихся к этому вопросу, иногда близких друг другу, иногда повторяющихся, мы приведем лишь несколько, кажущихся нам наиболее выразительными:

«Тяжесть и сила (forza) вместе с телесным движением и ударом суть четыре приобретаемые потенции (potenzie accidentali), при помощи которых человеческий род в своих удивительных и разносторонних знаниях как будто в этом мире обнаруживает свою вторую природу. Ибо при помощи этих потенций существуют и умирают все видимые действия смертных.

«Д в и ж е н и е. Движение среди этих потенций является причиной того, что каждая из них может родить себя самоё и также каждую из других, и в том числе движение, без которого не может существовать ни одна из этих сил.

«Тяжесть есть сила, созданная движением, которое при помощи силы переносит один элемент в другой, причем эта тяжесть имеет столько жизни, насколько этот элемент стремится (pena) к возвращению на родину (a ripatriarsi).

«С и л а. Сила и тяжесть имеют большое сходство во всех своих проявлениях (*p*)[1] и различны только в движениях своего рождения и смерти, так как простой вес умирает одним способом, т. е. двигаясь по направлению к центру, сила же (*f*) рождается и умирает при каждом движении.

«Многие философы согласно утверждают, что сила (*f*) есть приобретаемый вес, как бы говоря этим, что тяжесть со своей стороны не является приобретаемой.

«Здесь спрашивается: рождается ли вес сам собой или силой и сила сама собой или весом?

«Возможно определить движение стрелы, зная раньше всего ее вес, а также вес, который нагружает самострел при помощи движения его тетивы».

Этот отрывок, находящийся в «Кодексе Арундель» и, по всей вероятности, относящийся к зрелому периоду творчества Леонардо, содержит одну из наиболее упорядоченных и окончательных, хотя и не безусловно принятую Леонардо формулировку соотношения между движением, силой и весом и определение этих понятий. Вопросы количественного соотношения между рассматриваемыми величинами, содержащиеся в этом отрывке, мы разберем ниже. Здесь же для полноты картины приведем второй вариант этой записи, значительно менее упорядоченной, но зато более выразительной, лучше показывающей лабораторию мысли Леонардо:

«Легкость стремится, насколько может, быть удаленной по окружности от тяжести.

«Тяжесть, сила (*f*) и материальное движение вместе с ударом являются четырьмя приобретаемыми силами (*p*), от которых все видимые дела смертных приобретают свою жизнь и смерть.

«Тяжесть есть некая приобретаемая сила, которая сотворяется движением и заключается в одном элементе, тянущемся или толкаемом другим, и эта тяжесть имеет столько жизни, насколько этот элемент трудится, чтобы возвратиться на родину.

---

[1] Здесь, как и ниже, мы ставим в скобки буквы *f* и *p*, обозначающие слова forza и potenzia.

«Тяжесть есть невидимая сила (p), сотворяемая приобретенным движением и заключающаяся в телах, удаленных от своего естественного положения.

«Между тяжестью и легкостью я не знаю другой разницы, кроме как в их создании и уничтожении, так как тяжесть рождается и умирает по противоположным легкости линиям, и движения их рождения и смерти противоположны.

«Тяжесть есть некая невидимая сила (p), которая сотворяется приобретаемым движением и заключается в телах, находящихся вне своего естественного положения. Она во всех своих проявлениях подобна легкости — своей противоположности.

«Невидимая тяжесть есть некая приобретаемая сила, которая сотворяется движением и заключается в телах, помещающихся вне своего естественного положения.

«Тяжесть и легкость суть два элемента, превращаемые один в другой. Эти две силы (p) настолько сходны во всяком проявлении, исключая движения создания и лишения их, что почти могут быть названы единой.

«Тяжесть, сила и удар имеют такую природу, что каждая в отдельности может родиться от каждой другой и родить ее. И все вместе и каждая в отдельности могут создать движение и рождаются от него.

«Тяжесть и сила должны быть названы сестрами и имеют почти одну и ту же природу, так как они рождены одной и той же причиной, живут тем же желанием и умирают той же смертью.

«Тяжесть и сила вместе с ударом не только должны быть названы сестрами и дочерьми и родительницами одна другой, но также и сестрами потому, что они рождаются от движения и рождают это движение. Но тяжесть и сила имеют во многих проявлениях большое сходство.

«Тяжесть, сила вместе с ударом не только должны быть названы матерью и дочерью одна другой и сестрами друг друга, так как они рождаются движением, но также и родителями движения, так как последнее без первых не может быть

создано. Но каждая из названных сил (p) не может в равной мере создать силу (p), подобную себе.

«Тяжесть и легкость в равных количествах имеют равную силу и подобны во всех своих проявлениях, но только вызывают давление (adoperano priemare) противоположным образом.

«Вес побеждается силой и сила весом. И тот и другая невидимы, но их результаты хорошо измеряемы. И тот и другая желают смерти.

«Сила при умирании не рождает удара, и где ею обнаруживается удар, там есть всегда жизнь силы. Удар рождается весом.

«Вес, чем больше он движется по своему желанию, тем более растет, и в этом случае сила уменьшается.

«Вес желает одну линию, а сила — бесконечное число. Вес имеет в течение своей жизни равную силу (p), а сила постоянно ослабевает.

«Вес по своей природе переходит во все свои опоры и находится весь во всей длине этих опор, и весь в каждой части их.

«Вес столько времени помещается в теле, в котором он рождается, сколько это тело находится вне своего естественного положения, сила же уничтожается в теле, в котором она рождается.

«Удар умирает тотчас же, как только рождается. Сила (f) создает вес и удар. Создает вес, когда при ее помощи поднимаешь тяжесть в воздух; создает удар, когда бросишь камень любым движением.

«Вес создает силу в самострелe, когда натянешь в нем тетиву до собачки.

«Вес создает удар в конце своего движения.

«Удар создает силу при помощи конусов (co'coni), создает вес, когда заставит подпрыгнуть в воздух тяжесть» (Ar. 37 г.).

Приведенные записи интересны своей конкретностью, ясно сквозящим в них стремлением автора схватить и передать в одном пластическом определении свойства и взаимные связи определяемых понятий, показать эти свойства и эти силы на конкретном, взятом из окружающей жизни примере, который

каждый может сам увидеть. Такой подход к научному объекту, глубоко чуждый схоластической науке и отмеченный нами уже выше у Альберти, действительно весьма характерен для всего научного творчества Леонардо, особенно в той его части, в которой он пытается дать наиболее общие определения и установить наиболее общие связи. Вот, например, другое общее определение его:

«О весе, силе, движении и ударе. Вес всегда давит на свою опору и проникает и проходит по самой природе своей из опор в их основания; он находится целиком во всей опоре, и целиком во всем основании, и целиком во всей опоре этого основания, и проникает из опоры в опору вплоть до центра мира.

«Вес всегда давит на свою опору; сила уменьшается (manca) в теле, в котором она рождается.

«Движение слабеет и уничтожается в своем беге, удар умирает тотчас же по рождении, оставляя свою причину запятнанной (maculata).

«Вес, вечно действующий в своем давлении, имеет меньшую силу, чем три другие страсти (passioni), содержащиеся в нем, т. е. сила, движение и удар.

«Вторая из них и вторая по своей перманентности есть сила, которая более сильна, чем вес, и действие ее длится меньше. Третьей по перманентности является движение, имеющее меньшую потенцию (*p*), чем сила (*f*), и рождающееся от этой силы. Четвертой с наименьшей перманентностью является удар —сын движения, племянник силы, и все они рождаются от веса» (A. 35 v.).

Запись эта, повидимому значительно более ранняя, чем запись «Кодекса Арундель», более непосредственная и более наивная, говорит о том же стремлении передать реальные, видимые глазом и ощущаемые руками характеристики основных понятий механики.

Записей подобного или близкого характера в тетрадях Леонардо имеется значительное количество, начиная с самых ранних до самых поздних. Ни одна из них не дает сколько-

нибудь точного, окончательного, строгого определения величин, о которых она говорит; все они весьма расплывчаты, страдают, как легко убедиться даже из приведенных трех примеров, антропоморфизмом и эмоциональной беспорядочностью, но в то же время все они свидетельствуют о неугомонном стремлении по-новому понять, ощутить, объяснить в их внутренних свойствах и в их соотношениях понятия, на которых строится вся механика, понятия, которые часто фигурируют в традиции механики в качестве абстрактных, никак не ощущаемых условностей.

Указанное стремление, конечно, сформировалось не без некоторого, возможно немаловажного, влияния схоластики с ее страстью к определениям, расчленениям и установлениям связей, страстью, правда, почти не прилагавшейся к объектам физической реальности, с которыми мы встречаемся здесь. Но основным в леонардовских характеристиках, несомненно, является новое, характерное для Возрождения вообще и для Леонардо да Винчи в частности, отношение к внешнему физическому миру. В процессе конкретной технической работы и впервые осуществляемых серьезных попыток не только спокойно наблюдать окружающий физический мир, но и вступить с ним в борьбу, переделать его в направлении, нужном для новых социальных слоев, ученый-техник, естественно, совершенно иначе воспринимал, более ясно, органически и реально ощущал те физические элементы, из которых он должен был строить свои формулы. Поэтому понятно, что, еще не вполне и не сразу разбираясь в их внутренней природе, он все же пытается определить или, вернее, на этой стадии описать их по-новому, вкладывая в свое описание весь темперамент ученого-техника и ученого-художника, которому не без основания кажется, что он впервые новыми глазами видит новый мир.

Попробуем, однако, привлекая те тексты, в которых Леонардо говорит не обо всех основных понятиях вместе, а о каждом в отдельности, разобраться в том, как он представляет себе сущность каждого из них.

Основой основ для него, как мы уже говорили, является движение, то движение, которое уже у Аристотеля лежало в фундаменте всего сущего.

Но движение Леонардо понимал, повидимому, не всегда одинаково, что отразилось в его записях и легко может спутать исследователя. Сначала он воспринял, повидимому без особой критики, традиционную перипатетическую точку зрения на движение и его виды. Так, в кодексе «А» он пишет:

«Всякое движение либо естественно, либо вызвано силой, либо и естественно и вызвано силой, т. е. смешано, как, например, движение весов вниз» (A. 1 v.).

Запись эта перечеркнута Леонардо при одном из следующих чтений, что показывает недовольство ею. Он не порвал еще окончательно с укоренившимся веками разделением на движение естественное и насильственное или приобретаемое. Он пользуется этим разграничением и значительно позже, как условно обозначающим явления различного порядка. Но в той простой, традиционно перипатетической формулировке, в которой разграничение это дано в приведенном выше отрывке, оно его уже больше не могло удовлетворять.

В окончательно оформившейся системе взглядов Леонардо движение является именно первичным, определяющим собой и силу и вес, в то время как в более ранних формулировках движение определяется весом и силой. Так, формулировка «Атлантического кодекса» (27 r. b.): «физическое движение производится весом или силой; то, что производится весом, иногда рождает силу, иногда же другой вес, и так же обстоит с силой», должна быть признана хотя и более поздней и совершенной, чем формулировка кодекса «А», но все же не окончательной. Согласно этой формулировке, движение, производимое весом, есть движение естественное, а движение, производимое силой, приобретаемое, что при окончательной формулировке получит несколько иное толкование.

Действительно, в последней формулировке движение определяется не посредством веса и силы, а самостоятельно, как нечто первичное:

«Все движения вызваны богатством или бедностью, и там, где будет большой излишек, там будет и большое движение» (Ar. 132 r.), или из уже приведенного общего определения: «Движение среди этих потенций является причиной того, что каждая из них может родить себя самоё и также каждую из других, и в тóм числе движение, без которого не может быть ни одна из этих сил» (Ar. 151 v.).

Последнее определение особенно важно, ибо оно хотя и настаивает на первичности движения, но все же считает возможным говорить и о его определяемости весом и силой, на которой построена бóльшая часть ранних механических рассуждений Леонардо.

Итак, движение, вызванное богатством или бедностью, определяет собой в первую очередь вес. В поздних записях Леонардо имеется значительное число попыток объяснить эту связь. Приведем кажущиеся нам наиболее отделанными:

«Тяжесть и легкость суть приобретаемые свойства (accidenti), создаваемые при движении (tirato) одного элемента в другом.

«Если тяжелый элемент движется в элементе легком, то он не убегает от него по своему выбору или желанию (находящемуся в нем), но исключительно потому, что легкое не может поддержать его. Доказывается это, если двигать воду в воздухе.

«Центр мира притягивает к себе не потому, что в весе есть желание стремиться к этому центру, но только потому, что воздух не может поддержать вещи более тяжелые, чем он сам.

«Весомое тело никогда не прекратит опускаться до тех пор, пока сила, равная ему, не будет противостоять его опусканию. Опускается же оно по прямой линии не потому, что вес этот может выбирать прямое движение скорее, чем движение наклонное или криволинейное, но потому, что бóльшим весом оно давит на воздух, который попадает под него, чем на воздух боковой и расположенный над ним. Тот же воздух, который испытывает большее давление, скорее поддается и уступает место весомому телу, находящемуся над ним.

«1. Следовательно, неравные вещи суть такие, которые превосходят друг друга.

«2. Вещи же, равные между собой, не пересиливают друг друга.

«Пусть некоторое количество легкого служит опорой тяжелого. Тогда это легкое будет пересилено тяжелым и изгнано со своего места.

«Пусть некоторое количество тяжелого будет поддержано другим тяжелым, равным ему; тогда это, несомненно, не будет изгнано и не изгонит другое из его места.

«Тяжелая вещь находится ниже более легкой, и та вещь более низка, которая более близка к центру мира; следовательно, две вещи равной тяжести и высоты будут сопротивляться друг другу и будет это происходить в центре мира» (C. A. 244 v. a.).

Это же лучше выражено в «Кодексе Арундель» (205 г.):

«Ни один элемент не имеет в себе ни тяжести, ни легкости, если он не движется. Земля находится в соприкосновении с водой и с воздухом и не имеет в себе ни тяжести, ни легкости и испытывает воздействие воды и воздуха, окружающих ее, только приобретаемо (per accidente) благодаря движению. И этому нас учат листы трав, растущих над землей, соприкасающейся с водой и воздухом, каковые сгибаются только под действием движения воздуха или воды.

«Опираясь на вышеизложенное, скажем, что тяжесть есть приобретаемое свойство, создаваемое движением низших элементов в высших.

«Легкость есть приобретаемое свойство, создаваемое более редким элементом, влекомым под менее редкий, каковой, не имея возможности сопротивляться, движется и тогда приобретает вес, который рождается непосредственно, как только нехватает сопротивления такому элементу. Сопротивление же это, будучи побеждено весом, не изменяется без изменения сущности (substanzia), изменяя же ее — приобретает название легкости.

«Легкость рождается вместе с тяжестью, как тяжесть с легкостью. Доказывается это так: пусть воздух нагнетается под

воду при помощи дутья в трубку; тогда воздух, находясь под водой, приобретает легкость и вода приобретает тяжесть, имея под собой воздух — тело более редкое и более легкое, чем она сама.

«Следовательно, легкость рождается от тяжести и тяжесть от легкости. И они одновременно рождают одно другое, отплачивая друг другу за благодеяние своего создания и в один и тот же момент разрушают одно другое, как мстители за свою смерть.

«Легкость и тяжесть суть одновременно мать и дочь друг друга.

«Легкость и тяжесть непосредственно вызываются движением» (Ar. 205 r.).

Приведенные два довольно пространных отрывка не являются единственными, рассматривающими этот вопрос; число их весьма значительно и в большинстве своем они дают в точности то же или почти то же объяснение тяжести.

Объяснение это само по себе весьма любопытно. В первой части (см. стр. 20) мы отмечали, что уже у Аристотеля имеются следы учения о том, что всякое тело не весит в своем элементе, а весит в элементе более редком, и высказывали предположение, что следы эти довольно решительно противоречат основной концепции Стагирита, согласно которой тяжесть вызывается стремлением каждого элемента к своему естественному месту. Эти следы проникли в работы Аристотеля из ученья атомистов. Теперь же мы видим, что Леонардо взял либо из несомненно ему известных писаний Аристотеля, либо из какого-нибудь из схоластических комментаторов (античные комментарии вряд ли были ему доступны) именно весьма неразвитую, брошенную мимоходом и не пользовавшуюся особой популярностью в схоластической физике материалистическую мысль атомистов. Этим он стал в резко отрицательную позицию по отношению к канонической перипатетической точке зрения о том, что тяжесть вызывается стремлением к своему естественному месту, что видно и из приведенного выше отрывка (C. A. 244 v. a.) и из ряда других мест, например:

«Движение свободно падающего весомого тела, являющегося единым, будет прямым. Весомое тело падает к центру мира не потому, что этот центр притягивает его к себе, и не потому, что оно направляется к нему по своему выбору, а потому, что воздух не может ему сопротивляться» (Ar. 189 v.).

«Движение, производимое весомыми телами по направлению к общему центру, происходит не вследствие желания этого тела найти этот центр и не вследствие притяжения, производимого этим центром, подобно магниту, вызывающему притягивание веса, но вследствие крайней противоположности элементов, так как огонь, будучи более легким, стоит более высоко и по окружности отдалено от более тяжелого элемента, т. е. земли. Воздух, который более похож на этот огонь, более приближается тоже по окружности, почему два более тяжелых элемента обнимаются и соединяются вместе и то же делают два более легких, и можно себе представить такую пропорцию между тяжестью земли и тяжестью воды, какова она между легкостью огня и легкостью воздуха и между воздухом и водой. Поэтому, так как воздух имеет сферическую форму (рис. 29) и сферически же его описывает огонь, необходимо, чтобы оба имели общий центр, почему мы и называем такой центр общим. Если же по какому-нибудь случаю какая-нибудь часть воздуха подымается в элемент огня, она потом опять упадает по наиболее короткому пути в свой элемент, а так как этот путь наиболее короток, то он прямо (перпендикулярно) направлен к центру, и то же делает огонь в воздухе, спускаясь по прямой линии в свой элемент, и то же земля в воде также по кратчайшему пути» (C. A. 153 v. a.).

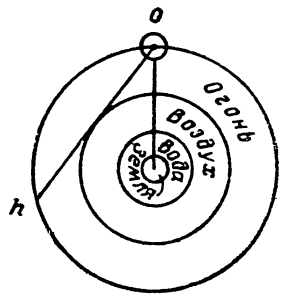


Рис. 29

В последнем отрывке затронут не только вопрос о сущности тяжести, но и о том, почему она действует по прямой линии и направлена к центру земли или, как Леонардо, в точном

соответствии с космологией его времени, говорит, к центру мира. Этот вопрос также нередко занимал его; так (Ar. 175 r.), он спрашивает себя:

«Возможно ли, чтобы весомое тело само по себе держалось на легком?», и отвечает:

«Когда более легкие элементы двух миров будут соприкасаться друг с другом, то весомое тело, центр которого будет находиться в этом соприкосновении, будет без движения».

И дальше:

«Почему вес не остается в своем месте? Он в нем не остается, так как не имеет сопротивления. И куда он будет двигаться? Будет двигаться по направлению к центру. А почему не по другим линиям? Потому, что вес не имеет сопротивления и будет спускаться книзу по наиболее короткому пути, а наиболее низкое место есть центр мира. Почему же вес умеет находить его с такой легкостью? Так как он не блуждает как нечувствительный по многим линиям».

Или то же самое, но еще более определенно (Ar. 175 v.):

«Всякое действие, производимое природой, не может быть произведено более коротким образом при помощи тех же средств. Если даны причины, то природа рождает следствия наиболее короткими способами, какие только возможны.

«Вес опускается благодаря недостатку сопротивления, и то сопротивление, которое слабо, скорее уступает ему место.

«Весомое тело без опоры опускается книзу по кратчайшему пути, но не существует вещи более низкой, чем центр мира. Следовательно, там оно и остановится».

Мы не будем более подробно разбирать леонардово учение о тяжести, постоянно занимавшее исследователя и лежавшее, что вполне естественно, в основании всей его системы механики. Уже из приведенного ясно, что учение это далеко от четкости, строгости и последовательности; что, излагая его, Леонардо нередко допускает порочный круг доказательства, объясняя природу веса разностью весов четырех элементов. Но в то же время ясно, что в своем учении о тяжести Леонардо стремится, насколько возможно, отказаться от идеалистических элементов,

наиболее бросавшихся в глаза в канонической перипатетической системе. Притяжение центра, стремление к центру, к естественному месту и самое существование такового казались ему мало вероятными, как-то плохо согласовываясь с его мироощущением практика-экспериментатора. Ему хотелось заменить эти стремления к центру, которые не могли быть вскрыты в опыте, свойствами различных сред; на эти свойства усиленно начала обращать внимание уже схоластическая наука, что нашло себе отражение хотя бы в четвертой книге печатного издания третьего варианта трактата Иордана Неморария (см. стр. 159) или в трактате Биаджио Пелакани. Все это учение Леонардо сводит к трем основным положениям. Во-первых, вес порождается движением; во-вторых, движение это вызывается разностью плотностей элементов, из которых состоят все предметы, и, в-третьих, движение это, как все в природе, происходит по кратчайшему пути, каковым является прямая линия, соединяющая центр данного тела с центром земли,—«центральная линия», как ее называет Леонардо.

При таком понимании тяжести неясным остается один пункт: почему именно при разности плотностей данного тела и среды, в которой оно находится, возникает движение или порожденный им вес? На этот вопрос Леонардо дает следующий, далеко не вполне логичный ответ. Движение более плотного тела в менее плотном вызывается свойственным всему сущему стремлением к покою. А так как элемент в своем элементе не весит, т. е. не движется, т. е. находится в покое, то тело, находящееся в другом элементе, стремится к своему элементу:

«Тяжесть есть некое приобретаемое действие (accidentale azione), производимое одним элементом, влекомым в другом, и имеющее столько жизни, каково стремление к возвращению на родину в этих элементах» (Ar. 181 r.).

Или в другом месте:

«Аристотель говорит, что всякая вещь желает сохранить свою природу.

«Тяжесть, изгоняемая от легких вещей, желает такого места, где бы она более не весила, где бы ее плотность осталась

без веса; найдя его, она более не весит и более не двигается сама по себе» (C. A. 123 r. a.).

«То же, почему это стремление к покою происходит вниз, а не вверх, объясняется присущим весу свойством проникать в свои опоры. Вес всегда давит на свою опору и проникает и проходит по самой природе из опор в их основания; он находится целиком во всем ее основании и целиком во всей опоре этого основания и проникает из опоры в опору вплоть до центра мира» (A. 35 v.).

Последнее, как бы двойное объяснение, вводимое, очевидно, в виде поправки, дополнительного разъяснения к основной концепции, которую мы пытались сформулировать выше, особенно слабо: как первая его часть антропоморфно-метафизического характера, обнаруживающая явные следы отраженной и в схоластике платоновской точки зрения на тяжесть, так и вторая, явно обнаруживающая свое эмпирическое, даже техническое происхождение, не убедительны и не продуманы. Но мы склонны полагать, что оба эти объяснения в данной связи не играют особенной роли. Для введения в общую механическую систему объяснения веса было достаточно той трехчленной формулы, которую мы привели выше, и при всей ее недоговоренности и несовершенстве Леонардо пользуется ею постоянно.

Механика античности и средневековья, занимаясь изучением тяжести, обычно ставила перед собой два вопроса: первый — о соотношении между скоростью падения под действием силы тяжести и весом падающего тела, второй — о причине ускорения падения.

Леонардо, и это чрезвычайно характерно, сравнительно мало интересовался ответом на второй вопрос. Проблема ускорения силы тяжести стоит для него на втором плане. Повидимому, она казалась ему слишком абстрактной, не поддающейся опытному разрешению, никак не связанной с практическими задачами, которые наш исследователь никогда не упускал из виду, и в то же время не столь общей, как, например, проблема тяжести, разобраться в которой было необ-

ходимо, поскольку тяжесть — это основное явление, с которым оперирует механика.

Но не только малый интерес к причине ускорения характерен для Леонардо: не менее характерна и та точка зрения, на которую он в этом вопросе становится. Мы видели (см.стр.174), что наиболее передовой теорией, выдвинутой схоластами, была теория, объяснявшая ускорение, так же как полет брошенного с силой тела—воздействием особого импето. Леонардо, несомненно знакомый с сочинениями Буридана и Альберта Саксонского, в творениях которых эта теория нашла себе наиболее полное отражение, и принимающий теорию импето для объяснения полета брошенного в воздух тела (см. ниже, стр. 502), совершенно отказывается от нее для объяснения ускорения тела свободно падающего. Стремясь объяснить самое явление тяжести из разности плотностей среды и падающего тела, Леонардо хочет и ускорение свести к причинам того же порядка — к воздействию среды, в которой происходит падение. Такое объяснение кажется ему более материалистическим, т. е. более научным, и более гармонирует со всей его системой.

В сравнительно поздней рукописи «М», ряд страниц которой трактует вопросы свободного падения тел в воздухе, Леонардо дает такое объяснение ускорения (М. 46 г.):

«Свободно опускающаяся тяжесть в каждой степени движения приобретает степень веса. Это происходит по 2-й первой, утверждающей, что «то тело будет более тяжелым, которое имеет меньше сопротивления». В этом же случае свободное падение весомых тел ясно видно из уже приведенного опыта с волной воды (так как такую же волну делает воздух под опускающейся вещью), почему она оказывается толкаемой и тащимой с противоположной стороны, т. е. она производит крутящуюся волну, которая помогает толкать ее вниз. Итак, по этим причинам воздух, убегающий перед весом, гонящим его, ясно обнаруживает то, что он не сопротивляется ему и, следовательно, не затрудняет это движение, почему чем больше опускается волна, которая идет более быстро, чем тяжесть, движущая ее, тем больше делается движение этой тяжести и тем

бо́лее далекой от него делается последняя волна, приготовляющая воздух, касающийся веса, к более легкому бегу».

И несколько раньше (M. 45 v.):

«Волна воздуха, рождающаяся благодаря телу, которое движется через этот воздух, будет значительно более быстрой, чем движущее ее тело.

«То, что выше утверждается, происходит по той причине, что вещество воздуха весьма подвижно и легко воспринимает движение, и когда тело движется через него, то оно производит первую волну при первом своем движении и в то же время эта волна не может рождаться так, чтобы не вызвать другую после себя, и эта другая другую, и так при движении этого тела через воздух оно в каждую степень времени производит умножение волн под собой, каковые своим бегом приготовляют путь движению своего двигателя».

Таким образом, отказываясь от объяснения ускорения при помощи теории импето, являвшейся как бы предшественницей теории земного тяготения, Леонардо воскрешает, несколько изменяя и усовершенствуя ее, одну из античных теорий объяснения как естественного, так и особенно приобретаемого движения, теорию, объяснявшую как ускорение, так и полет брошенного тела воздействием волн среды, разрезаемой движущимся телом.

Ему, в течение всей жизни стремившемуся изобразить в живописи и объяснить научно волны в волосах, в одежде, в воде, в воздухе, такое объяснение было наиболее близким и казалось наиболее чуждым всякой мистики и схоластической искусственности.

Но, занимаясь только мимоходом ответом на второй из традиционных вопросов механики, связанных с тяжестью, Леонардо старается дать возможно более точный ответ на первый из них. Проблема соотношения между весом свободно падающего тела и скоростью падения длительно занимает Леонардо. Кроме того, он прибавляет к этому еще два вопроса, значительно менее традиционные, свежие и интересные: вопрос о количе-

ственной характеристике ускорения свободно падающих в воздухе тел и вопрос о том, как протекает падение тел разной формы.

Первый из вопросов, связанных с падением, разрешался всей механикой до Леонардо совершенно однозначно. Аристотель установил, что при равном объеме более тяжелое тело падает скорее и что вообще скорости падения весомых тел пропорциональны их весам. Мы видели выше (см. стр. 175), что в средневековой западной науке теория эта почти не подвергалась оспариванию и принималась как совершенно несомненная; естественно поэтому, что таковой же ее считает и Леонардо. Но твердо веря в то, что освященная веками научной традиции истина является непреложной, он, привыкший все, даже самое несомненное, проверять сам, как бы ощупывать все собственными руками, стремившийся переложить на язык повторимого в любом количестве раз эксперимента абстрактный язык схоластических формул, уже в одной из ранних своих механических записей предлагает произвести опытную проверку этого положения.

«О п ы т. Если ты хочешь проверить (provare), насколько скорее падает вес в одну унцию, чем вес в 2 унции, если они падают с одной и той же высоты, то ты сделай так: возьми 2 куска сахару одной и той же толщины, но двойной длины, т. е. такие, чтобы тот, который весит две унции, был вдвое длиннее другого, брось их вместе в одно и то же время с высоты колокольни и следи за меньшим, который остается сзади, отмечая глазом отметины стены или же камней, мимо которых он пролетает; когда ты услышишь, что 2 унции ударились об землю, отметь, у какого камня колокольни вес в одну унцию находился, и затем смерь, какой путь проделала унция, когда 2 унции произвели удар» (A. 30 v.).

В этом опыте Леонардо употребляет тела не равного объема, а сделанные из одного и того же вещества, и притом имеющие равное поперечное сечение, при различной высоте. С такими же телами он оперирует и в другой формулировке того же перипатетического закона:

«Доказано в первой книге «О весе», что среди весомых тел равной толщины пропорция скорости и длины их движения такова, какова она между движущимися весами.

«То есть, если будут существовать два весомых тела равной толщины и одно будет в два раза тяжелее другого, и если одновременно дать им упасть в воздухе, то я утверждаю, что если одно тело будет вдвое тяжелее другого, то движение их будет находиться в той же пропорции и также скорость.

«В телах равной толщины пропорция скоростей и весов равна (C. A. 124 r. a.)».

Естественно поставить перед собой вопрос; какие же результаты должен был получить Леонардо, проделывая описанные выше опыты? Т. Бек, задавшийся этим вопросом,[1] пришел к выводу, что если давать падать в воздухе двум кубикам, сделанным из материала, обладающего одним удельным весом, причем сторона одного из кубиков будет в n раз больше стороны другого, то, поскольку ускорение за время dt падения тела с сопротивлением воздуха с поверхностью, подвергающейся сопротивлению, F и объемом L определяется из выражения

$$w = \frac{gdt\,(L - CFv^2)}{L},$$

постольку при увеличении всех сторон кубика в n раз мы получим

$$w^1 = \frac{gdt\,(nL - CFv^2)}{nL}.$$

Из этого следует, что с увеличением всех измерений падающего тела (так как объем будет расти в кубе, а поверхность, подвергающаяся сопротивлению, в квадрате) ускорение будет увеличиваться. Случай, рассматриваемый Леонардо, когда растет только одно измерение, будет также соответствовать приведенному выше выражению; следовательно, утверждение, что скорость падения растет вместе с увеличением высоты

[1] Th. B e c k. Leonardo da Vincis Ansicht vom freien Falle schwerer Körper. Z. V. D. Y. № 35, 3 aug. 1907.

и сохранением поперечного сечения и удельного веса тела могла быть полностью заимствована из опыта.

Правда, пропорциональности между весом и скоростью падения мы не получим, так как фактически скорость тела с одним большим измерением и в два раза бо́льшим весом будет больше не в два раза, а гораздо менее. Но из описания условий эксперимента мы видим, что сколько-нибудь точно измерить эту скорость Леонардо не мог. Определяя на-глаз положение падающего веса на делениях помещенной сзади него шкалы, конечно, можно было только очень приблизительно определить соотношение скоростей. Поэтому, убедившись из многократных экспериментов в том, что более тяжелое тело падает скорее, и не имея возможности точно измерить разницу скоростей, Леонардо, твердо помнивший основной перипатетический закон, что скорость падения пропорциональна весу, счел этот закон доказанным своими экспериментами.

Таким образом, эксперименты не только не дали оснований для опровержения ошибочного перипатетического закона, но, наоборот, решительно его подтвердили.

Подкрепляя опытами традиционную аристотелеву точку зрения на пропорциональность между весом тела и скоростью падения, Леонардо не упускал из виду также и освященного традицией Аристотеля, восходящей к нему самому, воздействия среды. Абстрактное рассмотрение падения, обычное для схоластов, претит ему, и он оговаривает:

«О ты, говоривший, что, давая упасть двум весам с разной высоты, причем они находятся в половинном отношении [1] один к другому, ты получишь, что время их падения будет казаться в двойном отношении. Ты ошибешься, если захочешь выбросить сопротивление воздуха, и покажешь, что ты не помнишь о том, что веса, находящиеся в данном отношении, были

[1] «Proportione sexquialtera». Различные наименования отношений, применяемые им и, очевидно, обычные для его времени, расшифрованы самим Леонардо в листе 153 v. «Кодекса Арундель». Отношение sexquialtera объяснено им так: «3.2 sexquialtera le $^{1}/_{2}$».

установлены при взвешивании над сопротивлением воздуха» (С. А. 165 r. a.).

Для опытного определения этого влияния воздуха Леонардо рекомендует следующий опыт:

«Равные по весу. Я хочу увидеть, замедляется ли длина одного движения своим большим соприкосновением, когда ты даешь упасть двум весам, один из которых вдвое тяжелее другого. Помести на равной высоте их нижние концы и помести на середине их общего падения доску под более легким весом, а другую доску помести в конце падения, которое должен проделать более тяжелый вес; затем помести свое ухо между двух досок и, держа в руках нить, освободи оба веса и слушай звук от двух падающих тел, ударяющих о доски, соединен ли он или нет, и если он не соединен, то смотри, который ударит раньше, и выведи свои законы (fa le tue regole)» (С. А. 151 v. a.).

Ответа на поставленный вопрос Леонардо не дает, но методика очень ясного и в данной системе весьма остроумного опыта совершенно ясна. Леонардо давно почувствовал, что первый рекомендованный им эксперимент не дает возможности точно сравнить скорости падений, и он дает способ, который эту возможность предоставляет. Совершенно ясно, что, произведя несколько экспериментов описанным выше способом, Леонардо должен был неизбежно обнаружить ошибочность прокламированной им ранее перипатетической формулы и, несомненно, ее обнаружил. Но, несмотря на это, он не отверг самой формулы, что казалось ему все-таки слишком смелым, а объяснил неточное подтверждение ее экспериментом сопротивлением воздуха, более трущегося о большее тело и замедляющего его падение, которое в безвоздушном пространстве было бы действительно по своей скорости пропорционально весу (реальное существование безвоздушного пространства Леонардо, как и вся схоластическая физика, впрочем, вряд ли признавал).

Таким образом, теория, устанавливаемая Леонардо, стремящимся к наибольшей конкретности, к учету всех реальных условий опыта, по странному парадоксу истории оказывается, диаметрально противоположной истинному положению вещей,

окончательно установленному Галилеем; даже более противоположной, чем традиционная, чисто метафизическая теория, сформулированная Аристотелем. Действительно, Леонардо устанавливает, что в теоретическом случае в безвоздушном пространстве скорость падения пропорциональна весу, а в воздухе эта пропорциональность несколько нарушается; перипатетическая же теория гласила, что пропорциональность эта существует именно в воздухе, а это в некоторых случаях ближе к истине. И в то же время, формулируя глубоко неправильный закон, Леонардо занимает в этом вопросе, несомненно, прогрессивную позицию; то, что он настаивает на проверке закона экспериментом, и особенно то, что он различает падение в воздухе и, для его времени теоретический, случай падения в безвоздушном пространстве, делает его, формулирующего наиболее ошибочную теорию, прямым предшественником создателей теории правильной.

Экспериментируя над соответствием скорости падения и веса падающего тела, Леонардо совершенно естественно подошел к вопросу, к которому на совсем других путях, путях философски-геометрических, подходили и его предшественники Альберт Саксонский и Николай Орезм,— к вопросу о количественной характеристике ускоряющегося движения. Мы видели, что Альберт Саксонский из ряда априорных соображений, подкрепленных весьма слабым материалом наблюдений, вывел утверждение, что ускоренное движение подчиняется арифметической прогрессии, т. е. что, когда пути или времена растут в арифметической прогрессии, скорости растут в той же прогрессии с тем же показателем, т. е. что при двойном пути или двойном времени (решительно выбрать между этими вариантами Альберт по средневековой традиции не может) скорость будет двойная, при тройном — тройная и т. д.

Мы видели, что Николай Орезм, известный Леонардо, так же как Альберт Саксонский, в своей работе о свойствах равномерно-неравномерных явлений (qualitas uniformiter difformis) еще ближе подошел к правильному определению зависимости скорости ускоренного движения от времени, в течение которого

это движение происходит. Естественно поэтому, что Леонардо, для которого проблема скорости свободного падения тел в воздухе была тесно связана с рядом интересовавших его технических вопросов, в первую очередь относящихся к области баллистики, включил в круг своих интересов вопрос о количественной характеристике ускорения. При этом ясно, что метод, принятый Альбертом Саксонским, механиком, которого, как свидетельствуют многократные упоминания в записях, Леонардо особенно подробно и внимательно изучал, был совершенно неприемлем для трезвого подхода винчианца. Наоборот, геометрический метод Орезма, наглядный, но абстрактный, должен был привлечь его внимание, хотя также не мог стать основным методом для выяснения интересующей исследователя закономерности.

Как обычно и в точном соответствии со своими методологическими принципами, Леонардо начинает с наблюдения, которое затем упорядочивает, повторяет и вводит в науку в виде систематического эксперимента — одного из наиболее сложных и развитых во всех его записях.

На странице 151 v. a. «Атлантического кодекса» он следующим образом описывает и изображает (рис. 30) установку для наблюдения законов падения:

«Для того чтобы на опыте найти пропорцию интервалов падения разных и однообразных весов, пусть будет поставлена вертикально доска *mn* и пусть она будет покрыта известью (interrata con terra di cimatura); к этой доске пусть будет присоединена наподобие книги доска *op* так, чтобы их можно было мгновенно сложить двумя нитями, как видим (на рисунке), и пусть на верхнем краю доски, покрытой известью, будет укреплен конец черботаны (огнестрельное оружие), поставленной дулом вниз (stoppata da pie), полный шариками разного веса и формы. Затем укрепи хорошо черботану и покрытую известью доску и открой черботану; когда увидишь, что первый шарик дошел до половины покрытой известью доски, тотчас же дай упасть противовесу; обе доски закроются, и шарики, которые падали, скользя по извести, все воткнутся в известь,

Рис. 30

и ты затем сможешь измерить отношение разностей их расстояний.

«Если хочешь проделать этот опыт, то черботана не годится, так как тот шарик, который будет последним в черботане, будет падать с большей высоты, чем первый, почему его движение будет более быстрым.

«Этот же способ хорош для того, чтобы на опыте проверить падение двух движимых тел, из которых одно вдвое тяжелее другого, и ты увидишь, действительно ли падение более легкого проделает половину пути, когда более тяжелое коснется земли».

Опыт, предлагаемый Леонардо, чрезвычайно ясен и прост, хотя и страдает дефектом, который, как видно из предпоследнего абзаца приведенного отрывка, был тут же замечен и автором: шарики, помещенные в дуле один за другим, будут при своем падении проделывать еще в самом дуле движения разной длины, почему интервалы между ними окажутся не вполне сравнимыми.

Мы не знаем, применял ли на практике Леонардо свою установку.

Если он ее применял, придумав какое-нибудь приспособление для задержки очередного шарика перед его выпуском из дула, т. е. приспособление, дававшее возможность выпускать шарики действительно с одной высоты и тем уничтожить замеченный им самим дефект, то эксперимент его должен был показать, что шарики, выпускаемые через равные промежутки времени, сохраняют равные расстояния. По всей вероятности, однако, установка в том или другом виде применялась, так как в другой записи «Атлантического кодекса» (C. A. 147 r. a.) мы находим указание на то, что закон ускоренного падения выведен именно при помощи какой-то установки, близкой по типу к описанной выше. Текст этот будет приведен нами несколько дальше.

Но если мы можем только догадываться о том, каким образом Леонардо пришел к своим формулировкам закона ускорения свободно падающего тела, то самые эти формулировки нам известны достаточно хорошо. Наиболее полная из таких формулировок, занесенная в кодексе «М», звучит так (44 v.):

«Случается в воздухе равномерной плотности. Опускающаяся тяжесть в каждой степени времени приобретает на одну степень движения больше, чем прошлая степень движения, почему в каждом удвоенном количестве (quantita) времени удваиваются длина и скорость движения.

«Здесь показывается, что то же отношение, в котором находится одно количество времени с другим, будет существовать и между одним количеством скорости с другим» (рис. 31).

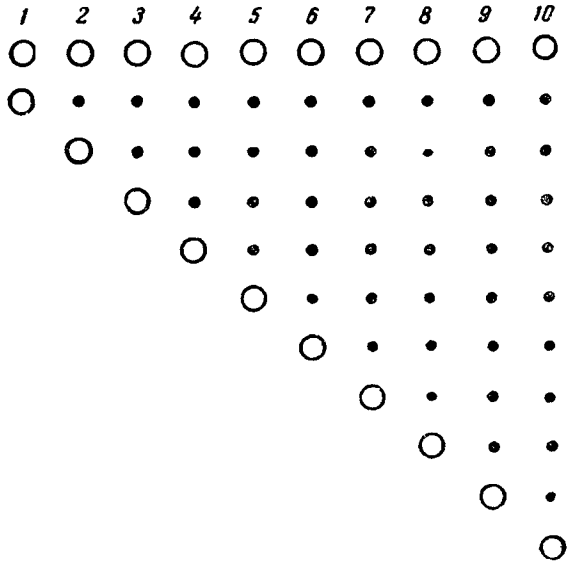


Рис. 31

И ниже (М. 45 г.):

«О д в и ж е н и и. Свободно опускающаяся тяжесть в каждую степень времени приобретает степень движения и в каждую степень движения приобретает степень скорости... Скажем, в первой степени времени оно приобретает одну степень движения».

Смысл этих двух формулировок, так же как иллюстрирующего первую из них рисунка, вполне ясен: следуя за Альбертом Саксонским, но ставя в центр внимания времена, а не пути,

Леонардо утверждает, что при увеличении времени падения вдвое, втрое и т. д. скорость движения и длина падения также удваиваются, утраиваются и т. д. Такая формулировка Леонардо является вполне правильной, когда он говорит о пропорциональности скорости падения в конце каждой единицы времени этому времени, т. е. соответствует современной формуле $v = at$, и не вполне правильной, когда он говорит о пропорциональности пути, проходимого в каждую единицу времени (а отнюдь не во все время падения), этому времени. Он принимает, что тело в течение каждой единицы времени движется со скоростью, которую оно имеет в конце этой единицы, в то время как оно фактически движется со средней скоростью; скорости эти могут быть приняты равными только при бесконечно малых единицах времени, о чем Леонардо вряд ли думал.

Таким образом, весь путь, проходимый телом, падающим в воздухе, в течение, предположим, семи единиц времени, будет, по Леонардо, равен сумме путей, проходимых в течение семи единиц времени; причем в каждую следующую единицу времени к пути, проходимому в течение предыдущей единицы, прибавляется путь, проходимый в течение первой единицы, т. е. пути растут в арифметической прогрессии с показателем, равным пути первой единицы, и весь путь будет равен $1+2+3+4+5+6+7=28$ единиц, в то время как фактически он будет равен 24.5 единиц.[1] Формулировка эта, при всех возражениях, которые можно сделать против нее с точки зрения современной механики, является в высокой степени замечательной, открывающей для дальнейшего развития науки новые, неизведанные пути и перспективы.

Ту же частично правильную и частично неправильную теорию Леонардо излагает и в другой записи того же кодекса «М»:

«Если много тел равного веса и формы будут выпущены падать одно за другим в равные времена, то излишки их интервалов будут равны между собой.

[1] Наилучший, хотя все же несколько поверхностный разбор леонардовых законов ускоренного движения дан в цитированной нами выше статье Th. Beck. L. d. V. Ansicht vom freien Falle schwerer Körper...

«Доказательство (Demonstrazione) по 5-й первой, которая утверждает, что падающая вещь в каждой степени движения приобретает равные степени скорости, поэтому много более быстрым будет движение последней снизу, чем первой сверху: и по 8-й первой, которая утверждает, что «такое отношение будет иметь верхняя пара в своем интервале с интервалом нижней пары, каково оно между скоростью нижней пары и верхней, и наоборот, скорость с расстояниями, как расстояния со скоростями» (M. 570).

Таким образом, Леонардо, формулируя закон ускорения, идет по пути, указанному Альбертом Саксонским. Но, во-первых, его формулировка и особенно основание ее бесконечно более живы, наглядны и подкрепляются рядом экспериментов, чего у Альберта, конечно, не было; во-вторых, формула Леонардо, принимая за независимую переменную время, считала возможным рассматривать, как ее функции, скорости или пути. Формулировка же Альберта принимала за независимую переменную либо время, либо путь и, как функцию любого из них, рассматривала скорость; это, конечно, в случае принятия за основу пути и формулирования простой пропорциональности приводит к еще более неправильному результату, чем формулировка Леонардо.

Но, установив вслед за Альбертом Саксонским закон, которому подчиняется падение весомых тел, Леонардо, стараясь использовать все намеченные наукой пути к разрешению каждой данной задачи, применяет и графический анализ падения, нашедший себе, как мы видели (см. стр. 179), отражение в трудах Николая Орезма.

Этот метод не дает ему никаких новых результатов, ибо то предположение о средней скорости, которое Дюхем и Марколонго считают особенным достижением Орезма, и без его графического доказательства следовало из всей концепции как Альберта, так и Леонардо. Метод этот, однако, дает возможность лишний раз, и притом более наглядно, разъяснить установленный закон. Приведем два соответствующих высказывания:

«О д в и ж е н и и. Доказательство пропорциональности времени и движения вместе со скоростью, имеющей при падении весомых тел пирамидальную форму (figura piramidale), ибо названные силы все пирамидальны, начинаясь с ничего и постепенно вырастая по степеням в арифметической прогрессии (a gradi di proportione arithmetica).

«Если ты разрежешь пирамиду в любой степени ее линией, параллельной ее основанию, то ты найдешь, что такое же отношение, которое существует между расстоянием этого разреза от основания и всей высотой этой пирамиды, будет иметь ширина этого разреза с шириной основания. Посмотри, что *ab* есть $^1/_4$ *ae* и также — разрез *fb* есть $^1/_4$ основания *ne*» (рис. 32; М. 44 г.); «или: «то же отношение, которое существует между первым и вторым телом, будет и между предпоследним и последним.

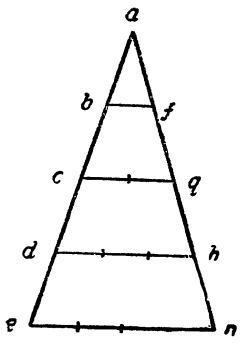


Рис. 32

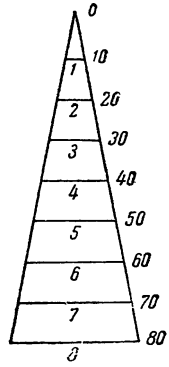


Рис. 33

«О п р е д е л е н и е д в и ж е н и я р а з д е л ь н о г о (discreto) в е щ е с т в а. Так как естественное движение весомых тел при каждой степени приобретает степень скорости, то такое движение изображается в отношении приобретения силы (*p*) в виде пирамиды, ибо пирамида также приобретает в каждой степени своей длины одну степень ширины, и таким образом отношение между приобретениями получается

(находящимся) в арифметической прогрессии, так как излишки постепенно равны» (рис. 33; M. 59 v.).

В обоих приведенных отрывках легко узнать терминологию и метод подхода к вопросу, завещанные Орезмом и затем широко распространенные в университетском преподавании под именем учения «De latitudinibus formarum». Это учение изложено в одном из трактатов Биаджио Пелакани и было, повидимому, известно Леонардо. Ускоренное движение есть qualitas formiter difformis (равномерно-неравномерное качество), и таковые (как это неоднократно утверждал Леонардо) графически изображаются пирамидой или треугольником, высота которого изображает, очевидно, время падения, а основание — скорость. Площадь же треугольника Леонардо, в противоположность Орезму, не рассматривает.

Установив, как ему кажется, и окончательно объяснив закон падения весомых тел, Леонардо, однако, повторяя многократно свои опыты, видит, что формулированная им зависимость подтверждается далеко не точно; здесь, как и в случае подтверждения перипатетического закона о пропорциональности между весом тела и скоростью его падения, на помощь приходит все то же постоянно интересующее его влияние среды, которое несколько изменяет результат.

Так, в помещенном ниже отрывке, который, впрочем, мы понимаем далеко не полностью (особенно конец), Леонардо высказывает ряд сомнений в том, что при тщательном проведении опытов его закон подтверждается. Возможно, что эти сомнения отражают сознание неправильности операций с конечными скоростями вместо средних при определении проходимых путей.

«Здесь рождается сомнение при падении неспло́шного (discreta) вещества (quantità), например шариков, которые падают через равные промежутки времени; состоит же оно в том, что если ты хочешь, чтобы излишки находились в непрерывной арифметической прогрессии, то второй шарик будет превосходить первый на двойное расстояние, проходимое движением, сотый же не будет превосходить его бо́льше, чем

на 100 расстояний; если ты хочешь, чтобы эти разницы составляли непрерывную арифметическую прогрессию, и ты сделаешь падение в миллион миль, то ты увидишь, что время последнего не отвечает времени первого.

«О п ы т. Помести 25 шариков черботаны равного веса в пушку так, чтобы они лежали один над другим перпендикулярно, помести их в высокое место; открой нитью и стой внизу, и движение не даст тебе увидеть равных промежутков. Проверь.

«О п р е д е л е н и е. Если *ab* в одну степень времени опустился на одну степень, то *bc*, будучи более быстрым, по 5-й проделает одну степень движения и немного еще, а также *d*, будучи более скорым, чем *c*, и так далее. Но знай, что, в конце концов, если в каждой степени времени ты придаешь движение одному из этих шариков, то также в каждую степень времени кончает движение другой — последний.

«Если в течение 10 степеней времени дать упасть 10 шарикам и предположить, что они будут внизу с двойной скоростью, то окажется, что шарики, которые выпущены сверху в 10 степеней, будут собраны в 5 степеней, а это невозможно, так как пришлось бы собрать 10 шариков раньше, чем начнут падать 5» (С. А. 147 г. а.).

В приведенном отрывке мы (как сказано на стр. 469) видим в действии установку, близкую к установке, описанной выше, и убеждаемся в том, что, просто на-глаз определяя интервалы падающих тел, Леонардо, конечно, не мог получить сколько-нибудь точных результатов, почему принужден был заменить рассуждениями недостаточную точность эксперимента. Так, конец отрывка, повторяем — далеко не вполне ясный, очевидно стремится доказать, что интервалы между падающими через равные промежутки телами не могут значительно сокращаться, так как иначе возможен был бы случай, при котором тела достигли бы земли раньше, чем они начали падать. Констатируя в приведенной записи невозможность значительного сокращения интервалов, Леонардо в другом месте говорит, что при одновременном падении в сопротивляющейся среде, например в воз-

духе, двух тел, расположенных вертикально одно под другим, их расстояние через некоторый промежуток времени уничтожится вследствие разности сопротивлений среды:

«Если два равных веса расположить перпендикулярно один под другим и в одно и то же время предоставить им возможность падать, то при длинном падении они уничтожат свое расстояние и будут касаться друг друга.

«Когда воздух будет без тумана или облаков, то ты найдешь, что в каждой степени своей высоты он приобретает степени тонкости. И наоборот, в каждой степени своей низости он приобретает степени плотности. Поэтому если 2 равных тела, расположенных одно под другим на расстоянии одного локтя и связанных нитью, пустить падать вместе, то при длинном движении они соприкоснутся, ибо то, которое ниже, постоянно находится в более плотном воздухе, чем то, которое находится наверху, и, кроме того, первое имеет работу (faticha) открывать воздух и производить волнообразование (ondatione) его, причем он частично уходит снизу и джострирует (giostra) и ударяет крутящимися движениями во второе тело, но другой верхний воздух стремится заполнить пустоту, которая остается за этим телом» (M. 43 v.).

Констатировав, очевидно на опыте, сближение падающих тел при падении на более или менее значительном расстоянии, Леонардо, однако, не отказывается от вывода из ранее сформулированных им положений, действительных только при отсутствии сопротивления среды. Так, через несколько страниц в том же кодексе «M» он записывает:

«Если два шарика равного веса и величины, расположенные на расстоянии одного локтя один над другим, в одно и то же время начинают падать, то всегда при любом количестве движения их расстояние сохранит одинаковую величину» (M. 61 r.).

Такие оговорки, рассмотрение частных, конкретных случаев, выходящих за пределы, устанавливаемые формулируемым в общем виде законом, так же характерны и обычны в творчестве Леонардо, как и самая формулировка этих законов. Настоя-

тельное требование времени с необходимостью наталкивало на неизбежно нужный для техники точный учет всех деталей наблюдаемых реальных явлений. Умения строить законы, которые охватывали бы эти детали, еще нет, и законы строятся по-старому, хотя и на новом материале повторного опыта, а затем к ним пытаются найти всяческие поправочные коэффициенты, которые позволили бы согласовать их математическую отвлеченность с технической реальностью. Все учение Леонардо о естественном движении является прекрасным примером такой борьбы, иногда заканчивающейся примирением, между законом, завещанным веками развития науки, казалось бы обязательным или по своему содержанию (закон пропорциональности между скоростью падения и весом), или по своей форме (закон ускорения), и новым подходом к объектам, охватываемым законом, подходом, требующим повторного, тщательного, действительно научного эксперимента. Леонардо не может предпочесть какой-нибудь из элементов, а пытается по возможности согласовать их: поставить эксперимент в фундамент старого закона и затем ввести его же как поправочный коэффициент, самый же закон он в большинстве случаев оставляет нетронутым.

Исследуя вопрос о свободном падении в воздухе, Леонардо, естественно, подошел к падению по наклонной плоскости. В одной из своих записей он пытается дать определения основных понятий, встречающихся при рассмотрении этого вопроса, и одновременно формулирует в общей форме закон движения по наклонной плоскости:

«Более вертикальная или менее вертикальная (diretto) значит менее наклонная или более наклонная, а более или менее наклонная значит менее или более вертикальная. И я определяю эти слова, ибо иногда употребляется одно, а иногда другое (рис. 34).

«Тем более трудным делается подъем вверх тяжести, чем менее наклонным будет движение.

«Тем более трудным делается движение вверх, чем более легким возвращение вниз.

«Следовательно, по первой — высшая трудность и высшая легкость находятся на одной линии, каковая является вертикальной линией.

«Средняя наклонность есть такая, которая помещена в середине, между равным количеством больших и малых наклонностей.

«Из прямых линий, сходящихся с одного уровня к высоте одной точки, та будет более или менее наклонной, которая будет более или менее отдалена от вертикальной линии» (C. A. 375 r. b.).

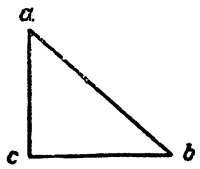


Рис. 34

В этой записи устанавливается, во-первых, критерий наклонности, каковым Леонардо в данном случае считает, при равных расстояниях от вершины до горизонтали, расстояние от точки соединения наклонной с горизонталью до вертикали из вершины, т. е. в прилагаемом рисунке линию *cb*, в то время как Иордан, как мы помним, измерял наклонность длиной *ab*. При этом Леонардо в данном случае (и в большинстве случаев) считает наклон тем бóльшим, чем больше *cb*.[1]

Кроме того, в этой же записи констатируется, что легкость (а следовательно, очевидно, и время) падения по наклонной плоскости обратно пропорциональна наклону этой плоскости. Утверждение это, как помним из первой главы, в такой форме не делалось ни одним из предшественников Леонардо, хотя в той или иной мере к нему подходили и Герон, и Папп, и третий вариант трактата «De ponderibus». Однако они рассматривали скорее статическую задачу равновесия на наклонной плоскости (о ней мы будем говорить ниже), чем динамическую; это, конечно, не мешало их сочинениям, поскольку обе проблемы тесно связаны между собой, влиять на воззрения Леонардо. При этом замечательно то, что Леонардо, превосходно знавший

[1] Следует, однако, иметь в виду, что, постоянно измеряя наклонности длиной *cb*, Леонардо в некоторых случаях, как показал Марколонго, считает наклонность тем меньшей, чем больше *cb*, что, впрочем, нисколько не меняет дела.

и внимательно изучивший трактаты «De ponderibus», в своем обосновании, выставленного им выше положения, идет не по указанному ими пути, приводившему к правильным результатам, а по пути, указанному Героном и Паппом и дающему либо неопределенные, либо неправильные результаты. Впрочем, если этот путь был ему известен, то только поверхностно и из вторых или третьих рук. Рассуждение Леонардо особенно напоминает физически конкретные рассуждения Герона, несомненно Леонардо не известного. Геометрические тонкости Иордана были не по плечу ему, особенно в сравнительно ранний период его научной деятельности, к которому относятся его занятия движением на наклонной плоскости.

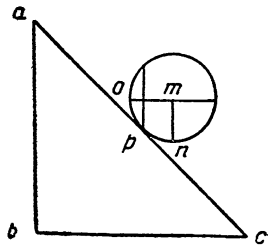


Рис. 35

Обоснование высказанного выше положения об обратной пропорциональности скорости движений и наклонов Леонардо дает в трех записях (A. 52 r., C. A. 210 v. a. и C. A. 338 r. b.). Мы приведем из них две — наиболее раннюю и наиболее полную и, повидимому, самую позднюю:

«О д в и ж е н и и (рис. 35). Сферическое и весомое тело будет само по себе приобретать тем более быстрое движение, чем дальше будет точка соприкосновения его с местом, по которому оно бежит от перпендикуляра его центральной линии (от вертикали, проведенной через его центр).

«Настолько, насколько *ac* более длинно, чем *ab*, настолько же шар будет падать более медленно (или упадет более поздно — caderà piú tardi) по линии *ac*, чем по линии *ab*. И тем более медленно (или поздно — tardi), во сколько раз часть *o* меньше части *m*, ибо так как *p* является точкой опоры шара и так как на *p* расположена часть *m*, то шар падал бы с более быстрым движением, если бы не существовало то небольшое сопротивление, которое представляет в качестве противовеса часть *o*. И если бы этот противовес не существовал, то шар опускался (или опустился) бы по линии *ac* настолько более быстро (или

скоро), сколько раз *o* помещается в *m*, т. е. если бы *o* помещалось в *m* 100 раз, то есть если бы при вращении шара отсутствовала часть *o*, то он опускался (или опустился бы — discenderebbe) скорее (или дольше) на $^1/_{100}$ времени, чем он опускается (A. 52 r.).

Приведенная запись распадается на три части; первая содержит вполне правильное, но несколько неопределенное утверждение, что тело будет падать по наклонной плоскости тем скорее, чем точка касания его с этой плоскостью будет дальше отстоять от вертикали, проведенной через центр этого тела.

Неопределенность этого утверждения, очевидно, не удовлетворяет Леонардо, и он старается уточнить его, давая во второй части отрывка формулировку соотношения между наклоном и скоростью или временем движения по этому наклону. При этом в данном контексте трудно точно установить, что именно подразумевал Леонардо под словом «tardi»: если —«поздно», то его утверждение будет совершенно правильным и соответствующим формулировке, данной Галилеем; если —«медленно», то оно будет ошибочным. Правильнее допустить, что Леонардо вообще колебался между двумя утверждениями и потому высказался возможно более неопределенно; скорее можно предполагать, однако, что в данном отрывке он все же оперирует со временем,— поскольку в заключительных словах он говорит об $^1/_{100}$ времени,— а не со скоростью.

Наконец, третья часть отрывка содержит как бы доказательство постулированного выше положения. В ней опять неясно,— идет ли речь о скорости или времени падения, но, независимо от того или иного смысла слова «tardi» и от неопределенности выражения, она нимало не выполняет своего назначения. Действительно, следуя в какой-то мере за Героном и Паппом, Леонардо рассматривает соотношение весов, расположенных по обе стороны вертикальной плоскости, проведенной через точку касания тела с наклонной плоскостью; по его мнению скорость (или время) падения по наклонной плоскости настолько меньше скорости падения по вертикали, насколько вес, распо-

ложенный вверх от вертикальной плоскости, проведенной через точку касания, будет больше веса, расположенного вниз от этой плоскости,— что не правильно ни для скоростей ни для времени.

Несколько иначе, хотя отличие и не является принципиальным, трактует Леонардо тот же вопрос в более поздней записи:

«Доказательство вышеприведенного предложения ты найдешь таким способом (рис. 36): скажем, что плоскость, которой названный выше шар касается, будет обозначена линией *de*, и что соприкосновение этого шара с плоскостью будет находиться в *n*, и что перпендикуляр — линия, падающая на поверхность, пересечется с ней в *m*; тогда ясно, что чем дальше от *m* до *n*, тем линия *de* будет более вертикальной (recta), и чем ближе *m* от *n*, тем более горизонтальной (piana) будет линия *de* и тем более сходным будет вес *n* с одной стороны с весом *m* — с другой.

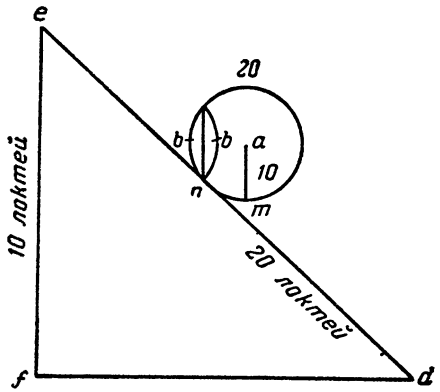


Рис. 36

«Я утверждаю, что если шар касается линии *de* в точке *n* и шар весит 20, а часть от *n* в сторону подъема плоскости будет 5, то ясно будет, что 5 от *n* в сторону спуска будет равна пяти в сторону подъема, т. е. *b* будет уравновешивать *o*, что дает 5 на каждую часть и вместе 10; следовательно, половина того шара, будучи отделена от другой, будет без движения, т. е. *ba*, а половина будет с движением. Отсюда можно заключить, что этот шар производит вес и движения на 10 фунтов, падая по линии *de*; падая же по линии *ef*, он бы производил вес и движение на 20.

«Из тел сдинаковой формы и разного веса то, которое больше весит, падает скорее.

«Следовательно, если шар в 20 фунтов будет падать по линии *de*, он будет весить 10 фунтов, а если будет падать по линии *ef*, он будет весить 20, т. е. вдвое больше, и он будет падать вдвое быстрее. А так как линия *de* имеет 20 локтей, а линия *ef* — 10, то названный шар достигнет линии *df* в четыре раза скорее по линии *ef*, чем по линии *de*» (С. А. 338 r. b.).

Начинается эта запись, что весьма любопытно, с формулировки основного перипатетического закона (как мы видели, подтвержденного Леонардо экспериментально) пропорциональности скорости падения тела его весу. Затем следует утверждение о пропорциональности скоростей падения и расстояний между точками касаний и вертикалями из центра. Это утверждение совершенно идентично высказанному в вышеприведенном отрывке и так же, как оно, совершенно верно.

Следовавшее затем в первой записи утверждение о пропорциональности между скоростями (или временами) падения и длинами проходимых поверхностей в данном отрывке отсутствует; очевидно, Леонардо не смог окончательно разобраться в этом основном вопросе и отказался от соответствующей формулировки, сразу перейдя к обоснованию первого положения. Обоснование это он дает хотя и на том же пути, но несколько отлично от первого. Он опять рассматривает соотношение весов по обе стороны вертикали из точки касания, но считает, что скорость падения по наклонной плоскости настолько меньше скорости падения по вертикали, насколько разность между полным весом шара и удвоенным весом части его, находящейся над вертикальной плоскостью, проведенной через точку касания, меньше полного веса. Таким образом, вычитая в первой записи из полного веса шара один вес верхней части, во второй он вычитает два таких веса.

Начало второй записи, так же как вся первая запись, не дает, таким образом, возможности решить, имел ли Леонардо в виду правильное соотношение между временами падения и длинами поверхностей, выходящих с одного уровня и кончающихся на одном уровне; зато конец второй записи полностью разрешает это сомнение. Действительно, здесь Леонардо,

вторично напомнив перипатетический закон о пропорциональности скорости падения весу тела, возвращается к ранее разработанному им примеру, в котором длина наклонной вдвое больше длины вертикальной плоскости; поэтому, как он установил (без сколько-нибудь убедительного доказательства), половина веса, помещенного на наклонной плоскости, уравновешивается вокруг точки касания и не вызывает движения. Из этого же следует, что по наклонной плоскости падает вес вдвое меньший, чем по прямой, и, следовательно, по перипатетическому закону падает он вдвое медленнее. А так как и самая плоскость вдвое длиннее, то простой расчет показывает, что тело, падая по наклонной плоскости, достигнет определенного уровня в течение времени в четыре раза большего, чем падая по вертикали. Это явно неверно и говорит нам о том, что, поколебавшись некоторое время между правильным и неправильным решением вопроса о движении по наклонной плоскости, Леонардо окончательно склонился к неправильному решению.

Такое разрешение винчианцем впервые поставленной им проблемы о движении по наклонной плоскости совершенно понятно и естественно. Выводя свой закон из обычных своих экспериментов, Леонардо с легкостью установил правильную общую зависимость между наклоном и скоростью падения. Чем больше наклон (угол между наклонной и вертикалью), тем медленнее падение; увеличение же наклона уменьшает расстояние между точкой касания и вертикалью из центра тяжести, а следовательно, чем меньше это расстояние, тем медленнее падение.

Установив эту общую зависимость, Леонардо стремится уточнить ее, выразить ее в привычной для него форме пропорции между двумя парами величин. При этом он не имеет возможности экспериментально вывести эту пропорцию, так как не имеет в своем распоряжении средств для точного измерения сравнительно малых промежутков времени; свести же к равным временам падения по разным наклонам ему не удавалось, так как для этого пришлось бы оперировать квадратными корнями из высоты, чего он сделать не мог. Поэтому, совершенно

правильно установив, что решающим в данном случае является отношение между длиной наклона и высотой его, Леонардо колеблется между установлением равенства этому отношению отношения времен и скоростей падения и, не имея надлежащего критерия, останавливается на втором.

Затем, установив, как ему кажется, точную зависимость между скоростью падения и наклоном, Леонардо стремится доказать ее закономерность. Здесь он, следуя за Паппом, а может быть и Героном, оперирует с двумя частями тела, расположенными по обе стороны от вертикальной плоскости, проходящей через точку касания тела с наклонной плоскостью. Это дает ему наглядное представление о причине движения по наклону, но не приводит ни к какому сколько-нибудь убедительному доказательству выставленного им положения.

Мы видим, таким образом, что систематическое и внимательное экспериментирование подводит Леонардо вплотную к правильному выводу в вопросе о движении по наклонной плоскости. Но недостаточно тонкие орудия экспериментирования и особенно приверженность к простейшему соотношению пропорциональности не дают ему возможности окончательно найти правильный результат.

§ 2. ИНЕРЦИЯ И РАВЕНСТВО ДЕЙСТВИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Установив общие законы, которым подчиняется движение свободно падающего тела, Леонардо не останавливается, однако, на них, как это делали все механики до него, а ставит перед собой совершенно новые, оригинальные вопросы. Мы видели при рассмотрении биографии его, что такое стремление обязательно пойти дальше, и притом несколько другим путем, чем предшественники, было органически свойственно всей его натуре. Стремление это при всей своей силе не могло сломать основные, созданные веками законы, но сделать из них новые выводы, направить внимание на совершенно новые объекты было вполне в его возможностях.

Основной вопрос, который ставит перед собой Леонардо, это вопрос о том, как падает в воздухе не абстрактное, теоретическое тело, а тело реальное, физическое, с которым ему приходится иметь дело в ежедневной технической практике.

Мы не будем подробно разбирать все случаи, рассматриваемые Леонардо, приведем только некоторые высказываемые им соображения. Основными являются два соображения. Первое:

«Падающий вес неравномерной формы и веса будет направлять по линии своего падения центр наиболее тяжелой своей части под центр наиболее легкой» (C. 28 v.).

Или:

«Наиболее тяжелая часть тел, движущихся в воздухе, делается вождем их движения» (E. 57 r.).

Второе:

«То весомое тело опускается более медленно в воздухе, которое падает по большей ширине, следовательно, то весомое тело будет опускаться скорее, которое распространяется на более короткую ширину» (H. 57 r.).

Второе из приведенных высказываний более ясно и просто. Оно говорит о том, что, при прочих равных данных, тела с большей поверхностью падают медленнее, а с меньшей — быстрее. Мы видели, что Леонардо имел этот закон в виду уже тогда, когда формулировал свое утверждение о пропорциональности скорости падения весу тела при равном сечении. Первое же из этих высказываний, повторяемое в рукописях в разных вариантах и с различными оттенками бесчисленное количество раз, очень важно и интересно.

Мы отмечали вскользь, что, утверждая факт падения всякого весомого тела по прямой линии к центру земли, перипатетическая механика в соответствии со своим общим абстрактным характером не оговаривала того, какая же, собственно говоря, точка тела движется по этой прямой. Леонардо же со своим реалистическим, конкретным подходом не мог не поставить перед собой этого вопроса. Он постоянно имел дело с реальными вещами, постоянно экспериментировал на разных установках

с падением тел разных форм, и перед ним этот вопрос стал во всей своей остроте. Ответ, который он дает на него в приведенном выше отрывке, довольно сложен: он считает, что при падении тела несимметричной формы к центру земли будет направлена прямая, соединяющая центр наиболее тяжелой части тела с центром наиболее легкой его части, причем центр части более тяжелой будет проводником движения. Уже в этой сложной формулировке Леонардо вплотную подходит к введению в свой научный оборот понятия центра тяжести. Это понятие доминировало в механике Архимеда, присутствовало у Герона и Паппа, но начисто исчезло в перипатетической схоластической науке, как восточной, так и западной. И действительно, в сравнительно поздней (1508 г.) записи «Кодекса Арундель» Леонардо вводит в эту формулировку и понятие центра тяжести:

«Наиболее тяжелая часть тел делается проводником их движения. Центральная линия движения тел проходит через центр наиболее тяжелой части, и через центр наиболее легкой, и через центр тяжести всего движущегося тела» (Ar. 6 г.).

Это введение понятия центра тяжести в связь основных понятий и закономерностей механики, на которых строится по традиции все дальнейшее здание, является наружно мало заметной, но фактически исключительно важной реформой,— правда, имеющей прецедент хотя бы в работах того же Альберта Саксонского. Она знаменует вообще характерное, как мы увидим дальше, для Леонардо стремление согласовать перипатетическую механику, в своем историческом развитии накопившую немало ценных результатов, с механикой Архимеда, значительно более высокой по своему уровню.

Сам Леонардо так определяет центр тяжести именно в связи с естественным движением:

«Если бы тела были совершенно сферичными и из однообразной материи, то они имели бы единственный центр, но это кажется невозможным, так как материя неравномерна.

«Центр истинной тяжести тел, единственный и единый, не имея места, находится среди тел и оставляет вокруг себя

по окружности равный вес тела, окружающего его, так что сколько раз тело, заключающее центр, разрезано так, что линия разреза будет касаться центра, столько раз ты найдешь, что тело разделено на две части равного веса...

«...Это такой центр, который кажется душой и жизнью весомых тел, и часть, в которой он обитает, делается проводником движения этих тел. Центр этот обитает во всех весомых телах и ни в одном не употребляет ничего, но только всеобщая тяжесть земли содержит его успокоение среди элементов, хотя он постоянно находится в движении и движется благодаря ему не только центр» (C. A. 153 v. b.).

В этом чрезвычайно полном и важном определении центр тяжести определяется, с одной стороны, условно выражаясь, динамически, как точка, движущаяся при свободном падении к центру мира; с другой стороны — статически, как точка, при рассечении через которую тела плоскостью обе части его будут равно весить. Это, как мы помним, соответствует архимедовой точке зрения, дошедшей до нас в сочинениях Паппа.

В дальнейшем, однако, Леонардо перестает отождествлять эти два определения. В то время как первое он считает характеризующим, как он выражается, «центр приобретаемой тяжести», второе характеризует «центр тяжести естественной». Действительно, в «Кодексе Аруднель» он пишет:

«Тела равномерно неравномерные (uniformente disforme) имеют в себе 3 центра, из которых один есть центр величины, второй — центр приобретаемой тяжести и третий — менее известный — есть центр естественной тяжести.

«Центр величины тел помещается в середине длины, ширины и толщины этих тел.

«Центр приобретаемой тяжести помещается в середине между частями, сопротивляющимися друг другу в положении равновесия.

«Центр естественной тяжести есть центр, разделяющий тело на две части, равные по весу и по количеству» (Ar. 123, v.).

То же высказано в другом месте:

«Сколько существует центров в весомом неравномерном теле?

«В равномерно неравномерном весомом теле существуют три центра; из них первый есть центр естественной тяжести, второй — центр приобретаемой тяжести, третий — центр величины этого весомого тела.

«Но центр естественной тяжести не определяется равновесием (in equilibra), если весомое тело неравномерно по весу, а по форме равномерно (conforme), как сферическое или параллельное тело, или подобное...» (E. 68 v.).

Различие между центром величины и центром тяжести было, как указал Марколонго,[1] установлено вполне ясно еще Альбертом Саксонским, за которым Леонардо покорно следует и в данном вопросе, как в ряде других. Различие же между центрами естественной и приобретаемой тяжести является, по всей вероятности, нововведением самого Леонардо. Различие это отнюдь не является вполне ясным, но, по мнению Марколонго, к которому мы полностью присоединяемся, под центром естественной тяжести понимается то, что мы сейчас понимаем под центром тяжести данного отдельного тела. Под центром же тяжести приобретаемой подразумевается центр тяжести системы, в которую данное отдельное тело может входить, причем в этом случае центр тяжести (естественный) этого отдельного тела не будет определяться равновесием всей системы.

Мы не занимаемся здесь подробно разбором леонардова учения о центрах тяжести разных фигур; выясним только те связи, которые устанавливаются между центром тяжести и естественным движением. Мы видели, что естественное движение всякого весомого тела, направленное к центру земли, происходит по прямой, соединяющей центр тяжести (приобретаемой) этого тела с центром земли. Прямая эта, играющая большую роль в ряде разделов механики Леонардо, называется им «центральной линией» (linia centrale) или иногда просто прямой линией (linia diretta). Линия, перпендикулярная к центральной

[1] R. Marcolongo. La meccanica cit,. p. 63.

называется горизонтальной, но линия эта, чего никогда нельзя забывать, оперируя с высказываниями Леонардо, может быть двоякой — естественной и математической. Математическая горизонтальная линия есть действительно математическая прямая, перпендикулярная к вертикальной и в какой-то точке касательная к естественной горизонтальной линии, каковая является, строго говоря, кривой — частью окружности, описываемой вокруг центра земли, почему все точки ее равно отстоят от центра земли. Принимаемая в практических расчетах за прямую именно последняя линия, называемая нередко «равноотстоящей» линией (linia d'equalità), обыкновенно подразумевается Леонардо, когда он говорит о горизонтальной линии. Наконец, средней между линией вертикальной и линией горизонтальной является линия наклонная. Сам Леонардо так формулирует вышеразобранное различие:

«Существуют три различия между линиями, по которым может проходить импето, или движение весомых тел, а именно: вертикальная линия (diretta), горизонтальная линия (linia d'equalità) и наклонная линия. Вертикальная есть такая линия, которая тянется от определенного положения и направляется к центру мира. Равноотстоящая, или горизонтальная, есть такая линия, оба конца которой одинаково удалены от центра мира; наклонная есть такая линия, которая заключается между горизонтальной и вертикальной линиями. И этих линий может быть бесконечное множество, так как это расстояние делимо до бесконечности, и различаются они только бóльшим или меньшим наклоном. Более наклонна та, которая более приближается к горизонтальной линии; менее наклонна та, которая приближается к вертикальной линии» (Ar. 90 v.).

Исходя из понятия центра приобретаемой тяжести и оперируя своими «центральной» и «горизонтальной» линиями, Леонардо подходит к анализу двух случаев действия силы тяжести: когда центральная линия не имеет опоры и когда она ее имеет.

В первом случае тело под действием силы тяжести падает по своей центральной линии, причем, в зависимости от своей формы, оно падает разно. Леонардо разбирает различные случаи

падения тел разной формы и устанавливает, как оно будет происходить:

«Если дать упасть доске с равномерной толщиной и весом с горизонтального положения, она в разное время упадет в равномерной и спокойной среде по перпендикулярной линии в горизонтальное положение в то же время».

«Так, если дана определенная доска в воздухе с равномерным сопротивлением, причем ее противоположные концы будут равно отстоять от центра мира, и если дать этим концам вместе со всем целым одновременно возможность опускаться в этом воздухе, то доска будет опускаться по линии, перпендикулярной к плоскости, находящейся под ней, и вся она одновременно ударится и остановится на этой плоскости.

«Это можно доказать так: если противоположные концы опускающейся балки обладают одинаковым весом и формой по отношению к центру балки, то они обладают равной мощностью в своем падении и по 3-му положению, гласящему:

«равные предметы не превосходят друг друга, т. е. имеют одинаковые возможности в своем падении. И если воздух, как это принято вначале, обладает равномерным сопротивлением, то он также будет равномерно уступать и пропускать опускающееся тело» (C. A. 66 v. a.).

Или:

«Параллельная доска равномерной толщины, помещенная плоско в горизонтальном положении, при равномерном сопротивлении будет равномерно опускаться каждой своей частью. И если такая доска будет помещена в воздухе, то падение будет иметь равномерный наклон. (Доказано) это в своем месте (A. 48 v.).

Доказательство последнего положения — сохранения наклона при падении — дается Леонардо в нескольких записях, но так как оно основано на соображениях, нами еще не рассмотренных, мы его здесь не излагаем.

В другой записи Леонардо разбирает падение различных тел равномерной формы:

«Тяжелое тело опускается по линии, по которой оно встречает наименьшее сопротивление, (то есть) по той линии, которая испытывает на себе влияние наибольшей силы (*p*); когда середина передней стороны опускающейся балки будет находиться в середине равных и подобных сторон, тогда эта балка будет падать по перпендикулярной линии, как *abc*.

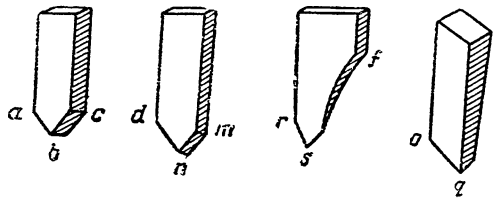


Рис. 37

«Но если середина передней стороны стержня будет ограничена плоскостями с разным наклоном, тогда она будет опускаться в сторону меньшего наклона, как *rsf*» (рис. 37; C. A. 66 v. a.).

Высказанное здесь утверждение, повидимому, является результатом наблюдения различных случаев падения очень легких тел, для которых оно примерно правильно. Но, выраженное в общей форме, оно делается ошибочным, что, вероятно, впоследствии заметил и Леонардо, правда, насколько нам известно, не отметивший этого в своих записях.

Несравнимо большее значение, чем разбор частных случаев падения тел с неподпертой центральной линией, имеет в механике Леонардо разбор поведения весомых тел с подпертой центральной линией или тел, подпертых вне этой центральной линии.

Из разобранного выше определения центра приобретаемой тяжести явствует, что тело, укрепленное за этот центр или подпертое по центральной линии, находится в равновесии, т. е. не имеет никакого движения, если к нему не приложена какая-нибудь сила. Если же тело подвешено или подперто вне

своей центральной линии, то оно приходит в движение, так как одна его более тяжелая часть непременно тянет вниз более легкую.

Здесь следует, однако, рассматривать два случая: случай сферического тела и случай тела или системы тел другой формы.

«Совершенно сферическое тело, лежащее на совершенно ровной плоскости, не будет иметь никакого движения, если только ты его ему не сообщишь. Причина же этому та, что все его части одинаково отстоят от центра, почему они всегда остаются на весах, а весы, имеющие плечи, одинаковые по весу и по длине, остаются без движения, а так как в этом сферическом теле обе половины равны, то оно должно оставаться неподвижным» (A. 22 г.).

Эта запись подводит нас вплотную к теории весов, которую мы будем подробно разбирать в следующей главе; в данной же связи она интересна для нас тем, что является как бы переходным звеном к высказываниям Леонардо, нередко трактуемым исследователями как первые формулировки закона инерции. Действительно, на стр. 246 г. а. «Атлантического кодекса» Леонардо записывает:

«Сферическое тело не остановится на плоскости, если линия, которая идет между центром мира и центром этого сферического тела, не будет проходить через точку соприкосновения между сферическим телом и плоскостью, на которой оно лежит, и не будет пересекать под прямым углом линию названной плоскости.

«Доказывается это так: пусть (рис. 38) *an* будет сферическим телом, *bc* пусть будет плоскостью, на которой оно лежит, и остановится оно тогда, когда центральная линия, идущая от центра мира к центру сферического тела, пройдет через точку соприкосновения между сферическим телом и названной плоскостью, и остановится потому, что части сферического тела имеют равный вес вокруг центральной линии, и по положению, которое гласит: «вещи, равные между собой, не превосходят друг друга»; получается, что это сферическое тело не может само собой сдвинуться с этого места».

Короче, но в том же смысле выражается запись кодекса «А»: «Совершенное сферическое тело, помещенное на совершенной плоскости, не будет иметь никакого движения, если ты ему его не дашь» (А. 22 r.).

В этих двух записях говорится, что сферическое тело, центр тяжести которого подперт, не имеет никакого естественного движения, находясь на ровной горизонтальной плоскости, т. е. стремится сохранить или, вернее, сохраняет состояние своего покоя. Иначе подходит к тому же вопросу другая, весьма замечательная в некоторых отношениях запись того же кодекса «А»:

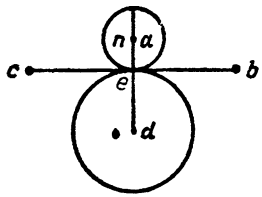


Рис. 38

«Всякая вещь, находящаяся на твердой и совершенной плоскости, так что ее точка опоры не находится между равными по весу частями, никогда не остановится. Пример мы видим в тех, которые скользят по льду и никогда не останавливаются, если части не делаются равноотстоящими от их центра» (А. 21 v.).

Запись эта показывает с большей или меньшей несомненностью связь механики Леонардо с механикой одного из его непосредственных предшественников Леона Баттисты Альберти, ибо последний в своих механических рассуждениях также привлекает, вряд ли очень обычный в Италии, пример конькобежцев.[1] Но Альберти сводит, и со значительно бо́льшим основанием, движение конькобежцев к малому трению, Леонардо же приводит его в связь со своим учением о центре тяжести. По его мнению, в теле, центр тяжести которого не подперт, всегда будет сохраняться разница в весе двух частей, следовательно, всегда будет происходить естественное движение.

Можем ли мы теперь, разобравшись в содержании приведенных выше высказываний Леонардо о сохранении покоя и

[1] См. нашу статью «Механика Л. Б. Альберти и механика Леонардо да Винчи». Архив истории науки и техники, вып. VII, Л., 1935, стр. 124—125.

движения, считать их предвосхищающими первый закон Ньютона — закон инерции, как это делает бóльшая часть исследователей? Вряд ли. Чувствуя своим здоровым физическим чутьем техника-экспериментатора истинное положение вещей, Леонардо, однако, приводит подмеченные им отдельные факты и явления в связь со всей системой перипатетически-схоластических понятий и законов, которые для него еще отнюдь не потеряли своей силы. Поэтому он объясняет отдельные, частные случаи инерции при помощи учения о естественном движении, присоединяя к нему учение о центре тяжести, которое он столь усиленно и плодотворно вводит из архимедовой механики в механику перипатетическую; до закона же инерции как такового все это еще весьма и весьма далеко. В лучшем случае мы видим здесь не предвосхищение, а, так сказать, предчувствие этого закона.

Еще менее относятся, на наш взгляд, к этому закону другие высказывания Леонардо, в которых многие видят обыкновенно чуть ли не полную и окончательную формулировку его. Приведем два из них:

«Всякое движение стремится к своему сохранению, или же всякое движущееся тело движется постоянно (cgni corpo mosso sempre si move), пока в нем сохраняется сила его двигателя» (C. V. U. 13 r.).

«Всякое движение будет настолько продолжать путь своего бега по прямой линии, насколько в нем будет сохраняться природа насилия, производимого его двигателем» (C. A. 109 v. a.).

Первая из приведенных записей, если бы она кончалась на слове «постоянно», действительно звучала бы как формулировка закона инерции; но конец ее и особенно вторая из приведенных записей с несомненностью показывают, что мы имеем дело не более чем со случайным, чисто словесным совпадением. Смысл двух приведенных высказываний и еще нескольких подобных вполне, как нам кажется, несомненно сводится к следующему утверждению: всякое тело движется, пока в нем сохраняется движущий его импето, что не имеет уже никакого

отношения к закону инерции и относится непосредственно к схоластически-перипатетической теории движения приобретаемого, которую мы подробно разберем в следующем параграфе.

Не менее осторожно, чем о формулировании Леонардо закона инерции, следует говорить о его знаменитом, постоянно упоминаемом панегирически настроенными исследователями возражении против вечного движения. Возражение это гласит так:

«Против вечного движения. Ни одна неодушевленная вещь не будет двигаться сама по себе; если же она движется, то — будучи движима неравной силой, т. е. в неравное время и с неравным движением или при неравном весе. Когда же стремление (desiderio) первого двигателя прекращается, то немедленно же прекратится и второе» (A. 22 v.).

В этой ранней записи, хотя и носящей соблазнительный заголовок «Против вечного движения», мы видим всего-навсего перифраз одного из основных положений перипатетической механики — об обязательной уничтожаемости приобретаемого движения, умирающего вместе с исчерпанием силы двигателя. Здесь в то же время имеется высказывание, только пересказывающее в другой форме приведенные выше утверждения о том, что движение сохраняется там, где сохраняется неравенство веса или силы, утверждения, толкуемые как предвосхищение закона инерции.

Таким образом, мы как будто можем с полной несомненностью утверждать, что ни закон инерции, ни утверждение о невозможности вечного движения в их современном смысле Леонардо сформулированы не были, хотя он, идя другими путями, ощупью подходил к словесно близким формулировкам, как бы пророчествующим об этих законах.

Со значительно бóльшим основанием приписывается обыкновенно Леонардо предвосхищение третьего закона Ньютона. Действительно, на равенство действия и противодействия Леонардо обращает внимание во многих записях, относящихся к самым различным областям механики, например:

«Что касается до движения воды, то то же значит (tanto fia) двигать весло против неподвижной воды, как двигать воду против неподвижного весла» (C. A. 175 r. c.).

«То же производит движение воздуха против неподвижной вещи, что движение движимого против неподвижного воздуха» (C. A. 395 r. b.).

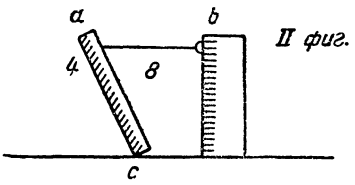
Или — особенно характерная запись:

«Такая же сила создается вещью против воздуха, как воздухом против вещи. Посмотри, как крылья, ударяющие против воздуха, поддерживают тяжелого орла в высшем, редком воздухе, близком к элементу огня. Посмотри также, как движущийся на море воздух, ударяясь в надутые паруса, заставляет бежать нагруженный и тяжелый корабль. Поэтому из этих наглядных и определенных доводов (per queste demostrative e assegnate ragioni) ты можешь понять, что человек со своими искусно сделанными (congegnate) и большими крыльями, воздействуя с силой на сопротивляющийся воздух и побеждая его, может подчинить его и подняться над ним» (C. A. 381 v. a.).

Еще более ясно, в выражениях, почти в точности повторяющих выражения современных руководств, хотя и с неверным численным решением, формулирует Леонардо закон равенства действия и противодействия в поздней записи кодекса «E».

«О т я ж е с т и. Всякая нить, поддерживающая любой вес, испытывает вес вдвое больший того, который может быть подвешен на ней. Доказывается это так: пусть во второй фигуре (рис. 39) нить *ab* поддерживает конец балки *ac* в точке *a*, причем тяжесть этой балки 4. Я утверждаю, что 4 веса в воздухе требуют 4 силы (*p*) и 4 другого веса, который бы ему сопротивлялся в *b*. Но теперь мы дадим ему 4 единицы силы, называемой реальной силой (4 di potenzia detta forza) или приобретаемым весом в *b*, которые будут сопротивляться опусканию этой балки. Следовательно, если конец *a* балки *ac* встречает сопротивление своему опусканию, равное 4, то необходимо, чтобы противоположный конец нити *ab*, т. е. *b*, чувствовал еще 4 степени силы (*p*), которые бы сопротивлялись тяжести этого *a*. Из этого делается заключение, что такая нить чувствует

вес вдвое больший, чем она поддерживает концом *a*. И так как противник не соглашается с этим, то мы будем аргументировать другой фигурой, где нить *nm* поддерживает две балки в наклонном положении, и предположим, что эти две балки весят на своих концах 4 и 4, т. е. 4 одна и 4 другая; или же мы скажем по первой (второй?) фигуре, что если нить *ab* поддерживала



II фиг.

Рис. 39

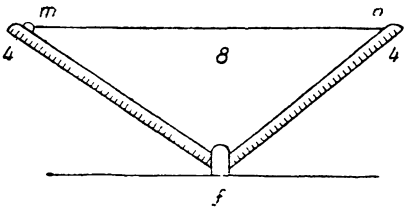


Рис. 40

4 конца балки *ac* и так же, как мы видим, конец нити *nm* от балки *mf*, то следовательно, сопротивление противоположной балки *nf*, которая также имеет вес, равный 4, в его конце действует (vale) своим естественным весом так же, как выше действовал приобретаемый вес, так как он сопротивляется опусканию балки *mf*, и то же я подразумеваю о *nf*.

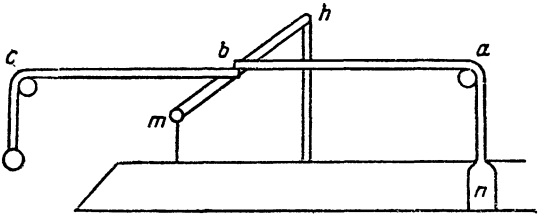


Рис. 41

«Нить *ab* (рис. 41) чувствует вес вдвое больший, чем тот, который она поддерживает в *a*, т. е. 4. Доказывается это второй нижеприведенной, где вместо приобретаемого веса *b* она поддерживает в *n* столько же естественного веса, каков естественный вес в *m*. По тому же, что сказано, необходимо обязательно признать, что нить *bc*, нагруженная четырьмя от *c*,

чувствует 8 тяжести, т. е. 4 естественной тяжести и 4 приобретаемой» (E. 56 v.).

Утверждения этой замечательной записи повторяются неоднократно при разборе отдельных конкретных случаев из области главным образом деталей машин и сопротивления материалов. Леонардо вполне ясно констатирует наличие противодействия, равного действию и противоположно направленного. В то же время он делает отсюда совершенно естественный при первом подходе к столь сравнительно сложному предмету, но абсолютно неправильный вывод, что нить, находящаяся под действием силы и ее противодействия, нагружается двойной силой.

Таким образом, самый закон равенства действия и противодействия Леонардо формулирует вполне четко. Но, применяя этот закон, он делает грубую ошибку. Ошибка эта, казалось бы, должна была быть обнаружена практикой, той самой практикой, которая подсказала и самый закон. Но, повидимому, методы измерения, находившиеся в руках у Леонардо, были недостаточно точными для того, чтобы обнаружить ошибку, и он опирается на свой вывод во многих разборах конкретных технических случаев, что не мешает ему, однако, по справедливости, претендовать на честь быть первым, сформулировавшим в более или менее определенной форме основы третьего закона Ньютона.

§ 3. СИЛА И ПРИОБРЕТАЕМОЕ ДВИЖЕНИЕ

Насколько естественное движение вызывает вес и в свою очередь вызывается им, настолько движение приобретаемое вызывается силой и вызывает ее к жизни. Сила, создаваемая в первую очередь человеком, основа всей техники, особенно настойчиво и постоянно занимала Леонардо-техника, мечтавшего при помощи своих научных выкладок и изобретений изменить мир. Он жил в эпоху, когда сила становится высшей, а иногда и единственной добродетелью,— сила другого порядка,

но все же родственная силе механики. Поэтому в записях Леонардо особенно много определений или, вернее, описаний силы. Приведем несколько из них наудачу:

«Что есть сила. Силой я называю духовную способность (virtú spirituale), невидимую потенцию, которая через приобретаемое извне насилие вызывается движением и помещается и вливается в тела, извлеченные или отклоненные из своего естественного бытия, причем она дает им активную жизнь удивительной мощности (*p*), принуждает все созданные вещи изменять свои формы и свое место. Она стремится с яростью к желанной ей смерти и распространяется при помощи причин. Медленность делает ее большой, а скорость делает ее слабой. Рождается она благодаря насилию, а умирает благодаря свободе. И чем она больше, тем скорее она уничтожается. Она с яростью гонит все, что противостоит ее разрушению, желает победить, убить свою причину и сопротивление себе [1] и побеждая убивает самоё себя. Делается более сильной там, где находит большее сопротивление. Всякая вещь охотно убегает от своей смерти. Всякая вещь, будучи принужденной, принуждает. Ни одна вещь не движется без нее. Тело, в котором она рождается, не увеличивается ни в весе, ни в форме, и ни одно движение, производимое ею, не является прочным. Тело, в котором она заключена, не имеет больше свободы. И часто при помощи движения она рождает новую силу; сила вызывается движением и вливается в вес, и таким же образом удар вызывается движением и вливается в вес.

«Сила есть причина движения, движение есть причина силы. Движение вливает силу и удар в вес при помощи своего объекта.

«Сила при некоторых своих действиях, когда разрушается, переносится на то тело, которое бежит впереди, и рождает при помощи движения удар большего эффекта, и после себя оставляет разрушение, как это видно в движении ядра, гонимого силой бомбарды.

---

[1] Равессон-Моллиен переводит: «причину сопротивления».

«Сила распространяется только на 3 дела, которые содержат бесконечное множество дел. Эти 3 дела суть: тащение, толкание и останавливание. Рождаться же сила может из двух разных движений. Первое будет при внезапном увеличении редкого тела в плотном, как увеличение огня в бомбарде, каковой, не находя в пустоте восприемника своему росту, с яростью бежит к более обширному помещению, изгоняя всякое препятствие, противостоящее его стремлению, и то же самое делает течение воды и ветра, которые гонят всякое противодействующее им препятствие.

«Второе же есть то, которое создается в телах согнутых и скрученных (и выведенных таким образом) из своего природного состояния, как самострел или другие подобные машины (machine), которые неохотно дают себя согнуть, а после того, как они нагружены, стремятся распрямиться, так что, как только им предоставляется свобода, они гонят с силой ту вещь, которая сопротивляется их бегу.

«Удар рождается при смерти движения и движение,— при смерти силы» (A. 34 v.).

Эта длинная, сравнительно ранняя запись обнаруживает бросающуюся в глаза близость с уже приведенными выше высказываниями Леона Баттисты Альберти, еще в большей степени, чем леонардова характеристика веса. Тот же эмоционально-описательный подход к сюжету, который не может быть охвачен сухой сетью строго научных определений, тот же антропоморфизм, который затем перейдет в писания натурфилософов XVI в., и, наконец, внешняя, но весьма характерная мелочь — различение трех видов движения под действием силы: тащения, толкания и ношения — у Альберти; тащения, толкания и останавливания — у Леонардо.

Приведенная выше запись занесена в кодекс «А», несомненно, в период особо острого увлечения Леонардо машинной техникой, в период службы у Лодовико Моро. Поэтому естественно, что сила в ней рассматривается в первую очередь как сила, отражающаяся и получаемая в машине, особенно в военной машине — бомбарде, самостреле. Позднее, когда технические

интересы становятся рядом с биологическими и анатомичес кими сила анализируется в связи с последними:

«Сила рождается излишеством или недостатком, она дочь телесного (materiale) движения и племянница духовного (spirituale) движения; она мать и происхождение веса, вес этот конечен в элементах воды и земли, сила же эта бесконечна, так как при помощи нее можно сделать инструменты, в которых можно было бы рождать такую силу.

«Сила с телесным движением и вес с ударом суть четыре приобретаемые возможности (occidentali potentie), при помощи которых все дела смертных получают свое бытие и свою смерть.

«Сила имеет происхождение от духовного движения, каковое движение, пробегая по членам чувствующих животных (animali sensibili), утолщает их мускулы; эти же мускулы, утолщившись, укорачивают и тянут назад соединенные с ними жилы (nerbi), и отсюда происходит сила в человеческих членах.

«Качество и количество силы человека может родить другую силу, которая будет пропорционально настолько больше, насколько будет длиннее одна по сравнению с другой (Ar. 151 r.).

Определений, подобных двум приведенным, в записях Леонардо очень много. Все они по духу близки между собой, отличаясь и по существу также сравнительно немногим; все они одинаково запутаны, расплывчаты и художественно выразительны. Одно и то же живое, близкое, страстное и в то же время беспомощное отношение к объекту сквозит во всех них. Такие определения мог и должен был давать только человек-творец, чувствующий в своих руках, в создаваемых ими механизмах ту силу, которую он тщетно старается поймать в густую сеть ярких, взволнованных, но недостаточно строго связанных слов и характеристик.

Понятие силы, может быть наиболее часто употребляемое Леонардо в его механических записях понятие, терминологически обозначается им двумя словами: «potenzia» и «forza». Различие в этих терминах, несомненно, генетически связано с перипатетическим различением силы в потенции, возможной,

заложенной в данном объекте силы, и силы реальной, воплощенной, конкретно действующей. В некоторых из своих записей Леонардо сохраняет это различие, в других от него остается как бы слабое воспоминание; в большинстве же случаев он применяет оба термина вперемежку, как попало. Самое различение потенциального и актуального объекта не было, как мы увидим ниже, чуждо научной концепции Леонардо. Но он, изменяя его первоначальный характер, применял его к реальным, опытным объектам, в частности к рычагам; применение же его к сравнительно абстрактному понятию силы, которое он к тому же старался по возможности конкретизировать, казалось ему, очевидно, мало нужным, почему он в большинстве случаев применяет термины «potenzia» и «forza» как синонимы.[1]

Сила вызывает приобретаемое движение. Она неразрывно связана с ним,— это ясно и без общих определений, приведенных в начале настоящей главы, и из определений силы, приведенных выше; но в связи с силой, ее передачей и протеканием приобретаемого движения механическая традиция ставила всегда два основных вопроса: вопрос о том, как передается или, вернее, как сохраняется сила в теле, брошенном в воздух, т. е. потерявшем непосредственное соприкосновение со своим двигателем, и вопрос о том, в каком соотношении находятся сила, вес, на который она действует в течение определенного времени, и путь, проходимый им под действием этой силы. Оба эти вопроса, естественно, разрабатываются и Леонардо, не пропускающим (как мы уже в этом имели случай убедиться) ни одной из дорог, по которым идет предшествующая ему наука.

В вопросе о передаче силы или причине движения брошенного в воздух тела Леонардо становится на точку зрения теории

[1] В переводе приводимых нами отрывков Леонардо мы, как сказано выше (стр. 448), чтобы не вводить в заблуждение читателя, во всех случаях, когда перевод может оказаться хоть сколько-нибудь двусмысленным, ставили после слова «сила» в скобках букву *p*, обозначающую в оригинале «potenzia» или *f* — «forza».

импето, которую он не принял для объяснения ускорения движения естественного, как слишком метафизическую. Но, объясняя теорией импето движение брошенного в воздух тела, Леонардо не сразу пришел к наиболее для его времени совершенной теории, к теории импето Буридана и Альберта Саксонского. Это различие во взглядах Леонардо в разные периоды его жизни мы должны учесть, если хотим правильно разобраться в его взглядах.

Стремясь из всех возможных объяснений каждого естественного феномена выбрать то, которое ему казалось наиболее далеким от метафизики, наиболее ощутимым и поддающимся проверке непосредственным опытом, Леонардо первоначально принял чисто перипатетическую точку зрения на процесс передачи приобретаемого движения. Он утверждал в этот период, вслед за Аристотелем и Платоном, что импето передается через воздух и постепенное уменьшение его вызывается тем же воздухом. Эта первая точка зрения Леонардо полностью выражена в следующей записи «Атлантического кодекса» (168 v. b.):

«Импето в каждую степень времени приобретает степень уменьшения и продление его существа (essenzia), рождается от воздуха или воды, которая смыкается за движимым, заполняя пустоту, оставляемую проникшим через нее движимым. Воздух этот более силен при ударе или давлении с ударом за движимым, чем воздух, противостоящий и сопротивляющийся своей плотностью проникновению этого движимого. А плотность воздуха уменьшает ярость вышеназванного импето в этом движении...

«Импето есть запечатление местного движения, переходящее от двигателя к движимому и поддерживаемое водой или воздухом при движении, во избежание пустоты».

Выраженная в приведенной записи теория стремится, опираясь на перипатетическую концепцию импето, свести приобретаемое движение к воздействию среды, так же как к нему сводил Леонардо ускорение движения естественного. Однако более внимательное наблюдение реального протекания

явлений, углубление техники эксперимента, общее повышение теоретического уровня работы и, наверное, внимательное чтение передовых схоластов побудили Леонардо в дальнейшем отказаться от изложенной выше точки зрения (соблазнившей его было своей материалистичностью) и даже выступить на борьбу с ней. Новая его точка зрения близка к теории Буридана — Альберта Саксонского. Весьма полно она выражена в поздней записи кодекса «G» (86 v.):

«Что такое импето. «Импето есть то, что другими словами называется производное (derivativo) движение, которое рождается от первоначального (primitivo) движения (т. е. от того, которое возникло), когда это движимое было соединено со своим двигателем.

«Никогда и ни в одной части производного движения не найдется никакой скорости, равной скорости первоначального движения. Доказывается это тем, что в каждой степени движения, которое имеет тетива лука, теряется часть приобретенной силы (p), переданной ей ее двигателем, и так как каждое явление заимствует от своей причины (ogni effecto participa della sua causa), то производное движение стрелы постепенно уменьшает по степеням свою силу (p) и таким образом заимствует силу (p) лука, каковая как была рождена по степеням, так же и уничтожается.

«Импето, запечатленный двигателем в движимом, влит во все соединенные части этого движимого. Явствует же это из того, что каждая часть этого движимого, как внутренняя, так и поверхностная, имеет равное движение, исключая вращательное движение, ибо в последнем более стремительная (impetuosa) часть вращается вокруг менее стремительной, т. е. той, которая более близка к центру движимого...

«Если же противник будет утверждать, что импето, движущий движимое, находится в воздухе, который его окружает от середины назад, то это должно быть отрицаемо, так как воздух, следующий за движимым, тянется этим движимым для заполнения пустоты, оставляемой им, и также воздух, сжимающийся перед движимым, убегая сзади в противополож-

ом направлении. И если воздух возвращается назад, то это является ясным знаком того, что он ударяет о тот, который движимое тащит за собой, и когда две вещи ударяют друг о друга, то рождается отраженное движение каждой, каковое превращается в противоположные движения, несомые воздухом, заполняющим пустоту, которую оставляет за собой движимое, и невозможно, чтобы движение двигателя было увеличено движением движимого в одно и то же время, ибо всегда более силен двигатель, чем движимое» (G. 85 v.).

Краткое и, повидимому, близкое к окончательному определение, уже освобожденное от всякой полемики с самим собой в виде воображаемого противника, дает Леонардо в кодексе «E»:

«Определение импето. Импето есть способность (virtù), созданная движением и переданная двигателем своему движимому, каковое движимое имеет столько движения, сколько импето имеет жизни (E. 22 v.).

Из приведенных двух записей, число которых можно было бы значительно увеличить, ясно, что, по более позднему, окончательно сформировавшемуся воззрению Леонардо, импето, передаваемый двигателем движимому, передается не через воздух, а непосредственно. Импето убывает не от природы, врожденной каждому приобретаемому движению, как вслед за перипатетической традицией склонен был сначала предполагать Леонардо, а от сопротивления среды, через которую движется тело под воздействием импето. Таким образом, воздействие среды, всегда привлекаемое Леонардо, сохраняется для объяснения убывания импето, но отвергается при объяснении его передачи, в отношении которой принимаются почти без изменений взгляды Буридана — Альберта Саксонского.

Если в отношении передачи приобретаемого движения Леонардо после некоторых колебаний принимает точку зрения, наиболее передовую в его время, то в отношении закона, связывающего между собой отдельные величины, определяющие это движение, положение его было еще более простым. Перипатетическая точка зрения была единственной и повсеместно

принятой. Формула, вполне четко изложенная еще в «Физике» самого Стагирита, продолжала оставаться неоспоримым достоянием науки вплоть до времени Леонардо. Не идет против нее и он. В ряде мест он либо переписывая текст Аристотеля, либо, перифразируя его, повторяет в разных вариантах установленную им зависимость.

Так, в записи кодекса «М» он, просто ссылаясь на Аристотеля, записывает: «Аристотель говорит, что если сила движет тело на определенное расстояние в определенное время, та же сила будет двигать половину этого тела на вдвое большее расстояние в то же самое время» (М. 62 г.).

Однако не следует думать, что сам Леонардо не принимает этой формулы; наоборот, он многократно передает ее и от своего имени. Особенно подробно он делает это в кодексе «F» (26 г.):

«Если сила двигает тело в известное время на известное расстояние, та же самая сила половину этого тела передвинет в то же время на двойное расстояние».

Или:

«Та же самая сила передвинет половину этого тела на все расстояние в половину этого времени.

«И половина этой силы передвинет половину этого тела на все расстояние в то же время.

«И сила эта передвинет втрое большее движимое на все расстояние в двойное время и в тысячу раз большее движимое в тысячу таких времен на все это расстояние.

«И половина этой силы передвинет все тело на половину расстояния в течение всего времени и в сто раз большее тело на одну сотую расстояния в то же самое время.

«И если две силы порознь движут два разных тела в определенное время на определенное расстояние, то те же силы вместе передвинут те же самые тела, соединенные вместе, на все расстояние в течение всего времени, потому что в этом случае первоначальные отношения остаются теми же».

Все случаи, приводимые в этом отрывке, совершенно ясно и недвусмысленно сводятся к приведенной в записи кодекса

«М» аристотелевой формуле, которую мы выше выражали формулой

$$\frac{m \cdot s}{k \cdot t} = \text{const.}$$

Формула эта, как неоднократно отмечали исследователи, вполне справедлива для случаев, когда время, в течение которого происходит движение, остается неизменным и исследуется связь между силой или массой и длиной пути. Для случаев же, при которых время движения изменяется, она справедлива только качественно.

В повторении и многократном подкреплении экспериментами теории Аристотеля мы опять видим тот же подход к законам механики, который мы констатировали и выше. Леонардо принимает закон, пленяющий его своей простой пропорциональностью, стройностью, сохраняющейся в любых соотношениях величин. Он пытается своими экспериментами доказать его безусловную правильность, его применимость для самых различных случаев жизни и технической практики с которыми он сталкивается.

Записи сохранили нам значительное число случаев именно такой борьбы Леонардо за уяснение самому себе и другим этого закона, кажущегося ему несомненным.

Так, в «Атлантическом кодексе» он пытается изобразить его результаты графически (рис. 42), давая следующую таблицу:

«Сила	Время	Расстояние	Движимое
(virtù	tempo	spazio	mobile)

«Вся сила (o) $^1/_2$ движимого в то же время 2 раза расстояние.

«Та же сила $^1/_2$ движимого на все расстояние в $^1/_2$ времени.

«Та же сила все движимое половину расстояния $^1/_2$ времени.

«Та же сила все время при половине бега (corso) все расстояние.

«Двойное движимое в двойное время то же расстояние».

Приведенная запись представляет собой, несомненно, чисто черновую заметку, цель которой уяснить себе механизм действия

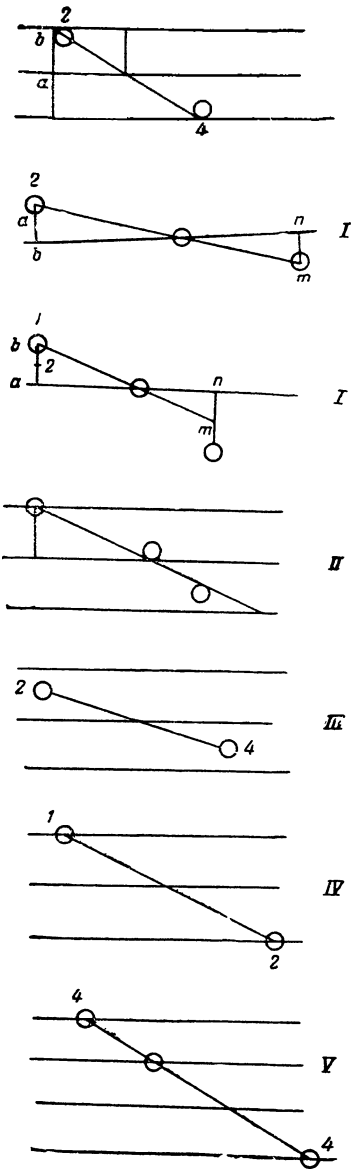


Рис. 42

закона, установленного Аристотелем, принятого всей механической традицией, признанного Леонардо и в то же время остающегося недостаточно наглядным. В чертежах, сопровождающих текст (рис. 42), Леонардо, повидимому, пытается, применяя несколько видоизмененный метод Орезма, графически изобразить соотношение между величинами, определяющими приобретаемое движение. По вертикали он изображает время, по горизонтали — расстояние; цифра при кружке, очевидно, должна изображать различные веса движимого; сила во всех случаях записи принимается постоянной и потому не изображается. Впрочем, чертежи, несмотря на ясность намерений их автора, остаются достаточно путаными и недоделанными, что не должно удивлять в столь черновой заметке.

Не удовлетворяясь, однако, как обычно, ни формулировкой, ни графическим изображением закона приобретаемого движения, Леонардо конструирует довольно сложную установку для его экспериментальной проверки (рис. 43).

«Правило для взвешивания силы и чтобы узнать эффект потенции (potenzia) его движения.

«Если хочешь взвесить силу, производимую доской (asse)

в разных условиях, заметь приложенный в месте *d* вес, которым эта сила порождается, и посмотри, даст ли двойной вес в *d* двойную силу в доске *ec*, и если он даст двойную силу, заметь еще, пройдет ли гело под воздействием этой силы двойной путь, и если один фунт веса выбрасывается на 100 локтей, будет ли двойной силой двоиной вес выбрасываться также на 100 локтей. При этом заставляй эти грузы падать в грязь, для того чтобы ты мог хорошо измерить расстояние от места вылета до места падения. И еще заметь, будет ли двойной вес брошен той же силой на вдвое меньшее расстояние по сравнению с ординарным, причем давай передохнуть доске или луку, производящему силу в продолжение дня, и посмотри, поможет ли тебе правило 3-е. И еще заметь, какая разница в движении единого фунта и одного фунта, состоящего из частей; если 12 унций, приложенные к одному телу, отбрасываются некоторой силой на 100 локтей, то если приложить эти 12 унций к 2-м, или 3-м, или многим телам, то какова будет разница в отбрасывании той же силой. И также заметь, какая разница в отбрасывании той же силой одного фунта малого объема и одного фунта большого объема. Отметь также различия между разными усталостями силы, т. е. если пускать ту же стрелу беспрерывно из одного лука, то какая разница будет между отдельными бросками» (C. A. 20 v. a.).

В приведенном, исключительно интересном и, насколько нам известно, до сего времени совершенно не использованном исследователями отрывке как самый прибор, так и все условия эксперимента изображены с полной и абсолютной ясностью. Но опять-таки, как в случае движения естественного, относительно совершенная техника эксперимента дает только подтверждение завещанного веками перипатетического закона, в своей полной формулировке неправильного.

И в данном случае, как в нескольких рассмотренных выше, мы можем задать себе вопрос: как же произошло, что, поставив и осуществив столь сложный эксперимент, Леонардо мог притти к неправильному закону? Ответ будет тот же, что и в предыдущих случаях: с одной стороны, действовал гипноз принятой

веками и отлитой в форму полной пропорциональности формулы, с другой — несовершенство даже наиболее развитых опытов. Действительно, при помощи вышеописанного приспособления Леонардо мог сравнительно точно измерить соотношение между изменением массы-веса бросаемого тела и дальностью его полета. Как вес, так и расстояние он измерял сравнительно точно. Зависимость между изменением массы и временем полета при сохранении длины его, вообще говоря, могла быть определена при помощи той же установки (если, например, на конце пути, проходимого телом целого веса, ставилась стена, преграждавшая полет тела с половинным весом). Но ввиду сравнительно весьма небольшой продолжительности полета Леонардо, который, несомненно, мог обнаружить, что время этого полета меньше времени первого полета, вряд ли мог сколько-нибудь точно определить, насколько оно меньше.

Однако приведенная установка не вполне удовлетворяет Леонардо по причине своей утомляемости, на которую он особенно обращает внимание экспериментатора. Он дает проект второй установки, более совершенной, которую он зарисовывает и описывает весьма суммарно и неясно следующим образом (рис. 43):

«Увеличивай постепенно вес *b* и отмечай ускорение движения груза *a* и выведи правило, пользуясь правилом 3-м.

«Этот способ должен быть применен при производстве этого опыта только потому, что прибор не утомляется и не получает изгиба, как вышеприведенный, так что не может быть допущено никакого сомнения в правильности опыта» (C. A. 20 v. a., ниже).

Во всех вышеприведенных записях Леонардо, что обычно недоучитывается исследователями, не принимает во внимание продолжительности действия силы, считая это действие мгновенным; между тем в ряде других записей он специально останавливается на влиянии изменений продолжительности. Так, в отдельных своих наблюдениях над протеканием того или иного конкретного технического явления Леонардо неоднократно

Рис. 43

обращал внимание именно на эту сторону явления. В ранней записи кодекса «А» он записывает:

«Чем больше движимая вещь будет сопровождаться своим двигателем, тем более длинным будет ее движение, или же: насколько больше движущая сила (f) сопровождает двигаемую вещь, тем более длинным будет движение.

«Это обнаруживается в верховом стрелке из арбалета, который, желая разрядить самострел, ударяет ногой коня, с внезапной быстротой наклоняет вперед грудь и, выпрямляя руки с самострелом, одновременно разряжает его. Здесь происходят 4 движения, воздействующие на движение одной стрелы. Первое есть движение коня, второе — груди, третье — рук, которые бросаются от груди вперед, последнее же — это движение тетивы. И эта стрела, если она будет соответствовать движению и силе, полетит очень далеко от своего исходного положения» (A. 30 r.).

То же в более общей и категорической форме дано в позднем кодексе «E».

«О равных и подобных движимых, приводимых в движение равными силами (p). Среди равных и подобных движимых, приводимых в движение равными и подобными силами (p) в той же среде, то́ будет проделывать более длительное движение после отделения от своего двигателя, которое будет больше сопровождаться своим двигателем. Доказывается это так: пусть имеются для этого опыта два орудия, равные по пустоте, пороху, весу снаряда и действию пороха; тогда то, которое будет более коротким, будем менее сопровождать движимое своей силой» (E. 29 r.).

Совершенно ясно и окончательно констатировано, наконец, различие между движением под действием постоянной силы и движением под действием силы, действующей кратковременно, в одной из записей «Атлантического кодекса» (C. A. 98 r. b.):

«Движения бывают двух родов, из которых первое всегда остается соединенным со своим двигателем, другое же скоро от него отделяется и продолжает движение отдельно от своего двигателя.

«Те, которые отделяются от двигателя, также бывают двух родов, а именно: некоторые, в которых после того как двигатель отделился от движимого им тела, он немного следует за ним. Я ошибся, говоря о двух родах, так как всякий толкающий двигатель немного следует за движимым телом, после того как он отделился от него».

Таким образом, после весьма любопытной и характерной для Леонардо поправки остаются два рода движения, названные нами выше; несмотря, однако, на как будто несомненно установленное различие в формулированном выше законе, оно во внимание не принимается.

Разумеется, сохраняя, даже подкрепляя старую, перипатетическую формулировку закона приобретаемого движения, Леонардо сохраняет и ту основную оговорку, которую делал в отношении действительности этого закона еще Стагирит (вес движущегося тела должен находиться в некоем определенном соотношении с движущей силой): для тел слишком тяжелых или слишком легких, по сравнению с данной силой, закон теряет свою силу. Утверждение это встречается в записях Леонардо неоднократно, например (ранняя запись):

«По какой причине лук посылает на много дальше свое ядро, чем самострел?

«Всякий раз, когда вес, движимый силой, не находится в надлежащем отношении с этой силой, толкаемая вещь не будет совершать должного пути.

«Вес, гонимый яростью силы, если он по величине не соответствует своей силе (p), не будет совершать должного пути.

«Это явственно подтверждается опытом, так как если ты быстрым движением руки отбросишь от себя вещь, которая по своей легкости не будет товарищем твоей силе, то эта вещь получит малое движение. Таким же образом, если ты бросишь вещь, по своей тяжести превосходящую твою силу, то она будет иметь короткий путь» (A. 29 v.).

Или то же самое в более поздней записи:

«О знании весов, соответствующих силам своих двигателей. Сила (p) двигателя должна всегда быть соответствующей весу

его движимого и сопротивлению среды, через которую вес движется. Но об этом действии не может быть составлено научное представление (ma di tale actione non si puó dare scientia), если раньше не дана величина сжатия воздуха, ударяемого любым движением, каковое сжатие будет иметь бóльшую или меньшую плотность в соответствии с большей или меньшей скоростью, которую имеет в себе движимое, давящее на него, как это обнаруживается в полете птиц...» (E. 28 v.).

В последней записи к действию перипатетического закона приобретаемого движения делается еще одна оговорка, естественная, можно даже сказать неизбежная для Леонардо,— поправка на влияние среды, могущее значительно изменять установленное абстрактное соотношение, но теоретически не определимое. Это — то самое влияние среды, которое вызывает уменьшение импето, но здесь рассматривается в несколько другой связи.

Однако обе рассмотренные оговорки не подрывают в Леонардо доверия к основному закону. Наоборот, он считает его универсальным и применяет к объяснению ряда технических феноменов, с которыми ему приходится встречаться, причем абстрактный перипатетической закон приобретает глубоко чуждые ему конкретность и реальность. Например:

«О пропорции силы и движения. Я спрашиваю: если самострел посылает стрелу на 400 локтей, то такой же самострел такой же формы с силой и размером в четыре раза больше пошлет ли стрелу на расстояние в четыре раза больше?

«Я спрашиваю: какое действие на одну и ту же стрелу в отношении расстояния полета будут оказывать луки равного веса и конструкции при равной длине и разных толщинах?

«И если самострел посылает стрелу в 2 унции на 400 локтей, то на сколько локтей он пошлет стрелу в 4 унции?» (C. A. 314 v. b.).

В этой записи мы встречаем простую иллюстрацию перипатетического закона на конкретном примере самострела, который обычно служит для Леонардо объектом экспериментирования над законом приобретаемого движения. В других

записях Леонардо, однако, устанавливает, пользуясь тем же законом, более сложные взаимоотношения, например:

«Если ты сравнишь первичное движение с производным, то ты найдешь между ними такое отношение, в каком находились веса — причины этих движений, так что соотношение между движением стрелы и движением выбросившей ее тетивы такое же, какое оно между весом, нагрузившим самострел, и весом стрелы» (C. A. 27 r. b.).

То же самое, но в более развитом виде выражено в окончании отрывка из «Кодекса Арундель», приведенного нами в начале настоящей главы:

«Возможно определить движение стрелы, зная раньше всего ее вес, а также вес, который нагружает самострел при помощи движения ее тетивы.

«Таково же отношение между весом стрелы и весом, натягивающим нить самострела на собачку (nocе), каково оно между движением тетивы, посылающей стрелу, и движением, проделываемым этой стрелой при условии, что эта стрела соответствует силе этого самострела.

«Если ты возьмешь стрелу, выброшенную самострелом, и измеришь весь ее путь и разделишь его на 3 и $^1/_7$ и представишь себе колесо такого диаметра и разделишь также ход тетивы на 3 и $^1/_7$, и представишь себе подобную окружность и поместишь стрелу на это колесо в качестве рычага, так что противорычагом будет тетива самострела, то ты увидишь, что при помощи веса этой стрелы тетива будет натянута на собачку.

«Если стрела пролетела 300 локтей, построй окружность колеса в 300 локтей, и если тетива подвинулась на $^1/_3$ локтя, сделай окружность меньшую — в $^1/_3$ локтя. Теперь смотри — полудиаметр колеса в 300 имеет 50 локтей, и таким же образом полудиаметр $^1/_3$ локтя есть $^1/_{10}$ локтя, а следовательно, ты скажешь: 50 раз 18 даст 900, и ты имеешь 900 рычага против 1» (Ar. 151 v.).

Если мы попытаемся расшифровать соотношение между величинами, данное вышеприведенным отрывком, то мы получим, обозначая через l длину пути, пройденного телом

под действием определенной силы, через l'— расстояние, на котором действует эта сила, через p'— величину этой силы и через p — вес подвергающегося воздействию силы тела, следующую формулу:

$$\frac{l}{l'} = \frac{p'}{p},$$

или

$$lp = l'p'.$$

Формула эта является, как легко видеть, одним из выражений перипатетического закона приобретаемого движения при предположении, что время постоянно. В то же время, будучи применена не к разным случаям действия одного и того же механизма, а к разным частям одной и той же механической системы, она дает правильный результат, так как в действительности $l'p = \frac{p'v^2}{2}$, а v^2, определенное из выражения для длины полета, брошенного под определенным углом тела: $l' = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$, будет равно $\frac{lg}{\sin 2\alpha}$. Из этого следует, что $lp = l'p' \frac{\sin 2\alpha}{2g}$, т. е. что при постоянстве угла формула Леонардо оказывается правильной. Но особенно важно и интересно для нас не это достижение Леонардо правильных результатов в данном, сравнительно сложном вопросе. Важно то, что, пользуясь перипатетическим законом приобретаемого движения, он подошел вплотную к некоей эмбриональной, но уже вполне четкой формулировке одного из возможных законов сохранения, которые затем в том или другом виде легли в основу классической механики. Правильно ли на основании этого утверждать, как это делается неоднократно, что Леонардо вполне ясно представлял себе понятие работы, входящей в его формулировку, и сознательно оперировал им, и что он понимал значение впервые установленного им закона сохранения? Мы позволяем себе усомниться в этом. При проверке Леонардо кажущегося ему незыблемым и универсальным перипатетического закона

приобретаемого движения на различных конкретных примерах он, пользуясь единственно правильным, абсолютно отсутствовавшим у всей предыдущей науки критерием опыта, нередко и с неизбежностью натыкается на правильные выводы. Но эти выводы, подсказываемые ему опытом, он, как мы уже неоднократно отмечали, не обобщает, не возводит их в достоинство нового закона, а рассматривает только как частные случаи законов, установленных веками. В действительности эти законы опровергаются частными случаями, в глазах же Леонардо, наоборот, подтверждаются. Справедливость сказанного доказывает в последнем из приведенных отрывков сведение рассматриваемого случая действия самострела к простым неравноплечим весам. Весы, как мы это увидим ниже, являлись самым классическим примером перипатетического закона приобретаемого движения: вместе с тем они, как мы на это указывали в первой части, возможно были тем реальным объектом, из наблюдения над которым и был выведен перипатетический закон, распространенный затем на другой круг явлений. Сводя действие самострела к действию неравноплечих весов, Леонардо показывает, что он еще не может охватить явление во всем его своеобразии, что он правильно видит, но обязательно хочет втиснуть данный случай в универсальное отношение пропорциональности, устанавливаемое перипатетическим законом. Поэтому в конечном счете он не делает правильных выводов из правильно поставленных и описанных наблюдений.

Мы видели при рассмотрении схоластической механики (см. стр. 183), что одним из вопросов, постоянно изучавшимся в связи с определением законов протекания приобретаемого движения, был вопрос, затронутый мимоходом еще самим Аристотелем: о сравнительной скорости брошенного тела в различных точках его пути, вопрос, тесно связанный с определением траектории полета тела, брошенного в воздух. Поскольку вопрос этот является одним из основных вопросов баллистики, разрешение которого могло оказать большую пользу артиллеристу, и поскольку Леонардо в первые годы своего пребывания в Милане занимался прежде всего артил-

лерией, он, естественно, наткнулся и на этот традиционный вопрос и сразу же подвел под него обычную экспериментальную базу. Так, в первом, наиболее раннем из дошедших до нас его кодексов, кодексе «В», он пишет:

«О движении и его пропорции. Если ты хочешь знать, где и в какой части своего пути вещь, брошенная под действием насильственной причины (имеет наибольшую силу), возьми кусок свежей земли и выстрели в него стрелой из самострела с разных расстояний. И там, где эта стрела будет сильнее вонзаться, то расстояние обладает наибольшей силой. Возьмем, например, что стрела летит на расстояние в 400 локтей. Пусти ее сначала, примерно, на 25 локтей, затем на 50 и так далее, увеличивая на 25 каждый раз вплоть до 400, и так ты увидишь, в какой части полета стрела наиболее сильна—на $^1/_3$ или $^1/_4$ или $^1/_5$ своего пути» (B. 4. v.).

Пользуясь, очевидно, описанной выше простейшей установкой для экспериментов с самострелом и более сложными установками для экспериментов с огнестрельными орудиями, Леонардо в результате долгого и тщательного экспериментирования пришел к полному подтверждению теории, берущей свое начало от Аристотеля и затем разработанной и окончательно сформулированной схоластической наукой (см. стр. 181). Брошенное в воздух горизонтально тело, по его теории, вполне согласной с наиболее распространенными схоластическими взглядами, в начале движения увеличивает скорость; где-то около середины достигает максимальной ее величины, затем начинает падать, замедляя скорость, после чего опять под влиянием ускорения увеличивает ее. Стараясь объяснить этот феномен, Леонардо привлекает столь универсально используемое им во всех случаях анализа движения влияние среды. Он так описывает весь процесс падения (рис. 44):

«Середина прямого пути, проходимого весомыми телами, под действием насильственного (violente) движения летящими в воздухе, будет обладать наибольшей силой (p) и давать наибольший удар в противостоящее препятствие, чем любое другое место этого пути.

«Причина этого та, что когда вес отделяется от силы своего двигателя, то хотя он расстался с нею в первой степени своей силы (p), тем не менее, встречая неподвижный воздух, он встречает его в первой степени его сопротивления, и хотя этот воздух имеет бóльшую сумму сопротивления, чем сила толкаемого в нем веса, тем не менее, толкая малую часть его, вес оказы-

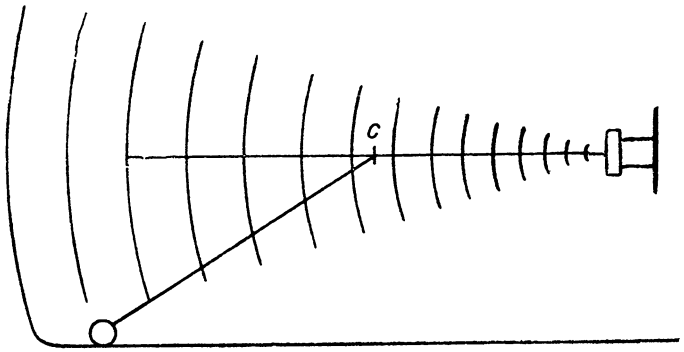


Рис. 44

вается победителем. Поэтому он изгоняет его (воздух) из его места и, изгоняя его, замедляет несколько его скорость. Итак, этот воздух, будучи толкаем, толкает и гонит другой и вызывает за собой круговые движения, центром которых постоянно является движущийся в воздухе вес. Движения эти подобны кругам, производимым в воде и имеющим центром место, ударенное камнем. И там один круг гонит другой, и воздух оказывается весь приготовленным к движению по одной линии перед двигателем. Движение же растет тем более, чем больше к нему приближается гонящий его вес. Потому, встречая меньшее сопротивление воздуха, этот вес с большей скоростью удваивает свой бег, подобно барже, тащимой по воде, которая при начале движения движется с трудом, хотя бы ее двигатель и имел наиболее могучую силу; когда же вода начинает приходить в движение изогнутыми волнами, тогда баржа, следуя за этим движением, встречает мало сопротивления, почему двигается с большей легкостью.

«Так и ядро, встречая малое сопротивление, продолжает начатый бег до тех пор, пока, будучи несколько покинуто первой силой, не начнет ослабляться и склоняться вниз, почему, так как оно меняет направление своего бега, то бегство, приготовленное перед ним бегущим воздухом, больше не помогает ему, и чем больше оно склоняется, тем больше разных сопротивлений воздуха оно находит и тем более замедляется, до тех пор, пока, вернувшись к естественному движению, оно опять не получит большую скорость, подобно тому, как баржа, также поворачиваясь, также теряет скорость своего движения.

«Итак, я заключаю, основываясь на восьмом предложении, что та часть движения, которая находится между первым сопротивлением воздуха и началом[1] его склонения, будет иметь наибольшую силу (*p*), и это есть середина пути, проходимого в воздухе по прямой горизонтальной линии.

«И так как ни одно место не может быть пустым, то место, из которого уходит баржа, стремится закрыться, подобно середине вишни, сдавливаемой пальцами, и создает силу (*f*) и давит и гонит баржу» (A. 43 v.).

Эта пространная запись дает один из наиболее ярких и характерных примеров той смеси различных, глубоко гетерогенных элементов, которой отличается научное творчество Леонардо. Тонкие, внимательные и систематические опыты и наблюдения служат для подкрепления заведомо ошибочной, заимствуемой из схоластической традиции закономерности. Собственные заключения и яркие, взятые прямо из жизни образы (вишня) объединяются в одной фразе с не имеющими физической реальности перипатетическими постулатами (боязнь пустоты). Новый метод, вложенный в руки Леонардо, чудака и оригинала, приверженца всего нового, его окружением, его навыками техника-практика, является в его руках мощным оружием. Но оружие это нередко бывает обращено не на борьбу

---

[1] В тексте ясно сказано «началом», но мы предполагаем, что Леонардо хотел здесь сказать «концом».

с тщательно собираемыми и изучаемыми им старыми теориями, а на защиту этих теорий.

Естественно возникает вопрос: как же, ставя повторные эксперименты, Леонардо мог притти к столь неправильным результатам? В данном случае объяснение очень просто. Описываемый им опыт со стрелой и глиной вряд ли мог дать сколько-нибудь точные результаты, во всяком случае столь точные и повторяющиеся, чтобы на их основании можно было опровергнуть логически стройные и освященные вековой традицией утверждения перипатетической механики.

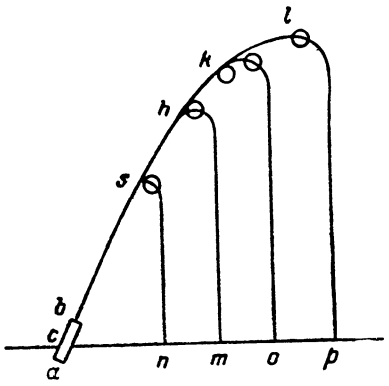


Рис. 45

На установлении изменения скорости брошенного в воздух тела, т. е. в первую очередь скорости артиллерийского снаряда, Леонардо останавливается сравнительно часто, хотя исключительно в ранних записях. Тема эта является традиционной в схоластической механике. Естественно поэтому, что разработка ее как бы подворачивалась под руки исследователю, с одной стороны практически занимавшемуся артиллерийскими вопросами, а с другой — страстно изучавшему писания механиков-схоластов. Но кроме этой традиционной темы перед исследователем ставилась жизнью и другая тема: значительно менее традиционная, но жизненно более важная — тема траектории снаряда. В относящейся к позднему времени тетради «М» Леонардо записывает:

«Я хочу знать, насколько ружье (passavolante o scopietto) выбрасывает вверх одно больше, чем другое, и чтобы сделать это, я посажу мое оружие (strumento) по линии *bc* (рис. 45) неподвижным образом так, чтобы оно не изменяло своего наклона, и, сделав это, я ему дам так мало пороха, что оно выбросит ядро на 2 локтя от ружья, т. е. есть *sb*, и замечу, где упало

ядро в *n*, затем удвою порох и посмотрю, где оно упадет в *m*, и если я найду, что основание *mc* будет вдвое больше основания *nc*, я буду знать, что высота пирамиды (della piramide) *hc* будет вдвое больше, чем *sc*.

«Существует то же отношение между основанием и основанием, которое имеют сторона со стороной и высота с высотой.

«Ты применишь правило третьей и скажешь: если высота пирамиды, которая, как я уверен, есть *sc*, дает мне локоть основания или же один локоть основания образуется 10 локтями пирамиды, то откуда произойдет 65 локтей другого основания?

«Здесь рождается одно исключение, а именно: если первое ядро пошло на 100 локтей вверх при помощи одной унции пороха, то оно прошло через воздух большей толщины (grosezza — плотности?), чем то, которое поднялось на 3000 локтей, почему, так как то, которое проходит названные 3000 локтей, проходит каждые 100 локтей через воздух более тонкий, чем первое, то оно постоянно приобретает большую скорость» (М. 53 г.).

Запись эта, сравнительно одинокая в наследии Леонардо, констатирует, что при равном угле с линией горизонта для увеличения дальности полета надо увеличивать высоту его, причем одна прямо пропорциональна другой; это неправильно, если мы будем рассматривать современную формулу, определяющую соотношение между высотой и дальностью полета снаряда,[1] но правильно, если мы, подобно Леонардо, будем рассматривать линию полета снаряда, как геометрическую сумму двух прямых — наклонной приобретаемого движения и вертикальной движения естественного, соединенных дугой, и будем разлагать первую наклонную прямую на две составляющие — вертикальную и горизонтальную, что фактически (не оговаривая этого) делает Леонардо. Независимо, однако, от правильности

---

[1] $$h = \operatorname{tg}\alpha \cdot l - {}^1/_2 \frac{g}{(v \cdot \cos\alpha)^2} l^2,$$

приведенного выше рассуждения, оно замечательно тем, что в нем впервые ставится в научной форме вопрос о высоте и дальности полета снаряда. Вопрос этот был остро актуален в XV в., веке бурного и неудержимого расцвета артиллерии, в своем росте искавшей опоры в математической теории, но не находившей ее потому, что вопрос этот не входил в число проблем, разбиравшихся схоластической механикой. Даже для постановки, не говоря уже о разрешении, этот вопрос требовал оригинальности, уменья по-новому поставить вопрос, чем всегда отличался Леонардо.

Однако, подойдя к разрешению столь важной и актуальной проблемы, как проблема кривой полета, Леонардо, по неясным для нас причинам, подробно ее не разработал. Зависимость длины и высоты полета от угла он рассматривает в ряде мест в другой связи (см. ниже § 4), к чисто же артиллерийской задаче он больше не возвращается. Очевидно, она была все-таки слишком сложна для него, требовала слишком углубленной математической разработки, и он, как это нередко с ним бывало, ушел от трудностей, отказавшись от решения задачи. При смелости и оригинальности замыслов Леонардо, как мы знаем, отнюдь не отличался настойчивостью и упорством.

Установление причин протекания приобретаемого движения, установление закономерностей, которым это протекание подчинено, составляет основу этой части механики Леонардо. Но, кроме основных вопросов, он уделяет еще много внимания описательной стороне дела, классификации, условно говоря — систематике приобретаемых движений. Как и в отношении естественного движения, установленные им закономерности не могли вместить в себя всей полноты и многогранности собранных им наблюдений. Значительную часть их он оставляет за пределами этих законов, просто в качестве сырого описательного материала, которому придан вид внешнего порядка путем различного рода классификаций. Подробный анализ описательных записей Леонардо отнял бы слишком много места, не давая сколько-нибудь важных результатов, почему мы и ограничимся только немногими замечаниями и цитатами.

Основных классификаций приобретаемых движений Леонардо дает две. В первой он различает движение прямое, криволинейное, спиральное, круглое и неравномерное (irregolare); во второй — движение простое, составное и движение, происходящее вместе со своим двигателем или отдельно от него. Первая классификация, изложенная, повидимому, наиболее полно в кодексе «Е» (42 г.), не представляет ничего интересного и не привлекает особенно внимания Леонардо. Значительно больший интерес представляет для Леонардо вторая группа. К ней он возвращается в своих записях очень часто, формулируя ее на разные лады. Приведем одну из наиболее коротких и, на наш взгляд, наиболее поздних таких формулировок:

«Движения существуют двух родов, из которых один называется простым, а второй — составным. Третье делится на два вида — первый, когда тело движется вокруг своей оси без изменения положения, как колесо, или жернов, или подобное, и второй, когда вещь движется с определенного места без вращения (на полях добавка — прогрессивное движение). Составное движение есть такое, при котором кроме движения с места тело еще движется вокруг своей оси, например движение колес телеги или другие подобные вещи. Круговые движения существуют двух родов, из которых один называется простым, а другой — составным» (Ar. 140 v.).

Мы помним, что различение видов вращательного движения, и притом близкое к приведенному, давалось еще «Проблемами механики» псевдо-Аристотеля. Леонардо же, как обычно, обновляет и оживляет его.

Подробно рассматривает и анализирует Леонардо затухающее колебательное движение следующим образом.

«М а я т н и к о в о е д в и ж е н и е, постоянно уменьшающееся при падении. Маятниковое движение есть такое изгибающееся движение, которое рождается в телах, которые не могут следовать за импето, приложенным к ним в том направлении, в котором он был создан, но движутся то в одну, то в другую сторону, превращая движение падения в движение отражения. И так беспрерывно продолжают двигаться до тех

пор, пока этот импето, убегая из тела, в котором он создан, не уничтожается и умирает вместе с движением этого тела» (Ar. 2 r.).

После этого определения следует длинное и пространное описание различных видов маятникового движения, но какая бы то ни было попытка подойти к количественной характеристике этого движения, установить закономерность его протекания совсем отсутствует.

Очень подробно разбирает Леонардо вращение волчка, описание которого мы и приведем в качестве примера соответствующего типа его записей.

«Вращательное движение, волчок (trottola o chalmone), который вследствие быстроты своего вращательного движения теряет силу (p), которую имеет неравенство его тяжести вокруг центра его вращения по причине импето, который управляет этим телом. Такое тело никогда не будет иметь стремления наклоняться, какого желает неравенство его тяжести вплоть то того, когда сила (p) импето двигателя этого тела не делается меньше, чем эта сила неравенства.

«Но когда сила неравенства превосходит силу импето, тогда она делается центром вращательного движения и такое тело в лежачем положении кончает над этим центром остаток вышеназванного импето.

«Когда же сила (p) неравенства делается равной силе импето, тогда волчок наклоняется, и обе силы борются в составном движении и большим движением по кругу двигают одна другую, пока не установится центр второго рода вращающегося (тела), и на этом импето не кончит свою силу (p)» (E. 50 v.).

Приведенная запись, так же как ряд подобных ей, относящихся к другим конкретным случаям движения, дает простое описание определенного случая, ведущееся в терминах и с применением понятий, введенных и объясненных в другой связи. В конечном счете эта запись может быть возведена к тем общим определениям и законам, о которых мы говорили выше. Но главный интерес настоящая запись для нас представляет

обнаруживающимся в ней несомненным умением правильно наблюдать, расчленять на отдельные моменты и описывать протекание отдельных конкретных явлений. Чувствуются глаз художника и ловкая рука техника.

§ 4. УДАР

Если в отношении двух первых отделов учения о движении Леонардо предшествовала значительная литературная и школьная традиция; если по вопросу о весе, естественном движении, силе и движении приобретаемом он мог целиком или частично опереться на эту традицию, то в отношении третьего отдела, изучающего удар, он был почти одинок. Кроме Биаджио Пелакани, работу которого «De tactu corporum durorum» мы называли в первой части, никто сколько-нибудь систематически не занимался явлениями удара и отскока. Никакие закономерности здесь не могли считаться прочно установленными, и даже предварительная классификация их не была проведена. Леонардо же наталкивала на изучение удара постоянно и настойчиво сама жизнь, техническая практика, о связи его с которой мы неоднократно говорили. Действительно, вопросы артиллерии, которыми молодой Леонардо занимался как основными, неизбежно приводили к удару. Цель артиллерийского выстрела — поражение неподвижного или подвижного объекта. Следовательно, для определения наиболее продуктивного поражения цели необходимо было его изучить; но поражение является не чем иным, как ударом ядра, условно изображаемого как сферическое тело, о некий предмет — цель. С другой стороны, и та область гражданской техники, к которой Леонардо был наиболее близок в момент бурного развития и формирования своего технического и научного творчества — металлообработка или же оружейное дело (наиболее блестящие представители которого окружали Леонардо в Милане), почти целиком в своей механической части базируется на ударе: на ударе подвижным телом, обладающим значительным весом — молотом, по неподвижной наковальне или по лежащему на этой

наковальне предмету. Совершенно поэтому естественно, что Леонардо вводит в круг основных понятий механики, кроме движения, веса и силы, также удар в качестве четвертой потенции и определяет ее в тесной связи с первыми тремя.

Самостоятельных определений удара записи Леонардо содержат значительно меньше, чем определений веса, силы или движения; все же преимущественно в наиболее ранних рукописях их имеется большое количество. Например:

«У д а р. Я утверждаю, что удар есть предел быстрого движения, производимого телами (при столкновении) с сопротивляющимися объектами» (A. 27 v.).

Или:

«Удар — конец движения, вызванного силой и производимого телами в сопротивляющихся предметах. Если ударенная вещь подобна ударяющей, то она получает от нее удар, вес и движение и убегает со своего места, оставляя в нем ударившее, совершенно лишенное всякой силы» (A. 27 r.).

Или:

«Удар есть конец падающего движения (moto incidente) и начало отраженного движения, происходящее в неделимое движение, время и положение... Удар есть сила (p), сведенная к малому времени» (C. A. 65 v. a.).

Эти короткие определения хорошо знакомы нам по своему типу и характеру — это те же описания художника, эмоциональные, картинные, но не строгие и не научные, какие Леонардо давал движению, весу, силе.

Занявшись изучением удара и дав ему обычное, очень общее определение, Леонардо, естественно, остановился перед вопросом, как поставить это изучение, над чем вести наблюдения и как классифицировать различнейшие случаи удара, попадающие в его наблюдения? Понятны поэтому записи его тетрадей, с наметками различных разделов учения об ударе, которыми он предполагал заниматься, и одновременно первыми эскизами классификации ударов. Так, в листе 241 v. b. «Атлантического кодекса», разбирающем частный случай удара, о котором мы будем говорить ниже, Леонардо записывает:

«О неподвижном ударяемом теле.

«Об ударяемом теле, имеющем такую же скорость, как ударяющее.

«Об ударяемом теле, менее быстром, чем ударяющее.

«Об ударе вращающегося падающей частью.

«Об ударе вращающегося отраженной частью.

А на листе 65 v. a. того же кодекса он набрасывает уже более обширную и хаотическую программу, записанную вперемежку с отдельными замечаниями и наблюдениями об ударе:

«Об ударе единого движимого тела. Об ударе разделенного движимого тела при равенстве веса между ним и ударяющим. Об ударе разъединенного движимого тела, причем оно имеет больший вес, чем ударяющее.

«О разъединенном ударе, при котором ударяющее имеет больший вес, чем разъединенное.

«Об ударяющем, разъединенном на много частей.

«Об ударяющих из разных веществ.

«Об ударяющих разъединенных разных толщин.

«Об ударяющем по вещи, находящейся в том же движении, что и ударяющее, и по той же линии.

«Об ударяющем, движущемся вслед за движимым, ударяемым по прямой линии.

«Об ударяющем, навстречу которому движется по прямой линии ударяемое.

«Если удар тотчас же проникает в ударяемый предмет, чувствует ли 3-й, 4-й и 5-й объекты удар так же, как первый.

«Вредит ли удар, нанесенный объекту, опоре этого объекта.

«Удар мягких тел, как свинец, или обожженное железо (ferro infocato), или глина (terra daboccali), или подобные.

«Об ударе жидкостей, как воздух, огонь, вода, порох (polvere), песок (rena) и подобные.

«Об ударе разными местами длины палки.

«Об ударе двух длинных тел в середине, или трети, или четверти их длины. Об ударе длинных тел неравной толщины в разных местах их длины.

«Об ударе связок лозы, т. е. предметов, разъединенных по толщине.

«Удар предметов, разъединенных по всем направлениям, как мешок песка или вода или подобное.

«Какая разница между случаем, когда ударяемое движется к ударяющему, и когда ударяющее движется к ударяемому.

«Об ударе тел, сопротивляющихся удару.

«Об ударе тел, поддающихся удару.

«Об ударе, производящемся под разными углами к ударяемому предмету.

«Об ударе редкого тела.

«Об ударе редкого в плотное.

«Об ударе плотного в редкое.

«Об ударе плотного в плотное.

«Об ударе двух плотных, с одинаковым движением движущихся друг к другу.

«Об ударе плотных тел, движущихся друг к другу с разными расстояниями движений и с равной скоростью его. Об ударе тел, движущихся друг к другу, с движениями равной длины, но разной скорости.

«Об ударяющих, не сталкивающихся по центральной линии движения.

«Об ударяющих разных весов и движений.

«Об ударяющих разных форм» (C. A. 65 v. a.).

В приведенной огромной программе беспорядочно перечислены почти все вопросы, могущие возникнуть при изучении удара: и разного рода движение, и упругость, и плотность, и форма ударяющихся друг о друга тел приняты здесь во внимание. Но все это нагромождено без какого-нибудь плана,— видимо в порядке предварительной наметки.

В самих записях Леонардо удару отведено довольно много места, причем, действительно, затронута бóльшая часть вопросов, перечисленных в приведенной выше программе; однако далеко не всем из них уделено одинаковое внимание.

Не имея возможности остановиться на всех соответствующих высказываниях, мы поэтому условно выделяем три группы

их, в которых, на наш взгляд, сосредоточен наиболее разработанный, многочисленный и важный материал и которые достаточно характеризуют учение Леонардо об ударе. Группы эти могут быть названы так: первая — удар падающего или брошенного сферического тела о неподвижное тело и результаты этого удара в том и в другом случаях, вторая — удар шаров и третья — удар тела, сопровождаемого силой, о неподвижное тело.

То, что и Леонардо предполагал разделить окончательную свою работу, примерно, так же (с некоторым отличием в третьей группе), мы можем усмотреть из следующей записи «Атлантического кодекса» (241 г.):

«Удар должен быть разделен на книги: в первой будет показан удар двух тел, из которых одно двигает ударяющее к неподвижному ударяемому, другое же двигает ударяющее и ударяемое попеременно одно против другого, третье относится к жидким телам, четвертое к гибким телам».

Первая группа вопросов, пожалуй наиболее интересная и привлекающая внимание Леонардо, связана, как мы уже говорили выше, с баллистикой, с проблемами артиллерийской стрельбы и поэтому трактуется начиная с наиболее ранних записей.

Такой ранний интерес Леонардо именно к этой группе вполне понятен. Ведь именно они упирались в основную проблему артиллерии, проблему наиболее сильного поражения снарядом цели, и именно с изучения этой проблемы, несомненно, начал свои штудии Леонардо. Что это действительно так, доказывает ряд записей кодекса «А», относящегося, как известно, к первому миланскому периоду деятельности Леонардо, периоду еще почти целиком наполненному технической работой, только иногда ставящей перед Леонардо проблемы более отвлеченного наукоподобного характера. Приведем несколько из этих записей.

«О б у д а р е. Выбоина, производимая в стене, поражаемой бомбардой, помещает свой центр в середине ядра, ударяющего с другой стороны» (А. 28 г.) (рис. 46).

Или:

«Я утверждаю, что тот удар имеет наибольшую, степень своей силы, который ударяет предмет между равными углами (рис. 47).

«Это происходит оттого, что когда центры сил (*p*) находятся на прямой линии, удар производит большее действие (eficha-cia), потенций же (*p*), вызывающих это действие, три, а именно: сила (*f*), вес и движение. И когда передняя часть ядра ударяет

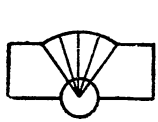


Рис. 46

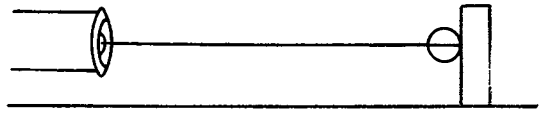


Рис. 47

в стену и находится на одной линии с этими центрами, то она равномерно окружена всей суммой потенций (*p*), ибо эта часть находится на одной линии с центром ядра, и так как эти части весомы, то все они оказывают воздействие (fanno forza) на ударенное место.

«Тот удар, который будет произведен по объекту под более неравными углами, будет более слабым и при отскоке от этого удара он кончится быстрым отскоком с двумя разными движениями (рис. 48).

«Такой удар будет приносить малый вред ударенному месту, ибо остающееся количество веса от центра удара вверх настолько больше количества, расположенного от центра вниз, что после удара он (удар) качается, как весы под действием неравных грузов, и это качание является причиной двух разных движений в шаре, из которых одно имеет значительно бóльшую скорость, чем другое. Первое будет законным и упорядоченным движением, второе же, двигаясь по прямой, будет вращаться вокруг самого себя, каковое вращение создает значительно более быстрое и более длинное движение, чем движение прямое и обычное» (A. 44 v.).

Подобных или близких по характеру записей имеется в ранних тетрадях сравнительно много. Все они, как только что при-

веденная, свидетельствуют о пристальном внимании к проблеме удара с точки зрения интересов артиллерии и о значительной еще беспомощности и наивности в работе над этой проблемой. Все теоретизирование сводится в них обыкновенно к более или менее удачному описанию протекания того или иного случая удара и к констатации того, что наиболее сильным является удар, «производимый под прямыми углами», т. е. удар, нормальный к плоскости.

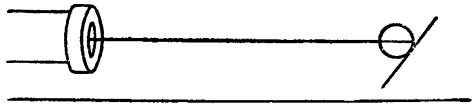


Рис. 48

Однако, по мере углубления своих научных интересов, по мере перехода ко все более широко и абстрактно поставленным научным вопросам, Леонардо все меньше удовлетворялся грубо эмпирическими объяснениями феномена удара, близкими к приведенным. Он начинает систематически заниматься ударом, ставит для этого ряд опытов, привлекает теорию и т. д.

Приступая к серьезному изучению законов удара падающего или брошенного тела о тело неподвижное, Леонардо сразу же задается вопросом: прибавляет ли что-нибудь удар к весу и если да, то что именно. Для получения правильного ответа на этот вопрос он, как обычно, конструирует на этот раз довольно простую, но остроумную опытную установку, устройство и действие которой описывает так:

«Для того чтобы получить обший закон (regola) разницы между простым весом и весом с ударом различных движений и сил... (рис. 43).

«Если мне нужно будет установить вышеприведенный закон, мне раньше всего нужно будет иметь весы *ab* и на каждую (чашку) положить вес в один фунт, затем на чашку *b* дать упасть грузу в фунт *c* по пути *bc*, равному одному локтю, и посмотреть, какой вес надо прибавить к чашке *a*, для того чтобы сопротивляться удару в *b*. Затем дать упасть тому же фунту по всему

пути *db* и также отметить в *a*, какое прибавление веса к весу *a* надо произвести. И таким же образом ты попробуешь давать падать твоему фунтовому грузу разными способами и заметишь, поможет ли тебе в чем-нибудь правило 3-е, т. е. обнаружишь ли ты, что если удар фунтового груза *b*, проходящего путь в один локоть, заставит подняться в *a* 2 фунта, то что он произведет, пройдя путь в 2 локтя?» (C. A. 20 v. a.).

Какой общий закон установил Леонардо при помощи описанной установки, мы не знаем, но надо полагать, что это был опять-таки перифраз перипатетического закона приобретаемого движения. Правильность этого предположения доказывается находящимся в том же «Атлантическом кодексе» описанием другого прибора, предназначенного для той же цели:

«Ты создаешь также закон разных путей, проходимых шариком *a*, подгоняемым ударом веса, падающим на головную часть доски *n* с разных высот; и заметь, действительно ли если при падении веса *b* с 4 локтей шарик убегает на 10 локтей, то при падении *b* с 8 локтей будет убегать на 20 локтей, т. е. если удар падает с высоты вдвое большей один раз, чем другой, то будет ли вес, убегающий от этого удара, удваивать свое бегство (рис. 49).

«Заметь также: если вес *b* будет иметь 4 фунта и падать на 4 локтя, вызывая убегание шарика на 10 локтей, то, если этот вес будет весить вдвое меньше и падать с вдвое большей высоты, будет ли бегство шарика подобным первому бегству, так как если я уменьшаю вес на половину, то я увеличиваю вдвое его падение, так что кажется, что удар *b* должен быть тем же самым. Или же мы будем держаться заключения, которое дает опыт. И заметь, не пригодится ли тебе чем-нибудь правило третьей.

«Попробуй также поместить дощечку *n* и плоско, и наклонно с разными наклонами при постоянном одном и том же перпендикулярном падении веса. Заметь различия в бегстве.

«Заметь также, что нужно дать упасть *b* под разными наклонами.

«Также доска *n* разных весов.

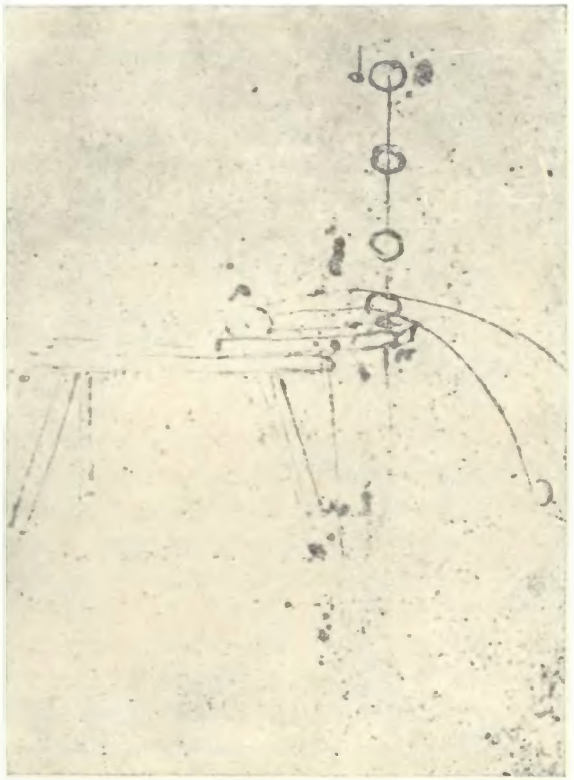


Рис. 49

«Также разных длин.

«Также с различными выступами за стол и с различной шириной» (C. A. 337 r. b.).

Описанная в последнем отрывке установка отличается от предыдущей тем, что в последней сила удара измерялась весом противовеса, в данной же она измеряется высотой отскока, лежащего на другом конце шарика.

Кроме того, самая постановка опыта в последнем примере более широка и универсальна. В нем изучается не только влияние высоты падения шарика на силу удара, но и различных наклонов этого падения. Результат же опытов, в отношении, во всяком случае — высоты падения, сводится, повидимому, к перипатетическому закону, который, может быть, и подразумевается под постоянно повторяющимся «правилом или законом третьей».

Таким образом, на списанных выше установках могли производиться и действительно производились опыты для определения как силы удара, направленного перпендикулярно к ударяемой поверхности, так и направленного наклонно. Разницу между этими ударами Леонардо понимает не хуже современного механика и изучает для первого — прямого удара высоту отскока, для второго — как высоту, так и главным образом угол отскока. При этом прямой удар Леонардо по большей части называет ударом под равными углами, а удар косвенный — ударом под неравными углами.

Пытается Леонардо ввести в обиход и понятие, соответствующее понятию линии удара, т. е. линии, нормальной к поверхностям ударяющихся тел в точке удара. Он называет эту линию «центральной линией удара» и определяет ее в связи с другими применяемыми им центральными линиями следующим образом:

«Центральная линия есть та линия, которая идет от центра его тяжести до центра мира.

«Центральная линия движения весомых тел есть линия, проходящая через центр толщины этого движения (?) и кончающаяся в центре величины этого тела.

«Центральная линия есть линия, рождающаяся в точке удара движимого и проходящая в середине весов, причем в них верхний всегда равен нижнему» (Ar. 92 v.).

Мы должны сознаться в том, что неполностью понимаем последнее, чрезвычайно неудачно выраженное определение, скорее всего даже искаженное опиской, но все же утверждаем, что в нем Леонардо вводит нечто близкое современному понятию линии удара.

Установив эти вспомогательные понятия, Леонардо приступает к изучению разных случаев удара. Первое, на что он обращает внимание, — об этом говорит нахождение соответствующей записи в раннем кодексе «А», — есть расстояние, на которое происходит отскок небольшого сферического тела, падающего на твердую и, очевидно, упругую поверхность. Леонардо устанавливает, что если с определенной силой бросить шарик в воздухе, то он пройдет определенное расстояние; если же на пути этого шарика будет находиться некое твердое тело, то шарик будет производить отскоки, сумма расстояний которых будет равна расстоянию свободного полета. Запись эта весьма замечательна не только своим содержанием, но и своим несколько приподнятым тоном, почему мы приведем ее полностью.

«Всякое сферическое тело с плотной и сопротивляющейся поверхностью, движимое равной силой, будет производить такое же движение своими отскоками, производимым и твердой и крепкой поверхностью,[1] как если бы бросать его свободно в воздухе (рис. 50).

«О чудесная справедливость твоя, первый двигатель! Ты не захотел, чтобы хотя бы у одной силы (p) не имелось порядка и качества (равенства?) ее необходимых следствий, и так как одна сила (p) должна гнать на 100 локтей определенную вещь, побежденную ею, и последняя, повинуясь ей, встречает препятствие, то ты устроил так, что сила (p) удара снова вызывает

[1] Чтение Рав ссон-Молиена (в тексте: «da duro ensolio smalto») здесь вызывает большие сомнения, хотя мы не можем с уверенностью предложить более несомненного.

себе полную сумму положенного ему пути. И если ты измеришь дорогу, пройденную в этих отскоках, то ты найдешь, что она будет иметь такую длину, как если бы бросить с той же силой подобную вещь свободно в воздухе.

«Этот опыт ты произведешь при помощи маленького стеклянного шарика, ударяющегося о плоскость из живого камня, и имей длинный стержень, размеченный разными цветами. И

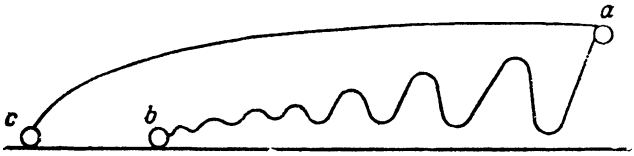


Рис. 50

когда ты все приготовил, заставь кого-нибудь держать стержень и смотри несколько издали, до каких цветов шарик, отскакивая, подымается, увеличивая постепенно отскоки до высоты стержня, и замечай их. И если будет столько отметчиков, сколько отскоков, то каждый легче запомнит свой. Но сделай так, чтобы стержень был возможно более укреплен сверху или в отверстии снизу, так как если его будет кто-нибудь держать рукой, то он будет заслонять отметчикам вид. И сделай, чтобы первый отскок происходил между двумя прямыми углами, так чтобы шар всегда падал в то же место, так как тогда легче отмечать высоты отскоков по стержню.

«Затем заставь с той же силой бросить этот шарик свободно и заметь место, в которое он ударяется, и измерь, и найдешь, что второй путь товарищ первого» (A. 24 r.).

В этой записи Леонардо, как обычно, выступает в первую очередь как тщательный и остроумный экспериментатор, конструктор опытной установки для определения высот отскока. Но результаты его опытов в данном случае не могут, как в ранее рассмотренных, подкрепить традиционную перипатетическую формулу, так как эта формула для данных явлений отсутствует. Поэтому он строит свой закон или, вернее, подобие

закона по образу и подобию законов перипатетических — он постулирует простейшее возможное соотношение равенства и подкрепляет его своими опытами. Соотношение это, так же как соотношение, рассмотренное нами на стр. 516, может быть с известной натяжкой названо одной из формулировок закона сохранения. Но, в то время как в первом случае оно давало правильный результат, в данном случае оно дает результат совершенно фантастический. При этом сам Леонардо вряд ли осознавал родство обоих случаев, а скорее всего и там и здесь строил закономерность по одному типу, наиболее близкому его физическому мышлению, — по принципу установления возможно более простых соотношений между элементами, получаемыми им из своих опытов. Но так как условия опыта в последнем случае были чрезвычайно сложными, требовали участия ряда людей, привлечь которых к своим, по большей части тайным, научным занятиям Леонардо вряд ли мог и хотел, то можно усомниться в том, производился ли фактически описанный опыт; если же он не производился, что очень вероятно, то становится понятной неправильность результата, к которому приходит Леонардо, не учитывающий в своем рассуждении коэффициент удара; последний не играет никакой роли при свободном бросании и является решающим при отскоке.

Установив свой закон длины отскока, Леонардо разражается почти стихотворным лирическим отступлением — выражает свое преклонение перед первым двигателем, тем невидимым существом или невидимой силой, которая создала первое движение. К признанию необходимости существования этой силы сводится вся религия Леонардо — трезвого наблюдателя, техника и творца. Для конца XV в., времени Савонаролы и начинающейся католической реакции, но и времени Пульчи и Макиавелли, такая религиозная установка Леонардо достаточно показательна. Он решительно и бесповоротно становится на сторону тех передовых выразителей буржуазной идеологии, которые отходят от католической и вообще христианской религии. Но, как и большинство из них, он сохраняет бога в своей системе; бог же его есть, если можно так выразиться, бог механический,

сила, нужная для приведения раз и навсегда в движение «универсальной машины земли» («l'universal macchina della terra»), и больше ничего, что доказывает всю важность, всю органичность для Леонардо его механики.

Но вернемся к удару. Вторая половина приведенной выше записи описывает опытную установку, на которой производятся опыты в первую очередь с прямым ударом. Последним Леонардо занимается вообще сравнительно немного, да оно и понятно. Удар этот, значительно более простой, представлял меньшее число загадок, чем удар косвенный. Замечания его по поводу прямого удара обыкновенно кратки и элементарны. Вот пример их:

«Из ударов, производимых между равными углами, тот будет более мощным, который вызывается в более плотном объекте. А из ударов, производимых по объектам равной плотности, тот будет более сильным, который будет иметь объект с бо́льшим сопротивлением» (L. 42 v.).

Последнее замечание повторяется многократно в разных местах и иллюстрируется отдельными конкретными примерами. Таким образом, в прямом ударе Леонардо, в основном, изучает высоту отскока в зависимости от свойства ударяющихся материалов, т. е. то, чего он как раз не принял во внимание в вышерассмотренной записи и что сейчас принято называть «коэффициентом удара». Для него, всегда и во всех случаях привыкшего принимать во внимание в первую очередь влияния среды на явления, такой подход естествен и закономерен. В данном же случае, в противоположность рассмотренным выше, это подводит его вплотную к правильному решению вопроса или, во всяком случае, к правильной его постановке, — отсутствие перипатетических шор дает себя знать.

Значительно более сложную цепь вопросов ставил перед Леонардо удар косвенный. Наибольшее внимание его привлекают здесь три проблемы: сила удара в зависимости от угла падения, угол отскока и его отношение к углу падения и, наконец, траектория отскока. Первый вопрос получает в общей форме следующий ответ:

«Тот удар будет иметь бóльшую силу (p), который будет произведен между более равными углами» (L. 42 v.).
Или иначе:

«Тот удар будет обладать меньшей силой, который создается под меньшим углом (рис. 51). Когда одно и то же движение двигает то же движимое на одно и то же расстояние по направлению к одному и тому же неподвижному телу, благодаря вышеприведенным причинам могут образовываться удары бесконечно

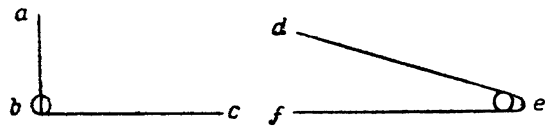


Рис. 51

разнообразной силы. Происходит же это потому, что углы, по которым происходят такие удары, могут изменяться бесконечно от наибольших до наименьших и, как сказано, больший или меньший угол рождает больший или меньший удар. Так как если движимое движется по наибольшему углу, из a опускаясь в b, то это движимое вернется в a, из которого оно вышло. И это есть наибольший удар, который может быть нанесен определенной силой. Но если та же сила движет то же движимое по линии de, то этот удар будет сделан по неподвижному предмету e с тем меньшей силой (p) по сравнению с b, чем меньше угол e угла b. Так что таково отношение ударов между собой, каково оно между названными выше углами» (Ar. 91 r.).

В иных, не менее определенных выражениях та же мысль записана в другом, более раннем месте (A. 22 r.). Объяснение констатированного явления как будто бы нигде не дается, самая же констатация, если понимать под неопределенным выражением «сила удара» вертикальную составляющую скорости отскока, правильна.

То, что Леонардо понимал это искусственно введенное им понятие именно так, доказывается и тем, что иначе его утвер-

ждение вообще не имело бы никакого смысла, и особенно тем, что именно в таком значении применяет Леонардо это выражение при определении угла отскока.

Более подробно изучает Леонардо второй вопрос — вопрос о направлении отскока падающего тела. В наиболее общей форме он дает такой ответ:

«Пусть будет линия *ab* (рис. 52) — движение движимого, которое ни в какой мере не затруднено ничем, кроме общей среды — воздуха; следовательно, движение такого движимого будет прямолинейным по направлению к центру, но если такое движимое тело должно было бы двигаться по линии *cd* и встретило бы сопротивление, тогда это движение будет происходить по другому направлению, каковое тем более заимствует от сопротивления, чем от своего основания, чем более сильно это сопротивление по сравнению с основанием, почему движение, которое происходит после такого сопротивления, не происходит по горизонтальной линии *gf*, но избирает ту линию, которую ему подготовляет необходимость, т. е. линию *gh*, каковая определена в моей теории местных движений» (C. A. 154 r. b.).

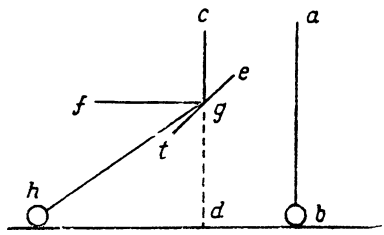


Рис. 52

В этой записи констатируется только наличие отскока и устанавливается его зависимость от упругости тела, от которого отскок происходит, но не от угла, под которым происходит падение. Зато в других записях, сосредоточенных главным образом в «Кодексе Арундель», но имеющихся и в других кодексах, Леонардо идет обратным путем.

В записи «Атлантического кодекса», не особенно, повидимому, поздней, Леонардо рассуждает так:

«Почему угол удара и отскок равны? (рис. 53). Принимает участие середина, так как линия в равной мере относится к двум крайним.

«Если шар выйдет из *b* и с яростью будет двигаться к *c*, то стремлением движущего предмета будет отправить движимый предмет из *c* и *d*. Но так как в *c* путь ему перерезан, ибо он ударяется в поверхность пола *mn*, то он не возвращается назад по пути, по которому он шел, так как он был изгнан оттуда, и не продолжает пути начатого бегства, так как он встречает сопротивление. А следовательно, так как он не может следовать им по

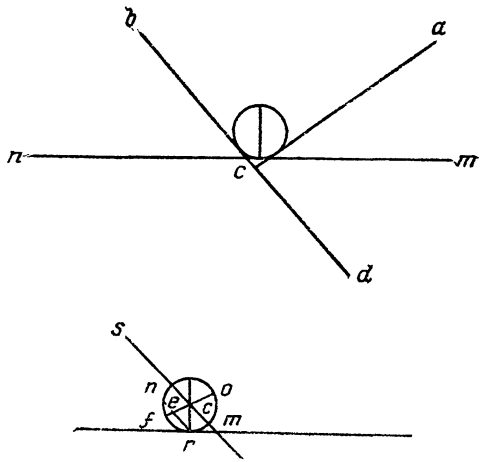


Рис. 53

одному из этих двух путей,—по одному потому, что не должен, по другому потому, что не может, — он выбирает средний путь и прыгает и превращает бегство из *c* в *a* под равными углами.

«Почему шар, ударяющийся об пол, не возвращается всегда по пути, по которому он идет, не соблюдая равных углов?

«Потому что, когда часть *rnf* ударяет и хочет вернуться назад и возвращается, часть *rom* хочет итти вперед и идет, почему происходит, — так как одна часть идет вперед, а другая возвращается и обе они связаны вместе, — вращение шара. Если шар убегает по линии *ms* и линия удара будет *mr*, так что ударяется часть *r*, то эта часть делается точкой опоры (polo); и так как часть шара *no* больше весит, чем часть *nf*, то необходи-

мо, чтобы, так как и бо̀льшая и меньшая часть побуждаемы равными силами, они двигались равным образом, так что, в то время как меньшая часть встречает сопротивление вследствие удара, производимого ею по телу, бо̀льшая будет находиться в воздухе и в бегстве, и в то время как шар стремится разрушить пол, удар меньшей части, соединенной с большей, тянет бо̀льшую вверх, вращаясь и стремясь с противоположным движением» (С. А. 125 r. a.).

Приведенный отрывок, несомненно, фиксирует первую стадию наблюдений Леонардо над ударом шара об упругую поверхность. В нем применяется еще не установившаяся терминология (термин «линия удара» применяется не в том смысле, в каком он будет применяться затем), и все содержание его носит описательно-аналитический характер, не свойственный поздним записям. В дальнейшем такое элементарное, чисто экспериментально-физическое объяснение явления отскока не удовлетворяет Леонардо, и он стремится дать более строгое, более, на его взгляд, научное. Для этого он вводит два вспомогательных понятия; об одном из них («силе удара») мы говорили уже выше.

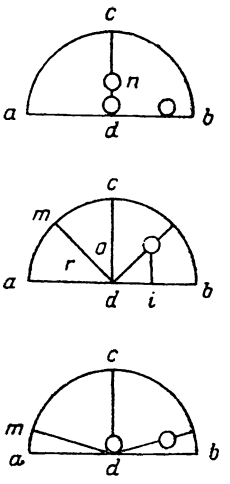


Рис. 54

«Движение рождается в результате двух разных причин, из которых первая — импето, вторая же называется ударом. Движение, рождаемое импето, есть такое движение, которое ведет движение к месту удара. Движение, рождаемое ударом, есть такое движение, которое рождается местом, ударенным между двумя прямыми углами. Следовательно, мы скажем, что если в верхней фигуре (рис. 54) движимое движется от a к b, то это движимое движется вплоть до b под действием простой силы (p) импето. Если же это движимое будет движимо от c к d, то оно отскочит отраженным образом из d в n, каковое движение из d в n рождается простой силой удара.

«Теперь, определив 2 рода движений, мы можем посредством этих определений доказать, почему угол отраженного движения по необходимости должен быть равен углу движения падающего» (Ar. 90 r.).

На первый взгляд, введенные Леонардо понятия «сила импето» и «сила удара» кажутся нам искусственными и непонятными. Но если мы пристальнее всмотримся в их употребление, то поймем, что́ он хотел ими выразить. Мы видели при рассмотрении первого положения Леонардо о косвенном ударе, что понятие «сила удара» и в высказываниях по этому вопросу Леонардо, и в современной терминологии обозначает вертикальную составляющую скорость движения отскакивающего тела. Если же мы попробуем подставить то же значение для «силы удара» в только что приведенный отрывок, то получим, что под «силой импето» подразумевается горизонтальная составляющая скорости движения, под «силой удара» — вертикальная составляющая, и самое движение рассматривается как результат действия этих составляющих, принимаемых Леонардо за реально действующие силы. В таком разложении на горизонтальную и вертикальную составляющие мы с несомненностью можем констатировать как влияние «Механических проблем» с их разложением движения конца весов на вертикальное и горизонтальное, так и влияние метода школы Николая Орезма, хорошо известного Леонардо метода отнесения явления к двум взаимно перпендикулярным осям, отрезки которых обозначают разные величины, характеризующие это явление. Но, разлагая падение и отскок на две взаимно перпендикулярные силы, Леонардо не считает это разложение только методом анализа, как Орезм, а считает эти силы реально действующими, как «механические проблемы», и в дальнейшем оперирует с ними именно как с таковыми.

Установив таким образом основные понятия, с которыми он будет оперировать, и вводя несколько особое значение термина «импето», знакомого нам уже из предыдущего изложения, Леонардо констатирует, что:

«Угол, производимый отраженным движением весомых тел будет равен углу, производимому падающим движением».

Доказывается это положение так:

«Движимое, побуждаемое силой (*p*) импето, движется больше и с большей силой, чем движимое, побуждаемое силой удара. Для того чтобы получить определенный случай, назовем (рис. 55) линию *ab* простой силой импето и перпендикулярную к ней линию *im* — простой силой удара. Теперь, так как удар распространяется только на рождение отскоков или, иначе говоря, отраженных движений, импето же распространяется на падающее движение, то если движение движимого *i* произойдет из этого *i* в *m*, то из него родится отраженное движение *mk*, каковое, так как в этом падающем движении не участвует линия импето *ab*, отскочит наверх по той же перпендикулярной линии, по которой оно опустилось между двумя прямыми углами, которые всегда равны. Но если это движимое будет двигаться по линии, расположенной в середине между силой импето и удара, то это движение будет испытывать воздействие как одного, так и другого, и что касается до участия удара, то это движимое поднимается до положения *f*, что же касается до участия импето, то это движимое удаляется от линии удара на все расстояние *rf*. Из этого заключаем, что по необходимости движимое отскакивает в положение *f*, в котором оно настолько удалено от линии импето *ab*, насколько и от линии удара *im*, и, следовательно, угол равен» (Ar. 82 r.).

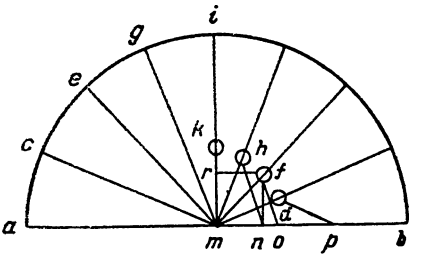


Рис. 55

Примерно, то же самое, но несколько более ясно дважды выражено на следующих страницах кодекса. Приведем одну из таких записей:

«Почему падающее и отраженное движение происходят под равными углами.

«Движимое, побуждаемое ударом в каждую степень времени, приобретает степень высоты и приближается к своему первому

двигателю. Движимое, побуждаемое импето в каждой степени бегства, приобретает степени расстояния от своего двигателя. Следовательно, мы скажем, что то, что двигатель приобретает по высоте над местом удара, то (эта высота) вызывается этим ударом, и то, что это движимое приобретает по расстоянию от этого места удара, то (это расстояние) вызывается импето. Поэтому мы скажем, что больший или меньший удар подымает это движимое на бо́льшую или меньшую высоту, и также можем сказать, что больший или меньший импето отсылает от себя движимое на большее или меньшее расстояние.

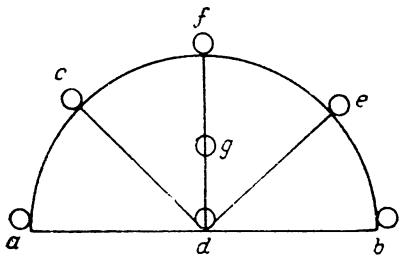


Рис. 56

«Движимое *a* (рис. 56), будучи движимо по линии *ab*, считается движимым простым импето; движимое же *d*, будучи движимо по линии *dg*, будет движимо простым ударом, рождаемым двигателем *f*, опускаясь вниз по линии *fd*. Следовательно, на линии *fd* находится сила (*p*) удара и на линии *ab* — сила импето, поэтому можно сказать с уверенностью, что если движимое *e* стремится к месту удара *d*, равно отстоя от обеих названных сил, то получится движение, равным образом испытывающее воздействие как одной, так и другой силы, почему оно поднимется только в среднее положение, т. е. принимая высоту удара, оно будет иметь низость импето» (Ar. 83 v.).

В приведенных двух записях, число которых в «Кодексе Арундель» значительно больше, мы видим чрезвычайно любопытное и опять-таки характерное для Леонардо смешение различных приемов и направлений научного исследования.

Действительно, многословные его рассуждения могут быть, повидимому, кратко изложены так. Движение косвенного падения является результатом действия двух сил — силы горизонтальной (силы импето) и силы вертикальной (силы удара). Каждая из этих сил при отскоке стремится создать равную себе

силу, почему отскок является результатом взаимодействия тех же двух сил и, следовательно, происходит под тем же углом, под которым происходило падение. Легко увидеть в этом доказательстве две коренные ошибки: во-первых, как мы уже отмечали выше, Леонардо все время путает условно выделенные горизонтальную и вертикальную составляющие и реально действующие силы. При этом каждая из этих сил рассматривается самостоятельно и независимо от другой. Во-вторых же, и это главное, доказательство его ровно ничего не доказывает: Леонардо принимает, что каждая сила после отскока тела сохраняется без изменения; но это и есть то, что требовалось доказать, так как если силы, на которые разложена сила падающего тела, после отскока не меняются, то ясно, что самый этот отскок будет происходить под тем же углом, что и падение.

Здесь мы встречаемся с новым примером сложной комплексности научной системы Леонардо. Как в учении о приобретаемом движении он пытается экспериментом подкрепить традиционный перипатетический закон, так в данном случае он, наоборот, извлекает из арсенала предшествующей механики метод «Механических проблем» для объяснения такого экспериментально установленного факта, который не подходил ни под один из существующих законов.

Любопытно в этом доказательстве также и следующее. Категорически и решительно утверждая в записи «Атлантического кодекса» (154 r. b. см. стр. 539), что угол отражения изменяется в зависимости от упругости ударяющихся поверхностей, от того коэффициента удара, к определению которого он подошел при рассмотрении прямого удара (совершенно правильное утверждение, ибо фактически угол отражения равен углу падения только в случе равенства этого коэффициента единице), Леонардо, при более подробном и, на его взгляд, более научном рассмотрении этого вопроса в более поздних (повидимому) записях «Кодекса Арундель», совершенно не учитывает влияния упругости ударяющихся поверхностей и принимает безоговорочно угол отражения равным углу падения. Да это и понятно: схоластически окрашенные рассуждения, подкрепляющие этот

закон, не могли включить в свою ткань экспериментально полученного коэффициента. Поэтому он и должен был неизбежно выпасть, а закон — приобрести единственно приемлемый для Леонардо вид простого и четкого равенства при всех условиях.

Но на определении углов отскока Леонардо не останавливается. Он идет дальше, пытаясь установить кривую, по которой полетит отскакивающее от твердой поверхности тело. Мы видели, что уже при рассмотрении свободно брошенного в воздух тела он в некоторых случаях пытался определить кривую полета. Здесь же, опираясь на свое представление о сложении двух сил, импето и удара, он пытается вычислить эту кривую.

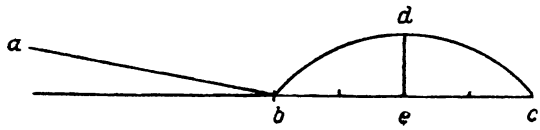


Рис. 57

«Показывается, какую пропорцию имеет сила (*p*) удара с силой импето при движении весомых тел.

«То, что движимое приобретает в высоте при своем отраженном движении, рождается только от силы простого удара, а то, что отраженное движение приобретает в длине, рождается только от силы простого импето. Так, я вижу, что в изображенном (рис. 57) отскоке (balzo) высота *de* помещается в длине *bc* ровно четыре раза. Из сказанного выше заключаем, что как высота *de* четыре раза помещается в длине *bec*, так же точно и сила (*p*), являющаяся причиной отскока *bdc*, помещается четыре раза в силе импето *ab*, которая повлекла к удару названное движимое в месте *b*.

«Следовательно, утверждаем, что насколько прыжок более высок, чем длинен, настолько сила (*p*) удара превосходит силу импето; насколько же в этом прыжке высота превосходится длиной, настолько удар превосходится импето. В этом по следствиям обнаруживается природа причин и по причинам природа следствий, как будет ниже доказано на примерах.

«Дана одна степень силы (p) импето и одна степень силы удара; ищется форма дуги, производимой отраженным движением (рис. 58).

«В этом случае мы разделим степени импето на 16 и степени удара на 4. Каждая степень как импето, так и силы будет равна, почему мы говорим, что импето в четыре раза сильнее уда-

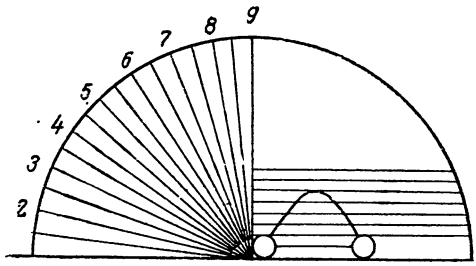


Рис. 58

ра, а следовательно, 4 степени импето будут равны 4 степеням удара, из чего по вышесказанному утверждению заключаем, что одна степень импето и одна степень удара вызовут дугу отраженного движения, которая будет так же высока, как длинна» (Ar. 81 v.).

Из приведенной записи ясно, что отношение между силой импето и силой удара, введенное Леонардо для определения угла отражения, определяет собой и кривую, по которой происходит полет отскочившего тела, причем величина импето определяет собой длину кривой, а величина удара — высоту ее. О форме самой кривой не говорится ничего; очевидно, она предполагается близко подходящей к дуге окружности.

Таким образом, если свести воедино все три положения, выставленные Леонардо, об ударе и отскоке, мы как будто бы получим следующую теорию, которую, впрочем, в цельном виде сам он нигде не формулирует:

1) Тот удар более силен, т. е. имеет бóльшую вертикальную составляющую скорости отскока, условно называемую «силой

удара», который происходит под большим углом в пределах между 0 и 90°.

2) Угол отскока, ударившегося о твердую поверхность, равен углу падения, так как определяется тем же соотношением между «силой импето» и «силой удара», которое характеризует последний.

3) Длина дуги окружности, по которой происходит отскок, определяется силой импето, т. е. горизонтальной составляющей скорости падения, высота — ее вертикальной составляющей, или «силой удара». Таким образом, зная угол падения, мы знаем и дугу, по которой пройдет отскакивающее тело.

То, что сформулированные нами выше положения действительно соответствуют концепции Леонардо, мы можем увидеть, внимательно разобрав следующие две записи того же «Кодекса Арундель», в которых те же положения освещаются несколько с других точек зрения.

«Тот отскок более короток, который рождается от более сильного удара.

«Меньший удар вызывает более длинный отскок.

«Тот удар, который имеет бóльшую силу (p), рождает отскок меньшей длины (рис. 59).

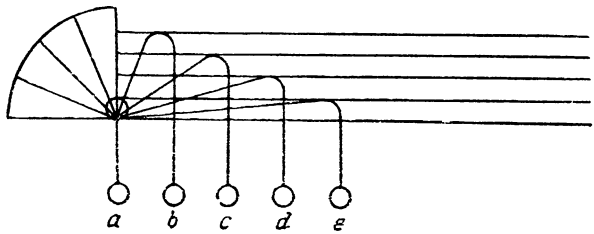


Рис. 59

«Чем больше будет удар, тем меньше отскок, и чем меньше будет этот удар, тем более длинным будет его отскок.

«Под высотой отскока понимается та высота, которой достигает движимое, считая от горизонтальной линии вверх.

«Длина отражаемого движения есть та длина, которая рождается в месте удара и кончается в начале естественного движения» (Ar. 92 v.).

Или в другом месте:

«Сила импето продолжается во время всего отраженного движения и кончается в начале естественного движения.

«Подъем движимого при его отраженном движении сохраняется настолько, насколько это движение сопровождается силой удара.

«Сила удара сопровождает движение движимого только до вершины наибольшей высоты его отскока.

«Движимое настолько подымается в своем отраженном движении, насколько его сопровождает сила удара.

«Движимое настолько удаляется от места удара, насколько сохраняется сила сопровождающего его импето... (рис. 60).

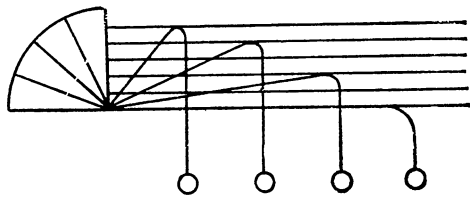


Рис. 60

«Поэтому мы утверждаем, что отношение между силой импето и силой удара будет таким, как между высотой отраженного движения и его длиной» (Ar. 128 r.).

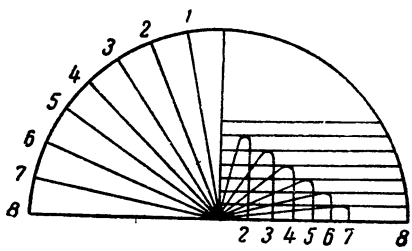


Рис. 61

Особенно же показателен частный пример, приводимый в конце той же страницы (Ar. 128 r.).

«Ни одна степень импето не дает 8 удара.

«Одна степень импето дает 7 степеней силы удара, 2—дают 6, 3—дают 5, 4—дают 4, 5—дают 3, 6—дают 2, 7—дают 1, 8 же не дают ни одной (рис. 61).

Если мы будем твердо помнить значение, придаваемое Леонардо терминам «сила импето» и «сила удара», и заметим, что он нередко применяет в данной связи просто слово «сила» вместо «сила удара», то оба приведенных отрывка станут совершенно ясными и полностью подтвердят правильность данной нами выше краткой формулировки теории Леонардо об ударе шара о плоскость и об отскоке его. В теории этой причудливо сочетаются правильные наблюдения с неправильными доказательствами, по ходу которых встречаются правильные, важные и интересные соображения, используемые опять-таки неправильно.

Мысль о разложении движения на две взаимно перпендикулярные составляющие, возможно подсказанная «Проблемами механики», приводит всего лишь к бесплодному анализу кривой отскока, ударяющегося о плоскость тела. Практический смысл этого анализа, очевидно, кроется в том, что кривая отскока была наиболее доступным и наиболее легко наблюдаемым вариантом кривой полета весомого тела в воздухе и, следовательно, анализ ее в конечном счете вел к тому же анализу кривой полета ядра, о занятиях которым мы уже говорили (стр. 520).

Леонардо нигде не свел воедино своей теории удара, хотя единство и органичность ее представляются нам, как видно из всего предыдущего, несомненными. Мы имеем, однако, одну запись, в которой он, не стремясь еще дать словесного общего выражения закона удара, пытается дать графическое его изображение. Запись эта (С. А. 267 r. a.) такова:

«Закон (regola) удара (рис. 62).

В этих двух законах, т. е. удара и силы (рядом дается аналогичный, но расположенный вертикально чертеж с надписью «закон силы»), можно применить отношения, которые Пифагор применял в своей музыке».

Рисунок, являющийся центром записи, дает попытку наглядно представить соотношение между двумя составляющими — силы или скорости удара: «силой импето» и «силой удара», так как обычное и принятое с большей или меньшей четкостью

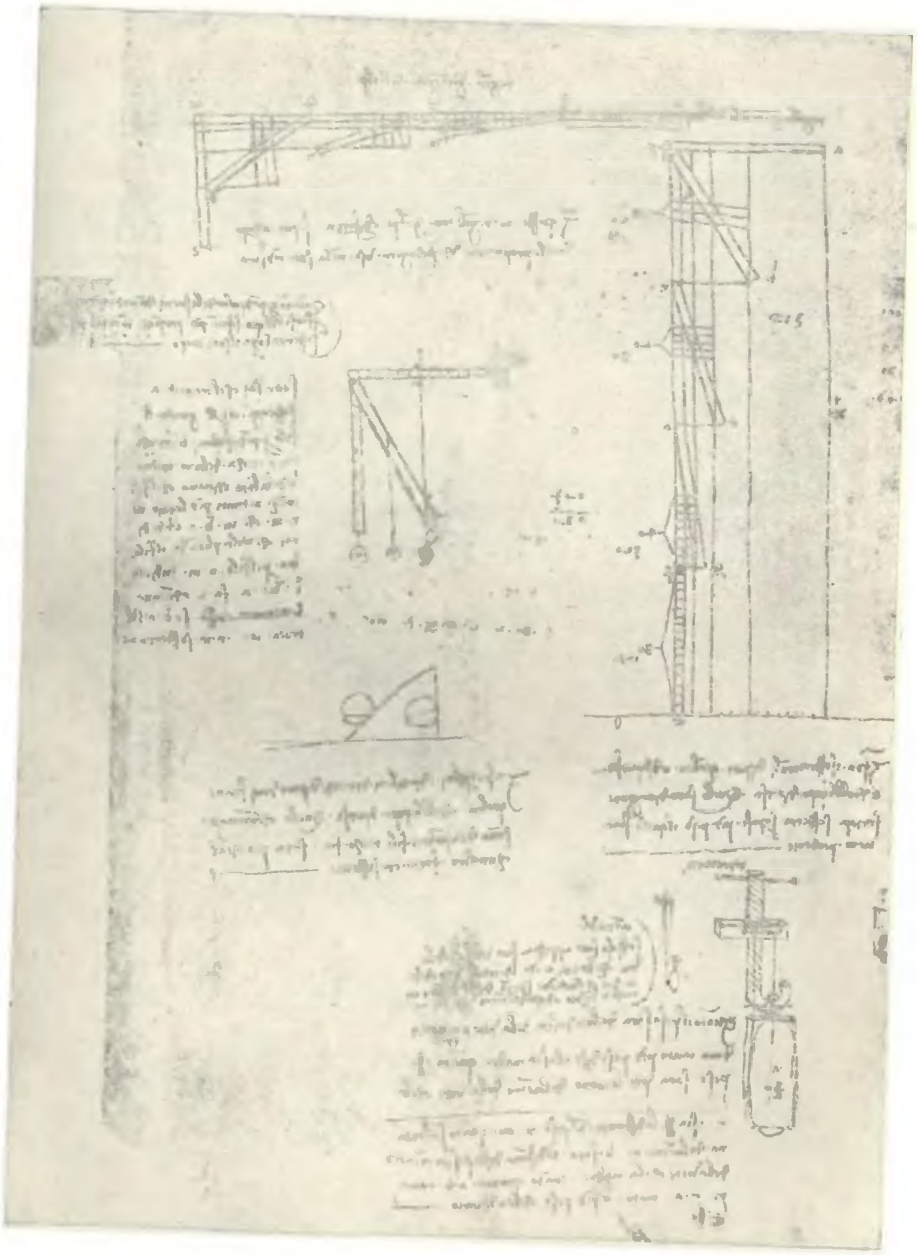


Рис. 62

во всех вышеприведенных чертежах изображение в проекциях на координатные оси представляется недостаточно четким и наглядным.

Из рисунка и записи ясно, что именно разложение на две составляющие силы, образующей удар, или скорости движения, ведущего к этому удару, Леонардо считал основой своего учения об ударе. Несмотря на все ошибки в рассуждениях, это делает их заслуживающими самого серьезного внимания, которого они, кстати сказать, до сего времени не имели: учение Леонардо об ударе ни разу не служило еще предметом исследования.

Не столь, хотя все же достаточно подробно разбирает Леонардо и удар двух движущихся сферических тел. Вопросом удара друг о друга двух упругих шаров Леонардо начал, повидимому, интересоваться довольно рано, еще во время своего первого пребывания в Милане. Очевидно, в связи с баллистическими занятиями, он, разбирая разные возможные случаи удара, наталкивается на редко встречающийся, но теоретически весьма интересный случай удара двух упругих шаров и заинтересовывается им.

Действительно, в ранней записи кодекса «А» мы встречаем уже следующее описание или, вернее, изображение различных случаев удара, которое ввиду его сравнительной длины приводим не полностью:

«Если объект (удара) и ударяющий предмет тверды, то, согласно правилам удара, (последний) отскакивает назад (рис. 63).

«Двигающееся тело погружается и проникает в мягкий объект.

«Равенство движения, веса, удара вызывает одинаковое отскакивание тел.

«Удар двух тел неравного веса, но равного пути и движения.

«Путь, проходимый большим весом, значительно меньше пути меньшего веса.

«Больший путь — большего веса.

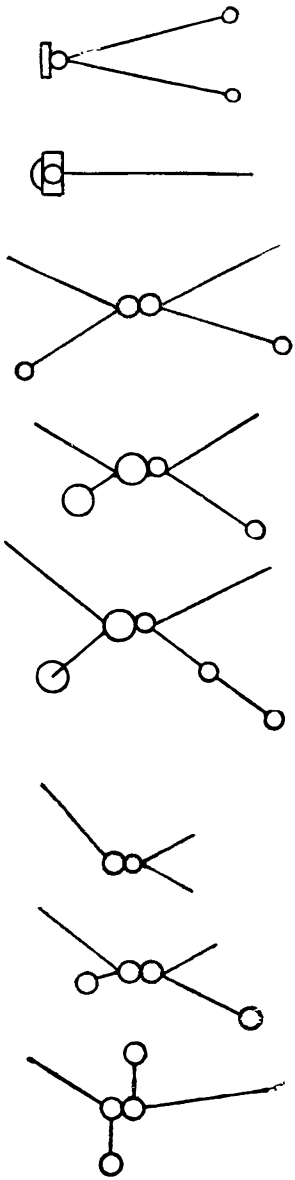


Рис. 63

«Равные веса на неравных расстояниях. Тело, проходящее меньший путь, отскочит настолько больше назад, чем тело, проходящее путь больший, сколько раз меньший путь помещается в большем.

«Сто́лкновение с бегством» (*A.* 8 r.).

Приведенная запись представляет собой, очевидно, предварительный и черновой набросок первой стадии опытов и наблюдений. Леонардо пытается дать какую-то классификацию разных случаев удара, схематически зарисовывает их, но ни обобщения, ни тем более объяснения причин различных результатов удара не дает. Однако скоро, повидимому почти тотчас же, он пытается дать первый вариант такого обобщения, который записан через несколько страниц в том же кодексе «А».

«У д а р... Удары разного движения, веса и силы, встречающиеся при яростном движении, отскочат назад на разное расстояние от места, по которому они ударили.

«Если два тела, сделанные из одного и того же материала, ударятся, будучи движимы разной причиной и бегом, один отскочит больше другого настолько, насколько он будет меньше другого.

«Если два тела, сделанные из одного и того же материала, будут движимы одно по направлению к дру-

гому равной причиной, то тотчас же как удар будет закончен, одно отскочит тем больше, чем другое, чем оно меньше другого.

«(При ударе) твердого тела, ударяемого равным ему, ударяемое убегает, а ударяющее остается на месте убежавшего» (A. 26 r.).

Здесь как бы выражено в форме законов то, что предварительно зарисовано в предыдущей записи. Подобные же, но более дробные, частичные утверждения рассеяны по листам других тетрадей раннего периода. Например:

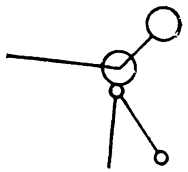


Рис. 64

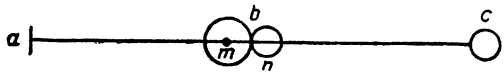


Рис. 65

«Если два шара (рис. 64) сталкиваются под прямым углом, то один тем больше отойдет от начатого им пути по сравнению с другим, чем один шар будет меньше другого» (C. 15 r.).

Или:

«*c* (рис. 65) отскакивает вдвое больше при ударе *b*, когда *m* не отскакивает, так как удар происходит в объект более чем устойчивого удара.

«При ударе, производимом движимыми телами, равными по весу, но не равными по движению, более быстрое не отскочит. И это доказывают нам игроки в «паллу», у которых рука, ударяющая в мяч, более быстра и более сильна вследствие своей тяжести, чем этот мяч, почему она заставляет этот мяч отскакивать назад с тем большей силой, чем ближе линия удара к линиям центра их движений» (C. A. 93 v. b.).

В последней записи, хотя и не относящейся в части примера к удару шаров, любопытно то, что в ней ясно обнаруживается обычный для Леонардо метод теоретизирования на материале наблюдения простых, обыденных фактов — в данном случае любимой в аристократических кругах игры в «паллу» (предок нашего тенниса). Теоретизирование это, как мы отмечали выше,

представляет собой первую стадию научной работы Леонардо, переходящего затем к сознательно поставленному эксперименту.

Окончательно сформулированы два частных случая удара шаров в следующей записи:

«Если два шарика брошены по прямой навстречу друг другу так, что один ударится о другой, и если они имеют равную силу (*p*), ярость (vementia) и вес, то тотчас же, как они встретятся, они оба остановятся разряженными (disfalte).

«Если 2 шарика брошены вверх так, что они встретятся, то движение правого перейдет в движение левого и таким же образом движение левого заменится движением правого»(A.32г.).

Очень вероятно, однако, что все приведенные записи об ударе шаров относятся еще к первой стадии работы Леонардо или к самому началу второй. Сколько-нибудь окончательного оформления работы Леонардо на эту тему, повидимому, не получили.

Итак, мы можем свести высказывания Леонардо об ударе шаров к нескольким основным положениям. Разбирая здесь только влияние величины (или веса, что то же самое, при одном материале) сталкивающихся шаров и относительной скорости движения на длину отскока, Леонардо устанавливает следующее. Во-первых, при неравенстве шаров и равенстве скоростей больший отскочит на меньшее расстояние, причем длина расстояний будет пропорциональна размерам шаров или их весам. Во-вторых, при равенстве шаров и неравенстве скоростей шары обмениваются скоростями. Последнее утверждение, несомненно, правильно и также формулируется в современных курсах механики; первое же окажется до некоторой степени правильным[1], и если мы вместо длины отскока будем опериро-

[1] Действительно, если в формулах конечной скорости двух упругих сталкивающихся шаров масс m_1 и m_2, движущихся до удара со скоростями v_1 и v_2, принять $v_1 = v_2$ и $m_1 > m_2$, то формулы эти:

$$x_1 = \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)\, v_1}{m_1 + m_2}$$

$$x_2 = \frac{2\, m_1\, v_1 + (m_1 - m_2)\, v_2}{m_1 + m_2}$$

вать со скоростью его (а такая замена, как мы неоднократно отмечали, вполне закономерна для всех рассуждений схоластической механики, которая при равных временах применяла безразлично скорости и длины). Таким образом, стоя на почве чистого эксперимента или даже только простого наблюдения и не привлекая в данном случае (не разбиравшемся традицией механики) никаких перипатетических или перипатетически-схоластических объяснений наблюденного им феномена, Леонардо приходит в общем к правильным результатам. Он их не затемняет никакими соображениями о причинах наблюденного им явления и, к счастью для них, не придает им законченной, по его мнению наукообразной, формы.

Однако на установлении только что рассмотренных простейших законов удара шаров Леонардо не останавливается. Он продолжает наблюдать влияние угла, под которым сходятся направления движения сталкивающихся шагов, на силу и направление отскока. Вопрос этот, значительно более сложный и запутанный, находит в его записях ряд частичных решений, которые еще в меньшей степени, чем рассмотренные нами выше, сведены воедино. Так, он записывает:

«У д а р. Если удар вызывается двумя сферическими телами равного материала, веса, размера и бега, и если их соприкосновение происходит под прямым углом, то их отлет от ударенного места будет происходить в соединенном движении и их соприкосновение не разделится вплоть до конца их бега, как это показано в *am* (рис. 66).[1]

«У д а р. Угол, производимый при столкновении равных сферических тел, всегда равен углу отражения» (С. 28 г.) (рис. 67).

дадут $x_1 < x_2$, т. е. покажут. что скорость тела с большей массой будет меньше скорости тела с меньшей массой, хотя отношение этих скоростей и не будет равно отношению между массами, как это утверждает Леонардо.

[1] Здесь в транскрипции Равессон-Моллиена пропущено несколько строчек, которые, ввиду недостаточной ясности факсимиле, нам разобрать не удалось.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в чертеже, сопровождающем последнюю запись, мы опять встречаемся с разложением скорости или силы движущихся тел на две взаимно перпендикулярные составляющие — направленную по линии удара и нормальную к ней. В другом месте Леонардо пишет:

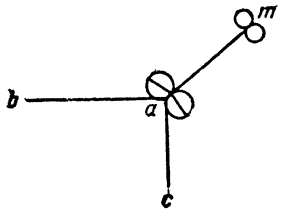


Рис. 66

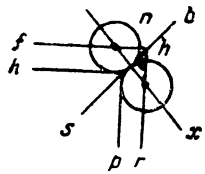


Рис. 67

«Ни один удар, производимый сферическим телом, не имеет силы (non vale), равной полному весу этого сферического тела, если только он не происходит в конце (fronte) диаметра этого тела, когда диаметр этот находится на центральной линии движения этого сферического тела (рис. 68).

«Удар, производимый сферическим телом, будет тем более сильным, чем ближе будет его диаметр к центральной линии его движения.

«Удар, производимый сферическим телом, будет тем менее сильным, чем дальше будет удалена центральная линия его движения от диаметра этого сферического тела.

«Сила удара, происходящего вне центральной линии движения, будет всегда в два раза больше, чем меньшая часть сферического тела, остающегося вне движения» (C. A. 241 v. b.).

В приведенном чертеже (рис. 68) мы опять видим попытку разложения скорости движения на две взаимно перпендикулярные составляющие.

Далеко не ясно, хотя очень интересно по постановке вопроса, начало пространной и довольно хаотической записи «Атлантического кодекса», затрагивающей ряд проблем, связанных с ударом шаров:

«Всякий удар, производимый по сферическому весомому телу, обращает центральную линию своей силы к центру ударенного сферического тела.

«Доказывается это так (рис. 69): пусть направление двух противоположных движений будет *nm*, а место удара обоих сферических тел будет *b*; тогда обнаруживается, что сила удара в два раза больше, чем меньшая часть ударенного шара, так как

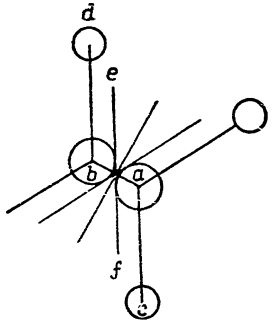


Рис. 68

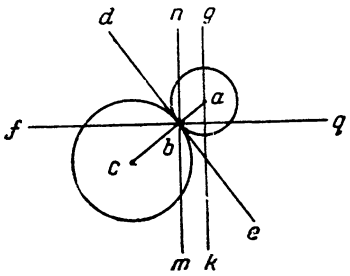


Рис. 69

всякое уравновешение веса (librazione) удара должно происходить под равными углами (между линиями действия) двух сил, как доказывается в книге о весе».

Здесь имеет место как будто бы не вполне ясная и, возможно, незаконченная аргументация, так как она не использует значительной части вспомогательных линий чертежа. Очевидно, она клонится к тому, чтобы доказать то правильное положение, что всякий удар шаров будет центральным.

Дальше та же запись продолжает следующим образом:

«Ударяющее тело ударяет объект с тем меньшей силой (*p*), чем более способным к бегству оно его находит. Но то ударяющее ударяет объект с тем более интенсивным ударом, которое встречает более устойчивый объект.

«Наибольший же удар бывает при наибольших скоростях плотных тел, когда они равны друг другу.

«То ударяющее тело с менее сильным движением отскочит на меньшее расстояние от места удара, которое будет ударять

частью, более близкой к центральной линии его. Доказывается это тем, что та часть движимого, которая направлена к центру ударяющего, стремится вернуться назад и сопровождать движение ударяющего тела; часть же, расположенная вне центра, которая не испытывает сопротивления, стремится продолжать начатое движение, почему по необходимости такое движение приобретает вращение вокруг центра своей тяжести, и если разница между их силами будет неравная (fia inequale), то более сильная часть будет немного двигать тело с собой до тех пор, пока не уничтожит остатка своего импето.

«Но часть тела, находящаяся вне (in là) места удара, которая не испытывает воздействия силы ударяющего тела, не встречалась с ним и не противостояла его движению, стремится продолжать свое движение в свободном воздухе. А так как она соединена с частью, возвращающейся назад, то тело по необходимости выбирает неотраженное и непадающее движение, но, будучи так составлено, оно образовывает движение тройного состава, причем одна часть — отраженное движение, другая — падающее, третье же, уничтожающее эти стремления, будет движением прямым (motto retto), которое будет движением отличным от каждого из двух первых, прежде чем они ударятся, и отличным от тех, которые рождаются после удара, причем движение это будет прямым и поперечным (traversale)» (C. A. 241 r.).

В другом листе того же «Атлантического кодекса» мы находим другую запись, относящуюся к удару шаров, — запись неоконченную и недоделанную, но интересную широкой постановкой в ней вопроса:

«О у д а р е д в и ж и м ы х р а з н ы х с к о р о с т е й. Движимые разных сил (*p*) бывают двух родов, из которых один— когда движимые имеют равный вес и скорость, другой — когда они имеют разные веса и разные скорости, третий — когда либо они имеют равные веса и неравные скорости, либо разные веса и равные скорости, либо они имеют разные веса и разные скорости...

«Если ты ударишь приближающийся шар (l'avvenimento della palla) по центральной линии его движения, то он, без

сомнения, возвратится назад по тому же пути, по которому он шел, но если ты ударишь его в меньшую часть, он не обернется назад и не будет итти вперед, но склонится в поперечном движении (moto traversale), причем импето его уменьшится настолько, насколько велика была сила удара» (С. А. 141 г. а.).

Легко убедиться в том, что содержание всех приведенных нами записей не упорядочено и не сведено к какому бы то ни было единству.

Но все же, если мы попытаемся кратко передать основные мысли, вложенные в них Леонардо, то получим следующие утверждения. В ударяющихся шарах происходит разложение скорости или силы их движения на два направления: одно — идущее по линии, соединяющей центры ударяющихся шаров, другое — продолжающее начатое движение, т. е. идущее по центральной линии движения. Чем ближе одно направление к другому, тем сильнее будет удар, т. е. эти шары отскочат на тем большее расстояние от прямой, перпендикулярной к линии, соединяющей центры шаров (С. А. 241 v. b.), или же на тем меньшее расстояние от самой этой прямой (С. А. 241 г.).[1] Происходит же это оттого, что стремится разлетаться по направлению линии центров та часть шаров, которая заключена между этой линией и линией направления движения, считая по большей части окружности; продолжать же движение стремится вся остальная часть, а следовательно, чем больше первая часть по отношению ко второй, тем дальше от направления первоначального движения пройдет линия отскока.

Несколько выпадает из круга только что рассмотренных нами понятий и представлений приведенный выше отрывок (С. 28 г.). В нем Леонардо, в противоположность всем последующим

[1] Разница в формулировке двух соседних страниц «Атлантического кодекса», повидимому, объясняется неясным и неустойчивым пониманием Леонардо разницы в составляющих — направленных по линии центров и перпендикулярных к ней, ибо в отношении к шарам мы не находим столь твердого разграничения, как в отношении к отскоку. Не исключена возможность и того, что в одном из случаев мы имеем дело просто с опиской.

отрывкам, говорит, очевидно, об ударе неупругих шаров, которые действительно при столкновении не расходятся. То же, что он совершенно не упоминает о принципиальном отличии данного типа удара, объясняется, повидимому, тем, что данная запись является вырванной из какого-то, очевидно более общего контекста, для которого она предназначалась.

Таким образом, и в вопросе о непрямом ударе упругих шаров, стоя на твердой экспериментальной базе, фиксируя, без особых мудрствований, результаты своих опытов и наблюдений, Леонардо приходит в общем к правильным результатам. Начиная же подыскивать «научные» объяснения того или иного установленного им феномена, он идет по пути искусственных, по большей части заимствованных из арсенала схоластики аргументов и соображений. Но и здесь, пытаясь наиболее органично сочетать абстрактную теорию и реальную практику, он нередко вплотную подходит к очень важным и ценным утверждениям, которые, однако, не могут отрешиться от бесплотной атмосферы схоластической теории и поэтому никогда не доводятся им до сколько-нибудь окончательной разработки. Так и в данном, например, случае разложения скоростей или движений ударяющихся тел на взаимно перпендикулярные составляющие Леонардо вплотную подходит к ясному пониманию такого разложения, но, как и в случае с отскоком, путая условно выделяемые составляющие с реальными частями тел, создает на правильной канве фантастический, наивный и мало убедительный рисунок своей аргументации.

Наиболее конкретной, эмпирической, необоснованной научно частью рассуждений Леонардо об ударе, несомненно, является их последняя часть, посвященная рассмотрению удара несферических тел. Таков, например, основной случай удара молотка по наковальне, причем рассматривается не поведение ударяющего тела, как в первой группе, разобранной нами выше, а поведение ударяемого тела.

Начинает Леонардо, как обычно, записями элементарных наблюдений и опытов в ранних, первого миланского периода. тетрадях, например:

«Здесь удар производит 3 действия: раньше всего — быстрое соприкосновение, производящее звук; 2° — скорость, заставляющая входить острие гвоздя; 3° — отскок, производимый молотом сзади доски так, что удар раньше заставляет войти внутрь острие гвоздя, чем отскакивает задний молот (рис. 70).

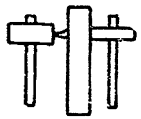


Рис. 70

«У д а р (рис. 71). Если ты ударишь молотком *o* куб *q*, то железо *m* выскочит».

«Если ты ударишь молотком *p* куб *r*, то железо *n* войдет в этот куб» (C. 5 v.).

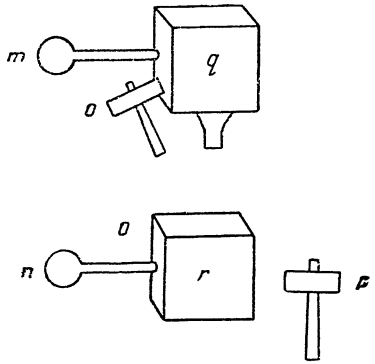


Рис. 71

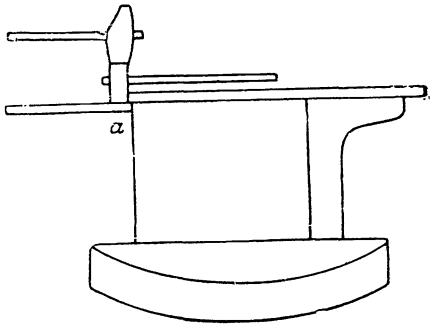


Рис. 72

Или:

«Удар (рис. 72) разрежет полосу железа, помещенную на наковальне в точке *a*, а вес или сила никогда этого не сделали бы» (C. 7 r.).

Или:

«Если ты слегка воткнешь острие гвоздя в доску и сильно ударишь по доске молотком с противоположной стороны, то гвоздь пройдет через доску и направится к молотку.

«Если ты нанесешь много ударов гвоздю, чтобы воткнуть его в доску, то это будет достаточно трудно и долго. Если же ты воском прикрепишь гвоздь к молотку, то одним ударом, подобным другим, ты воткнешь его полностью в доску.

«Удар, производимый коротким и сильным (смелым — gagliardo) движением, подобен удару, производимому длинным и слабым движением, как, например, пружиной, сжатой двумя пальцами, которая под влиянием столь короткой причины пройдет такой же путь, как кость, брошенная рукой.

«Удар по какой-нибудь вещи не переходит после первого удара к другим, если только эта другая не находится за той частью вещи, которая ударена.

«Если удар придется по вещи, которая подставлена под другую, то ударенная вещь убежит вместе с ударом, а лежащая сверху упадет в место, из которого ушла ударенная.

«Чем более медленным будет движение, производящее удар, тем более ударенная вещь будет нести с собой, убегая от удара, вещь, положенную на нее. Этот опыт ты подтвердишь на шашках шашечной доски...» (A. 31 v.).

Или:

«О свойствах ударяемой вещи. Та вещь, которая будет представлять большее сопротивление удару, будет более повреждена им, ибо если вещь двигается, когда она ударяема, то она сопровождает движение ударяющей вещи и оказывается неповрежденной ни в какой своей части. Пример возьми у топора. Когда ты хочешь срубить верхушки вершин деревьев, которые гнутся, то эти верхушки не повреждаются; если же их рубить у корня, то они будут сразу рассечены. Также и коса не будет резать траву на верхушках и режет ее у корня» (A. 36 r.).

Или:

«Об ударе и весе. Если ты ударишь двумя молотками одинакового веса, один из которых будет вдвое шире другого, то тот, который будет вдвое шире, войдет в два раза менее глубоко в свинцовый стержень, чем другой, при падении с одинаковой высоты» (A. 4 v.).

Во всех приведенных (и выбранных в достаточной степени произвольно) записях мы видим Леонардо внимательно наблюдающим, зарисовывающим отдельные случаи, а иногда и самостоятельно воспроизводящим их, в дворцовом салоне, на поле

среди косцов и особенно часто в больших, пользовавшихся мировой славой мастерских миланских кузнецов и оружейников. Во всех этих записях элемент сколько-нибудь широкого обобщения еще отсутствует, — они дают только предварительный материал для таких обобщений. Однако настоящих, законченных обобщений на этом материале Леонардо не дал. В нескольких записях он попытался только дать предварительную классификацию материала и дальше этого не пошел. Ввиду того, что одна из этих записей весьма характерна тесной увязкой с проблемами техники, мы приведем ее для образца:

«О б у д а р е. Среди приобретаемых сил (accidentali potentie) природы удар намного превосходит любую другую (силу), производимую двигателями весомых тел в равное время и при равных движениях, весе и силе. Удар же этот разделяется на простой и составной. Простой — такой, в котором двигатель соединен с ударяющим движимым, соприкасаясь в ударяемом месте; составной же — такой, в котором ударяющее движимое не кончает движения в месте, в котором оно наносит удар (al sito della sua impressione), как молоток, ударяющий по клину (conio), чеканящему монеты. И этот составной удар значительно более слаб, чем простой удар, так как, если бы обух (bocha) молота сцепился с монетой, которая должна чеканиться, и ударил бы ее по чеканящему пунсону (sopra la stampa della impressione), и если бы на этом обухе молота была вырезана противоположная выпуклость (la chonchavitá oposita) этой монеты, тогда оттиск был бы более совершенным и чистым в ударенной стороне при простом ударе, чем в стороне составного удара, как это бывает в монете, которая остается при ударе на клине, к которому ее прибило спускание молота, удар же отражается и попадает в лоб молота» (G. 62 v.).

Запись эта с полной несомненностью отражает римские работы Леонардо над усовершенствованием папского монетного двора. Она показывает, что в конце своей жизни Леонардо хотя и пытается подойти к проблемам удара, занимавшим его в дни молодости в Милане, более теоретически, старается внести в рассмотрение их некоторый порядок при помощи классификации,

но поднять это рассмотрение до высоты какого-нибудь обобщения ему не удается. Он по существу остается на том же уровне чисто эмпирического описания, записывая часто правильные, или, вернее, близкие к правильным наблюдения, но не подводя под них никакого теоретического фундамента. По-видимому, материал этих наблюдений был слишком пестр и разнообразен, и научная традиция не открывала никакой, даже маленькой лазейки к теоретическому объяснению столь пестрых феноменов. Приходилось довольствоваться рядом отдельных замечаний, что Леонардо и делает.

§ 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрев значительно подробнее, чем это делали предыдущие исследователи, кинематику и динамику Леонардо да Винчи, мы можем следующим образом кратко суммировать их основные черты. Следуя за перипатетически-схоластической традицией, Леонардо считает учение о движении основой основ всей механики и из него пытается выводить все свои дальнейшие построения. Учение о движении Леонардо делит на три основных раздела: 1) вес и связанное с ним естественное движение, 2) сила и связанное с ней движение приобретаемое и 3) удар. Кроме того, отдельно от основной линии построения он рассматривает выходящие за рамки механической традиции вопросы инерции и сопротивления.

Совершенно несомненно, что разработку ряда частей этого весьма внушительного целого Леонардо далеко не закончил, что все здание в целом им не оформлено и не отделано окончательно, что, однако, не лишает нас возможности дать его общую характеристику.

Как мы видели в конце первой части, над учением о движении Аристотеля поздние схоласты школы Буридана — Альберта Саксонского проделали большую работу, заключающуюся в комментировании, подправке, развитии, углублении, а частично и переделке его. Работа оставила, однако, нетронутой основу этого учения: законы естественного и приобретаемого

движения. Схоласты, не пользовавшиеся единственным непререкаемым критерием проверки — практическим опытом, произвели, однако, весьма серьезную подготовку к преодолению перипатетической системы, расчленив ее на отдельные элементы и тщательно обработав каждый из них. В результате эти элементы уже плохо складывались вместе.

Итальянский XV век с его бурной социальной, экономической и технической перестройкой внес новую и решающую струю в учение о движении: из чисто схоластического упражнения для ума оно превратилось в часть теории, нужной для практической деятельности и тесно с этой деятельностью связанной. Взволнованно-эмоциональный тон, которым говорит о движении и его атрибутах Альберти, — верное этому доказательство. Однако прямо применить даже и обработанные схоластикой элементы перипатетического учения о движении в технической практике было, конечно, невозможно. Нужно было предварительно глубоко и радикально переработать самые эти элементы, проверить каждый из них на оселке практики и затем попытаться сложить их в новую систему.

Эту-то попытку и предпринимает Леонардо да Винчи, своим социальным происхождением и положением как бы поставленный поперек наиболее бурного потока Возрождения и всем своим духовным обликом назначенный для решения этой трудной задачи.

Вооружившись, в первую очередь, новым оружием — сознательно поставленным экспериментом, воспроизводящим в особо благоприятных условиях результаты простых и ежедневных наблюдений, Леонардо строит наново самый план учения о движении и приступает к детальной разработке отдельных его частей. При этом, кладя во главу угла свои собственные наблюдения и эксперименты, он внимательно и с увлечением изучает все произведения своих непосредственных предшественников — ученых Возрождения, схоластические трактаты и античные произведения, в первую очередь самого Стагирита. Свою задачу он видит в том, чтобы подтвердить опытным путем утверждения старой механики и из тех, которые окажутся

подтвержденными, выстроить здание новой механики. Однако, проводя систематически и упорно проверку этого, сконструировав ряд сложных и остроумных установок для осуществления опытов, Леонардо все же настолько еще неловок в технике экспериментирования и, с другой стороны, настолько еще находится под гипнозом освящённых веками утверждений и законов, что бóльшая часть перипатетических утверждений, и притом наиболее прочно укоренившаяся, оказывается подтвержденной его опытами. Закон естественного движения и закон движения приобретаемого — святая святых перипатетической механики — еще раз выходят победителями и при этом еще приодеваются в пышный убор экспериментальных доказательств.

Однако, производя свои многочисленные, часто весьма остроумные опыты, Леонардо нередко и, конечно, неизбежно наталкивается на факты, соотношения и закономерности, выходящие из рамок перипатетического учения о движении. В таких случаях он иногда ищет и находит подкрепление своим наблюдениям в научном наследии, хотя и не связанном непосредственно с учением о движении; так это происходит с его учением о центре тяжести, в котором он, несомненно, опирается на Архимеда. Иногда же он отказывается от общей формулировки, ограничиваясь описанием отдельных случаев, как мы это видим в его записях об ударе несферических тел. В некоторых случаях, наконец, — и эти случаи наиболее важны и интересны, — он создает собственные законы. Но, создавая новые законы, он опять-таки попадает в плен к перипатетической традиции. Строя их на своих собственных, конкретных экспериментах, он все-таки не может включить в них полностью все результаты этих экспериментов, а формулирует закономерности так, как формулировала их перипатетическая механика. Он придает им форму простейшего соотношения пропорциональности, завещанного античностью и столь излюбленного философией, эстетикой и наукой Возрождения. Прекрасный пример этому мы видим в учении Леонардо о протекании естественного движения и в его записи, определяющей кривую полета снаряда. Наконец, обосновывая свои установленные на основании опыта законы,

Леонардо сплошь да рядом аргументирует не самими этими опытами, а выводит ряд аргументов схоластического типа, ничего не доказывающих и только сбивающих с правильного пути, как он это делает при рассмотрении кривой отскока. Экспериментируя и рассуждая, Леонардо нередко натыкается на правильные, плодотворные методы, входящие затем прочно в арсенал механики; таковы, например, методы разложения силы на взаимно перпендикулярные составляющие, методы, которые он, однако, не в силах был ни осознать, ни теоретически обобщить.

Учение о движении Леонардо да Винчи представляется нам, таким образом, весьма сложным целым, составленным из многих разнородных частей. Новое, свежее, прогрессивное, диктуемое новыми формами жизни, причудливо сочетается в нем со старым, слегка подновленным, но от этого не менее ошибочным и вредным. При этом новое, в первую очередь новая практически-техническая направленность всей науки и экспериментальное доказательство отдельных ее выводов, обволакивает снаружи старое и наполняет его изнутри, так что достаточно, кажется, одного движения, чтобы вся средняя прокладка рассыпалась в прах, чтобы перед нашими глазами встала новая наука, но этого-то движения Леонардо да Винчи и не делает. Смелый и оригинальный до чудачества, Леонардо, однако, лишен настойчивости, упрямого стремления вперед через все препятствия. Подобно тому как он бросает свои художественные произведения, поражающие смелостью замысла и новизной исполнения как художественного, так и технического, лишь только на его пути встретится сколько-нибудь серьезное препятствие, так и в своем учении о движении он остается только гениальным предтечей. Творчество его показывает нам процессы, в результате которых родилась на свет современная наука, но не показывает нам, как бы этого ни хотелось отдельным исследователям, самой этой науки в законченном виде.

Глава 3

ВЕС И РЫЧАГ

*

§ 1. ТЕОРИЯ РЫЧАГА

В процессе подведения серьезной научной базы под свою обширную и разностороннюю техническую деятельность, отвечавшую насущнейшим запросам бурной эпохи итальянского Возрождения, Леонардо да Винчи пришлось вплотную подойти к изучению законов движения; они под его руками, сохраняя свою роль фундамента всего механического здания, приобретают совершенно новый и несравненно более конкретный характер, чем в трудах его предшественников. Естественно, значительно более углубленно и внимательно он должен был заняться тем, что мы в предыдущем изложении условно называли конкретной механикой: бóльшая часть задач, которые ставила перед инженерами XV в. строительная техника (а ею они занимались в первую очередь), относилась к статике, к области которой относится и почти вся конкретная механика античности и феодализма. Естественно поэтому, что, занимаясь в числе прочих отраслей, так же, как его товарищи по техническому искусству, строительной техникой, Леонардо начинает с раннего миланского периода своей научной деятельности упорно и постоянно работать над статическими (по нашей терминологии) проблемами конкретной механики. Уже Витрувий, являвшийся, как мы отмечали, одним из кумиров Возрождения, а за ним Леон Баттиста Альберти пытались, хотя и довольно элементарно и неудачно, применять отдельные положения конкретной механики к проблемам строительной техники. При этом, если Витрувий придавал теории значение только контролирующей,

проверочной инстанции, Альберти — сын века, в котором техника развивается значительно более интенсивно и играет вообще значительно бо́льшую роль, привлекает ее уже в качестве непосредственного помощника, в качестве органической составной части самой технической работы.

Но, привлекая конкретную механику на помощь технике, в первую очередь строительной, Альберти еще очень беспомощен в обращении с нею. Она не является в его руках сколько-нибудь действенным оружием, хотя он и стремится сделать ее таковым. Леонардо в этом отношении, как и в ряде других, идет по пути, намеченному Альберти, но идет гораздо дальше и решительнее. Приведенная выше его объяснительная записка к модели купола Миланского собора говорит о том, что для него наука, и в частности именно конкретная механика, становится уже действительно основой технической деятельности, стоящей на надлежащей качественной высоте. Естественно поэтому, что он принялся за освоение и переработку богатого научного наследия в области конкретной механики с целью приспособления его к нуждам техники.

Основой, центром всей конкретной механики до Леонардо было учение о весах или рычаге первого рода, распространяемое далее и на рычаг второго рода. Учение это во всех механических работах, от «Механических проблем» до различных вариантов трактата Иордана Неморария и до писаний Биаджио Пелакани, разрабатывалось с различных точек зрения, но все более углубленно и детально. Естественно поэтому, что Леонардо, обратившись, очевидно в начале своего пребывания в Милане, к литературе по конкретной механике, для разрешения ряда технических задач, поставленных перед ним его практической деятельностью, натолкнулся в первую очередь на учение о статике сооружений, разного рода перекрытий, балок и т. п. и, с другой стороны, на технику производства строительных работ — конструкций кранов, блоков, подъемных приспособлений. Учение о рычаге, привлекавшееся в этой связи, как уже сказано, и Витрувием и Альберти, пришлось как нельзя более кстати. Он приступает к его освоению и переоформлению.

Как мы подробно разобрали в первой части настоящей работы, самый закон соотношения между грузами и длинами плеч на весах был сформулирован вполне четко уже в «Механических проблемах» и затем повторялся во всех сочинениях по механике с IV по XV в. н. э. Естественно поэтому, что и Леонардо многократно и в разных выражениях формулирует закон рычага. Так, в начале кодекса «А» он пишет:

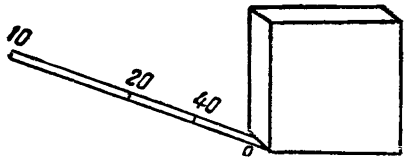


Рис. 73

«Ту же пропорцию, которая существует между длиной рычага и его противорычага, ты найдешь между величиной их весов и медленностью движения и в величине пути, проходимого каждым из их концов, когда они достигнут постоянной высоты своей точки опоры» (A. 45 r.).

Или еще более элементарно:

«О природе рычага. Столько же делают 10 фунтов на конце рычага, сколько 20 в середине и сколько 40 в четверти» (A. 35 v.) (рис. 73).

Однако, как нам известно, центр значительной части работ по конкретной механике лежал не в формулировке закона рычага, подсказывавшейся элементарным наблюдением, а в доказательстве этого закона, его теоретическом обосновании. Мы видели, что, начиная с «Механических проблем», доказательства закона рычага стараются обычно свести к перипатетическому закону естественного движения («Проблемы», первый вариант трактата Иордана Неморария), причем это сведение производится либо непосредственно, либо при посредстве специально вводимого понятия «gravitas secundum situm»; реже доказательства сводятся к перипатетическому закону движения приобретаемого («Книга Карастуна», третий, а частично и второй варианты трактата Иордана); наконец, их сводят к нескольким основным аксиомам, определяющим понятие центра тяжести (Архимед). При этом во всех случаях между основным законом или группой аксиом, к которым сводится закон рычага,

и самим законом рычага выстраивалась цепь более или менее стройных и сложных доказательств — геометрических у Архимеда, алгебраических у Табита, смешанных у Иордана. Как же подходит к этому вопросу Леонардо?

Как обычно, он начинает с того, что проверяет закон весов, в правильности которого, впрочем, он вряд ли сколько-нибудь серьезно сомневался. Так, в записи, относящейся к одному частному вопросу теории весов, он пишет:

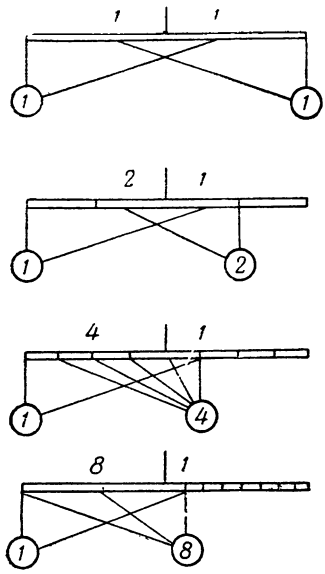


Рис. 74

«Помести завтра два твои крайних груза во всех известных тебе пропорциях и следи за более тяжелым средним (?) грузом, как он меняет положение вследствие изменения своей тяжести и на основании всего этого выведи закон» (С. А. 238 г. а.).

То, что эти опыты не только намечались, но и действительно производились, с несомненностью подтверждает следующая ранняя (судя по почерку) запись «Атлантического кодекса»:

«Та часть стержня будет легче двигаться, которая расположена дальше от места своего укрепления. И насколько будет легче движение части, более удаленной от места укрепления стержня, настолько должно быть более крепким (grieve) сопротивление в этом месте укрепления (рис. 74).

«Необходимо, чтобы единица, находясь на равном расстоянии от другой единицы, уравновешивала ее.

«Здесь одно расстояние против двух имеет два веса против одного.

«Четыре расстояния против одного требуют одного веса против четырех.

«Восемь расстояний против одного требуют одного веса против восьми».

Точно так же с поразительными терпением и настойчивостью Леонардо продолжает записи и зарисовки вплоть до 128 делений, заканчивая так:

«И если ты должен подвесить 128 весов против одного (рис. 75), навесь его на расстояние единицы против 128.

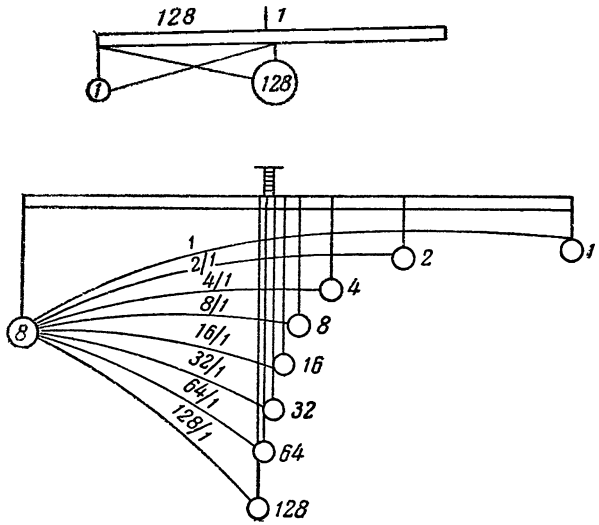


Рис. 75

«Здесь 255 составляют противовес 128 восьми на весах, грузы которых собраны из грузов 8 весов, изображенных здесь рядом» (C. A. 86 v. b.).

Приведенная выше запись является, конечно, просто фиксацией систематически проведенной серии опытов и с этой точки зрения чрезвычайно интересна. Последняя зарисовка и соответствующий текст отражают попытку свести отдельные частные наблюдения в общий закон — regola generale, что, впрочем, сделано довольно неуклюже и неудачно.

Таким образом, Леонардо, в противоположность всей научной традиции, но в полном согласии с постоянно применяемыми и теоретически обоснованными им методами, выводит закон ры-

чага в первую очередь из серии экспериментов, а не из каких-нибудь других законов или аксиом. Но мы знаем, что такое формулирование закона на основе серии экспериментов никогда не является в его глазах окончательной стадией работы: за ней должно обязательно следовать приведение разумных обоснований (ragioni), строго научное, с точки зрения Леонардо, доказательство; и действительно, такое доказательство он пытается дать и для закона рычага. При этом Леонардо не останавливается определенно ни на одном из приведенных выше, подсказываемых традицией, трех путей обоснования закона рычага, а в разных записях идет по разным из них. Совершенно естественно, что в более ранних записях, только начиная углубленно заниматься вопросами теоретической механики и находясь несомненно под влиянием писаний Иордана Неморария и его школы, Леонардо принимает два перипатетических варианта обоснования: сведение к закону естественного движения через понятие «gravitas secundum situm» или же сведение к закону движения приобретаемого.

Так, в довольно поздней, повидимому, записи «Кодекса Арундель», окончательно редактирующей значительно более раннюю запись «Атлантического кодекса» (C. A. 154 v. a.), мы читаем следующее обоснование закона рычага:

«Всякое весомое тело стремится к середине, и то положение, которое будет более наклонным, больше сопротивляется ему, и то тело окажется более тяжелым, которое будет иметь более слабое сопротивление, и то сопротивление будет более слабым, которое более удалено от своей точки укрепления. Равные веса окажутся в той же пропорции, как и их сопротивление. Так, m (рис. 76) по весу равно n, и так как его сопротивление вдвое более длинно, чем сопротивление n, то оно также вдвое слабее. Следовательно, m, будучи равно 1, исполняет работу двойную против одного в n, так как его плечо вдвое длиннее, чем плечо n, почему если кто-нибудь поместит в n еще один вес, равный

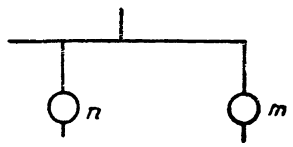


Рис. 76

первому, то он будет иметь вдвое больше веса, чем в m, и таким образом весы будут иметь равные силы (p), противоположные вокруг своей точки опоры.

«Во всяком весомом теле имеется разная способность (virtù) к естественному движению и к весу, взятым в одном направлении (?).

«Равные веса, равноотстоящие от центральной линии точки опоры весов, не выведут плечо этих весов из положения равновесия.

«Если к неравным плечам весов подвесить равные веса, то вес, подвешенный на более длинной стороне, будет причиной движения весов.

«Если плечи весов будут находиться в той же пропорции, в какой находятся подвешенные к ним веса, и если на более коротком подвешивается более тяжелый, то эти веса будут одинаково тяжелы по положению (secondo il sito).

«Равенство наклонности определяет одинаковое бытие весов на плечах весов. При неравенстве наклонности плечи, хотя бы они и были разной длины, сопротивляются друг другу в обратной пропорции к длине и наклонности этих плеч.

«Если два веса будут опускаться по двум разным наклонностям и весы и наклонности будут находиться между собой в одной и той же пропорции, то будет найдено, что веса эти имеют при опускании равные скорости.

«Если отношение плеч будет соответствовать отношению данных весов и более тяжелый будет висеть на коротком плече, тогда весы останутся в положении равновесия» (Ar. 76 v.).

Данная запись, как то, впрочем, нелегко заметить при запутанности и замысловатости ее выражений, представляет собой не что иное, как своеобразно переделанное изложение обоснования закона рычага, даваемое первым и отчасти вторым вариантом трактата Иордана Неморария. Действительно, Леонардо рассуждает, примерно, так: как подробно обосновано в учении о весе и естественном движении, то тело легче, которое подперто, а менее подперто то тело на весах, которое более удалено

от точки опоры; следовательно, тело, расположенное дальше от точки опоры, более тяжело «по положению», чем и доказывается закон рычага. То, казалось бы, голословное утверждение, что менее подперто то тело, которое более удалено от точки опоры, опять-таки обосновывается понятием «gravitas secundum situm». Действительно, тело, более удаленное от точки опоры, опускается по более наклонной кривой, а тело, опускающееся по более наклонной кривой, менее подперто и весит больше.

Легко заметить, что кратко приведенное и повторяющееся в ряде других записей обоснование закона рычага Леонардо в смысле строгости и формальной стройности стоит далеко позади своего прототипа — соответствующих доказательств первого и второго вариантов трактата «De ponderibus». Вместо формулировки основного закона естественного движения и понятия «gravitas secundum situm», увеличивающегося вместе с увеличением кривизны, и четкого сведения к этим двум основам всего дальнейшего, мы видим у Леонардо довольно неясную и запутанную аргументацию, в которой доводы от разницы опор весьма нечетко переплетаются с доводами от разницы наклона и которая совершенно не может похвастать логической стройностью доказательства. Но, уступая схоластическому доказательству в смысле строгости, обоснование Леонардо несравненно более конкретно физически, в большей степени отражает реальное обращение с реальным рычагом, чем кабинетные рассуждения трактата «De ponderibus».

В приведенном выше обосновании, в центре рассуждения, как и у Иордана, стоит понятие «веса по положению» — «gravitas secundum situm», которое Леонардо обозначает иногда этим же термином, а иногда термином «peso accidentale» — «приобретаемый вес», несомненно синонимичным первому термину и строящимся Леонардо, очевидно, в параллель к термину «приобретаемое движение», противоположное естественному. Уже разбирая обоснование закона рычага у Иордана, мы отметили искусственность этого понятия, его физическую неопределенность. Естественно, что реально и физически мыслящий

Леонардо чувствовал эту абстрактность принимаемого им понятия и, не находя возможным полностью отказаться от него, пытался уразуметь, наглядно прощупать его физическую сущность

Так в поздней записи кодекса «Е» он пишет

«О д в и ж е н и и. Вес растет настолько, насколько a (рис. 77) поднимается к c. То же отношение, которое существует между расстоянием mn и расстоянием nb, имеет вес, опустившийся в d, с весом, который это d имело в положении b, а из этого следует, что если mn есть $^9/_{10}$ nb, то вес, опустившийся в d, есть $^9/_{10}$ веса, который он имел в месте b» (E. 72 v.).

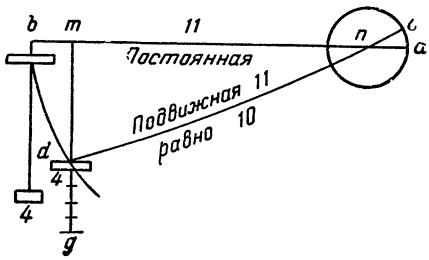


Рис. 77

Если мы вспомним предисловие к перипатетическому варианту трактата Иордана, то легко обнаружим, что приведенная выше запись есть именно попытка наглядно представить себе просто постулируемую и численно не выражаемую Иорданом зависимость между весом, кривизной и длиной дуги, по которой груз движется. При этом Леонардо, хотя и не вполне четко, сводит эту зависимость к расстоянию груза до вертикали, проходящей через точку опоры, чего отнюдь не делали трактаты «De ponderibus» и что он, как мы увидим ниже, широко применяет при разборе коленчатого рычага.

Такую же попытку разобраться в физическом смысле понятия «приобретаемого веса» или «веса по положению» представляет, повидимому, и другая запись того же кодекса:

«О д в и г а т е л е и л и д в и ж и м о м. Сила двигателя всегда больше, чем сопротивление движимого.

«О р ы ч а г е и п р о т и в о р ы ч а г е. Настолько прибавляется приобретаемый вес двигателю, помещенному в конце рычага, насколько движимое, помещенное на конце противорычага, превосходит его естественным весом.

«И настолько больше будет движение двигателя, по сравнению с движением движимого, насколько приобретенный вес этого двигателя превосходит его естественный вес.

«Доказывается это так: пусть движение двигателя (рис. 78) будет из *b* в *d* и движение движимого из *a* в *c*; я утверждаю, что движение *bd* будет настолько больше движения *ac*, насколько приобретаемый вес *b* превосходит вес *d*; превосходит же он его на один, а следовательно также естественный вес...» (E. 58 v.).

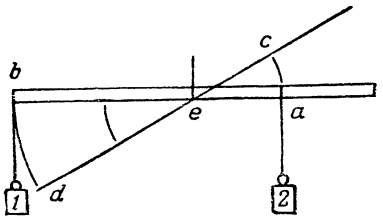


Рис. 78

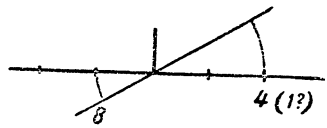


Рис. 79

И в этом, впрочем неоконченном, отрывке Леонардо пытается подойти, но не подходит к более наглядному представлению «gravitas secundum situm». Не приближая нас к этой цели, приведенная запись подводит, однако, ко второму способу обоснования закона рычага, применявшемуся Леонардо значительно ранее, чем первый. Этот способ состоит, как мы уже говорили выше, в сведении закона рычага к перипатетическому закону приобретаемого движения, самая формулировка которого уже может служить формулировкой закона рычага. Так, на листе 202 v. b. «Атлантического кодекса» Леонардо прямо записывает перипатетический закон приобретаемого движения и применяет его именно к случаю рычага.

«Если какая-нибудь сила движет тело на определенное расстояние в определенное время, то та же сила будет двигать половину этого тела на то же расстояние в половину того же времени или в то же время на два таких же расстояния» (рис. 79).

Однако такое рассмотрение весов обычного типа не вполне удовлетворяет Леонардо, и он продолжает:

«Этот опыт не годится (questa sperienzia non serve), так как в каждую частицу движения эти весы приобретают частицы медленности».

Дальше он разбирает «круговые весы», т. е. систему шкивов равного диаметра, в которых отпадает это возражение, не вполне нам, впрочем, понятное.

Другой пример сведения закона рычага к закону приобретаемого движения дает нам следующую запись:

«Если a=2 двигает b в f (рис. 80), опускаясь в c, то 4, опускаясь в d, будет двигать b=2 дважды расстояние bf, и, следовательно, оно пойдет в g (Ar. 63 v.).

Из приведенных записей более или менее ясно, что Леонардо, склоняясь к обоснованию закона рычага, принятому первым вариантом трактата Иордана, не отказывался, однако, совершенно от обоснования, принятого «Книгой Карастуна» и третьим вариантом трактата Иордана. Но принимая тот или иной путь обоснования, он безразлично выпускал геометрическую или алгебраическую сущность самого доказательства и прямо от экспериментальной констатации переходил к общему закону, который эту констатацию объясняет и научно обосновывает. Вся сложная и замысловатая сеть построений, аргументаций, приведений к абсурду, ссылок на Евклида и Архимеда, которая составляла святая святых всех сочинений по конкретной механике, начиная с «Механических проблем» и до работ школы «De ponderibus», совершенно исчезает в рассуждениях Леонардо. Она заменяется у него совсем другим — экспериментом, рядом с результатами которого хитроумные мудрствования схоластической теории неизбежно казались бледными и ненужными. Сложное математическое обоснование закона, ясно об-

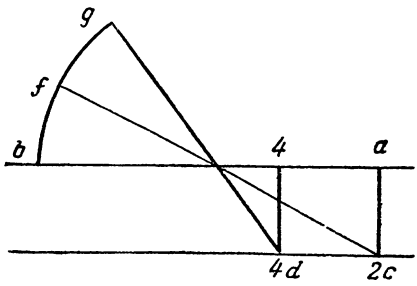


Рис. 80

наруживаемого опытом, казалось Леонардо излишним. Да к тому же его мало склонный к отвлеченности ум художника и техника плохо справлялся с нелегкой и требующей значительной привычки к отвлеченному мышлению аргументацией трактатов Архимеда или третьего варианта трактата Иордана. Естественно может возникнуть вопрос: что же тогда Леонардо, отбрасывающий как раз математическое доказательство в законе рычага, понимал под математикой, без участия которой он, как мы отмечали выше, считал недостоверным всякое знание? Ответ на этот вопрос не сложен и в общей форме дан нами уже выше (см. стр. 431). Под математикой Леонардо в первую очередь понимал возможность числовой проверки того или иного утверждения, математической же формулировкой считал исключительно формулировку, устанавливающую численную зависимость между несколькими величинами, причем зависимость эта в большинстве случаев имела форму простой пропорции, представлявшей для Леонардо, как и для всего Возрождения, наиболее совершенную форму математического соотношения. Метод же доказательства при помощи математики был решительно чужд Леонардо, с чем тесно связаны и сильные и слабые стороны его механики. Конкретная, практически направленная как ни одна из предшествующих систем, она зато, так же как ни одна из них, произвольно и необоснованно возводила результаты конкретных наблюдений к общим положениям и законам, остающимся незыблемыми в своих старых формах именно вследствие произвольности этой связи.

Однако не только подробный разбор и экспериментальное подтверждение законов естественного и приобретаемого движения подводили Леонардо, как и его предшественников, к обоснованию закона рычага. К нему подводили, как мы уже мимоходом отмечали (см. стр. 486), и его значительно более оригинальные и свежие рассуждения о центре тяжести тела (естественном центре тяжести) и особенно о центре тяжести системы (приобретаемом центре тяжести). Действительно, рассмотрение поведения тела сферической формы, центр тяжести которого подперт, приводило Леонардо к заключению о том, что

такое тело не будет иметь никакого движения: обе его части по сторонам от точки опоры будут иметь равный вес и, следовательно, не будут вызывать никакого движения. Это представление о невозможности движения там, где не приложена сила или нет разности весов, и о необходимости движения там, где то или другое имеет место, опять-таки приводит Леонардо вплотную к закону рычага. Если мы приведем полностью запись против вечного движения, начало которой мы цитировали выше, то сразу же увидим, как рассуждение о возможности и невозможности движения в зависимости от разности весов или сил приводит его к закону рычага. Вот эта полная запись:

«Против вечного движения. Ни одна неодушевленная вещь не будет двигаться сама по себе; если же она двинется, то будучи движима неравной силой, т. е. в неравное время и при неравном движении или при неравном весе. Когда же стремление (desiderio) первого двигателя прекращается, то немедленно же прекратится и второе.

«О движении. Например, если ты увидишь, что вес *b* подымает вес *a*, при том, что плечи весов равны, то необходимо, чтобы *b* было более тяжелым, чем *a*. Если бы ты захотел, чтобы вес *d* подымал вес *c* более тяжелый, чем он, то необходимо, чтобы он проходил больший путь при своем опускании, чем его проходит *c* при своем подъеме. Если же он опускается больше, то необходимо, чтобы плечо весов, опускающееся вместе с ним, было длиннее другого. И если бы ты захотел, чтобы малый вес *f* поднял большой, то необходимо, чтобы *f* производил более длинное и более быстрое движение по сравнению с весом *c*» (A. 22 v.).

В этой записи, отражающей еще раннюю стадию механических штудий Леонардо, мы видим смешение доводов, опирающихся на закон приобретаемого движения и на неясное представление о центре тяжести и его роли в системе весомых тел.

В более поздней записи «Кодекса Арундель», обнаруживающей уже несомненное и при этом довольно глубокое знакомство

с архимедовыми плоскими фигурами, Леонардо решительно ставит закон рычага в связь с понятием центра тяжести. Запись эта, довольно длинная и сложная, гласит так:

«В каждых двух равных треугольниках центр тяжести находится в середине линии, выходящей из центра одного треугольника и кончающейся в центре другого треугольника. Пусть мы имеем два треугольника *abc* и *def* (рис. 81). Центр *abc* пусть будет *g*, центр *def* пусть будет *h*. Теперь проводится

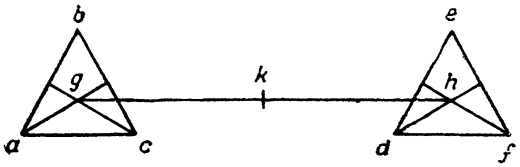


Рис. 81

линия от центра *g* в центр *h*; пусть это будет линия *gh*, каковую раздели поровну в точке *k*. Я утверждаю, что если они будут одинаково весить (peseranno), то они будут и одинаково тяжелы (ponderanno), будучи равными. Так как линия *gh*, выходящая из их центров, разделена поровну в точке *k*, то такое же отношение существует между *gk* и *kh*, какое существует между одним треугольником и другим.

И, следовательно, *k* есть центр тяжести двух треугольников, потому что он находится между ними в том же отношении, в каком находятся их расстояния от точки и оси (bilico) их весов *g* и *h*, подвешенной к точке опоры *k*, по первой первого архимедовых «De ponderibus».

«Если два неравных треугольника будут одинаково весить на неравных расстояниях, то больший будет находиться на меньшем, а меньший — на большем расстоянии (рис. 82). Ты имеешь два треугольника *abc* и *def*. Первый меньше (в оригинале ошибочно сказано — больше), и центр его находится в *g*, а центр большего (в оригинале — меньшего) треугольника есть *h*. Теперь проведи линию из *g* в *h* и будешь иметь на этой

линии центр тяжести двух треугольников в точке k, и на ее концах будут подвешены оба треугольника, отношение между которыми таково, каково оно между противоположными расстояниями, которые они имеют от точки k их оси. Так как треугольник abc есть $^3/_4$ треугольника def и расстояние kh есть $^3/_4$ расстояния gk, и так как эти треугольники не равны, то обратная пропорция, которая существует между ними и их расстояниями от точки опоры рычага, заставляет их быть одинаково тяжелыми (ponderare). Так как расстояние gk равно 4 и расстояние kh равно 3, то и треугольник def равен 4 и треугольник abc равен 3.

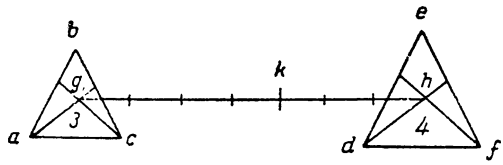


Рис. 82

«Равные количества, расположенные на равных расстояниях, будут равно тяжелы, и если равные количества будут одинаково тяжелы, то они расположены на одинаковых расстояниях. И если неравные количества будут равно тяжелы, то они расположены на неравных расстояниях — большее на меньшем расстоянии и меньшее на большем расстоянии. И если равные количества не будут одинаково тяжелы, то они расположены на неравных расстояниях: то, которое более тяжело, находится на меньшем расстоянии. Если два количества на равных расстояниях будут одинаково тяжелы, то и всякие равные количества, расположенные на этих же расстояниях, будут также одинаково тяжелы. И всякое расстояние на плоскости (spazio piano) имеет центр тяжести на своей поверхности между своими концами» (Ar. 16 r. и 16 v.).

Не только прямая ссылка на Архимеда, но и весь характер аргументации говорят в этом доказательстве о том, что оно идет

по пути, указанному «Равновесием плоских фигур». Но какая разница между четким, классически стройным эллинистическим произведением III в. до н. э. и беспорядочной записью итальянца XV в.! В немногих, по возможности кратких словах, отбрасывая все аксиомы, даже как бы не замечая сложной, ступенчато восходящей, почти безупречно логической цепи математических доказательств, Леонардо стремится передать самую суть аргументации Архимеда, ухватить ее основную черту. Подход Леонардо несколько напоминает нам обращение с архимедовым наследием у Герона, также передающего только суть и не приводящего доказательств великого сиракузца. Но Герон берет у Архимеда в основном только окончательный результат, так сказать, рецептуру; Леонардо же заимствует у него идею обоснования, ибо окончательный результат ему прекрасно и непоколебимо известен из опыта.

Приведенная выше запись, как будто бы наиболее полно и в наиболее совершенной форме передающая архимедов вариант леонардова обоснования закона рычага, отнюдь не является одинокой в его тетрадях. Таких записей, пестрых, разно сформулированных и не всегда достаточно ясно выраженных, имеется довольно много. Приведем для примера отрывок одной из них:

«О центре тяжести (рис. 83). Центр подвешенной тяжести находится на центральной линии поддерживающей ее нити, что доказывается грузами b,d, подвешенными на первых весах, центр тяжести каковых, хотя они будут соединены в одно тело, будет находиться в середине между двумя подвесами на одной линии. Допустить же это нужно потому, что вес a сопротивляется весу b на равных плечах весов, а второй вес c сопротивляется весу d, а так как расстояния, пропорциональные весам, суть nm и me, которые относятся как 2 к 3, и таково же, но обратно, отношение между весами, т. е. ac против bd, то доказано, что центр e есть центр подвешенных грузов b и d, независимо от того, разъединены ли они или соединены; то же, как кажется, доказано о второй фигуре, и таким путем мы приходим к заключению третьей фигуры» (E. 33 r.).

В данной записи, как и в ряде подобных ей, мы имеем отнюдь не общее обоснование закона рычага, а разбор одного частного вопроса, относящегося к нему. Но для нас важно не решение конкретной задачи, каких у Леонардо имеются сотни, а то, что вся аргументация, в достаточной степени запутанная и нечеткая, ведется, так сказать, по архимедовой, а не по схоластической линии.

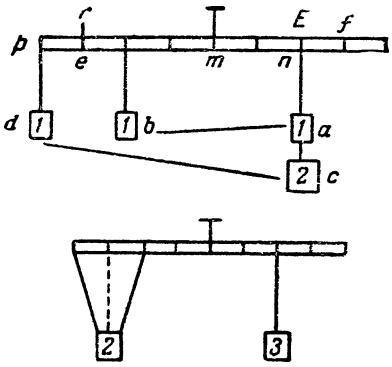


Рис. 83

Таким образом, подытоживая все сказанное нами о леонардовых обоснованиях закона рычага-весов, мы можем констатировать следующее. Имея перед собой в этом вопросе три ранее разработанных пути, Леонардо решительно не стал ни на один из них, а предпочел испробовать каждый, в более поздние годы склоняясь, повидимому, все больше к пути, указанному Архимедом. Однако, применяя тот или другой метод обоснования закона рычага, Леонардо сохраняет в своих рассуждениях только его внешнюю оболочку, только направление. Самое же доказательство его, часто весьма сложную, математическую суть, он полностью отбрасывает как ненужное, так как несомненность конечного вывода дается не математическими рассуждениями, а непосредственным опытом. Тот или иной метод обоснования ему нужен только для возведения твердо установленного им на опыте соотношения к той или другой системе более общих положений-законов.

Из этого следует, что леонардовы доказательства закона рычага, будучи формально весьма несовершенными, и по существу являлись достаточно бесплодными. Они представляют собой один из многих в его творчестве примеров стремления связать новые, диктуемые новыми социальными отношениями методы и пути, подмеченные зорким глазом художника-

техника, с кодексом положений и законов, завещанных предками, что было, понятно, задачей безнадежной.

Однако, как обычно в творчестве Леонардо, теоретическое обоснование закона рычага, составляя важную, органическую часть его учения о рычаге, вообще не является ни особенно разработанной, ни наиболее привлекающей его внимание частью. Наиболее подробно, внимательно, можно сказать любовно, разбирает Леонардо отдельные, частные случаи равновесия грузов на рычаге, отдельные элементы, определяющие собой это равновесие.

Мы помним, что уже арабские трактаты, особенно в некоторых вариантах своих, давали ряд конкретных примеров-задач на весомый рычаг и что так же поступали и трактаты школы Иордана. Но и в тех и в других центром является теоретическое доказательство, частные же примеры представляют собой не более чем иллюстрации. У Леонардо же соотношение меняется. Теоретическое рассмотрение вопроса служит у него только необходимым, но далеко не исчерпывающим весь вопрос введением к рассмотрению ряда конкретных, более или менее сложных задач.

Нет никакой возможности, даже в столь подробном изложении механических работ Леонардо, хотя бы в какой-нибудь мере исчерпывающе разобрать те многочисленные задачи на теорию невесомого геометрического рычага (о весомом речь будет итти ниже), которые содержатся в записях Леонардо. Слишком велико их число, слишком разнородны и несводимы они в несколько групп, слишком конкретны и подробны бывают их решения. Поэтому мы принуждены ограничиться рассмотрением нескольких, наудачу выбранных из них.

Само собой понятно, что, Леонардо, решая ряд задач на теорию рычага, которую он, так же как Витрувий и Альберти, считает ключом ко всей и всяческой технике, пытается дать определения основных понятий, с которыми эти задачи должны оперировать. Такие определения, по отдельности или группами, разбросаны по листам ряда кодексов. Приведем одну из наиболее поздних записей:

«6 определений.

«Под плечами весов понимаются те их части, которые кончаются в подвесах прикрепленных к ним грузов.

«Под грузами, прикрепленными к плечам весов, понимаются те их части, в которых подвесы соединяются с их центрами на плечах весов.

«Углы, образуемые подвесами с плечами весов, должны быть равны между собой всегда, когда грузы, подвешенные к ним, сопротивляются один другому.

«Углы, создающиеся между подвесом оси весов и их плечами, никогда не будут равны между собой, если грузы и плечи весов не равны между собой.

«То же неравенство грузов, сопротивляющихся на плечах весов, будут создавать тем более различные углы, образующиеся между верхней частью (il disopra) плеч весов и подвесом их оси, чем более близки они будут к центру мира» (С. А. 365 г. а.).

Особенно внимательно и подробно, как видно уже из приведенной записи, Леонардо останавливается на подвесах; так, в другом месте того же «Атлантического кодекса» он пишет:

«Подвес есть физическая прямая (rettitudine materiale), направленная к центру мира, причем, если с ней соединена малая тяжесть в ее нижней части, то она держит ее подвешенной в воздухе.

«Подвес есть нить, укрепленная в своей верхней части, причем направление (la rettitudine) этой нити, укрепленной в своем верхнем конце, поддерживает на противоположном конце небольшой вес в воздухе».

Затем то же определение повторяется еще в четырех вариантах, отличающихся друг от друга почти незаметными на первый взгляд словесными различиями. Запись оканчивается фразой:

«Подвесом называется та нить, которая соединяется с центральной линией подвешенного на ней весомого тела» (С. А. 354 г. с.).

Внимательное всматривание в отдельные элементы, отдельные составные части рычага, стремление проникнуть в их глу-

бочайшую физическую сущность и охарактеризовать ее возможно более четко, ясно выступающее из приведенных двух записей, весьма показательно. Именно уразуметь физическую сущность явления во всей его детальной реальности, а не безукоризненной цепью доказательств подтвердить ту закономерность, которая и так бросается в глаза, стремится Леонардо, оставаясь и в данном случае в большей мере трезвым экспериментатором, чем отвлеченным теоретиком.

Из задач конкретного характера, решаемых Леонардо, чаще других встречающейся и наиболее тщательно разрабатываемой является задача, разрешение которой раньше других приходило в голову: какой груз надо подвесить на втором плече весов, чтобы весы остались в равновесии, когда известны величины плеч и величина груза на первом плече?

Первые относящиеся к этому вопросу записи Леонардо, как справедливо отметил Шустер, показывают еще полную беспомощность, как математическую, так и физическую, в решении даже столь простой задачи, беспомощность, напоминающую наивные рассуждения Альберти. Леонардо видит всю зависимость как бы в густом тумане и ощупью, отнюдь не на самом коротком пути, находит ее решение. Так, в ранней записи «Атлантического кодекса» он пишет:

«Правило нахождения противовеса к данному весу на одном из плеч весов.

«Помножь плечо противовеса столько раз на (per tante volte) величину данного веса, сколько раз в нем помещается противоположное плечо, и на произведение раздели величину веса; получающееся произведение даст искомый противовес к данному весу.

«Пусть *c* (рис. 84) будет данным весом, к которому я хочу на противоположном плече *ab* найти противовес. Я множу плечо *ab* столько раз на величину данного веса, равного 4, сколько раз в нем помещается противоположное плечо *bc*. А так как в данном случае плечи весов равны, то ты скажешь, что плечо противовеса *ab* содержит данный вес *c*, равный 4, один только раз, так как один только раз в плече *ab* помещается противоположное

плечо *bc*, почему на полученное произведение 4 в *a* ты разделишь вес 4 в *c* и получишь 1. Эту единицу помножь на данный вес, произведение дает 4, каковое 4, помещенное в *a*, будет истинным противовесом 4 в *c*, так как равные веса, помещенные на равных плечах, сопротивляются опусканию одно другого.

«Помножь плечо *ab* (рис. 85), поддерживающее противовес *a*, столько раз на данный вес *c*, равный 2, сколько раз в нем помещается противоположное плечо *bc*, равное 1. В *ab*, равном 2, плечо *bc*, равное 1, помещается два раза. На полученное произведение, равное 4, раздели данный вес *c*, равный 2. и получишь

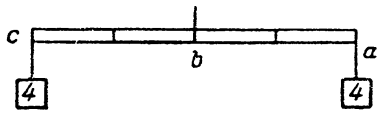


Рис. 84

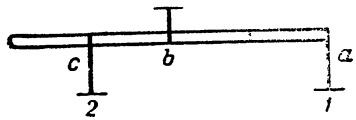


Рис. 85

$^1/_2$. И эту половину опять умножь на данный вес *c*, равный 2, так что произведение будет $^2/_2$, т. е. целая единица, каковая, будучи помещена в *a*, дает истинный противовес данному весу *c*.

«По тому же правилу ты скажешь (рис. 86): 8 *ab* на 8 *c* (ибо плечо *ab* помещает в себе 8 раз плечо *bc*) дает 64. Раздели это 8 *c* на 64, получится $^8/_{64}$, и это число помножь опять на эти 8, получится $^{64}/_{64}$, т. е. целая единица, каковая, будучи помещена в *a*, сопротивляется 8-ми.

«Докажи, почему этот способ (ragione) хорош. Ты увидишь, что здесь умножение плеча *ab* на вес *c* делается столько раз (на вес c^2), сколько раз плечо *bc* помещается в *ab*, и получается, что образует 64 в *a*, а 64 так же относится к 8, как 8 к 1. Теперь, для того чтобы 64 превратить в 1. тебе необходимо разделить 8 на 64, что дает $^8/_{64}$, то есть $^1/_8$, а для того, чтобы эта восьмая превратилась в целое число, помножь эту $^1/_8$ на 8 *c* и получишь $^8/_8$, т. е. целую единицу, и будет хорошо (e sta bene)» (C. A. 369 r. d. и v. b.).

Шустер в современных алгебраических выражениях, конечно абсолютно чуждых Леонардо, так формулирует все вышеизложенное:

$$\text{вес в } a = \frac{\text{вес в } c}{\frac{ab}{bc} \cdot \text{вес в } c}, \cdot \text{вес в } c,$$

а Марколонго изображает последовательные действия, производимые во всех приведенных примерах, так:

$$x = \frac{ab}{bc} \cdot \text{вес в } c;\ \text{вес в } c : x;$$

$$\text{вес в } a = \frac{\text{вес в } c}{x} \cdot \text{вес в } c,$$

что и в том и в другом изображении дает в конечном счете правильное решение:

$$\text{вес в } a = \frac{bc}{ab} \text{ вес в } c.$$

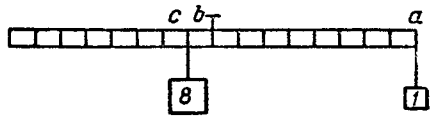


Рис. 86

В этом необычайно сложном рассуждении относительно крайне простого соотношения видны не только отмеченные уже выше неопытность и неловкость, смутное представление о рассматриваемом предмете, но и заведомое желание запутать читателя или, вернее, слушателя, подводя его после долгих математических выкладок к правильному решению. Вспомним, что Леонардо вообще не чужда была любовь к позированию, что, повидимому, проявляется и в данном случае. Не оставались, вне всякого сомнения, без влияния на данную аргументацию и сложные алгебраические выкладки доказательств «Книги Караступа» повидимому как раз в это время изучавшейся Леонардо.

Но чем бы ни объяснялись явные недостатки приведенного выше способа, прав Марколонго, который, полемизируя с Шустером, подчеркивает, что в этом способе мы имеем только раннюю стадию леонардовых знаний. Позднее, уже во второе флорентийское пребывание, Леонардо нашел значительно более простой способ решения той же задачи. Действительно, как раз

на первой странице «Кодекса Арундель», в котором Леонардо в 1508 г. предполагал, очевидно, изложить основы механики, хотя еще не в окончательном порядке, но все же в некоем предварительном тематическом подборе, он дает в следующих выражениях основу основ механики — задачу на нахождение груза на противорычаге при известных плечах и грузе на рычаге:

«Помножь деления плеча рычага на фунты подвешенного к нему груза и произведение раздели на деления противорычага; частное будет равно противовесу, который, будучи подвешен на противорычаге, сопротивляется опусканию груза на рычаге.

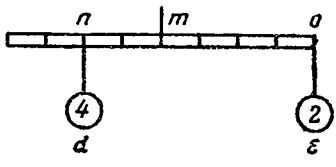


Рис. 87

«Например: 2 *nm* помножь на вес *d*, что дает 8, раздели их на 4 *mo*, получается 2, и это 2 есть противовес, который, будучи помещен в *oe*, сопротивляется опусканию 4, помещенных в *nd* (рис. 87).

«И, обратно, можно сказать: «Дважды четыре=8; раздели на 2 *mn*, получишь 4, итак, ты имеешь 4 для веса *d*, и это правило всегда подтверждается.

«Помножь большое плечо весов на вес, поддерживаемый им, и произведение раздели на меньшее плечо, частное будет вес, который, будучи помещен на меньшем плече, сопротивляется опусканию большего плеча, если раньше плечи весов были освобождены» (Ar. 1 r. и v.).

В последней записи действительно и неоспоримо мы имеем вполне четкое и простое решение задачи, оперирующее к тому же с произведением веса на плечо, т. е. с понятием момента силы. Однако это понятие применяется только как вспомогательное промежуточное звено и не выдвигается в качестве величины, определяющей равновесие рычага. Наталкиваясь на понятие момента силы, Леонардо, очевидно, не дошел до помещения его в центр теории рычага.

Дав рецепт для разрешения первой и простейшей задачи на закон рычага, Леонардо в дальнейшем усложняет его. Так, на листе 100 v. ab. «Атлантического кодекса» он пытается опре-

делить, на каких местах плеч весов надлежит расположить три данных груза, из которых больший и меньший помещены на одном плече, а средний на другом, чтобы весы были в равновесии. Рассуждение это, не законченное и в достаточной степени запутанное, сначала устанавливает длины плеч, на которых укреплены больший и средний грузы; последние он принимает по числу единиц длины равными разности между средним и меньшим — и большим и меньшим грузами. Этот прием напоминает применявшееся Альберти приравнение числа единиц длины плеч рычага к числу единиц веса грузов. Дальше, желая определить плечо меньшего груза, он запутывается и решения не дает.

Возможно, что данная или подобная ей задача подводит Леонардо к более простому вопросу — определению противовеса, сопротивляющегося на данном рычаге нескольким данным весам, расположенным опять-таки на данных противорычагах. Уже в одной из наиболее ранних своих механических записей, на пятой странице кодекса «А», он пишет (рис. 88):

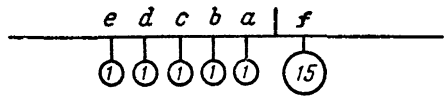


Рис. 88

«О в е с е. «Спрашиваю: если два рычага будут разделены на равные части и в *a*, *b*, *c*, *d*, *e* будет подвешен в каждой один фунт, сколько фунтов будут их уравновешивать в *f*? Сделай так: *a* уравновешивает один фунт, подвешенный в *f*, *b* уравновешивает 2, *c* — 3, *d* — 4 и *e* — 5, а вся сумма уравновешивает 15 фунтов, подвешенных в *f*» (A. 5 r.).

Простая, сравнительно, задача разрешается простым способом, без всякого теоретизирования и особых рассуждений. Обратную задачу уравновешения данного груза, помещенного на одном плече, несколькими равными грузами, помещенными на равных расстояниях на другом плече, так же просто и лаконично, даже без словесного объяснения, а просто чертежом, разъясняет значительно более поздняя запись «Кодекса Арундель», гласящая:

«Раздели данный вес на пропорцию плеч и замени потом эти веса на эти плечи» (Ar. 227 v.) (рис. 89).

Значительно более трудной представляется Леонардо задача, как бы составленная из двух вышеприведенных. Полная формулировка этой задачи отнюдь не представляется ясной, но, повидимому, она сводится к следующему: даны три неравных груза, расположенных на равных расстояниях на одном плече весов; требуется найти три других груза, не равных первым, расположенных на тех же трех равных расстояниях другого плеча весов, так чтобы весы остались в равновесии, и определить, какой вес в каждом из искомых грузов уравновешивает каждый из грузов данных. Решение, даваемое Леонардо этой довольно замысловатой, но, возможно, связанной с какой-нибудь конкретнейшей технической потребностью задаче, достаточно длинно, но настолько показательно для его научного метода, что мы приведем его полностью:

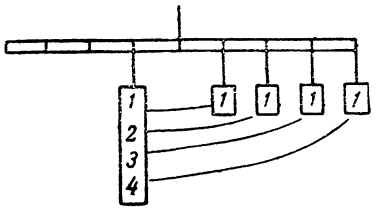


Рис. 89

«Это правило показывает, каким образом ты можешь на плечо равноплечих весов поместить много грузов, противоположных один другому, и узнать о каждом грузе отдельно, какая часть противоположна ему в каждом из противолежащих грузов, уравновешивающих его, причем можно сделать это в дробях против дробей и в целых числах против целых чисел.

«Здесь (рис. 90, фиг. 1), так как расстояние *oa* содержится три раза в *ay*, 3 в *y* будет уравновешивать 9, и так как *an* содержится $1^1/_2$ раза в *ay*, т. е. *an* есть $^2/_3\,y$, 2 в *y* будет уравновешивать 3 в *n*, и так как расстояние *ap* содержится один раз в *ya*, то 4 в *y* будет также уравновешивать 4 в *p*. Теперь собери вместе числа в *y*, т. е. 3, 2 и 4, что дает 9, и помести его в круге, привешенном в *y*.

«Здесь (фиг. 2), так как *bc* есть $^1/_2$ расстояния *ab*, вес, противоположный ему в *c*, будет половиной веса *a*, и так как расстояния *ab* и *bd* равны, веса их также будут равны. И так как расстояние *ab* равно $^2/_3\,be$, вес в *e* будет $^2/_3$ веса в *a*. Собери числа, сумма которых дает 7, и помести их в круг *a*.

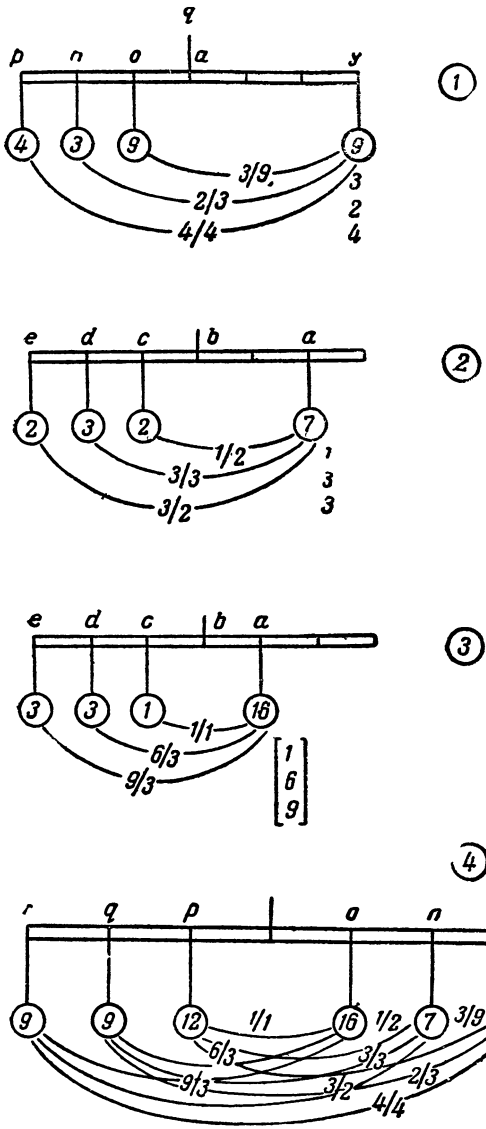

q
p n o a y
4 3 9 9
3/9
2/3
4/4
3
2
4
1
e d c b a
2 3 2 7
1/2
3/3
3/2
1
3
3
2
e d c b a
3 3 1 16
1/1
6/3
9/3
1
6
9
3
r q p o n m
9 9 12 16 7 9
1/1
1/2
3/9
6/3
3/3
9/3
2/3
3/2
4/4
4

Рис. 90

«Здесь (фиг. 3) *ab* и *bc* — равные расстояния, и, следовательно, равными будут привешенные к ним веса, и так как *ab* есть половина расстояния *bd*, она дает половину веса, помещенного в *a*, а так как *ab* есть $^1/_3$ веса в *e*, то вес в *e* будет $^1/_3$ веса *a*. Собери затем числа, помещенные внизу, и помести в круг *a*.

«Эта фигура (фиг. 4) есть сумма трех, здесь же рядом соединенных вместе, и я решаю сначала для трех, чтобы показать легкий путь и затем итти по тяжелому. Сделай так: возьми верхнюю фигуру и помести ее 9 в нижнюю в *m*; затем возьми 7 из второй фигуры и помести его в *n*, затем возьми 16 из третьей и последней фигуры и помести его в *o*. Затем совмести стержни этих трех фигур и возьми первые веса и сложи их вместе, т. е. в первой фигуре возьми 9, во второй 2, в третьей 1, и сложи — получишь 12. Помести его в сводную фигуру в *p*, затем вернись к трем фигурам и возьми вторые веса за точкой опоры, т. е. в первой фигуре возьми 3, во второй 3, в третьей 3, а сумма их составляет 9, и помести их в *q*, затем сделай то же с тремя последними весами, остающимися в названных трех фигурах, и сложи их и помести, как выше, в *r*; ты увидишь, какая часть веса уравновешивает в каждом из трех противоположных грузов каждый из грузов.

«И знай, что если бы я снял или сбросил с вышеупомянутых весов 9, помещенные в *m*, и противоположные 9 в *r*, весы не изменили бы положения. Также, сняв 9 из *m*, я мог бы снять 9 из 12, помещенных в *p*, и 3 из 9, помещенных в *q*, и 4 из 9, помещенных в *r*, — и весы также остались бы в том же положении (C. A. 86 v. a.).

В этом отрывке мы видим обычную леонардову технику работы. Задача расчленяется на составные части — более простые, сводимые в конечном счете к простым задачам, заключающимся в разложении одного груза на несколько. Затем эти простые случаи опять сводятс и дают искомое решение. Самое доказательство логично, понятно, но весьма элементарно и слишком пространно. За пределы частного случая решение не выходит.

Последний абзац приведенной записи подводит нас уже к другой серии задач на рычаг, интересующих Леонардо: к теме

о влиянии на равновесие изменений, которые производятся с грузами, помещенными на плечах весов.

Так, на листе 79 г. «Кодекса Арундель» он записывает:

«Если к неравным вещам прибавить неравные вещи, находящиеся между собой в той же пропорции, как и первые, то общая сумма не изменит общей пропорции.

«Если к неравным весам прибавить равные веса, то суммы останутся неравными.

«Если к неравным вещам присоединить вещи, находящиеся в той же пропорции и в том же числе, что и первые, то суммы их, если они будут помещены в положениях, противоположных тем, в которых находятся первоначальные веса, будут равны» (Ar. 79г.).

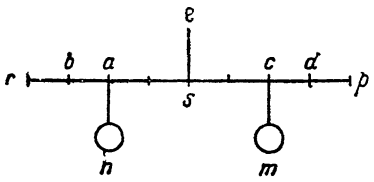


Рис. 91

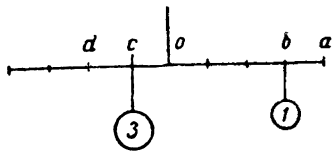


Рис. 92

В приведенной записи рассматривается, правда абсолютно без доказательства, вопрос о прибавлении данных грузов к заданным грузам, поддерживающим или не поддерживающим весы в равновесии; в ряде других записей рассматривается близкий вопрос о влиянии на равновесие весов сдвигания одного или обоих грузов. Так, в ранней записи кодекса «А» мы встречаем следующее:

«О в е с а х. Если отодвинуть (рис. 91) равные веса на равные расстояния от центра или оси весов, то они будут сохранять концы весов равноотстоящими от опоры их, т. е. если веса *m*, *n*, подвешенные в *c*, *a*, будут иметь равный вес и находиться на равном расстоянии от оси весов *s* и если ты их отдалишь от этой оси вплоть до *d*, *b*, то, если эти расстояния будут равны, концы весов *p*, *r*, останутся на равном расстоянии от *l*.

«О в е с а х. Если неравные веса поместить на неравных расстояниях весов и последние при этом останутся горизон-

тальными, затем же отодвинуть их на равные расстояния, то весы наклоняются в сторону большего веса, т. е. если вес *b* (рис. 92) весит один фунт и уравновешивается тремя фунтами в *c*, то причина этому та, что *b* отстоит на 3 унции, а *c* отстоит от оси на 1 унцию, и необходимо дополнить их так, чтобы все части, имеющие между собой ось, были количественно (di numero) равны, т. е. если *c* есть 4—3 фунта веса и 1 деление, что дает 4, то таким же образом *b* будет иметь 3 деления и 1 фунт, что дает 4, и, следовательно, имея в фунтах и делениях по 4 на каждой стороне, весы будут горизонтальными.

«Если же теперь хочешь отдалить оба веса одинаковым образом от их места, то больший вес будет тянуть плечо весов вниз; причина же этого та, что если ты перемещаешь *b* в *a* и также *c* в *d*, то расстояние от оси до веса выходит из прежней пропорции, ибо *co* помещалось раньше три раза в *ob*, а после перемещения грузов в *a* и *d*, *do* помещается 2 раза в *oa*, а не 3, как раньше, и для того чтобы уравнять эти весы, необходимо было бы, чтобы вес 3 сделался равным 2, что было бы хорошо; если же нет — 3 опускается» (A. 42 v.).

В этом, повторяем, весьма раннем отрывке наблюдается серьезная путаница. Вначале Леонардо явно следует за данным Альберти рецептом сложения весов с делениями плеч, рецептом, как мы отмечали, правильным только при условии равенства суммы единиц веса в обоих грузах и суммы единиц делений на обоих плечах, условии, выдержанном и в примере Леонардо; затем же он раздвигает грузы, вследствие чего условие нарушается и правило сумм оказывается неприменимым. Тогда Леонардо бездоказательно, по существу правильно утверждает, что при удалении на равные расстояния должно быть сохранено между этими весами отношение, равное отношению новых расстояний; при несоблюдении этого более тяжелый груз опустится.

На примере этой записи мы можем ясно проследить разницу между творчеством в области механики Леонардо и Альберти. В то время как Альберти, выставляя свое правило сумм, подкрепляет его одним частным примером и на этом успокаивается,— Леонардо, перенимая у Альберти это правило, начинает экспе-

риментировать над объектами, подчиняющимися ему. Отодвигая и придвигая грузы, он невольно обнаруживает недостаточность, вернее непригодность этого правила. Так, реальный, ощупываемый руками опыт, будучи введен в систему механики в качестве органической и основной ее составной части, начинает свою плодотворную работу по отсеву правильных теорий от хотя бы логически убедительных и стройных, но неправильных,— работу, которой столь недоставало механике схоластической.

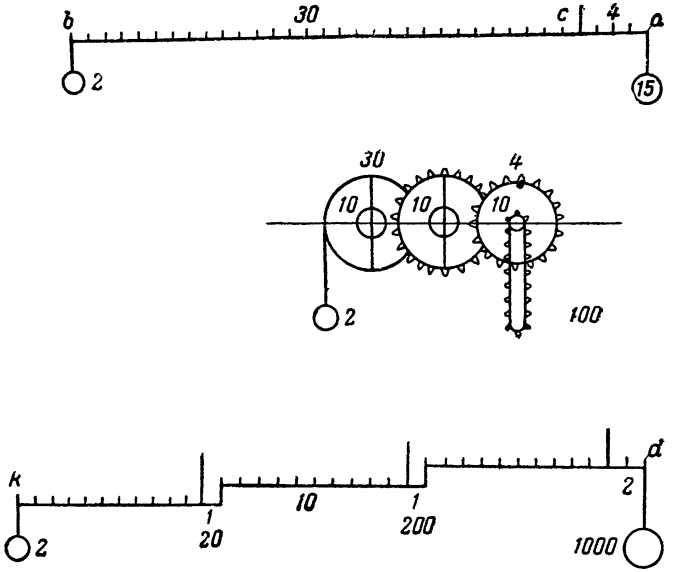


Рис. 93

Одной из наиболее сложных частных задач на теорию рычага, разрешаемых Леонардо, является задача о разнице между непрерывным и прерывным рычагом. Вопрос этот поднимается в нескольких записях. Наиболее ранняя и, пожалуй, наиболее интересная запись, посвященная этому вопросу, гласит:

«Какая разница между непрерывным и прерывным рычагом?

«Я намерен здесь (рис. 93) кратко показать разницу между прерывным и непрерывным рычагом. Предположим, что рычаг *ab*, изображенный вверху, будет непрерывным рычагом, нижний

же рычаг *dk* будет прерывным рычагом, который представляет собой результат изображенных выше трех колес. Итак, ты имеешь в непрерывном рычаге 30 рычага против 4 противорычага, и то же имеешь в прерывном рычаге, и находишь, что в непрерывном рычаге два фунта находятся в равновесии с 15, которые привешены в конце противорычага, и, кроме того, находишь, что в прерывном рычаге те же два фунта находятся в равновесии с 1000, причем и тот и другой рычаги имеют 30 рычага против 4 противорычага. Теперь ты можешь узнать разницу, а именно,

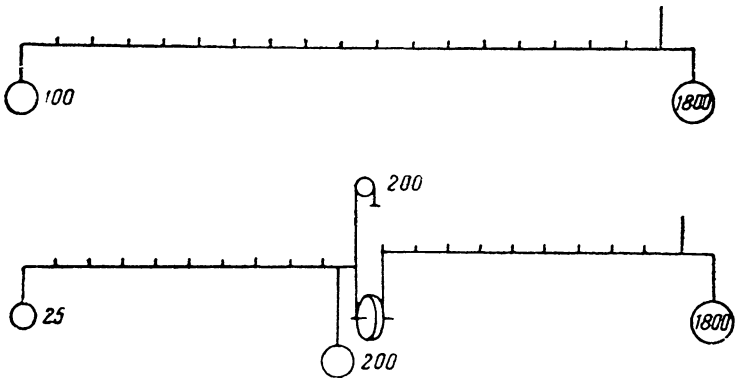


Рис. 94

что одна более сильна, чем другая, в 66 раз и $^{10}/_{15}$ и делает ее в 66 раз и $^{10}/_{15}$ более медленной, и это соответствует законам природы, почему не может быть избегнуто (e questo e in nelle regole di natura, onde non si po scifare)» (C. A. 153 v. d.). Примерно, то же изложено в поздней записи «Кодекса Арундель»:

«Если верхняя линия (рис. 94) будет иметь один локоть противорычага, то знай, что если ты привесишь к концу этого противорычага 1800 фунтов, а в конце рычага поместишь 100 фунтов, то рычаг и противорычаг будут находиться в равновесии.

«Если же эта линия будет разделена на две равные части и первая будет иметь 1 противорычага и 9 рычага, то это дает 200 рычага, поднимающие на противорычаге 1800. Таким обра-

зом, вторая половина линии будет иметь на противорычаге только 200. Имея же один локоть в противорычаге и 8 в рычаге, знай, что 25 будет находиться в равновесии с 200.

«И это утверждение кажется вещью удивительной, так как верхняя линия имеет 18 рычага против одного, а нижняя разделена на 2 противорычага и 17 рычага, причем 1800 будут подняты приблизительно 200 фунтами, и опыт показывает, что 25 исполняют работу 200» (Ar. 265 r.).

В приведенных двух записях мы видим, с одной стороны, выражение изумления по поводу явления, кажущегося невероятным при поверхностном подходе к нему; с другой же — в них, особенно в первой, с исключительной яркостью проступает практический, экспериментальный, подчиненный интересам техники подход Леонардо к задачам теории рычага; подход, который мы неоднократно выдвигали как наиболее характерную черту его научного творчества.

§ 2. ВЕСОМЫЙ РЫЧАГ

Леонардо доказал не только ошибочность предложенного Альберти закона сумм. Он показал, что и вообще все рассуждения, которые мы рассматриваем выше, опытом не подтверждаются, ибо все они относятся к математическому рычагу, теоретически принимаемому невесомым; на опыте же всегда приходится иметь дело с рычагом весомым.

К ясному пониманию этого Леонардо пришел, очевидно, не сразу. Так, только в «Кодексе Арундель» мы находим две записи против Альберти:

«Баттиста Альберти говорит в одном своем произведении, посвященном сеньору Малатеста да Римини, что когда весы (рис. 95) *abc* имеют плечи *ba* и *bc* в двойной пропорции, то и веса, привешенные к ним и уравновешивающие их, будут в той же пропорции, что и эти плечи, но только обратной, т. е. больший вес на меньшем плече. Но опыт показывает, что это утверждение ложно; правильным же будет его предположение, если

к меньшему плечу будет прибавлена длина большего плеча, как показано выше» (Ar. 31 v.).

Однако и данный им рецепт, конечно, неправилен: к меньшему плечу надлежит прибавить не все большее плечо, а частное от деления разности весов двух плеч на расстояние от точки опоры до середины этой разности на длину меньшего плеча. Не удовлетворяясь этим и, очевидно, заметив ошибку, Леонардо зачеркивает приведенный выше отрывок и через несколько страниц записывает ту же мысль по-иному:

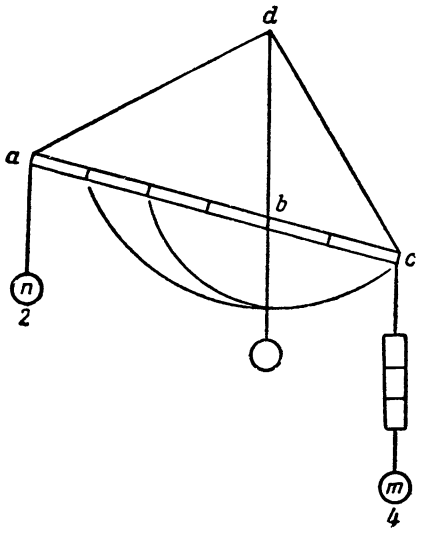


Рис. 95

«Баттиста Альберти в одном своем произведении, названном: «Ex ludis rerum mathematicarum», говорит, что если весы *abc* (рис. 96) будут иметь плечи *ba* и *bc* в двойной пропорции, то и веса, привешенные к их концам и уравновешивающие их, находятся в той же пропорции, что и эти плечи, но только она обратна, т. е. больший вес на меньшем плече. Но опыт и рассуждения показывают, что это утверждение ложно, так как там, где он берет уравновешивающие друг друга веса против 4 при весах, которые сами весят 6 фунтов, должно быть 7 против 2, и тогда весы будут неподвижны при равном сопротивлении плеч. И здесь этот автор ошибся, потому что не принял во внимание вес стержня весов, который не равен по весу.

«Сколько раз меньшее плечо таких весов содержится в большем, столько раз больший из весов, приводящих весы в равновесие, содержит в себе меньший, согласно Баттисте Альберти» (Ar. 66 r.).

В этой уже, повидимому, чистовой записи Леонардо не только графически правильно изображает процесс уравновешения на малом плече превышения веса плеча большего, в чем он не ошибся уже и при первой записи, но и дает правильный численный пример. Однако сформулировать правильно метод нахождения нужного противовеса он не может; такая формулировка оказывается для него слишком сложной, так что дальше констатации ошибки Альберти и частного правильного решения он не идет.

Теория весомого рычага подробно разрабатывалась, как мы помним, еще до Леонардо. Герон делает первые попытки в этом направлении, которые затем углубляются и расширяются «Книгой Карастуна», основной темой которой эта теория, собственно говоря, является, а также небольшим трактатом «De canonio» и трактатами школы Иордана Неморария. Таким образом, Леонардо вряд ли мог сказать в этой области что-нибудь новое. И действительно, в смысле формулировки новых решений или получения новых результатов он ничего не дает. Зато, как всегда, нов и не похож на предшественников самый подход к теме Леонардо: как и в других случаях, он отбрасывает всю сложную математическую аргументацию, составлявшую душу доказательств схоластов, и выдвигает на место ее простую констатацию опытных фактов, почти лишенную какого бы то ни было теоретического обоснования. Поскольку общий закон весов-рычага был возведен к высотам абстрактной теории, как мы это видели выше, постольку отдельные поправки к этому закону не особенно нуждались уже в таком возведении.

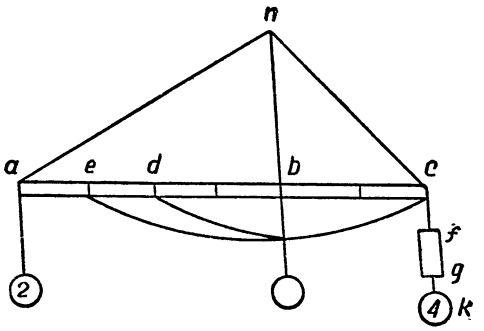


Рис. 96

Наиболее общую формулировку необходимости учитывать вес коромысла при опытной проверке закона весов-рычага мы находим в следующей записи:

«Г д е н а у к а о т я ж е с т и о б м а н ы в а е т с я п р а к т и к о й. Наука о тяжести обманывается практикой, и последняя во многих случаях не согласуется с этой наукой, и нет возможности ее согласовать. Происходит это от коромысла[1] весов, на которых и строится наука о весах; эти коромысла у древних философов приняты как математические линии и помещены на математических точках, причем эти точки и линии бестелесны. На практике же они телесны, так как этого требует необходимость, если требуется, чтобы они поддерживали вес этих весов вместе с грузами, которые на них определяются.

«Я нашел, что эти древние ошибались в суждениях о весе, и ошибка эта возникла из того, что в большей части своей науки они пользовались телесными коромыслами и в большей части (говорили о) математических, т. е. воображаемых, т. е. бестелесных, каковые ошибки я и привожу здесь ниже» (C. A. 93 v. d.).

Исходя из приведённого выше требования учета веса коромысла, Леонардо, так же как он делал и в отношении математического рычага, вводит несколько определений или требований (petizioni):

«Т р е б о в а н и е. Я требую, чтобы когда я говорю стержень, то понималось длинное тело равномерной длины и тяжести, и того же я требую в нитях.

«Центр тяжести стержня будет всегда в середине его толщины и длины, в какой бы степени наклонности он ни был.

«Если весы будут иметь 2 равных плеча, то они всегда будут стоять на равной высоте, и хотя бы они были многократно выведены из своего положения, они всегда будут возвращаться в положение равновесия» (Ar. 33 r.).

В области решения конкретных задач на весомый рычаг перед Леонардо стояли два варианта: во-первых, более про-

[1] Здесь Леонардо применяет слово «poli», которое у него чаще всего означает «ось», «точка опоры»; это значение в данном контексте привело бы к бессмыслице, почему мы и переводим здесь poli как коромысла.

стой случай определения груза, который надо подвесить на меньшем плече весов, для того чтобы уравновесить вес большего, не имеющего груза, и, во-вторых, случай более сложный, к которому Леонардо подошел, констатируя ошибку Альберти, — нахождение условия равновесия весомых весов, оба неравные плеча которых нагружены..

Первую задачу Леонардо пытался разрешить еще в первые годы своих научных занятий. Так, в кодексе «А» он пишет:

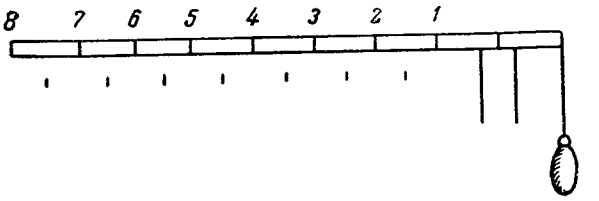


Рис. 97

«О р ы ч а г е. Противовес рычага равномерной толщины ты измеришь так: возьми размер противорычага и раздели на него и размерь рычаг (рис. 97), т. е., если противорычаг равен 1 локтю, а рычаг — восьми, отметь на рычаге 8 локтей, и пусть локоть рычага, находящийся после 7 локтей, может быть также назван 1 фунтом; что же касается до 7 локтей рычага, которые поддерживаются 1 локтем противорычага, то ты скажешь, что 7 расстояний против 1 расстояния равняются 7 фунтам веса на противорычаге против 1 фунта в конце 7 отрезков на рычаге. Следовательно, в вышеизображенном рычаге, имеющем 8 локтей против одного, скажи, что первый локоть рычага уравнивается весом плеча противорычага, и подсчитай остальные вплоть до 7 локтей и скажи, что, будучи сложены, все величины весов 7 локтей весят 35 фунтов, следовательно, 1 фунт веса на противорычаге будет уравновешивать их. Но чтобы полностью увидеть истину о весе тел, ты должен знать, что в каждом локте самом по себе весит больше середина того, который расположен дальше от точки опоры рычага, по сравнению с тем,

который расположен ближе (рис. 98); для того же, чтобы определить это точно, возьми середину последнего локтя и подвесь ее к концу другого полулоктя, и то, что ты найдешь по весу, за то его и прими. Поступай, как показано ниже» (A. 51 v.).

Шустер справедливо отметил, что в этом отрывке Леонардо сначала идет по неправильному пути, считая, что вес каждого локтя приложен в конце, а не в середине его, — ошибка, которой не сделал бы ни античный, ни схоластический механик; затем он тут же замечает ошибку и весьма неуклюже оговаривает ее, не давая нового, правильного подсчета.

Рис. 98

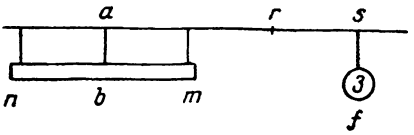


Рис. 99

В том же кодексе «А» мы имеем другую раннюю запись, прямо говорящую о том, что Леонардо понимал необходимость приложения веса весомого плеча в середине этого плеча:

«Если на весах укреплен груз, по длине равный одному из его плеч, т. е. *mn* (рис. 99), весящий 6 фунтов, то сколько фунтов в *f* будет уравновешивать его? Скажу, что 3 фунтов достаточно, так как если груз *mn* будет по длине равен одному из плеч, ты можешь предположить, что он помещен в середине этого плеча весов, в точке *a*. Следовательно, если в *a* будет 6 фунтов, то 6 фунтов, помещенные в *r*, будут уравновешивать их; если же ты передвинешь их на такое же расстояние до конца весов в точку *s*, то уравновешивать будут их 3 фунта» (A. 5 r.).

Несмотря на понимание этого, Леонардо все же дает неправильное решение.

То же мы встречаем в сравнительно раннем месте «Атлантического кодекса»:

«Весы *ab* (рис. 100) имеют 6 делений рычага против одного противорычага, вес же всего рычага *hb* таков, как если бы он со всем своим весом был подвешен на воображаемой линии

в f. Так как этот рычаг имеет 6 единиц веса в f и так как противорычаг ah помещается 3 раза в hf, то 3 таких же веса он потребует на своем конце для того, чтобы уравновесить f, а так как в этом f 6 единиц веса, то в a потребуется в 3 раза больше, т. е. 18, и весы будут в равновесии» (С. А. 267 г. а.) (рис. 100).

В последней записи мы видим, что Леонардо, принимая во внимание вес большего плеча, не учитывает веса плеча меньшего, что опять-таки приводит его к неправильному решению.

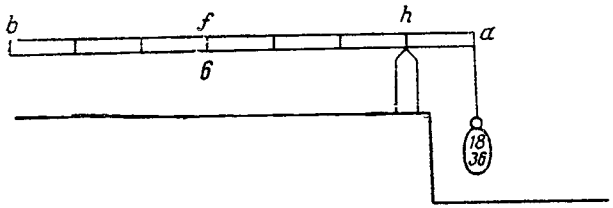


Рис. 100

Таким образом, имея под руками в хорошо известных ему сочинениях правильный ответ на интересующий его вопрос, Леонардо, очевидно, считает его слишком сложным и слишком абстрактным. Он не удовлетворяется им, а ищет свой ответ, что ему удается нелегко или, вернее, совсем не удается, несмотря на многократные попытки.

Задачу нахождения условия равновесия весомых весов, нагруженных с обеих сторон, на неправильность разрешения которой у Альберти Леонардо указал в двух поздних записях «Кодекса Арундель», он пытается разрешить в ряде мест того же кодекса. При этом он сначала дает заведомо неправильный ответ, а затем, постепенно поправляясь, обдумывая, проверяя экспериментально, но, так же как и в предыдущем случае, не используя готовых решений, даваемых предшественниками, подходит к решению правильному. Постепенное приближение к нему, самый процесс поисков его очень характерны для научного творчества Леонардо; поэтому мы приведем несколько постепенно все более правильных и отшлифованных его рассуждений и формулировок.

В первой записи Леонардо высказывает ошибочное утверждение, которое он высказал и в содержащейся на той же странице первой критической записи об Альберти, — что для уравновешения разницы в весе между двумя плечами надо к меньшему прибавить большее плечо.

«Отними меньшее плечо и столько же от большего плеча в соприкосновении с этим меньшим и центру остатка придай противовес в конце меньшего плеча.

«Пусть меньшее плечо будет *cb* (рис. 101), от которого отними противовес *cn* (?). Остается *na*, центр которого пусть будет *m*, являющийся центром двух фунтов. Теперь найди вес, пропорциональный этим двум фунтам в *m*. Например, возьми *mc* и *cb* и помести больший вес в конце меньшего плеча *b*, т. е. подвесь большее плечо *mc* в конце меньшего плеча *b*, и тяжесть плеч будет уравновешена.

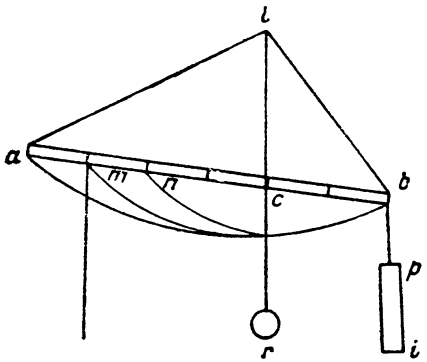


Рис. 101

«Когда весы образуются из простого стержня, то подвесь большее плечо в конце меньшего, и сила (*p*) весов будет сравнена» (Ar. 31 v.).

Из приведенной записи видно, что, во-первых, под «бóльшим плечом» Леонардо в данном случае понимает не все действительно большее плечо весов, а расстояние от точки опоры до центра превышения большего плеча над меньшим; во-вторых, в данном конкретном примере принятый им способ случайно дает правильный результат, так как действительно к меньшему плечу надо прибавить три единицы веса для уравновешения большего плеча, т. е. расстояние от точки опоры до середины разницы длин двух плеч. Самое доказательство ведется Леонардо совершенно правильно до середины, после чего из правильного рассуждения делается неправильный общий вывод. Повидимо-

му, как обычно, Леонардо искал решение экспериментально, подвешивая к меньшему плечу разные грузики, и когда он случайно нашел при разнице в длине двух плеч, равной длине меньшего, что грузик, уравновешивающий большее, равен расстоянию от точки опоры до середины этой разницы, то, хотя разумное обоснование вело его к другому решению, он принял простейший ответ, подсказанный экспериментом.

Однако уже на следующей странице того же кодекса Леонардо рассматривает другой численный пример и сразу же замечает неправильность своего первоначального решения:

«... и если ты хочешь отбросить прочь вес *bd* (рис. 102), то у тебя остается *s*, центр тяжести остатка, который здесь есть 2 и отдален на 2 от точки опоры, а *b* отдалено на 1. Теперь помести 4 в *d* против 2 в *s*. Если хочешь знать, сколько весит *nm*, помести острие циркуля в *c*, открой циркуль на расстояние *cd* и сделай полукруг в *cd*; остаток *ab* будет равен весу *nm*.

«Доказывается это при помощи центральной линии *op*, остающейся в середине между равными весами, хотя расстояние стержня *ac* разделено на 3 равные части и находится по одну сторону центральной линии, а по другую сторону этой линии находятся 3 другие подобные равные части, т. е. *cd* и *nm*, и таким образом веса по одну сторону точки опоры равны весам, расположенным по другую сторону» (Ar. 32 r.).

Здесь Леонардо дает уже другой рецепт: к меньшему плечу он прямо прибавляет разницу между весом большего и меньшего, т. е. он просто уравновешивает веса, не учитывая разницы плеч, к которым эти веса приложены. Однако, очевидно производя экспериментальную проверку, Леонардо тут же убеждается в ошибочности своего решения и пишет под тем же рисунком:

«Это не есть приобретаемый центр тяжести, но естественный, и поэтому это доказательство не действительно. Теперь ты видишь, что центр тяжести *ac* в три раза более отдален от центральной линии, чем *cd*».

Затем он пытается дать новое, более правильное решение:

«Остается обманчивое представление о центрах тяжести, из которых один отдален более, чем другой, от этой центральной линии.

«В *cd* меньшее плечо весов по эту сторону центральной линии, сопротивляющееся центром своей тяжести $^1/_3$ фунта против центра тяжести большего веса в *g*. Остается *g* центр тяжести 3

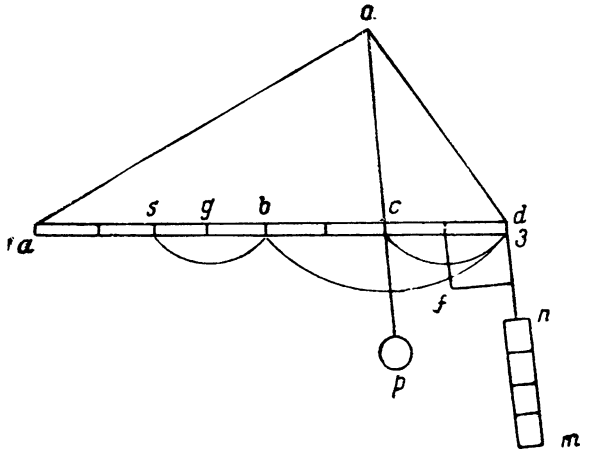


Рис. 102

и остается 2 и $^1/_2$ (не $^2/_3$ ли?). Теперь мне нужно прикрепить в *d* такой вес, который бы сопротивлялся 2 и $^1/_2$ (не $^2/_3$ ли?), и я имею расстояние 3 в большем плече и 2 в меньшем. И скажем так: если в 3 расстояния я имею 2 веса против 3 в расстоянии 2 по ту сторону точки опоры вместо 2.[1]

«Я вычел из веса весов *ad* вес меньшего плеча *cd*, имеющего весь вес в своем центре, каковой вес, будучи равен 1, сопротивляется $^1/_3$ в центре большего плеча, каковое весило 3. Остается у него сила (*p*) в 2 и $^1/_3$. Теперь мне надлежит найти вес, который, будучи привешен к концу меньшего плеча, со-

[1] Последний абзац настолько мало понятен, что мы склонны видеть в нем либо неправильную транскрипцию, либо описку автора.

противлялся бы 2 и $^2/_3$, помещенным в центре большего плеча, каковой будет 4. Что это так, я доказываю, приводя вес веса к дробям со знаменателем 3, и додаю $2^2/_3 — {}^8/_3$, что есть вес, оставшийся у большего плеча, и из веса стержня, привешенного к меньшему плечу, который был равен 4 целым, сделаю $^{12}/_3$. Теперь ты видишь, что в том же отношении, в котором находятся 8 и 12, находятся и 2 и 3, и что каждое меньшее число есть $^2/_3$ большего. Так что от *c* до *d* есть $^2/_3$ расстояния от *c* до *g*. Итак, получается правильная обратная пропорция между весами и плечами этих весов.

«Всегда откидывай прочь вес меньшего плеча и столько же веса откинь от центра тяжести (не точки ли опоры?) большего плеча; затем помести весь вес, который ты хочешь добавить (?) в конце меньшего плеча, каковой противопоставь с весом, оставшимся в центре большего плеча. И весы будут в равновесии» (Ar. 32 r.).

Приведенная запись, далеко не во всех своих деталях понятная, дает опять, как и предыдущая, численно верный результат: в данном конкретном случае действительно надо добавить к меньшему плечу 4 единицы веса. Предлагаемый общий способ решения, если понимать под словами «вес, оставшийся в центре большего плеча» разность в весе между бо́льшим и меньшим плечом, приложенную в середине разности в длине их (что, повидимому, весьма смутным образом представлялось Леонардо), уже довольно близко подходит к правильному, хотя еще очень неуклюж и несовершенен. Можно почти с полной уверенностью утверждать, что и в данном случае Леонардо получил результат опытным путем и затем уже подгонял к нему теоретическое обоснование.

Леонардо и сам сознает недостаточную четкость своей формулировки. Несколькими страницами дальше в том же кодексе он дает формулировку уже вполне правильную и окончательную:

«Отними меньшее плечо и столько же от большего плеча, примыкающего к этому меньшему, и к центру остатка придай противовес в конце меньшего плеча.

«Пусть меньшее плечо будет *pr* (рис. 103); отними от большего плеча *mp*, равное меньшему плечу, и весу остатка придай противовес в конце меньшего плеча, т. е. в *r*, каковой противовес будет находиться в таком отношении с весом *am*, в каком находятся расстояния, заключенные между центром тяжести *am*, т. е. *np* и *pr*, каковое отношение равно 3 к 2, и потому привесь 3 в *r* против 2 в *n*, и противоположные веса будут равны по силам» (Ar. 66 г.).

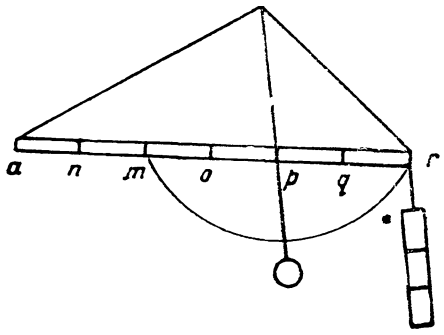


Рис. 103

Приведенные три следующие друг за другом, по времени написания, записи Леонардо ярко показывают, как нам кажется, метод его работы над определенной задачей. Мы видим, как он, имея уже в работах своих предшественников определенный ответ на поставленную им перед собой задачу, не доверяет этому ответу, обоснованному исключительно сложной цепью математических доказательств, за которыми он, вероятно, не может и проследить до конца. Он сам при помощи ряда опытов старается получить свой результат и, получив, стремится подогнать его под какую-нибудь, возможно более простую, общую формулу. При этом, оперируя сравнительно простыми случаями, Леонардо сначала получает решения, которые могут быть подогнаны под несколько формул, и, выбирая простейшую, нередко ошибается. Но, повторяя опыты, он скоро обнаруживает ошибку и в конце концов приходит к решению правильному, совпадающему с теоретически обоснованным решением, даваемым предшествующей ему литературой. Следует ли, однако, из этого, что правы исследователи, которые, подобно Шустеру, склонны давать низкую оценку научной деятельности Леонардо на том основании, что в ряде вопросов он пришел к результатам, хорошо известным уже его предшественникам? Нам кажется,

что отнюдь не следует. Несомненной заслугой Леонардо даже и в отношении этих вопросов является то, что он пришел к правильным решениям на других путях, чем его предшественники; что он, хотя и обладая несомненно меньшей, чем они, математической сноровкой, твердо обосновал свои выводы на базе результатов сознательно проводимых опытов; что выводы эти не были и не могли быть случайно правильными, как мы это неоднократно видели при разборе произведений схоластической механики, а обладали несомненным критерием истинности. Поэтому они могли быть смело положены в основу практической технической деятельности, для которой они предназначались и в тесной связи с которой они создавались. В ходе научных работ Леонардо для нас важен и ценен поэтому не результат, а метод, которым он получен, на основании чего мы и позволяем себе несколько иначе, чем предыдущие исследователи, анализировать систему механики Леонардо, раскрывая ее не в ее готовых результатах, а в ее становлении.

Совершенно естественно, что при своем сугубо практическом, сугубо экспериментальном подходе Леонардо не мог пройти мимо вопроса, который, правда в более чем несовершенной форме, был поставлен уже «Механическими проблемами» и возобновлен Иорданом Неморарием, — о типах равновесия весов. В ранней записи «Атлантического кодекса» Леонардо пишет:

«Проверь на опыте и опиши природу точек опоры весов, когда они толсты или тонки, находятся в середине или внизу, или наверху, или охватывают (С. А. 146 r. с.).

Таким образом, и здесь Леонардо начинает с серии опытов.

Имеющиеся в нашем распоряжении записи не дают полной картины рассуждений Леонардо по данному вопросу; эти рассуждения, впрочем, вряд ли были очень многочисленными и развитыми, поскольку и внимательное наблюдение и знакомство с сочинениями предшественников, по данному вопросу ограничивающихся сравнительно простыми констатациями, приемлемыми для Леонардо, не давали особой пищи для сомнений.

Разберем основные высказывания, относящиеся ко всем трем случаям равновесия.

Наименее ясно и потому наиболее многословно объяснен случай устойчивого равновесия, для достижения которого, как мы знаем, требуется чтобы точка опоры находилась над центром тяжести В «Кодексе о полете птиц» мы имеем следующую запись, очевидно относящуюся к этому случаю равновесия:

«Весы *abc* (рис. 104) имеют большее расстояние в *ba*, чем в *bc*, и казалось бы, что также и они с грузами, подвешенными на их концах, должны были бы после нескольких колебаний остановиться в положении равновесия» (C. V. U. 3 r.).

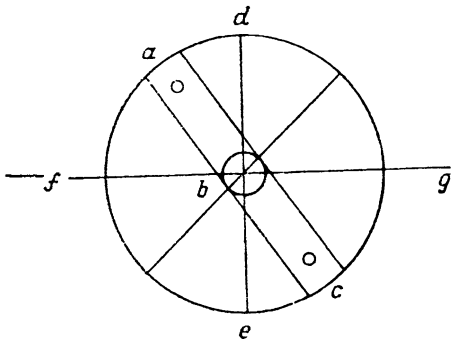


Рис. 104

Более подробно и замысловато, но также весьма нечетко тот же случай, повидимому, разобран в кодексе «G».

«Овесе стержня весов. Вес, который имеет стержень весов, делится на две части, из которых одна стремится к центру мира, другая же является приобретаемой, ибо движется поперечным движением. Но первая, стремящаяся по направлению к центру мира, относится[1] к равным противоположным боковым весам, которые своими центрами тяжести и своими расстояниями определяют центр этих весов. Второй, математический центр может скорее называться математической точкой соприкосновения (del contatto), которую имеет ось весов со своей опорой, и находится он вне естественного центра тяжести весов на таком расстоянии, что верхняя часть весов значительно тяжелее нижней части этих весов, почему поперечный вес этих весов не отдает от себя веса ни одному из выше-

[1] Нам представляется как на основании рассмотрения написания оригинала, так и в результате исследования записи, что в данном месте мы имеем пропуск нескольких слов, что, однако, не отмечено Равессон-Моллиеном.

названных двух центров. Доказывается же это шестой этой, которая гласит: всякое параллельное тело равномерной толщины и веса, помещенное наклонно, имеет в себе две разделенные тяжести, из которых одна стремится к центру мира, другая же поперечна. Одна из них естественная и простая, другая же приобретенная и составная. Но если тело, помещенное в таком положении, будет иметь возможность свободно опускаться в воздухе, то центры двух тяжестей, двигаясь в течение продолжительного времени, превратятся один в другой. В конце концов останется один только центр, общий для всего опускающегося весомого тела, и, таким образом, в прямом движении оно проникает через находящийся под ним воздух.

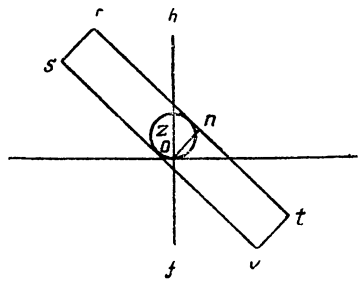


Рис. 105

«Наклонный вес толкает от r к s (рис. 105) и от t к v, а осью этих движений является o; веса плеч суть *notv* и *nors* с противоположной стороны, линия же *no* делит эти две силы, из которых победительницей делается *nors*, ибо она больше, чем *notv*. А это неравенство весов является причиной качания весов, вследствие которого неравенство весов их плеч переходит с одного плеча на другое столько раз, сколько такое качание существует» (G. 79 v.).

Последняя запись, соответствующая в общем записи, приведенной выше, истолковывается Марколонго как свидетельство правильного понимания Леонардо условия устойчивого равновесия, а Шустером, передающим ее, правда, несколько искаженно, как свидетельство того, что у Леонардо сохранилось ошибочное представление Иордана Неморария о возврате равно нагруженных весов, независимо от способа их подвеса, к горизонтальному положению. И в данном случае, как в нескольких разобранных выше, точка зрения Шустера кажется нам более правильной, хотя и не вполне проникающей в сущность мысли Леонардо. Действительно, аргументация последнего в данном

случае отличается от аргументации Иордана (записи, повторяющие аргументацию Иордана или, во всяком случае, весьма близкие ей, впрочем тоже встречаются в леонардовых рассуждениях по вопросу о равновесии весов), в данной связи оперирующего исключительно понятием «gravitas secundum situm», но также пришедшего к результату, что весы, подпертые снизу, находятся в устойчивом равновесии. Действительно, в обеих приведенных нами выше записях как будто бы не вызывает никакого сомнения тот факт, что, с одной стороны, как правильно отмечает Марколонго, они описывают именно случаи равновесия устойчивого; с другой же стороны (чего почему-то Марколонго не замечает), оба разбираемых случая суть случаи опертых, а не подвешенных весов, т. е. весов, в которых центр тяжести расположен выше точки их опоры.

Считая равновесие весов, центр тяжести которых расположен выше точки опоры, устойчивым, Леонардо, естественно, не рассматривает случая равновесия неустойчивого. Тот отрывок (E. 58 r.), который, как думает Марколонго, разбирает последнее, столь несомненно и решительно рассматривает первое, что нам не представляется целесообразным, имея в виду довольно значительные его размеры, приводить его.

Зато чрезвычайно подробно, правильно и ясно разбирает Леонардо случай равновесия безразличного. В кодексе *G* он записывает:

«О п ы т с в е с а м и (sperienza della bilancia). Эти весы (рис. 106) останутся там, где ты их оставишь, как окружность вокруг своей оси.

«По всем приведенным причинам эти весы не двинутся из своего положения, имея в виду центр мира.

«Если равновесие (ponderatione) весов будет осуществляться на оси, близкой к математической точке, делающейся центром тяжести весов, тогда равные плечи весов останутся в той наклонности, в какой их оставит человеческая рука. Доказывается это тем, что линия *bd*, в середине которой расположен математический центр весов, делит вещество (la quantità) весов на два треугольника *bcd* и *dbe*, каковые подобны и равны между собой

по форме и по весу и отличаются друг от друга только по положению, но благодаря этому различию не изменяются веса центральной линии оси *bd*, ибо верхний угол *c* треугольника *bcd* настолько же удален от центральной линии *bd*, насколько и угол *e*, как показывает линия *ep*. И так как указано, что не влияет то, что один вес расположен более высоко, чем другой т. е. угол *c*, чем угол *e*, то мы заключаем, что такие весы не будут иметь движения, когда их математический центр находится в середине всех противоположных весов, равных между собой» (G. 78 v.).

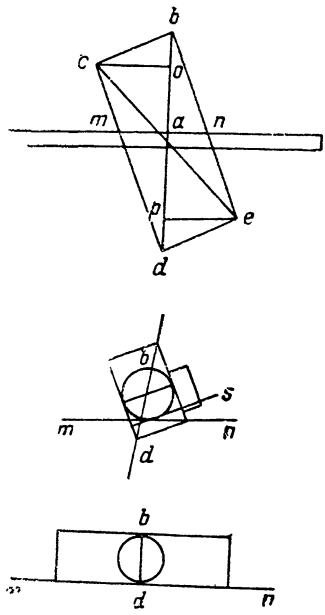


Рис. 106

Заключающееся в последнем абзаце утверждение о том, что разные высоты не влияют на вес, является несомненным возражением на неоднократно высказываемые самим же Леонардо (особенно полно в Ar. 120 r. и C. A. 219 r. a.) обратные утверждения. В последних он указывал, что вес, расположенный более высоко, будет тяжелее, так как прямая, соединяющая его с центром мира, подойдет ближе к центральной линии, соединяющей точку опоры весов с этим центром, чем такая же прямая, соединяющая с центром более низко расположенный вес. По-видимому, запись кодекса отражает последнюю стадию взглядов Леонардо на случай безразличного равновесия, стадию наиболее зрелую.

Из рассмотренных высказываний по вопросам равновесия равно нагруженных весов как будто бы с полной несомненностью явствует, что, теоретически разбирая вопрос, Леонардо принимал только два случая: когда центр тяжести совпадает с точкой опоры и равновесие безразличное и когда он не совпадает и равновесие устойчивое, т. е. те же два случая, только

формулируемые правильнее, которые приведены уже в «Механических проблемах». Однако, получая при теоретическом рассмотрении вопроса столь неправильные результаты, Леонардо-экспериментатор уже в раннюю пору своей научной деятельности прекрасно знал правильный ответ; он только не мог его сколько-нибудь научно сформулировать.

Как раз в поисках этой научной формулировки он теряет, как это нередко с ним бывало, тот совершенно правильный результат, обоснование которого он искал. Что это так, доказывает следующая, сравнительно ранняя запись «Атлантического кодекса»

«Точка опоры (polo) весов может иметь 3 положения в толщине стержня тех же весов: из них одно — когда она находится ниже линии центров, т. е. длины этого стержня, другое — на этой же линии центров и третье — над этой линией центров; но только среднее положение совершенно, верхнее наихудшее, нижнее менее плохо» (C. A. 93 v. b.).

В этой замечательной записи мы видим, что Леонардо правильно выяснил три типа весов, но не смог свести различия их ни к положению центра тяжести (овладение пониманием которого дается ему вообще с большим трудом), ни к разным условиям равновесия. Ему удалось дать только оценку: один способ подвеса технически лучше другого. Когда же он начал подводить под экспериментально установленный факт теоретическую базу, когда стал вводить его в свою общую механическую картину, то наткнулся и на центр тяжести, и на условия равновесия. Он запутался в сложной сети геометрических и физических доказательств и, не придя в известных нам записях к сколько-нибудь окончательным выводам, ушел от правильного начального положения, которое хотел обосновать. Так, лишний раз в научном творчестве Леонардо мы видим ту борьбу между самостоятельными, тесно связанными с практикой экспериментами и завещанными научной традицией теоретическими доводами, в которой первые нередко оказываются побежденными, но из которой им в дальнейшем суждено выйти полными победителями.

§ 3. КОЛЕНЧАТЫЕ ВЕСЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПЛЕЧО

Последний случай равновесия весов, разобранный нами выше, в процессе своего доказательства аргументирован равенством расстояний концов весов до вертикали, определяющим собой равновесие. Расширяя эту аргументацию, Леонардо неизбежно должен был притти к проблеме, которую ставил и разрешал уже Герон и разрешение которой лежало как бы в центре третьего варианта трактата Иордана Неморария: к проблеме коленчатого рычага. Иордан дал более или менее окончательный и правильный закон равновесия коленчатого рычага, обосновав его сложным и длинным геометрическим доказательством. Леонардо совершенно отбрасывает доказательство, кажущееся ему и мало понятным и, как обычно, ненужным. Обосновывает он свою формулировку закона, как всегда, экспериментом.

На одном из листов «Атлантического кодекса», повидимому не слишком раннем, но и не позднем (в ранний период своих научных занятий он, повидимому, еще вообще не дошел до постановки вопроса о коленчатом рычаге), Леонардо зарисовывает те экспериментальные установки, которые впервые привели его к рассмотрению этой проблемы, и снабжает свои записи краткими замечаниями:

«Спрашивается, какой вес должен быть в *ha* (рис. 107), для того чтобы поднять груз, привешенный в *l* рычагом *o*, и спрашивается, как должен изменяться этот вес *h* при перемещении нити (tirare) из *a* в *b* и из *b* в *c* и так далее, постепенно опускаясь.

«Если *a* и *b* имеют одинаковый вес — 10, я спрашиваю, останутся ли весы горизонтальными при отклонении в *b* к подвесу весов, как изображено. Этот груз будет весить столько же в *a*, сколько в *b*.

«Как нужно экспериментировать при определении законов тяжести» (рис. 108— come si de' sperimentare una regola de' pesi—C. A. 39. r. a.).

В этой весьма характерной и обычно не привлекаемой исследователями в данной связи записи мы видим Леонардо, еще не знающего правильного ответа на ставящийся им вопрос, ощупью приближающегося к нахождению этого ответа и кон-

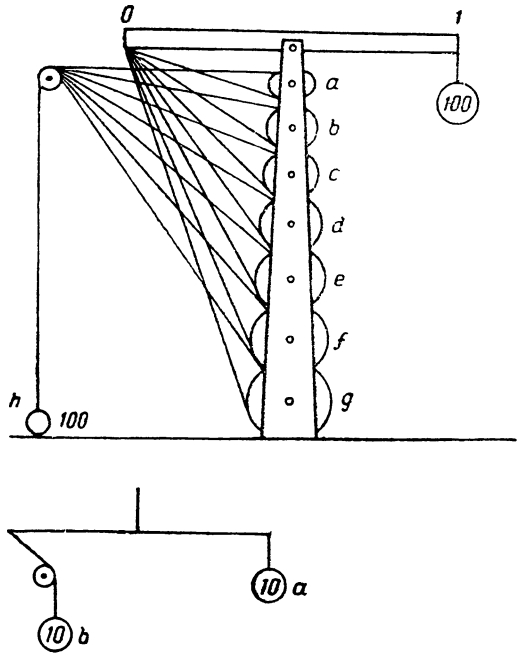


Рис. 107

струирующего ряд более или менее сложных приспособлений для нахождения его. Самые установки, зарисованные в этой записи, настолько ясны, что не нуждаются в особом объяснении. Все они имеют целью обнаружить, влияет ли на равновесие изменение длины и направления подвесов.

В другом из листов того же «Атлантического кодекса» мы видим Леонардо подходящим уже значительно ближе к формулированию закона коленчатого рычага. На этом листе он зарисовывает, повидимому, опять-таки ряд экспериментов. Он берет равноплечие весы и, так же как во втором рисунке предыду-

лщей записи, отклоняет один из подвесов, проводя его через располагаемый в разных местах ролик. Ролик этот помещается на такой высоте, чтобы подвес, проходя через него, касался дужки, помещенной в центре весов и снабженной вращающимся радиусом-стрелкой. Устанавливая затем равновесие на весах и вычисляя отношение между длиной плеч и длиной радиуса дужки и между грузами, вызывающими равновесие, Леонардо легко приходит к правильному закону коленчатого рычага.

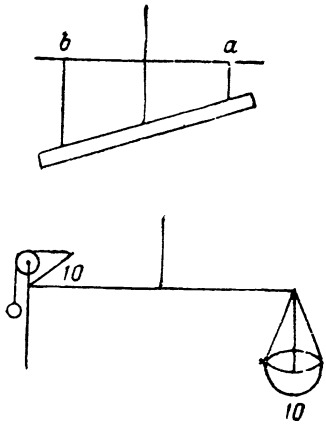


Рис. 108

Однако, давая в цифрах, помеченных на рисунках (C. A. 100 v. b.), правильные соотношения между грузами и плечами, Леонардо нелегко находит правильную и окончательную словесную формулировку. Так, в записях, сопровождающих рисунки, он пишет:

«Всякая тяжесть, подвешенная по вертикальной линии к веревке, вся во всей этой веревке и вся в начале ее направления (rettitudine) (рис. 109).

«Но если нить, изгибаясь, изменяет свое направление (linia), то эта тяжесть удвоит свой вес в середине такого изгиба нити, и там (эта нить) из-за излишней нагрузки порвется.

«Кроме первой прямой линии, линии нити, поддерживающей вес, подвешенный к ней, сколько раз эта нить будет менять направление при своих многих изгибах, столько раз будет удваиваться вес, привешенный к первой (нити). Это следует заметить в трактате о нитях» (C. A. 100 v. b.).

Из этой записи как будто следует, что Леонардо сначала пришел к неправильному выводу. Возможно, что, произведя опыт, заключающийся в пятом из приведенных выше рисунков, он на основании случайного совпадения результатов получает, что при двух изгибах нити вес будет учетверяться, и пытается

из этого вывести общий закон. Ошибку свою он, однако, тут же замечает и в продолжение той же записи пишет:

«Воображаемые (spirituale) линии и линии телесные обладают равными свойствами», и заканчивает тот же отрывок абзацем, относящимся к последнему, к сожалению, очень неразборчивому рисунку:

«Если тянуть рычаг *ab* из *n*, то это *n* будет производить силу по воображаемой линии *cb* и (действовать), как будто тянут за воображаемый рычаг *ac*, и так как это *ac* помещается 4 раза в *ab*, то вес *b* должен 4 раза помещаться в *n*» (C. A. 100 v. b.).

Здесь Леонардо подходит уже вплотную к правильной формулировке, но дать ее еще не может.

Прежде чем дать окончательную и правильную формулировку, он должен был, как обычно, разобраться в отдельных составных элементах изучаемого им вопроса, дать отдельные определения, установить связи. Делает он это в следующей записи «Атлантического кодекса»:

«Плечи весов бывают двух родов: во-первых — реальные, во-вторых — потенциальные. Реальные — когда эти плечи видимы и ощутимы, потенциальные — когда эти плечи невидимы и неощутимы.

«Соединение подвеса с реальным плечом весов никогда не будет прямоугольным.

«Соединение подвеса с потенциальным плечом всегда будет прямоугольным.

«Углы соединения подвеса с реальным плечом не будут равной высоты, если подвесы не нагружены равным весом.

«Расстояния, которые имеют углы соединения с реальными плечами весов, будут находиться между собой в той же пропорции, как веса и эти реальные плечи.

«Угол соединения есть соприкосновение, которое имеют подвесы с плечом весов, реальным или потенциальным.

«Реальными или потенциальными плечами называются кратчайшие расстояния, которые заключаются между точками соединения подвесов с этими плечами и центром опоры весов.

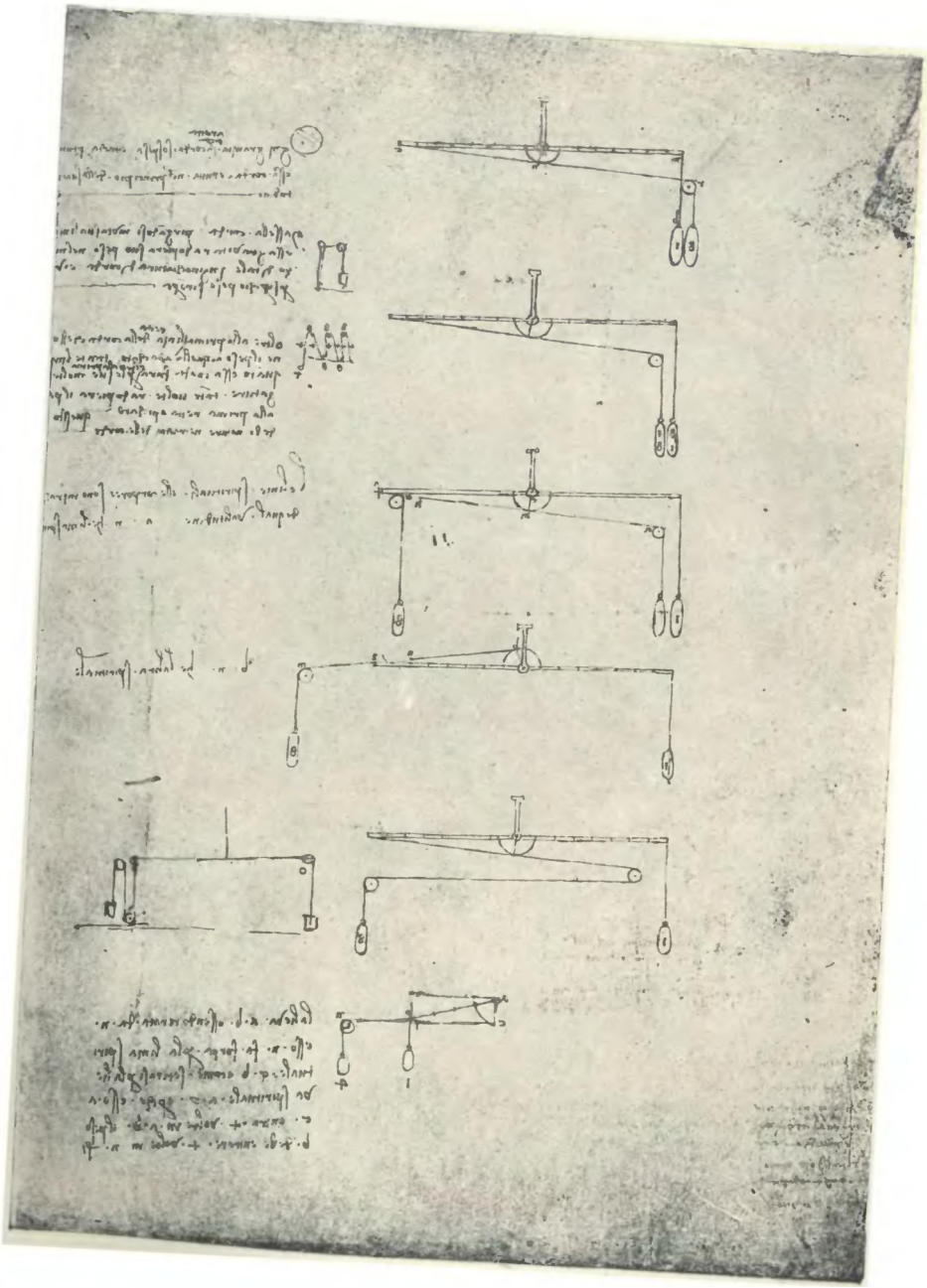


Рис. 109

«Равные веса на реальных плечах дают равные углы соединения подвесов.

«Неравные веса на неравных[1] реальных плечах делают углы соединения неравными по высоте.

«Реальные и потенциальные плечи находятся в тех расстояних, которые заключаются между подвесами грузов и центром весов.

«Потенциальное плечо всегда короче плеча реального» (C. A. 122 v. a.).

Все эти определения совершенно правильны и будут легко понятны, если мы напомним, что имеем дело со случаем равноплечих весов, равновесие которых достигается при изменении направления подвеса.

Изложенные в приведенном отрывке утверждения, очевидно, давались Леонардо далеко не легко, почему он неоднократно повторяет их в разных вариантах, например весьма подробно в E. 64 r. Но так или иначе разобравшись в основных понятиях и соотношениях основных величин в коленчатом рычаге, Леонардо, естественно, должен и может перейти к теоретическому анализу условия равновесия этого рычага. Он это и пытался сделать в нескольких, сравнительно поздних записях кодекса «M».

«То называется истинным концом плеча весов, что соединяет свое направление с направлением нити, натянутой грузом под прямым углом, как это видно в *s* с *ma* (рис. 110) и так же точно в *pn* с *na* (духовное плечо). А та часть истинного веса, которой нехватает при подвесе *p*[2] (Ancora cio che manca del vero peso appicato in *f*), прибавляется к точке опоры весов по направлению их истинного плеча *af*. Ты увидишь, таким образом, что плечо *af* сделалось по силе 4 равным плечу *an*, в котором фунты производят действие веса (*f* anno peso) 4, почему другие 4 разгружаются на точку опоры весов в *af*» (M. 39 v. и 40 r.).

[1] Здесь, очевидно, описка: нужно «равных». Пьюмати описка не замечена.

[2] В оригинале явно ошибочно вместо *p* — *f*. Эту ошибку повторяет и Марколонго.

В этой записи Леонардо дает уже совершенно правильный и четкий ответ на вопрос о равновесии коленчатого рычага, считая, что вес на отклоненной нити будет так относиться к весу на перпендикулярной, как длина второго относится к длине перпендикуляра, опущенного из точки опоры весов на направление отклоненной нити. Объяснение, даваемое этому закону, хотя и правильно, но крайне замысловато и за-

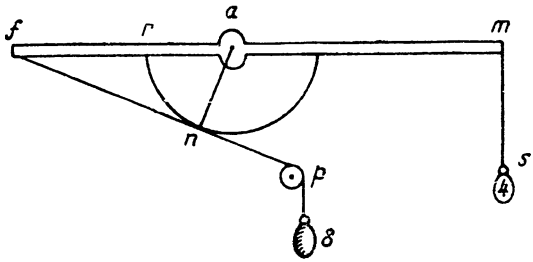


Рис. 110

путано. Леонардо, повидимому, сводит данный случай к разобранному выше (см. стр. 591) случаю равноплечего рычага, на правом плече которого помещен данный груз, а на левом — два груза: один, равный первому, и второй, искомый, на расстоянии, равном длине перпендикуляра из точки опоры на направление нити. Сумма же этих грузов дает груз, который, будучи подвешен на отклоненной нити, поддерживает весы в равновесии. Такой метод доказательств показывает, что Леонардо, подходя с разных сторон, на всяком материале (вспомним обоснование закона прямолинейного рычага — стр. 590), к понятию момента силы относительно точки, далеко не свободно владеет еще этим понятием. Даже во время писания кодекса «М» он нуждается в добавочных, кружных путях для полного понимания и уяснения этого понятия прежде всего самому себе.

Выяснив в кодексе «М» величину груза, необходимого для уравновешения весов, один из грузов на равных плечах которых отклонен, Леонардо в этом же кодексе без особых доказательств, как будто в данном случае и ненужных, устанав-

ливает, что при данном направлении отклоненного подвеса место укрепления на нем груза не влияет на равновесие.

«Всегда будет одна и та же сила (p) и сопротивление, в каком бы месте ни была привязана нить по линии abc и также внизу по линии mn» (М. 50 г.) (рис. 111).

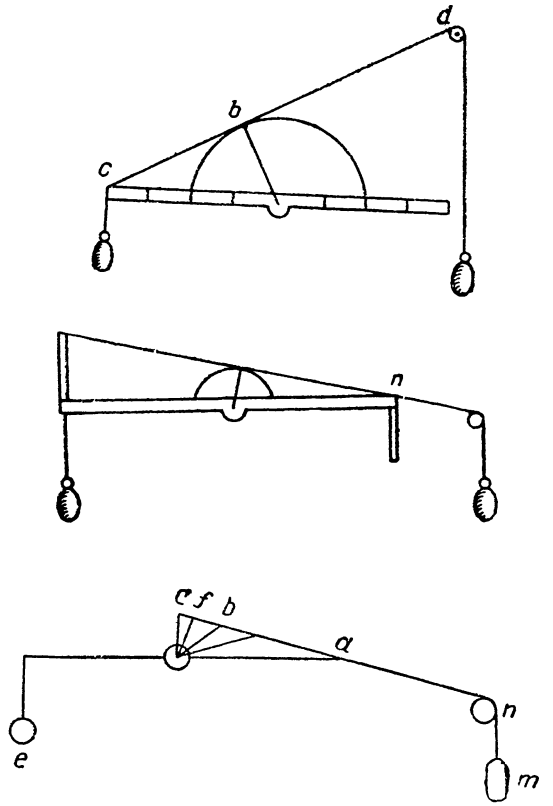


Рис. 111

И дальше:

«В каком бы месте ни была привязана нить nc со стороны ac, разницы не будет, ибо она всегда действует на (adopra) линию, которая падает перпендикулярно из центра весов на линию нити, т. е. линию fm» (М. 50 v.).

В приведенных записях дана полная и правильная, хотя еще далеко не удачная, формулировка условия равновесия коленчатого рычага, причем выработана она на частном примере равноплечих весов с одним отклоненным подвесом. В «Кодексе Арундель», в ряде также не особенно ранних записей, Леонардо стремится проверить и сформулировать, каково это условие для собственно углового рычага:

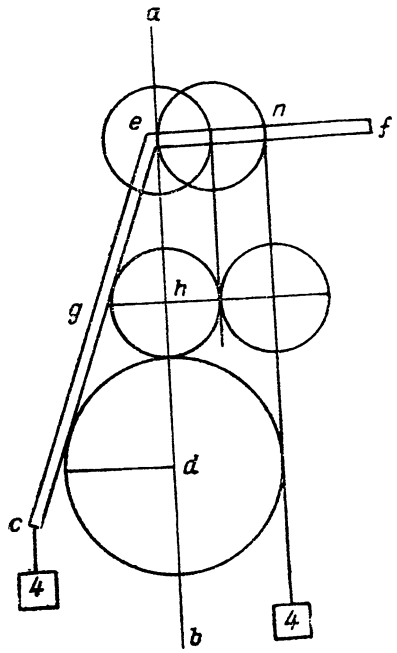


Рис. 112

«Правило угловых весов. Угловоїї равноплечий рычаг есть такой, в котором соединение прямых плеч угловое, в каковом углу помещена его точка опоры.

«Плечо поднимается (до места, в котором) помещается центр веса, подвешенного к нему.

«Расстояние между противоположными концами угловых весов и центральной линией их точки опоры находится всегда в той же пропорции, в какой находятся между собой длины плеч этих весов, но пропорция будет обратной. Например, для угловых весов *cef* (рис. 112), точка опоры которых находится в углу *e*, расстояния противоположных концов *f* и *c* от центральной линии *ab* находятся в такой пропорции, какова она между длинами плеч *ec* и *ef*, но обратной, т. е. конец меньшего плеча настолько отдален от центральной линии, насколько оно меньше своего большего. Таким же образом расстояние между бо́льшим плечом и центральной линией настолько меньше, насколько это плечо больше, чем меньшее.

«*n* — центр тяжести плеча *ef* — вдвое более отдален от центральной линии *ab*, чем *g* — центр тяжести плеча *ec*. И то, что делают центры тяжести этих плеч, то же делается и их концами, и их третями, и их четвертями, и каждой другой корреспондирующей частью их» (Ar. 32 v.).

Приведенный отрывок вначале кажется глубоко ошибочным: он как будто устанавливает в качестве условия равновесия коленчатого рычага пропорциональность длин плеч и расстояний концов их от вертикали, проходящей через точку опоры. На самом же деле утверждение Леонардо безукоризненно правильно. Приступая к отысканию закона равновесия коленчатого рычага, Леонардо, несомненно, начал, как он обычно это делает, с эксперимента, причем он экспериментировал с весомым рычагом, оба плеча которого, сделанные из одного материала, обладали равномерной и одинаковой толщиной; поэтому, естественно, веса плеч были пропорциональны их длинам. Первые выводы, записанные в приведенном отрывке, Леонардо, несомненно, делает над ненагруженным, неравноплечим, весомым коленчатым рычагом. При этом он совершенно правильно констатирует, что расстояния центров тяжести плеч до вертикали будут пропорциональны длинам плеч. Отсюда, так как длины плеч пропорциональны весам их, общий закон прямолинейного рычага требует для равновесия ненагруженного, весомого коленчатого рычага длин плеч, пропорциональных расстояниям концов их от вертикали.

Такому толкованию текста как будто не вполне соответствует сопровождающий его рисунок, в котором и на левом плече рычага, в конце его, укреплен вес в 4 единицы, и на правом, в середине, такой же вес. Но мы склонны полагать, что рисунок, имеющий не окончательный, а чисто рабочий характер, относится уже к следующей стадии экспериментов Леонардо над коленчатым рычагом с грузами. Правильность же этого предположения доказывает продолжение того же отрывка, гласящего:

«Здесь (рис. 113) отношения окружностей не равны при движении плеч, но равны по расстоянию от центральной линии.

«Правило для расчета способа расположения расстояний от центральной линии концов весов с любым углом — это, во-первых, весы с тупым углом, начиная от прямолинейных весов, в которых принято, что большее плечо *od* вдвое больше меньшего плеча *oe*.

doe, *cof*, *bog*, *aoh* — тупые углы

aoi, *bok*, *col*, *dom*, *don* — острые углы

«Отношение, в котором находятся между собой расстояния линии точки опоры весов, будет то же, в котором между собой находятся расстояния концов этих плеч и длины этих плеч.

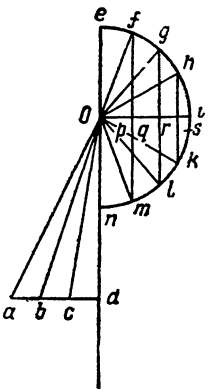


Рис. 113

«Посмотри на конец *i* плеча *oi*, каковой вдвое более удален от центральной линии *ed*, чем конец *a* плеча *oa*, и это происходит потому, что *oa* вдвое больше чем *oi*. И также плечо *ok* и плечо *bd*, как видно в *s*, где пересекается перпендикуляр *hk*. И также *ro* — расстояние, происходящее от перпендикуляра *gl*, который вдвое больше, чем *bd*. И также следует дальше до бесконечности, постоянно по тому же правилу» (Ar. 32 v.).

В этой второй части записи Леонардо, установив экспериментально закон равновесия коленчатого рычага, пытается дать некое геометрическое обоснование этому закону, выразить его в геометрической форме. Явно подражая Иордану Неморарию во внешней стороне своего геометрического подхода, Леонардо, однако, обнаруживает беспомощность в самостоятельном геометрическом обосновании даже того закона, который, как мы помним, был довольно остроумно и не слишком сложно обоснован в третьем варианте Иордана. Леонардо

начинает с построения, несколько напоминающего построение своего первоисточника, и делает при этом ряд ошибок: углы *doe*, *aoi* и *bok* не будут соответствовать тем характеристикам, которые он им дает (*doe* — не тупой, а прямая линия, *aoi* — не острый, а тупой, *bok* — не острый, а прямой), ошибочно изображать *ad* отрезком прямой, тогда как, по смыслу задачи, *od* при всех поворотах должно оставаться равным, т. е. *ad* должно быть частью окружности радиуса *do*. В конце концов он приходит к формулировке, которая, повидимому, может быть сведена к следующему: если мы имеем коленчатый рычаг, длины плеч которого и расстояния концов этих плеч до вертикали из точки опоры обратно пропорциональны, то для сохранения этой пропорциональности необходимо, в случае приближения или удаления одного из плеч к вертикали, приближать или удалять и другое плечо, причем отношение углов сдвигания должно оставаться равным отношению длин плеч. Вряд ли эта замысловатая формулировка что-нибудь давала Леонардо в смысле уяснения разбираемого вопроса. Но она придавала научный вид его экспериментальным изысканиям и хотя бы внешне приближала его к признанному авторитету в сфере конкретной механики — трактатам «De ponderibus».

Понятно поэтому, что, закончив свое геометрическое «обоснование» закона равновесия коленчатого рычага, Леонардо пишет: «Не следует порицать за введение в порядке движения науки (l'ordine del processo della scienza) некоторых общих правил (regole generali), рожденных вышеприведенным доказательством», и затем под характерными заголовками «испытано» или «проверено на опыте» (provato) формулирует действительно общее условие равновесия коленчатого рычага:

«Если плечи весов не равны и их соединение в точке опоры будет угловым, и если концы их будут одинаково отстоять от центральной линии точки опоры, то подвешенные к ним веса, будучи равными, будут одинаково весить» (Ar. 32 v.).

В этом утверждении содержится другой случай коленчатого рычага с нагруженными плечами, подробно разбираемый в другой записи того же «Кодекса Арундель».

«Испытано. Возможно, чтобы равные веса, подвешенные на неравных плечах, оставались равными по силе (p), и это случится, когда соединение этих плеч будет угловым в их точке опоры.

«Доказывается это так (рис. 114): пусть будут весы gac с угловым соединением в своей точке опоры a, и пусть большее плечо будет ag, меньшее ac и длина большего плеча вдвое больше меньшего плеча. Теперь я подвешу к центру меньшего плеча вес n и в конце большего плеча вес m; и тот и другой веса оказываются равными и равно отстоящими от центральной линии dh, так как, по определению окружности, линии или расстояния pg и po равны. Доказывается также, что тяжесть плеч, хотя одно из них вдвое больше другого, равна по причине места, в котором находятся центры их тяжести, т. е. e и b; e — центр тяжести большего плеча, а b — меньшего, и расстояния их от центральной линии dh вдвое больше одно другого, ибо, как ясно видно, ab вдвое больше чем ef; итак, мы подтвердили предположение.

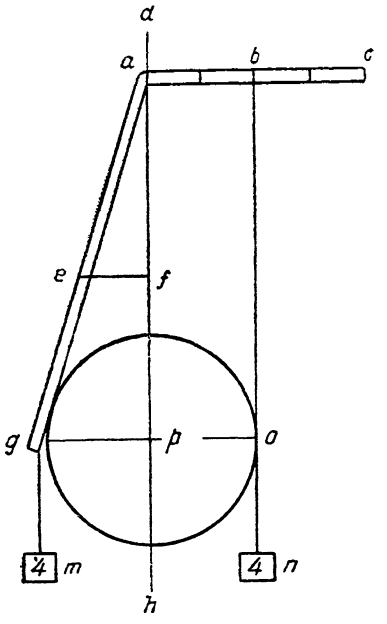


Рис. 114

«То, что центры тяжести плеч в своих расстояниях от центральной линии находятся в двойной пропорции, доказывается при помощи пирамиды (треугольника), которая, будучи разрезана пополам в центре линий ef, даст линию разреза, равную половине основания gp, основание же это равно ab» (Ar. 67 v.).

Если мы, прочитав это доказательство закона равновесия коленчатого рычага, даваемое Леонардо опять-таки под заго-

ловком «испытано», вспомним тонкие и замысловатые геометрически-алгебраические рассуждения трактата «De ponderibus», то ясно почувствуем разницу между кабинетной, формально изощренной, но мало связанной с реальностью схоластической наукой и грубоватой, несколько неуклюжей, но насквозь реалистической наукой, органически растущей из нужд новой техники.

Окончательно уяснив и сформулировав в более или менее общей форме закон равновесия коленчатого рычага, Леонардо применяет его для решения ряда нередко очень трудных задач, в которых рассматривает частные случаи этого равновесия при трех, четырех и большем числе реальных подвесов. Случаи эти, повидимому, подсказываются ему его технической, в первую очередь наверное строительной, деятельностью, чем объясняется частое возвращение к ним. Ввиду того, что разбор этих задач довольно запутан и не дает ничего особенно нового, мы ограничимся только приведением части одной из соответствующих записей «Кодекс Арундель», дающей к тому же повторную характеристику некоторых основных элементов, определяющих равновесие коленчатого рычага.

«Силы (p) реальных подвесов, соединенных противоположными плечами весов в наклонном положении, не являются настоящими плечами этих весов, что явилось бы вульгарным определением,[1] так как они имеют реальное, а не потенциальное положение. Истинно же определение, что они составлены из реального и потенциальных, что происходит, когда соединение реальных подвесов с плечами равноплечего рычага будет прямоугольным; если же оно не прямоугольно, то необходимо произвести подсчет весов, помещенных на плечах таких весов с прямыми потенциальными углами, если там не имеется прямых реальных углов. Следовательно, по тому, что изложено выше, мы находим, что в изображенном здесь равноплечем рычаге соединения пяти подвесов не прямоугольны с плечами

[1] Первая часть приведенной записи не вполне понятна; возможно, что поскольку вся запись носит черновой характер, здесь имеет место описка или пропуск нескольких слов.

равноплечего рычага, но остроугольны, как это видно в подвесах *em*, *fm*, *ng*, *hi* и *ki* (рис. 115). Вследствие этого, желая произвести правильный расчет с учетом истинных подвесов, необходимо пользоваться потенциальными подвесами, соединенными под прямыми углами с потенциальными плечами названного равноплечего рычага, каковыми углами являются

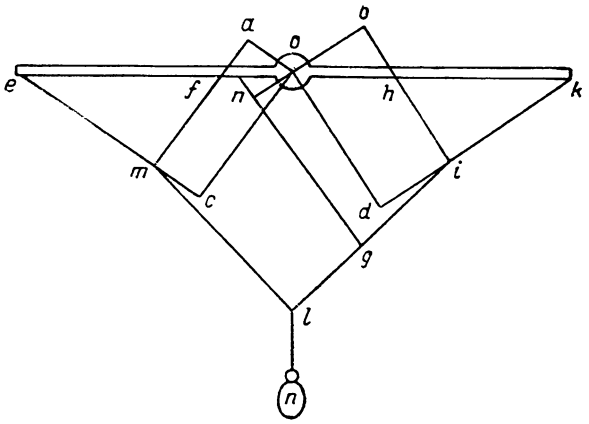


Рис. 115

a и *b* над весами, *c* и *d* под этими весами; (углы эти) являются прямыми, составленными истинными потенциальными плечами и истинными потенциальными подвесами. Остается один прямой угол под точкой опоры весов, называемый полуреальным углом, так как он составлен из реального подвеса и потенциального плеча.

«Давши определения и наименования плеч и подвесов в весах, необходимо дать их расчет, чтобы определить их истинные силы. Для этого мы поместим правые и левые потенциальные плечи вокруг точки опоры весов при помощи кругов, изображенных выше,[1] в тех же пропорциях разделим вес *n* и дадим каждому подвесу его часть» (Ar. 117 г.).

[1] Соответствующие окружности изображены на рисунке того же листа, относящемся к разбору другого случая, менее характерного, но принадлежащего к тому же кругу вопросов.

Приведенная запись использует закон, установленный для коленчатого рычага. По этому закону определяющим равновесие является произведение веса на длину перпендикуляра из точки опоры на подвес этого веса, т. е. понятие момента силы относительно точки, применяемое для объяснения явления несколько иного порядка — натяжения нити, два конца которой подвешены к концам плеч равноплечих весов, а середина нагружена определенным весом. Последняя задача, путь решения которой указан вполне правильно, выводит нас за пределы рассмотрения самой теории рычага-весов, в область рассмотрения отдельных, более или менее частных вопросов, в которых эта теория находит себе применение.

§ 4. ПРИЛОЖЕНИЯ ЗАКОНА РЫЧАГА — РАВНОВЕСИЕ НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Первым из таких вопросов является вопрос о равновесии двух тел, помещенных на сходящихся в одной линии двух наклонных плоскостях и связанных между собой нитью, перекинутой через шкив, расположенный в вершине. Совершенно естественно, что, подходя к разрешению этой задачи, Леонардо имел в виду как свою теорию движения по наклонной плоскости, так и особенно свою теорию коленчатого рычага. Несомненно, знал он соответствующие и вполне правильные рассуждения трактатов «De ponderibus», но, как и в ряде рассмотренных нами выше случаев, он почти не следует за ними. Действительно, мы видим, что третий вариант Иордана в двух теоремах первой книги показывал, во-первых, что при данном наклоне для веса, а следовательно, и равновесия, безразлично на какой высоте находится тело, и, во-вторых:

«Если два веса опускаются по двум разным наклонам и наклоны и веса их прямо пропорциональны, то силы опускания обоих равны».

При этом Иордан четко оговаривал, что под величиной наклона он понимает длину наклонных при равенстве проекции их на вертикаль из точки (или линии) соединения их.

Доказательства обеих этих теорем, хотя и превосходящие обычный математический уровень записей Леонардо, были, как мы видели не слишком сложны, так что разобраться в них Леонардо, несомненно, мог. Но мы знаем, что Леонардо не привык покорно следовать за сколь угодно авторитетным образцом. Только основные законы природы, ставшие уже почти безымянными и освященные признанием многих веков, — перипатетические законы движения импонировали ему. Писания же схоластических университетских философов, к которым все представители Возрождения относились с нескрываемой и в большинстве случаев заслуженной ненавистью, он считал необходимым не только изучить, но и переделать по-своему. К сожалению, переделка эта не приводит Леонардо в данном случае к сколько-нибудь удовлетворительным результатам.

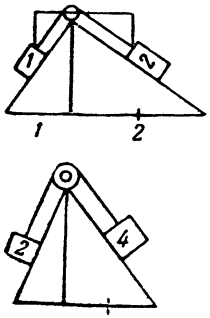


Рис. 116

Повидимому, наиболее ранней записью, относящейся к интересующему нас вопросу, является сравнительно краткая заметка «Атлантического кодекса»:

«Равенство наклонов сохраняет равенство весов.

«Если пропорции весов и наклонов, на которых они лежат, будут равными, но обратными, то эти веса будут равными по тяжести и по движению» (С. А. 354 v. г.) (рис. 116).

В этих двух фразах легко узнать почти буквальный перифраз обеих названных нами теорем Иордана; но Леонардо, как уже сказано, переделывает их на свой лад. Во-первых, он считает наклоны обратно пропорциональными весам, т. е. измеряет наклон не так, как в рассмотренных нами выше записях; там он, вслед за Иорданом, считал бо́льшим наклон более близкий к горизонтали, здесь же, обратно, считает, что наклон тем больше, чем больше угол наклонной с горизонталью (а не с вертикалью), почему формулируемая им зависимость и дает обратную пропорциональность вместо прямой Иордана. Однако это изменение ни в какой мере не влияет на правильность

результата, чего нельзя сказать о втором изменении, кстати сказать, не только не отмеченном, но прямо отрицаемом Марколонго, всюду и везде пытающимся выставить своего героя в возможно более розовом свете. Леонардо измеряет наклоны (независимо от того, считает ли он их прямо или обратно пропорциональными углами с горизонталью) не длиной наклонной при равных проекциях на вертикаль из вершины, т. е. не отношением длины наклонной к высоте, а длиной оснований при тех же равных проекциях или отношением длины основания к высоте; вместо отношения между гипотенузой и катетом, которым оперирует Иордан, он рассматривает отношение между двумя катетами. Практически, при малых наклонах это не имеет особого значения, но математически является неточным.

Правда, в приведенном выше и в ряде других мест Леонардо прямо не говорит, чем он измеряет наклон, что и позволяет Марколонго навязать ему свое толкование. Но рисунки, сопровождающие текст и воспроизводимые нами, как будто с полной несомненностью подтверждают наше толкование. Действительно, в обоих рисунках ясно видны помеченными отношения оснований 1 : 2 и отношения весов 1 : 2, что и дает условие равновесия или же вышеприведенную словесную формулу, если принять, что чем больше основание, тем меньше наклон.

Такой подход Леонардо к рассмотрению условия равновесия на наклонной поверхности легко может быть объяснен тем, что, детально разобравшись в условии равновесия коленчатого рычага и установив, что определяющими это равновесие являются расстояния между направлением подвеса груза и вертикалью, он и здесь пытается применить тот же закон, принимая за названные расстояния длины оснований наклонных поверхностей и полагая (как это видно из чертежей), что грузы находятся на одной высоте. В то время как Иордан, также знающий закон равновесия коленчатого рычага, в данном (как и в ряде других) случае оперирует с величиной gravitas secundum situm, определяемой проекцией кривой или наклонной на высоту, Леонардо, предпочитающий, в соответствии

со всем экспериментально-практическим направлением своей эпохи и собственной деятельности, там, где это возможно, избегать вспомогательных понятий и особенно геометрических обоснований, пытается установить непосредственную связь между физическим явлением, исследуемым им, и физическим явлением, им уже изученным ранее. Это и приводит его к той формулировке условия равновесия на наклоннсй плоскости, которая изложена нами выше и которая, по сравнению с формулировкой Иордана, представляет собой несомненный регресс.

Однако, формулировав свое утверждение о необходимости для достижения равновесия на двух наклонных поверхностях, опускающихся с одной высоты и до одного уровня, пропорциональности между длинами оснований и весами, Леонардо сразу же на простейшем эксперименте мог убедиться в том, что утверждение это не соответствует фактическому положению вещей. С одной стороны, даже при равных высотах грузов это условие не удовлетворялось полностью; с другой же стороны, при различных высотах становилось уже решительно непонятным, какие же расстояния должны быть приняты во внимание в случае различных высот: расстояния от линии пересечения наклонной с горизонталью до вертикали, что соответствует первому утверждению, или же расстояния от самого веса до вертикали, что соответствует условию равновесия коленчатых весов.

То, что выставленное им первоначально утверждение не соответствует действительности, Леонардо, повидимому, заметил уже довольно скоро; так, мы находим в «Атлантическом кодексе» следующую запись:

«Здесь, хотя подвешенные тела равно отстоят от центральной линии оси веса, хотя они и равны, они кажутся вдвое больше один другого, и возникает это от бóльших сопротивлений в n, чем в m» (C. A. 137 v. a.) (рис. 117).

Леонардо явно отказывается от первого утверждения и пытается свести равновесие на наклонных поверхностях к равновесию коленчатых весов, т. е. к отношению расстояний от

линии вертикального подвеса до вертикали. Но он опять получает неправильный результат, что объясняет наличием при разных наклонах разных сопротивлений, поглощающих разные части веса. Установив, что для определения условия равновесия на наклонных поверхностях необходимо учитывать сопротивление наклонной плоскости, Леонардо подходит к вопросу о разложении веса лежащих на этой поверхности тел

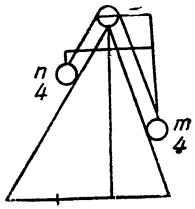


Рис. 117

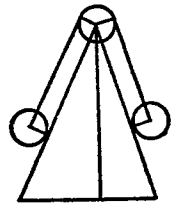


Рис. 118

на два составляющих веса, т. е. к тому способу разбора поведения тела на наклонной поверхности, который он, как мы видели, применял при анализе движения на такой поверхности. Однако притти к каким-нибудь определенным результатам на этом пути ему, естественно, не удается. Так, на листе 348 «Атлантического кодекса» он пишет:

«Всякое весомое тело, рождающее трение на наклонной плоскости, разделяет свой вес на две части, которые будут тем более равны между собой, чем более наклонной будет плоскость» (С. А. 348 г. с.) (рис. 118).

Чертеж, иллюстрирующий текст, показывает, что, размышляя над данным вопросом, Леонардо подходит к современному способу его рассмотрения, так как на чертеже как будто изображены две составляющие силы тяжести тела — параллельная направлению наклона и перпендикулярная к нему, очевидно, та сила сопротивления, о которой говорится в записи; самый же текст не оставляет почти никакого сомнения в том, что разложение веса тела Леонардо производит, как и при анализе движения, т. е. на вес, лежащий над вертикалью из точки касания и под ней. Как бы то ни было, но, как уже сказано,

ни к каким результатам данный способ разделения весов в настоящей записи не приводит.

Вторую запись, отражающую ту же попытку подойти к равновесию грузов на наклонных поверхностях путем анализа разделения силы тяжести на две составляющие, мы находим в «Кодексе Арундель». Здесь Леонардо пишет:

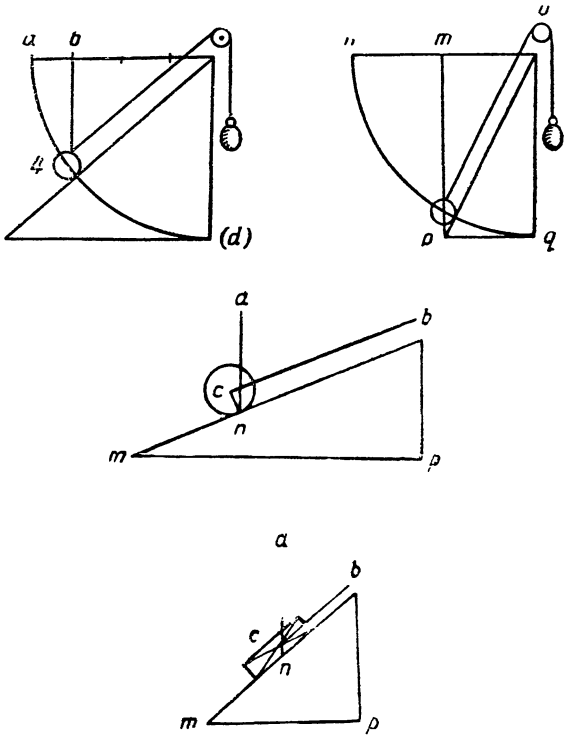


Рис. 119

«Таково отношение между частью веса груза n, передающейся наклонной поверхности, и остатком этого веса, каково оно между расстоянием nm и расстоянием mo (рис. 119).

«Вес груза на наклонной поверхности всегда распределяется между своими опорами, т. е. нитью, которая не дает ему опускаться по наклонной поверхности, и наклонной поверх-

ностью, которая не дает ему опускаться ниже подвеса этой нити.

«Груз, поддерживаемый нитью на наклонной поверхности, должен быть всегда оценен по пересечению линии, идущей из центра тяжести груза, с линией наклонности поверхности, причем угол между ними всегда прямой» (Ar. 2 г.).

Эта замечательная запись исходит из того основного неправильного положения, которое мы подробно разбирали выше, а именно: равновесие на наклонной поверхности определяет пропорция между грузами и отношениями расстояний от нижнего конца наклонной поверхности до вертикали с этими вертикалями; или иначе: определяющими равновесие при данных весах и одной высоте являются не длины наклонов, а расстояния их концов от вертикали, не op (фиг. 2), а pq. Исходя из этого, Леонардо устанавливает следующее соотношение: если обозначить полный вес тела буквой P и часть этого веса, передающегося наклонной, — буквой x, то получим, согласно Леонардо, $\frac{x}{P-x}=\frac{nm}{mo}$, но nm есть разность между высотой наклонной oq и pq, а mo есть pq, из чего мы получаем $\frac{x}{P-x}=\frac{oq-pq}{pq}$. Соотношение это выведено в достаточной степени произвольно и не обосновано даже для случая нахождения груза в самом низу наклонной плоскости, т. е. для случая, когда расстояние центра тяжести груза от вертикали приблизительно равно основанию pq; когда же груз несколько выше, то приблизительное равенство это нарушается, как это видно из фиг. 1; выведенное выше соотношение будет гласить — для этого случая: $\frac{x}{P-x}=\frac{cd-bc}{bc}$, из чего следует, что соотношение между составляющими меняется с изменением положения груза на одной и той же наклонной плоскости, что решительно противоречит правильному обратному утверждению Иордана. Кроме того, и для случая нахождения груза

в самом низу имело бы смысл выражение $\frac{x}{P-x}=\frac{oq}{pq}$, которое получается из подобия треугольников opq и треугольника, образуемого направлением силы тяжести, слагающей, перпендикулярной к наклонной, и слагающей, параллельной ей; выражение же $\frac{x}{P-x}=\frac{oq-pq}{pq}$ совершенно ошибочно. Очевидно, Леонардо, убедившись в неправильности своего первого утверждения, ищет, и опять на новых путях, другую формулу, определяющую равновесие на двух наклонных плоскостях. А так как он помнит условие равновесия коленчатого рычага, то не может отказаться от учета расстояния от центра тяжести груза до вертикали, которое и вычитает из высоты, получая неправильный результат. Приходя, однако, к ошибочному выводу, Леонардо идет по пути, который сможет и должен привести в дальнейшем к результатам правильным, по пути, исключительно свежему и плодотворному. Действительно, в двух последних абзацах приведенной выше записи он совершенно ясно формулирует то, что в первом абзаце выражено еще смутно. Вертикально направленная сила тяжести груза, помещенного на наклонной плоскости, разлагается на две, одна из которых должна быть перпендикулярной к наклонной плоскости, а другая — параллельной ей. Далее, правильно разъяснив, что определяющей равновесие является составляющая, параллельная плоскости, поскольку вторая составляющая поглощается этой плоскостью, Леонардо не может сделать из этих утверждений надлежащих выводов; он оперирует разложением силы по направлению, что делалось, как мы помним, еще в «Механических проблемах», но разложение силы по величине, требующее значительно большей степени абстракции, ему неизвестно.

Таким образом, разобранная выше запись «Кодекса Арундель» дает нам еще один образец, чрезвычайно ярко характеризующий основные особенности творчества Леонардо. Под влиянием стремления к новому, конкретно физическому, а не абстрактно геометрическому подходу к проблемам механики,

Леонардо отказывается от пути, показанного Иорданом и приводящего к правильным результатам. Руководствуясь своим обычным желанием быть возможно более оригинальным, он, экспериментируя и рассуждая над конкретными физическими объектами, приходит к новому, исключительно плодотворному способу анализа соответствующего ряда явлений. Но, не сумев до конца использовать и разобрать этот способ, он останавливается на полпути, формулируя более или менее случайно пришедшую ему в голову мысль о пропорциональности между элементами, определяющими равновесие на наклонных плоскостях с одной высотой — зависимость ошибочную и противоречащую правильному утверждению Иордана.

Так, новые пути, на которые вступает Леонардо, нередко приводят его в тупики, уводят дальше от намеченной цели, чем старые, проторенные дороги. Но пути эти все же являются той дорогой, по которой в дальнейшем новая наука пойдет к открытиям Галилея и Ньютона.

Отрывок «Кодекса Арундель», подробно нами разобранный, отнюдь не отражает собой последней стадии работы Леонардо над проблемой равновесия на наклонных плоскостях. Он возвращается к этой проблеме неоднократно, особенно в кодексах «О полете птиц» (C. V. U.), «G» и «E». Считая излишним разбор всех высказываний по этому вопросу, мы остановимся только на записях первого и последнего.

В «Кодексе о полете птиц» по данному вопросу имеется следующая довольно пространная запись:

«Вес q (рис. 120) по причине прямого угла n над df в точке e весит $^2/_3$ своего естественного веса, равного 3 фунтам, так что он остается по силе (in potenzia) равным 2 фунтам. А вес p, который также был равен 3 фунтам, остается по силе равным 1 фунту по причине прямого угла m над линией hd в точке g. Итак, мы имеем здесь один против двух фунтов. И так как наклонности da и dc, на которых эти грузы лежат, не находятся между собой в том же отношении, что веса, т. е. одна вдвое больше другой, эти грузы изменяют свою природу, ибо наклонность da превосходит наклонность dc или содержит в себе наклонность

dc два с половиной раза, как это видно в их основаниях *ab* и *bc*, т. е. находится в отношении пяти к двум, а отношение весов — два к одному. Следовательно, превосходство большей наклонности над меньшей есть полтора, так что если веса были хотя бы три с каждой стороны, то в *da* они останутся . . .» (C. V. U. 4 r.).

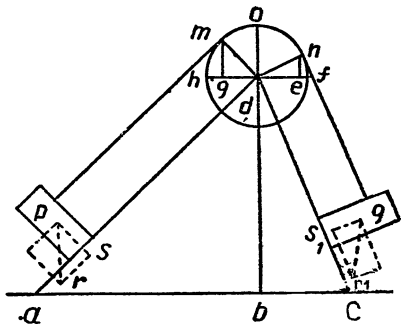


Рис. 120

Приведенная запись в имеющемся у нас издании,[1] к сожалению, не закончена, но и в таком виде показывает с полной несомненностью, что Леонардо на опыте убедился в неправильности установленного им ранее условия равновесия на наклонных плоскостях. Этим условием он считал, пользуясь обозначениями последнего чертежа, равенство $\frac{\text{вес } p}{\text{вес } q} = \frac{ab}{bc}$; отыскивая здесь какие-то другие пути для определения правильного условия, он решил, что не учел того, что нить, соединяющая грузы, перекинута через шкив, равновесие на котором и должно быть изучено в первую очередь. Поэтому он рассматривает оба данных равных груза p и q как бы висящими на концах коленчатого рычага и теряющими такую часть своего естественного веса, какую часть радиуса шкива отрезает их потен-

[1] Изданные в последнее время без года издания «I fogli mancanti» al Dodice di Leonardo da Vince su'l volo degli uccelli» (Roma Danesi), к сожалению, не были нам доступны.

циальный подвес (ne и mg).[1] Так, потенциальный подвес ne на $^1/_3$ ближе к центру d, чем конец радиуса n; следовательно, груз q теряет $^1/_3$ своего веса, и по той же причине груз p теряет $^2/_3$ своего веса. Таким образом, Леонардо приходит к окончательному выводу, что составляющие, параллельные наклону двух грузов, расположенных на наклонных поверхностях, относятся друг к другу как основания прямоугольных треугольников, образуемых продолжениями противоположных наклонов, равными по длине перпендикулярам из концов этих продолжений на горизонталь, проведенную через точку схождения этих наклонов, и отрезками этой горизонтали. Другими словами, если мы вчертим в рисунок Леонардо пунктиром вектор силы тяжести тела p — pr и его составляющие ps и rs, и для тела q—qr_1 и r_1s_1, мы должны иметь, по Леонардо, $\frac{rs}{r_1s_1} = \frac{gd}{ea}$, что неправильно, так как из подобия треугольников abd, prs и mgd и, соответственно, cbd, qr_1s_1 и ned мы получим $\frac{rs}{r_1s_1} = \frac{ne}{mg}$. Совершенно произвольно также утверждение Леонардо о том, что в данном им случае, когда $\frac{ab}{cb} = \frac{5}{2}$, $\frac{gd}{ed} = \frac{1}{2}$, из чего затем выводится, что $\frac{rs}{r_1s_1} = \frac{1}{2}$.

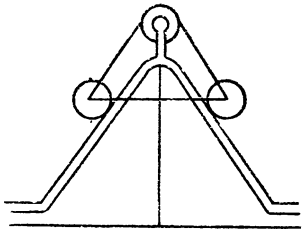
По всей вероятности, к этим выводам Леонардо пришел стараясь придать научный вид обоснованию результата, найденного им эмпирически. Ибо, если мы примем, как изображено на чертеже, $\sphericalangle dca = 45°$ и $\frac{ab}{cb} = \frac{5}{2}$, то $\angle dab = 21°50'$, и $\frac{ne}{mg} = \frac{nd}{md} \frac{\sin \angle dac}{\sin \angle dca} = \frac{0.35}{0.7} = \frac{1}{2}$, т. е. в данном случае составляющие, параллельные наклону, действительно относятся между собой, как один к двум. Найдя этот правильный результат и ясно поняв его несовместимость с выставленным им ранее утверждением, Леонардо, повидимому, ищет правильного

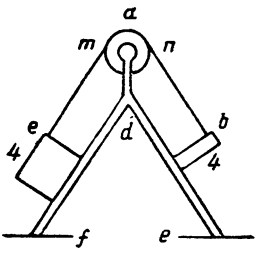
[1] Теорию шкива Леонардо мы разбираем ниже. на стр. 750 и сл.

обоснования в рассмотрении равновесия на шкиве — коленчатом рычаге, в котором реальные плечи *gd* и *de* относятся фактически как 7 : 9, т. е. не так далеко от 1 : 2. В этом отрывке, опять приводящем к неправильному общему заключению при совпадающем численном результате, мы видим Леонардо делающим следующий и уже весьма решительный шаг к окончательно правильному решению вопроса. Не удовлетворяясь одним прокламированием необходимости разложения силы тяжести на две составляющие, Леонардо, правда еще ощупью и бессознательно, переходит к рассмотрению треугольников, образуемых линиями, изображающими и величины и направления этих сил. Замечательно то, что он рассматривает именно прямоугольные треугольники с равными гипотенузами — векторами силы тяжести равных по весу тел — и различными катетами-слагающими, а не треугольники с равными высотами, как раньше. Конечная ошибка Леонардо, таким образом, заключается в том, что он, под гипнозом закона равновесия коленчатого рычага, важнейшего для его времени вообще и для него в частности, перевернул прямоугольные треугольники. Поэтому он установил пропорциональность между составляющими, которые определяют равновесие, и катетами, прилежащими к углам наклона, вместо катетов, противолежащих этим углам, что и заставило его изменить обратную пропорциональность на прямую.

Конечно, мы не хотим утверждать, что Леонардо вполне сознательно рассматривал подобие треугольников (например, *prs* и *ned*) и просто по ошибке перепутал катеты. Наоборот, как мы говорили, к самому рассмотрению треугольников он подошел ощупью, отыскивая на неправильном пути обоснование полученных из опыта результатов, рассматривая равновесие на коленчатом рычаге. Этот неправильный путь опять подвел его, стремящегося физически ощутимо, по-своему, в противоположность сухому и запутанному Иордану, объяснить условие равновесия на наклонной плоскости, еще на шаг ближе и уже совсем близко не только к правильному результату, но и к правильному и плодотворному методу его обоснования.

Однако и тот результат, который записан в «Кодексе о полете птиц», вполне естественно, не удовлетворял Леонардо, повидимому сознававшего его искусственность: он упорно стремится разобраться в сложном вопросе лучше, детальнее, окончательно. Отражение, и притом довольно полное, этих стараний мы находим в позднем кодексе «Е». Уже на первой странице этого кодекса (текста записи мы не приводим) Леонардо опровергает утверждение, разделявшееся им ранее, что к случаю равновесия на наклонных плоскостях с одной высотой неприменимо условие равновесия коленчатого рычага.





В конце же этого кодекса он предпринимает, очевидно, попытку систематически разобраться в данном вопросе. Так, на листе 59 v., на верху которого имеется надпись «Начало этой книги», он формулирует несколько основных положений:

«О в е с е (рис. 121).

«П е р в о е. Если веса и плечи равны по наклонности, то эти веса не будут двигать друг друга.

В т о р о е. Если веса, равные по наклонности, будут двигать друг друга, то плечи будут неравны [равные веса (pesi) поддерживают равные тяжести (gravitá) в равных наклонах].

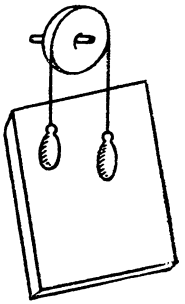


Рис. 121

Т р е т ь е. Но если равные веса на равных плечах будут двигать один другой, тогда движения весов будут иметь неравные наклоны.

Четвертое. Если веса и плечи весов будут равны по наклонам движения этих весов, тогда эти веса окажутся равными, если их подвесы будут иметь (не)равные наклоны» (E. 59 v.).

В этих еще явно не вполне отделанных формулировках Леонардо, очевидно, стремится учесть, кроме влияния наклона плоскости и весов, также и влияние наклона подвесов. Подробно рассматривает он тот же вопрос несколькими листами дальше:

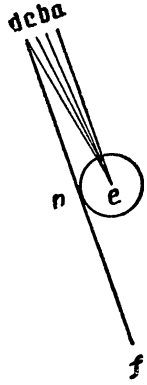


Рис. 122

«О положении подвеса весомого тела, помещенного в наклонном положении.

«Без сомнения, линия подвеса *ae* (рис. 122) поддерживает весь вес *e*, что невозможно для подвеса *be*; подвесы *ce* и *de* будут его меньше поддерживать, и то, что нехватает от веса *e* в каждом из этих подвесов, разгружается на наклонность *d/n*.

«Первое определение (difinitione prima): когда линия подвеса груза будет параллельна линии наклона места, тогда соприкосновение сферического весомого тела будет прямоугольным, т. е. полудиаметр такого сферического тела будет под прямым углом соединяться с линией наклона места.

«Лучшее определение: когда прямая линия, проходящая через подвес и касающаяся в центре сферического весомого тела, поддерживаемого этим подвесом, будет под прямым углом соединяться с полудиаметром этого сферического тела, который идет от центра этого тела к точке соприкосновения его с наклонным местом, на которое это весомое тело опирается, тогда наклонное место чувствует столько от простого естественного веса, сколько весомое тело ему дает.

«Если же этот прямой угол сделается острым, как *acd* (рис. 123), тогда весомое тело разгружает часть естественного веса и часть приобретаемого на это наклонное место, насколько — об этом будет сказано в своем месте. Если же этот угол тупой, тогда приобретаемый вес облегчает естественный, и означенное наклонное место облегчается» (E. 76 v.).

Приведенные, может быть несколько пространные, но зато сравнительно систематически изложенные рассуждения опять подводят нас вплотную к разложению на две составляющие силы тяжести тела, лежащего на наклонной плоскости и удерживаемого нитью. Одна из них будет перпендикулярна к наклону, а вторая — продолжать направление нити, причем правильно устанавливается, что при данном неизменном весе увеличение угла (верхнего) между двумя составляющими уменьшает составляющую, перпендикулярную к наклону, т. е. увеличивает давление на наклонную плоскость, и наоборот. Правда, численное определение этого увеличения или уменьшения Леонардо откладывает до следующего раза, но уже данное им с полной несомненностью показывает, что представление о разложении силы тяжести на две составляющие, по своим размерам зависящие от углов, которые они образуют с линией этой силы, прочно укоренилось в сознании Леонардо, что является немалым завоеванием. К сожалению, записи кодекса «Е» — старческого кодекса, носящего на себе явные следы желания дать только чистые результаты, редко останавливаясь на выводах, не дают нам возможности увидеть, как Леонардо получил вышеприведенный правильный результат и как он учитывал увеличение давления груза на наклонную плоскость.

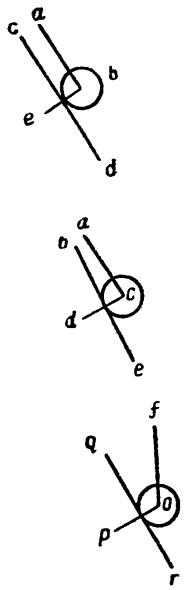


Рис. 123

На следующей странице того же кодекса мы находим и наиболее позднюю попытку общей формулировки равновесия на двух наклонных плоскостях с одной высотой.

«В о п р о с о в е с а х (quistione de pesi).

«Всегда ли грузы, помещенные на равных плечах весов и равно отстоящие от центральной линии точки опоры весов, оказываются равными? Ответ — нет. Доказывается же он второй этой, которая гласит: «Из равных грузов тот оказывается меньшего веса, который находится на более наклонном

месте». Так что если линия (рис. 124) *al* вдвое более наклонна, чем наклонная *ah*, тогда четыре веса, поддерживаемые *h*, теряют 2, и 2 остается в тяжести, но ты должен понимать, что эти четыре не находятся на наклоне, на котором они должны потерять половину своей тяжести, ибо если бы они должны были терять эту половину, было бы необходимо, чтобы эта наклонность была средней наклонностью, т. е. наклонностью диаго-

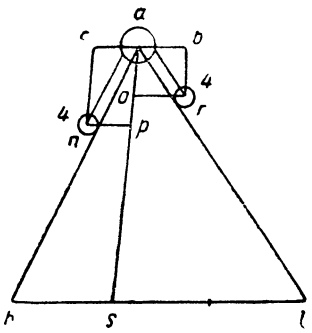


Рис. 124

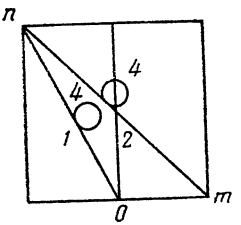


Рис. 125

нали (в оригинале — диаметра) квадрата из двух равных (в оригинале — прямых) сторон, как это видно в *nm* ниже (рис. 125). Но так как такая наклонность принимает вес 4 как один, то линия *ah* принимает свои 4 с весом в один, остаток же остается на подвесах *ar* и *an* или же *br* и *cn*, хотя перпендикулярные нити *br* и *cn* поддерживают другой вес, чем наклонные *ar* и *an*» (Е. 77 г.).

В приведенной записи Леонардо, несколькими страницами выше (и раньше, в «Кодексе о полете птиц») шедший по пути, который мог и должен был привести его к правильному решению, хотя и отрицает самым решительным образом, чего он не делал раньше, влияние на равновесие на наклонных плоскостях расстояний до вертикали из вершины, все же сохраняет свою систему измерения наклонности длиной основания, а не длиной самой наклонной, следовательно, он повторяет непра-

вильное условие равновесия на двух сходящихся наклонных плоскостях с одной высотой, гласящее: определяющие равновесие составляющие обратно пропорциональны длинам оснований или, что то же самое, силы давления на наклонные плоскости прямо пропорциональны этим длинам. Никакого доказательства этому, повидимому, окончательному для Леонардо, утверждению приведенная запись не дает: то вспомогательное построение двух прямоугольных треугольников с одной высотой и разными основаниями, или, вернее, квадрата и его диагонали и прямоугольника с половинным основанием и его диагонали, которое дает нижний рисунок, конечно, ни в какой мере не может быть названо доказательством.

Мы рассмотрели различные стадии работы Леонардо над вопросом равновесия на наклонной плоскости несколько более подробно, чем, может быть, этого заслуживала важность самого вопроса в общей системе механики Леонардо, потому что работы над этим вопросом с исключительной яркостью показывают нам сильные и слабые стороны всей его научной системы. В немногих еще случаях мы можем с такой уверенностью утверждать, что Леонардо было известно правильное решение, данное Иорданом, и что он сознательно или бессознательно отказался от него. Он считал необходимым воздвигнуть свою теорию на новой базе, базе личных наблюдений и экспериментов, сделать ее более наглядной и конкретной. В немногих случаях мы увидим так ярко выраженным характерное для Леонардо смешение смелости и оригинальности в постановке задачи и нерешительности в окончательных выводах, категорического отталкивания от схоластической традиции с неумением окончательно порвать с нею, наконец, смешение глубоко нового подхода к вопросу, диктуемого требованиями науки и приводящего к важнейшим результатам, с ошибочными конечными заключениями. Работа Леонардо над проблемой равновесия на наклонных плоскостях дает нам возможность заглянуть глубоко в лабораторию создания классической механики, пожалуй, более глубоко, чем работа над какой-нибудь другой проблемой.

§ 5. ПРИЛОЖЕНИЯ ЗАКОНА РЫЧАГА—НИТЬ, УКРЕПЛЕННАЯ ЗА ДВА КОНЦА

Проблема равновесия на двух наклонных плоскостях возникла у Леонардо, как мы упоминали выше, повидимому, в связи с его работой над условием равновесия коленчатого рычага в качестве одного из частных случаев, каких он разбирает весьма значительное количество. Из множества этих случаев он бóльшую часть разбирает мимоходом, в одной-двух записях, некоторым уделяет значительно больше, а совсем небольшому числу случаев — очень много места и времени. Из таких очень подробно рассмотренных Леонардо частных задач на коленчатый рычаг на первом месте, несомненно, стоит рассмотрение с разных точек зрения нити, укрепленной за два свои конца и провисающей под действием либо собственного веса, либо подвешенного к ней в середине груза. Рассмотрение это занимает начало и значительную часть середины «Кодекса Арундель» и очень большое место в более позднем кодексе «Е»; относящиеся к нему страницы, взятые вместе, составляют, пожалуй, самую большую из всех глав, отведенных Леонардо не только механике, но и любому частному научному вопросу. Несомненно, что такой усиленный интерес к данному кругу вопросов находился в тесной связи с запросами техники, интересовавшими Леонардо еще в период его усиленной инженерской деятельности во время его первого пребывания в Милане.

Весьма возможно, что связующим звеном здесь являлись упомянутые нами работы над тамбуром Миланского собора, требовавшие расчета прочности перекрытий, арок и сводов; в построении последних немалую роль играли цепи, тросы, канаты; размышления над их нагрузкой и сопротивляемостью, возможно, и привели Леонардо к проблеме нити, укрепленной за два конца. Как бы то ни было, но уже в относящихся к первому миланскому периоду записях кодекса «А» мы находим отражение первых работ его над этим вопросом или, вернее, комплексом вопросов. Уже в этих ранних записях Леонардо ставит перед собой все те частные проблемы, которыми он

будет усиленно заниматься в дальнейшем: во-первых, основную проблему — как нагружаются ветви нити, когда к ней, не в середине, подвешен определенный груз; во-вторых, можно ли и какими грузами выпрямить нить, провисающую под действием подвешенного между точками укрепления груза; и, в-третьих, где порвется излишне нагруженная нить, подвешенная за два конца. Рассмотрим все эти проблемы в постепенной их разработке.

Первая проблема, как уже сказано, является основной и разработана Леонардо наиболее подробно. Первый подход к проблеме, правда, поставленной несколько иначе, чем выше сказано, мы находим в кодексе «А». Здесь Леонардо пытается определить, как провиснет нить, концы которой укреплены на двух опорах разной высоты, и уже затем переходит к распределению нагрузки между двумя опорами. Запись эта такова:

«П р е д л о ж е н и е. При самом низком положении дуги (рис. 126), образуемой нитью, более длинной, чем расстояние

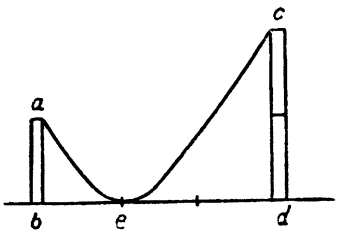


Рис. 126

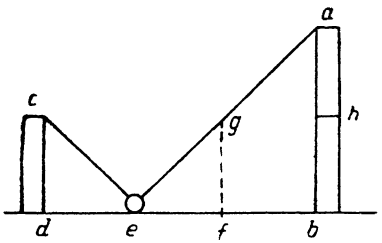


Рис. 127

между ее концами, и поддержанной на этих концах двумя опорами разной высоты, она будет касаться земли ближе к меньшей опоре во столько раз, сколько раз меньшая высота содержится в большей.

«Например, если опора *ab* помещается 2 раза в большей опоре *cd*, то расстояние, остающееся между *eb*, помещается также 2 раза в *de*.

«Весомое тело, подвешенное на нити, концы которой укреплены на двух опорах разной высоты, будет лежать между равными углами, основания которых будут тем более широки одно, чем другое, чем один конец будет более высок по сравнению с другим.

«П р е д л о ж е н и е. Вес, подвешенный на нити и могущий свободно опускаться до наиболее низкого положения своей дуги, остановится между пирамидами равных пропорций (infra aequali proportioni di piramide — имеются, очевидно, в виду площади треугольников) (рис. 127).

«П р е д л о ж е н и е. Вес, расположенный между пирамидами равных пропорций, будет тем более близок к одной из своих опор, чем к другой, сколько раз меньшая помещается в большей.

«П р е д л о ж е н и е. Груз, подвешенный к дуге свободно висящей нити, будет отдавать тем бо́льшую часть своего веса одной из опор, чем другой, чем одна меньше другой, или чем меньше одно другого основания двух пирамид, или чем меньше одна часть нити по сравнению с другой.

«П р е д л о ж е н и е. Невозможно, чтобы вес остановился на нити на середине расстояния между двумя неравными опорами, если даже этот вес опустится до самой низкой глубины центра земли» (A. 48 r.).

Приведенная запись, не использованная, насколько нам известно, ни одним из исследователей механики Леонардо, весьма интересна. Будучи помещена в тетради между различными другими записями, относящимися к вопросу о нагрузке и прочности сводов, она подтверждает наше предположение о тесной связи между строительными работами Леонардо и усиленным вниманием к проблеме нагрузки нити, укрепленной на двух опорах; эта же запись показывает лишний раз, и притом весьма разительно, как глубокое техническое чутье Леонардо подводило его к исключительно тонкой и правильной постановке вопросов, для своего ответа требовавших больше математических навыков и знаний, чем их было у самого Леонардо и у многих поколений механиков, живших после него, не исключая и великого Галилея. Действительно, достаточно открыть

современный подробный курс теоретической механики[1], чтобы убедиться в близости рассматриваемой Леонардо задачи провеса нити под действием собственной тяжести к задаче определения давления в своде: последняя, насколько можно судить из всех записей кодекса, окружающих данную, и была основной для Леонардо. Он, очевидно, столь глубоко проникал в сущность рассматриваемых и обдумываемых им технических явлений, что приходил к сближениям, которые затем не мог ни теоретически обосновать, ни полностью использовать.

Самый подход Леонардо к поставленной им задаче определения провеса нити, несомненно, был вначале чисто экспериментальным. Установить две опоры с высотами, относящимися, как один к двум, подвесить на них нить и измерить расстояние между ее наинизшей точкой и опорами было делом нетрудным. При этом Леонардо, конечно, без особого труда установил, что расстояние между низшей точкой и более высокой опорой значительно больше, чем расстояние между той же точкой и низкой опорой. Хотя полной пропорциональности между высотами опор и расстояниями не получалось, Леонардо все же счел возможным сформулировать закон, гласящий, что расстояния пропорциональны высотам; он полагал, что всякий физический закон должен иметь вид простой пропорции, и учитывал, как он обычно делает, неизбежные неточности опыта — трение в точках укрепления, сопротивление воздуха при падении тел и т.п.[2]

Мы уже говорили, что более точное определение провеса нити под действием собственной тяжести было, конечно, совершенно не доступным для Леонардо. Вообще эта задача, воз-

[1] Сошлемся хотя бы на А. А Эйхенвальда. Теоретическая физика, ч. III. Механика твердого тела. М.-Л., Гиз, 1942. На стр. 67 и сл. в §§ 53 и 54 имеем. «Равновесие нити под действием собственного веса», в § 55 — «Линии давления в своде».

[2] Фактически расстояния при высотах опор $y_1 = 2$ и $y_2 = 1$ определяются из такой формулы. правда приближенной и действительной только при малых провесах: $y = \frac{x^2}{2a}$, где $a = \frac{H\text{ — горизонт. напряж. нити}}{g\text{ — вес нити}}$, если принять a постоянным, получим $\frac{x_1}{x_2} = \frac{\sqrt{y_1}}{\sqrt{y_2}} = \frac{1{,}4}{1}$.

можно, при первом же подходе, оказалась слишком сложной, — во всяком случае в своих дальнейших записях Леонардо возвращается к ней только мимоходом. Зато утверждение, заключающееся в четвертом из предложений приведенной выше записи кодекса «А», в дальнейшем все в большей и большей мере занимает его. Предложение это гласит: груз, подвешенный к свободно висящей на двух опорах разной высоты нити, так распределяет свой вес между этими опорами, что части этого веса обратно пропорциональны высотам опор, или расстояниям точки наибольшего провеса до опор, или соответствующим длинам нити.

Совершенно естественно, что, перейдя от технических задач по конструированию и расчету арок и сводов к рассмотрению вопросов, связанных с висящей на двух опорах нитью Леонардо наиболее заинтересовался именно теми, которые касались нагрузок, распределения тяжести на опоры. Вполне понятно, что именно эта проблема оказалась в его занятиях на первом плане.

Легко убедиться в том, что утверждение, высказанное Леонардо, неправильно и сформулировано им опять-таки на основе стремления дать простейшее соотношение пропорциональности. Действительно, натяжение нити, укрепленной на более низкой опоре, будет больше натяжения нити, укрепленной на опоре более высокой, поскольку натяжения нити обратно пропорциональны косинусам углов между направлением нити и горизонталью, а у малой опоры угол этот будет большим. Но установив это и не имея возможности точно измерить разницу давлений, Леонардо, принимающий углы между наклонами нити и горизонталью равными, а отношение между основаниями равным отношению между высотами, естественно, предполагает, что вес тела, подвешенного в наинизшей точке нити, разделяется в том же отношении. Так, если одна опора вдвое выше другой и подвешенный груз равен трем, малая опора несет 2 и большая 1, что неправильно.

То же утверждение высказывается Леонардо и в другой записи этого раннего кодекса «А»:

«Груз, подвешенный сверху над нитью или поддерживаемый снизу на балках, укрепленных своими концами в разных местах, будет отдавать тем бо́льшую часть своего веса одной опоре, чем точка опоры одной будет ближе к перпендикуляру, опущенному из центра груза, по сравнению с другой — соседней» (A. 47 v.).

Вышеприведенное правило Леонардо, несомненно, базировал на простейших экспериментальных данных; так, он (мы в этом убедимся несколько ниже) для определения давлений обоих концов нити не укреплял их на опорах, а держал в руках и просто, по ощущению, определял разности весов.

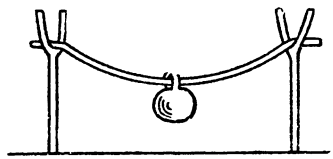


Рис. 128

Несколько другой способ экспериментирования мы видим в продолжении только что приведенной нами записи кодекса «A», которое прекрасно рисует всю обстановку ранних работ Леонардо над данным вопросом.

«Во всякой подвешенной вещи, способной гнуться, та часть, которая будет более удалена от своих опор, если только вещь эта имеет равномерную толщину и состав, будет больше опускаться из своей первоначальной прямизны (рис. 128).

«Вес, подвешенный на конце рычага *ba*, сделанного из любого вещества, будет поднимать тем больший вес на конце противорычага *cb* по сравнению со своим весом, сколько раз противорычаг помещается в рычаге (рис. 129).

«Если свод (*l'arco*) при своем стремлении сломаться действует с силой (*fa forza*) 200 фунтов, то прибавь ему для сопротивления (*per contrasto*) 200 фунтов веса или силы, и будет хорошо» (A. 47 v.).

В приведенной записи мы, во-первых, опять встречаем подтверждение правильности нашего предположения, что к проблеме провеса нити и нагрузки ее концов Леонардо пришел от своих строительных работ, в частности работ над арками и сводами; во-вторых же, видим, что вопрос о нагрузке нити подвешенным грузом он пытается свести к

простому прямолинейному рычагу. Так, из второго рисунка и сопровождающего его текста ясно, что он рассматривает каждую половину нити от точки подвеса груза до места схода со шкива как прямолинейный рычаг, одним плечом которого является радиус шкива, а другим — длина нити

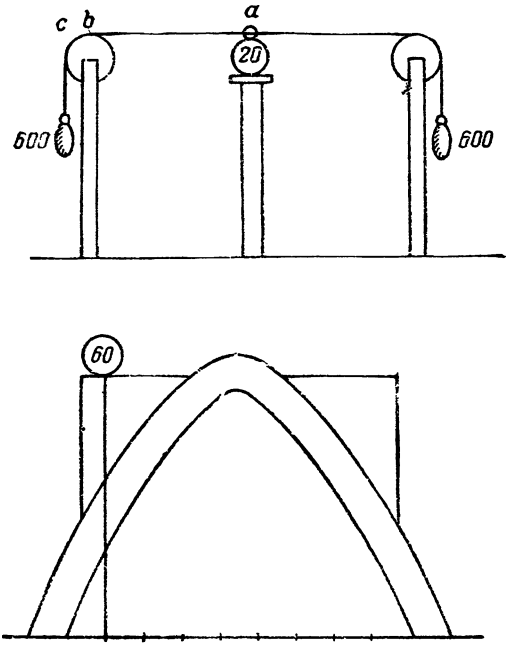


Рис. 129

от центра шкива до точки подвеса. Делая такое предположение, Леонардо приходит к заключению, что в частном случае, изображенном на рис. 129, при радиусе шкива, помещающемся в длине нити до точки подвеса 30 раз, груз в 600 единиц веса будет поддерживать в горизонтальном положении груз в 20 единиц. Предположение, делаемое Леонардо, однако совершенно ошибочно, так как он не принимает во внимание направление действия сил и считает гибкую нить твердым плечом рычага. Впрочем, Леонардо, повидимому сам, экспери-

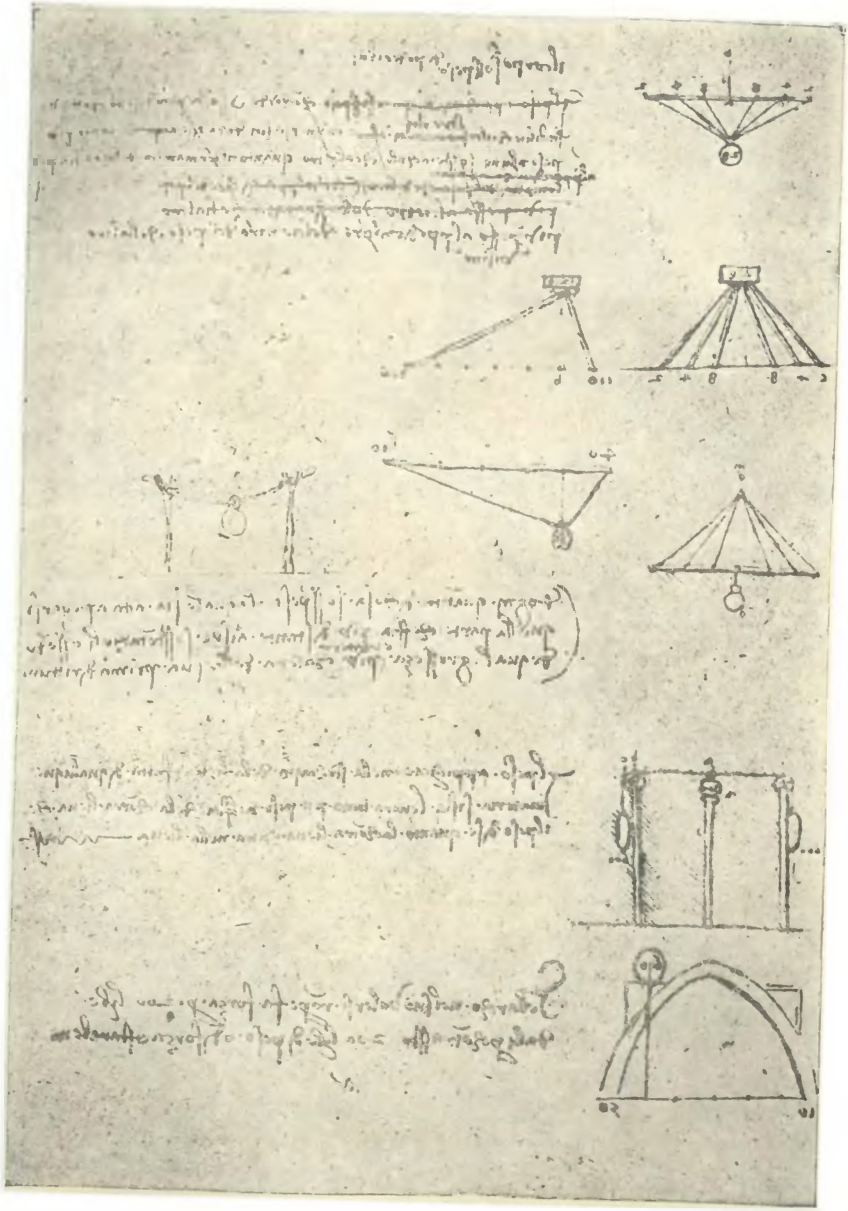


Рис. 129а

ментируя, убедился в неправильности своего утверждения, так как на рисунке изобразил вес в 20 единиц не свободно висящим в положении равновесия, а подпертым особой колонкой.

Несколькими страницами ниже в этом же кодексе «А» Леонардо с теми же критериями подходит к разрешению второй из названных выше проблем, логически вытекающей из только что рассмотренной постановки вопроса. Он пытается дать ответ

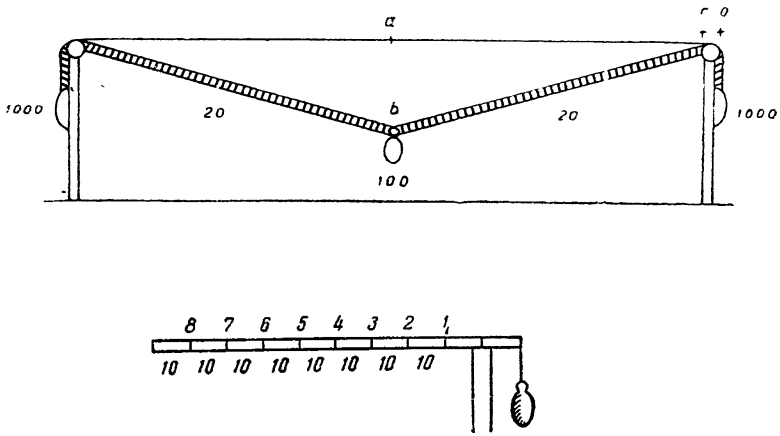


Рис. 130

на вопрос: возможно ли любыми грузами, подвешенными на концах нити, перекинутых через блоки, выпрямить нить, провисающую под действием груза, подвешенного в ее середине?

«О г р у з а х (рис. 130).

«Невозможно выпрямить нить, длина которой равна 100 локтям, если она подвешена между шкивами с расстоянием в 100 локтей и на каждом подвешен вес в 1000 фунтов. Я утверждаю, что если ты подвесишь один вес в середине этой нити, весящей 100 фунтов, то нить раньше лопнет, чем поднимет, выпрямляясь, свой груз. И кажется почти невероятным утверждение, что 2000 фунтов веса, укрепленного на концах нити, не должны поднять 200 фунтов, т. е. вес нити и вес, помещенный в середине нити. Причина же этого та что вес, помещенный

в середине нити, производит то же самое действие (ofitio) на противовес в 1000 фунтов, которое производил бы такой же вес, привешенный к концу рычага длиной в 40 локтей. Следовательно, для того чтобы найти истину в отношении этого действия, т. е. возможно ли, чтобы вес в 2000 фунтов выпрямил нить, измерь диаметр шкива (del soclo della girella), поддерживающего вес в 100 фунтов, и посмотри, сколько раз половина этого диаметра помещается в расстоянии между $^1/_2$ шкива и $^1/_2$ веса в 100 фунтов по линии *ora*, и так как эта часть диаметра, а именно *or*, помещается 200 раз в расстоянии до (точки, помещающейся) над серединой нити, и также поступает другая половина, что дает 400, то, следовательно, 400 на 100 дает 40000 и, кроме того, имеется вес нити. Таким образом, закон (la regola) веса, (привешенного) под (нитью), таков, что, будучи длинной, она не выпрямится, не порвавшись»[1] (A. 51 v.).

Здесь Леонардо, в противоречии с ранее приведенной записью, высказывает вполне правильное утверждение, наверное, без особого труда полученное им экспериментальным путем, что любые грузы на концах не выпрямят нить, нагруженную в середине. Но объяснение, которое он дает этому правильно подмеченному, по его мнению весьма поразительному, явлению, идет по неправильному пути, приведшему его раньше к неправильному результату. Он рассматривает нить и в данном случае как рычаг с точкой опоры в центре шкива.

Несклонный вообще удовлетворяться чем бы то ни было, Леонардо не удовлетворяется и этим неправильным объяснением; он продолжает размышлять и экспериментировать над вопросом распределения веса, подвешенного в середине между опорами. Две записи, относящиеся к 1499 г., мы находим в «Атлантическом кодексе». Одна из них, более короткая, показывает исследователя — опять-таки экспериментирующим, с одним концом нити в руке, в то время как другой натягивается грузом:

[1] Текст последней фразы в оригинале мало понятен. Мы переводим его вслед за Равессон-Моллиеном. В оригинале он звучит так: «C:e la regola del suo peso diso disotto inefetto la chorta imolta lungeza non si direzera si non si ronpe».

«Попробуй (sperimenta) держать рукой нить в *cn* и посмотри, сколько веса помещенного в *f*, заставит вес *r* находиться под *c*. В том отношении, в котором находится линия *mn* с линией *nf*, будут находиться и вес *f* с весом *m*» (C. A. 158 v. b.) (рис. 131).

Из суммарной записи следует, что Леонардо разделил расстояние между шкивами на определенное число частей, подвесил в какой-либо части этого расстояния нить, вертикально натянутую грузом, и затем, держа в руке левый конец второй основной нити, нагруженной определенным грузом, правый конец нагружал различными грузами до тех пор, пока подвес груза на основной нити не совпадал с подвесом вспомогательным. При этом он получал треугольники провеса с определенным соотношением катетов и гипотенуз, что определяло и углы между ними. Поэтому Леонардо, для получения правильного решения, оставалось только сказать, что составляющие силы тяжести груза обратно пропорциональны отношениям между длинами ветвей нитей и их расстояниями до вертикали. Но для него такое решение слишком сложно, и он считает составляющие обратно пропорциональными длинам ветвей нити, что неправильно. Как пришел Леонардо от вышеописанного эксперимента к данному неправильному выводу, не вполне понятно, так как цифры и вспомогательные линии на чертежах, сопровождающих приведенный тест, нам расшифровать не удалось.

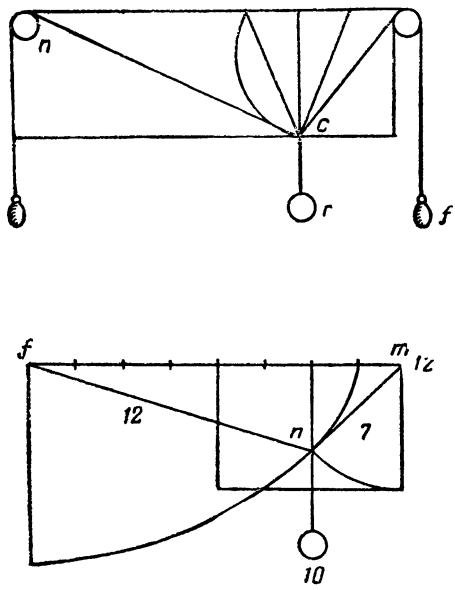


Рис. 131

К тому же времени, повидимому, относится и вторая датированная (одна из немногих относящихся к механике) запись:

«В первый день августа 1499 г. я написал здесь о движении и весе. Вертикальная нить (рис. 132) укреплена в *n* и не может двигаться.

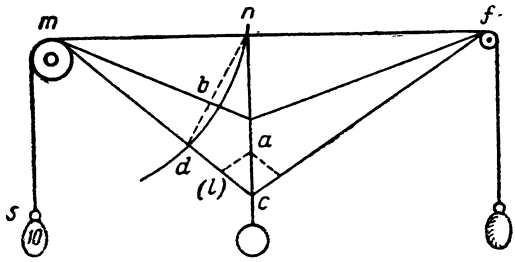


Рис. 132

«Возможно, что если груз подвешен к одной стороне веревки, простейшим образом поддерживаемой блоком, то такой груз может быть перевешен другим — меньшим грузом, подвешенным на противоположной стороне нити, но движения их никогда не будут равными; наоборот, одно движение будет находиться в таком отношении с другим, в каком один вес будет относиться к другому, но обратном. Например, скажем, что одна из сторон нити, поддерживаемая одним блоком, будет *ms*, другая сторона будет *mc*; я говорю: если малый вес опускается, сгибая веревку *fm* до тех пор, пока груз не поднимется, он произведет все движение, подобное *ab*, и отношение, которое будет существовать между *na* и *ab*, окажется тем же, что между *s* и весом *c*. И это ясно из приведенной выше пропорциональности движения. Обрати внимание на то, что окружность (дуга) *nbd* изображает постоянно истинную длину нити *nm*, а остальное, выходящее за эту окружность (дугу), есть вся нить, недостающая в стороне *ms*, и таково будет постоянно движение, производимое грузом *s*, если нить не удлиняется, каковое явление выходит за пределы правила и есть случайность (cosa accidentale), и общий закон для него не может быть дан...» (C. A. 104 r. b.).

В данной записи мы, очевидно, находим отражение эксперимента, близкого к описанному выше. Правый конец нити держится в руке или укреплен наглухо, и вертикальная нить служит опять указанием положения центрального груза. При этом Леонардо констатирует, во-первых, то, что груз c, даже будучи меньше груза s, может поднимать его, что правильно, когда угол mcf больше 120°. Затем высказывается положение, что длина провеса нити, равная nc, так относится к подъему груза s, как самый груз s относится к грузу c, т. е. если мы пристроим к чертежу Леонардо пунктиром параллелограм сил, то получим:

$$\frac{nc}{dc} = \frac{nc}{mc - mn} = \frac{lc}{ac}.$$

Утверждение это неправильно, но оно свидетельствует о страстном стремлении, характерном для Леонардо, никогда не удовлетворявшегося достигнутым, найти какие-то зависимости, которые бы связывали между собой отдельные элементы упорно разрешаемой им задачи. При углах прогиба, близких к 60°, Леонардо вряд ли мог заметить ошибочность своего искусственного закона. Но увеличивая угол или же груз, привешенный в середине нити, он легко мог обнаружить эту ошибочность. Он наверное ее и обнаружил, так как в близкой, повидимому, по времени записи того же «Атлантического кодекса» уже ни словом не упоминается вышеприведенный закон.

Запись эта гласит:

«Если нить, которая поперечно тянет подвешенное тело, будет соединена с верхним концом нити, поддерживающей вес под прямым углом, то ты найдешь, что вес движущий будет находиться в таком отношении с весом движимым, в каком находятся между собой ширина между перпендикулярами пределов движения и длина нити, поддерживающей вес.

«an (рис. 133) есть поддерживающая нить; nf есть нить, которая тянет вес в поперечном направлении; n — прямой угол, образующийся в месте соединения двух нитей.

«Итак, я нахожу, что груз, имевшийся в b, весом 1, перетянут в n, и что перпендикуляры пределов движения b и n, т. е.

ab и *cn*, отстоят друг от друга на меру, помещающуюся 4 раза в поддерживающей вес нити, т. е. *an*, а следовательно, движущий вес 1 будет 4 раза помещаться в весе *n*, движимом им.

«Причина этого та, что, когда груз укреплен на нити *ab* (рис. 134), весь вес *b* находится в *a*, *f* же не чувствует ничего; когда же груз будет в *da*, весь вес будет в *d*, и *a* будет совершенно ли-

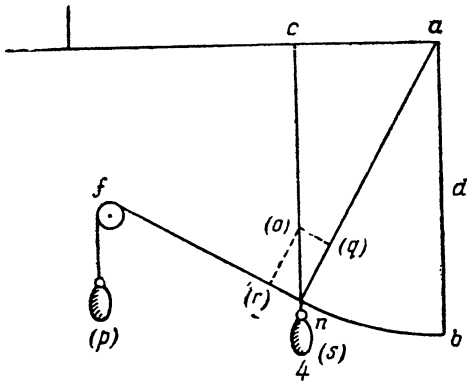


Рис. 133

шено его. Мы имеем, что каждая середина равно участвует в равных коцнах, *m* же находится на середине линии *ac*; и если, когда груз был в *b*, *a* чувствовало его полностью, то так же поступает *d*, когда вес находится в *c*; когда же он находится в середине, то вес поддерживает *r*, каковое находится перпендикулярно над четвертью движения, следовательно, четверть веса *b* будет весом, который груз *b* будет передавать в *r*» (C. A. 268 v. b.).

В данной записи отражен, очевидно, следующий этап опытов Леонардо, дающий вполне правильный результат. Нить опять одним своим концом укреплена неподвижно, другой же натягивается грузиком, перекинутым через шкив. Нить нагружена определенным весом, в данном случае равным 4. Затем к концу нити, перекинутой через шкив, прикрепляется также определенный грузик, в данном случае 1, причем шкив помещается так, чтобы угол между двумя ветвями нити был равен 90°. Проверя ряд опытов на такой установке, меняя гру-

зики на свободном конце нити и пытаясь установить какое-нибудь постоянное соотношение между отдельными величинами с которыми он оперирует, Леонардо и приходит к следующему утверждению: при прямом угле n груз, подвешенный в середине нити, будет так относиться к грузу, подвешенному на свободном конце ее, как расстояние между точкой подвеса нити и основанием перпендикуляра из центра тяжести тела на горизонталь относится к длине нити. Перпендикуляр этот в данном, как и в предыдущих опытах, по всей вероятности, изображался вспомогательной вертикальной линией, имеющей продольное перемещение.

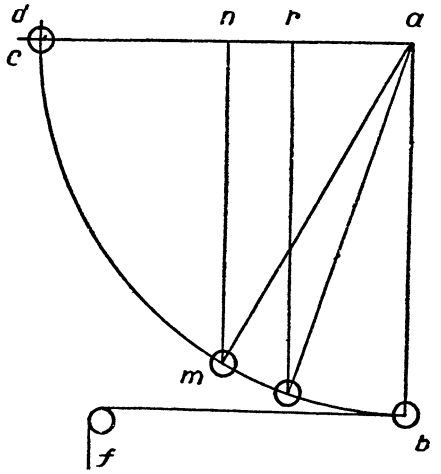


Рис. 134

Итак, если мы добавим в чертеже Леонардо (рис. 133) буквы s и p и обозначим ими грузы в середине и в конце нити, то получим при $\angle n = 90° - \frac{\text{вес } s}{\text{вес } p} = \frac{an}{ca}$; это правильно, так как, разложив силу тяжести груза s на две взаимно перпендикулярные составляющие по направлениям nf и na, мы получим из подобия прямоугольных треугольников $\Delta\ can$ и $\Delta\ orn$, $\frac{on}{nr} = \frac{an}{ca}$, что и требовалось доказать.

Мы не можем быть уверены в том, что Леонардо смог сам отличить приведенное правильное решение от двух вышеизложенных неправильных. Но, повидимому, он все же придавал данному месту особое значение, так как только в нем он не ограничивается формулировкой обязательной закономерности, но дает и нечто вроде доказательства ее. В этом обосновании он,

как обычно, не идет по пути строгого геометрического доказательства; он и не мог его дать, не умея построить параллелограм сил, но он применяет рассуждение, которое неоднократно применял при рассмотрении разложения или сложения сил или движения (например, при рассмотрении отражения при ударе, см. стр. 541). Он рассматривает два предельных случая, при одном из которых вес будет равен нулю, при другом равен весу s; отсюда он заключает, что так как s и ab остаются постоянными, то по мере роста ca от нуля до ab вес P в такой же мере растет от нуля до величины s; следовательно, когда ca есть четверть ab, то и вес p есть четверть веса s и т. д.

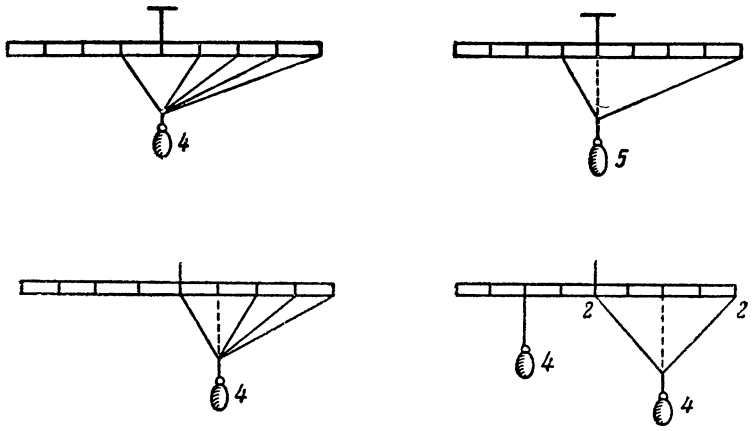


Рис. 135

В этом рассуждении, составляющем часть приведенного выше отрывка, ничего не говорится о необходимости для угла n быть прямым. А именно эта необходимость, чего, возможно, не сознавал Леонардо, является в данном случае основной и наиболее важной. Только введя в круг величин, которыми он оперирует угол между ветвями нити, Леонардо мог и должен был притти к правильному результату.

Нетрудно, однако, убедиться в том, что правильный результат, полученный в последней из приведенных нами записей, даже если Леонардо выделял его из ряда других неправильных результатов, имел, слишком частный, единичный характер что-

бы на нем можно было основываться. И действительно, в начале «Кодекса Арундель», датированном 1508 г., мы имеем на двенадцати первых страницах попытку пересмотреть вопрос о распределении веса между двумя поддерживающими нитями. Место это является единственным образцом сводной трактовки одного вопроса на ряде страниц в дошедшем до нас научном наследии Леонардо. Именно поэтому записи первых листов «Кодекса Арундель» представляют для нас особый интерес, несмотря на что, мы все же принуждены будем, для краткости, не полностью привести и даже не полностью пересказать эти листы.

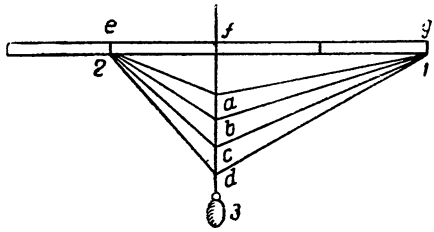


Рис. 136

Начиная с рассмотрения поведения груза, подвешенного на двух нитях на плечах равноплечих весов, он дает четыре рисунка и под ними чрезвычайно краткий текст:

«Груз, подвешенный к плечу весов на двойной нити (рис. 135), будет всегда иметь свой подвес, который или целиком или частично будет потенциальным подвесом» (Ar. 1 r.).

В этом утверждении заключается правильная констатация того, что для равновесия весов решающим является перпендикуляр на плечо, восстановленный из центра тяжести груза, подвешенного на двух нитях. Ни в какой мере не доказывая это утверждение, очевидно полученное экспериментально, и помечая на концах нитей нагрузки, пропорциональные расстояниям до вертикали из центра тяжести, в соответствии со своей изложенной выше неправильной теорией, Леонардо обращается на следующей странице к детальному рассмотрению этого же вопроса, надеясь, очевидно, найти обоснование выставленного им положения.

«По 4-й 9-го здесь (рис. 136) распределение естественной тяжести не изменяется при изменении больших или меньших

углов, образуемых нитями в их соединении с грузом, но изменяется только приобретаемая тяжесть, увеличивающаяся с увеличением угла, образуемого нитями.

«По 6-й 9-го груз 3 (рис. 137) не распределяется на реальные плечи весов в той пропорции, в какой находятся эти плечи, но в той пропорции, которую имеют между собой потенциальные плечи.

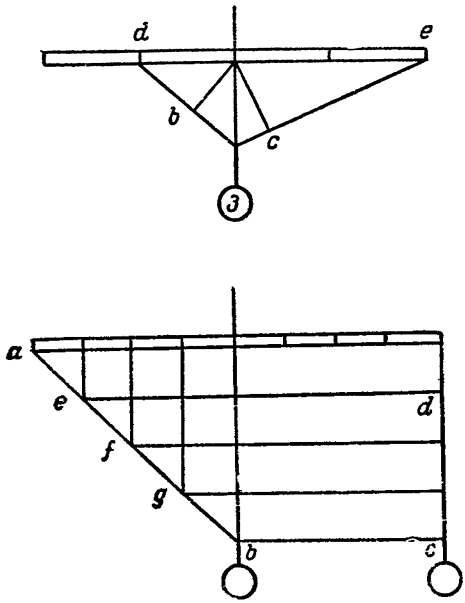


Рис. 137

«В этом примере изменен только естественный вес, приобретаемый же вес остается неизменным, если не изменяется наклонность нити *bc*» (Ar. 1 v.).

В первом абзаце этой записи Леонардо впервые в данной связи вводит понятие приобретаемого веса — «gravitas secundum situm», введенное, как мы помним, Иорданом Неморарием и привлекавшееся Леонардо не раз при рассмотрении равновесия простых весов, равновесия на наклонных плоскостях и т. п. Как и в других случаях, понятие «gravitas secundum situm», само по себе довольно неопределенное, в данном случае обозначает силу, действующую в условиях данной задачи; в современной терминологии это — составляющая силы тяжести подвешенного груза, действующая в направлении нитей. Утверждение же первого абзаца правильно констатирует, что при том же весе груза и при тех же расстояниях точек подвеса до вертикали из центра тяжести груза бóльшие углы прогиба дают большее натяжение нити.

При этом цифры, поставленные в точках укрепления концов нити, показывают, что, по мнению Леонардо, естественный вес распределяется пропорционально расстояниям этих точек до вертикали, т. е. независимо от угла, образуемого нитью, что также правильно. Таким образом, утверждение первого абзаца и первого рисунка может быть расшифровано так: естественный вес груза, подвешенного на нити, разделяется на две части, обратно пропорциональные расстояниям от вертикали до точек укрепления нитей; но к этому естественному весу прибавляется еще некоторая добавка, величина которой зависит от величины угла, образуемого нитью, и растет вместе с ним. Оба эти утверждения, как мы уже говорили, хотя и достаточно неуклюжи, но правильны.

Второй и третий абзацы записи как бы дополняют и углубляют утверждения первого абзаца. Действительно, второй абзац уже определенно констатирует, что окончательный вес по положению груза, подвешенного на нити, разделяется между концами нити обратно пропорционально потенциальным плечам или перпендикулярам из пересечения вертикали со стержнем на направления нитей.

Это утверждение также (как легко убедиться) совершенно правильно, оно опять-таки приводит к учету угла, образуемого направлениями ветвей нити и определяющего собой натяжение этих ветвей.

Наконец, третий абзац констатирует как бы следствие из предшествующего, что приобретаемый вес каждого данного естественного груза не изменяется, когда этот груз укреплен на нити с определенным наклоном, если при этом не изменяется угол этого наклона.

Третий лист кодекса вводит весьма характерный вспомогательный прием, пользование каковым мы подразумеваем в доказательстве закона рычага, данном Альберти:

«Для того чтобы в таких расчетах иметь дело с целыми числами, всегда нужно брать величины весов равными числу частей, на которые разделены плечи весов, на каковые ты их хочешь подвесить, и разделить на равные части отношения весов и плеч

и затем переменить местами отношения; и так ты сделаешь с каждым грузом, и будет хорошо» (Ar. 3 r.).

После разъяснения технического приема уравнения общего числа единиц длины на плечах весов и общего числа единиц веса в грузе, следует пример, демонстрирующий изложенный нами выше способ разделения естественного веса груза между двумя концами нити; затем делается следующая характерная оговорка:

«Рычаг плеча *db* (рис. 138) и плеча *bf* осуществляется линией *de* и линией *fe*, и если бы эти плечи были сделаны из вещества, которое бы не сгибалось, то привешенный груз 8 разделялся

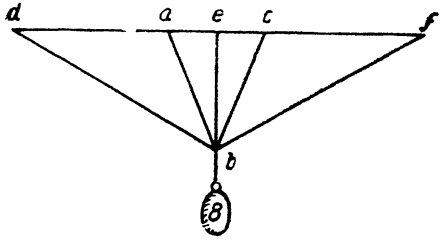


Рис. 138

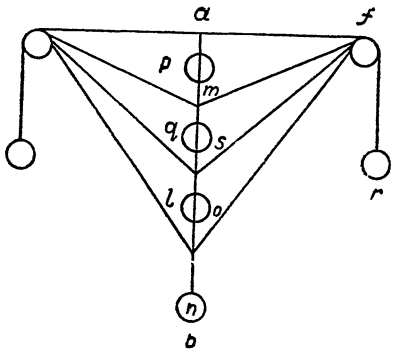


Рис. 139

бы на 2 равные части и из них 4 чувствовало бы *ed* и 4— *ef*, но так как это нить, то она подчиняется закону 4-ой 9-го» (Ar. 3 v.).

Здесь Леонардо уже четко отмечает невозможность безоговорочно сводить вопросы гибкой нити к жестким рычагам.

Следующая запись той же страницы окончательно устанавливает зависимость натяжения нитей от образуемого ими угла.

«Груз, укрепленный в углу нити, будет передавать тем больший вес нити, чем больше будет этот угол.

«То тело будет оказываться более тяжелым, которое более удалено от центральной линии укрепления своей опоры.

«Так здесь (рис. 139) грузы *p*, *q*, *l*, *n*, укрепленные в углах *a*, *m*, *s*, *o*. Грузы эти расположены, как указано выше, т. е. они

одинаково удалены от центральной линии своего укрепления, но, несмотря на это, они не равны потенциально (in potenzia) в такой же мере как они равны по естественной тяжести, и происходит это оттого, что углы нити, в которых они укреплены, не одинаковы по величине» (Ar. 3 v.).

После этой констатации, как бы развертывающей краткое утверждение первого абзаца первой страницы, дается подробное изложение второго абзаца этой же страницы, ответ на коренной вопрос: как же распределяется «по положению» вес груза, подвешенного на нити?

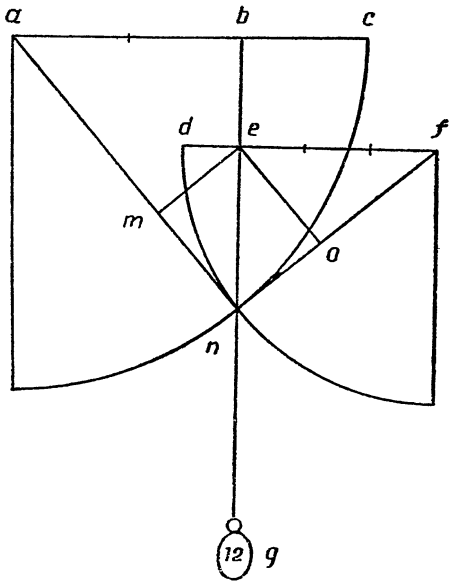


Рис. 140

«Здесь разыскивается, какую часть веса 4 (рис. 140) чувствует нить *an* и какую — нить *fn*.

«Найди число, делящееся на 3 и 4, например 12, на него раздели линию *ac* и также линию *df*, затем посмотри, что из них остается вне центральной линии *bg*, а именно части *ab* с одной стороны и *ef* — с другой, каковые являются реальными плечами весов. И ты скажешь, что *ab* есть половина двенадцати, т. е. 6, и *ef* есть $^3/_4$ двенадцати, т. е. 9. Итак, здесь при реальных плечах весов *ab* и *ef* потенциальные плечи будут *em* и *eo*» (Ar. 3 v.).

Высказанное здесь довольно пространно правильное утверждение не доказано, а только разъяснено построением. Очевидно, доказательство было не по силам Леонардо, так как требовало четкого представления о разложении сил, к которому он, как мы неоднократно видели, подходил вплотную, но в котором не мог вполне разобраться.

На следующей странице Леонардо напоминает о том, что кроме действия веса в каждой ветви нити надо принимать во внимание противодействие, вызываемое другой нитью[1]. Затем он переходит к новой попытке установления закона распределения веса груза между ветвями нити:

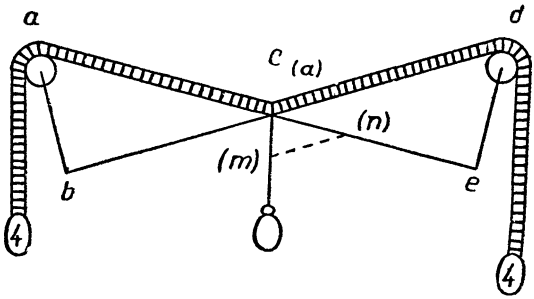


Рис. 141

«Здесь (рис. 141) полуреальный подвес *ace* встречается с потенциальным плечом *de* весов *dc* и *de*; плечо это в 4 раза короче плеча *dc* и, следовательно, в 4 раза сильнее, чем это плечо *dc*, почему необходимо нагружать его четырьмя такими весами, сопротивляющимися опусканию плеча *dc* с укрепленным на нем грузом. Из этого можно заключить, что 4 фунта в *a* сопротивляются опусканию 1 фунта, помещенного в *c*, так как нить *acd* натянута двумя равными силами (*p*), т. е. 4 с одной стороны и 4 с другой, каковые 8 фунтов являются приобретенной тяжестью, если такая нить будет только привязана своими концами без других противовесов. Затем имеется один фунт естественного веса, укрепленный в *c*. Итак, названная нить выдерживает 9 фунтов весу» (Ar. 4 r.).

Не занимаясь в данной связи разбором последних слов записи, мы в остальном ее содержании видим попытку уточнить

[1] Место это, несмотря на его интерес, мы не приводим, чтобы не затруднять читателя в нелегком следовании его по этапам развития мысли Леонардо.

двукратно высказанное ранее утверждение о зависимости между натяжением ветвей нити и потенциальными плечами. При этом Леонардо утверждает, что сила натяжения ветви так относится к весу груза, как длина потенциального плеча *de* относится к длине реального плеча *cd*, т. е. если добавить к чертежу пунктиром линию *mn*, изображающую составляющую силы тяжести груза, действующую по направлению правой ветви нити, то утверждение Леонардо гласит,что: $\frac{cd}{de} = \frac{mn}{cm}$.

Так как $\frac{cd}{de} = \frac{1}{\sin\alpha}$, а $\frac{mn}{cm} = \frac{\sin\frac{\alpha}{2}}{\sin\alpha}$, то утверждение это в общей форме неправильно. Оно близко к истине, когда $\frac{\alpha}{2}$ близко к 90° , т. е. когда угол, образуемый нитью, весьма велик: при малых же величинах угла α оно значительно отличается от действительности.

Как из характера доказательства, так и из характера рисунка, объясняющего его, с несомненностью можно утверждать, что установленный выше неправильный закон выведен Леонардо из опыта. Действительно, когда $\frac{cd}{ce} = \frac{1}{4}$, угол $\frac{\alpha}{2}$ будет равен, примерно, 82°, и практически натяжение нити будет почти точно в четыре раза больше величины груза *c*. Получив такой результат и установив ранее, что натяжение зависит от потенциального плеча, Леонардо строит свой рычаг *cde* с реальным плечом *cd* и потенциальным *de*, которому фактически ничего не соответствует.

Однако дальнейшее экспериментирование должно было показать Леонардо ошибочность его утверждения, и в дальнейших листах кодекса он старается подойти к вопросу иначе.

«Здесь (рис. 142) естественный вес есть 2 и всегда так распределен, как этот, поровну между своими опорами *ab* и *ac*. Затем прибавляется к каждой из этих опор приобретенный вес, который должна принять нить, тянущая этот груз вне его перпендикуляра. И этот приобретенный вес будет настолько больше

или меньше, насколько естественный вес будет больше или меньше вытянут вне названного перпендикуляра. Кроме того, прибавляется третья сила (*p*), имеющая также естественную тяжесть. Это тяжесть противоположного противовеса, который постоянно должен быть равен своему противоположному, даже если бы он не существовал в действии (in atto) и нить была бы только укреплена жесткой связью за свои концы к чему-нибудь; следовательно, надлежит считать, что здесь существует сила (*p*) сопротивления, равная весу...

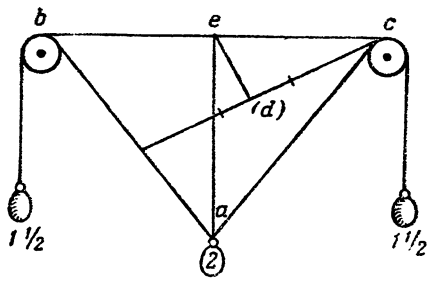


Рис. 142

«Пусть будет нить *bac*, поддерживающая в углу *a* груз 2, каковое 2 является естественным весом, и этот вес, будучи поддержан двумя нитями, по необходимости распределяется поровну между каждой из них, отчего каждая нить испытывает один фунт. Затем прибавляется к каждой приобретенный вес, рождающийся от веса 2, оттянутого во вне направления своего перпендикуляра. Если при данном расположении вес оттянут под середину линии *bc* и встречается с ней в точке *e*, эта нить *ba* нагружается половиной той величины, которую поддерживала *ac*, когда была перпендикулярной, откуда происходит, что эта нить *ba* поддерживает полтора фунта. И то же делает нить *ac*. Остается, что нить *ba* с одной стороны поддерживает вес *a*, с другой — противовес, дающие вместе 3 фунта» (Ar. 4 v.).

Последний абзац базируется на разобранном нами выше (см. стр. 495) мнении Леонардо о необходимости суммирования действия и противодействия. Основное же его содержание сводится, повидимому, к тому, что добавка веса по положению равна такой доле естественного веса, падающего на данную ветвь нити (хотя в тексте говорится о всем весе), какую часть расстояния между двумя подвесами составляет расстояние между вертика-

лью из центра тяжести груза и противоположным подвесом, т. е. натяжение данной ветви нити $P = \frac{Q}{2} + s$, где s определяется из равенства $\frac{2s}{Q} = \frac{ec}{bc}$, причем Q — вес груза.

Из этого утверждения, однако, следует, что натяжение нити не зависит от угла, образуемого нитью, что противоречит всем вышеприведенным соображениям. Очевидно, Леонардо, оперируя с углом нити, близким к прямому, при котором приведенная формула действительно примерно правильна, пытается сформулировать по-новому закон натяжения нити. Но он впадает в противоречие с тем, что говорил раньше, и, наверное, скоро замечает из опыта неприемлемость этой новой формулировки. На это указывает уже и то построение, которое он добавочно дает на чертеже, опуская перпендикуляр на направление нити и рассматривая, повидимому, прямоугольный треугольник *ecd*, соотношение сторон которого и должно было привести его к правильному решению. На следующем листе (5v.) он в нескольких других выражениях повторяет рассуждение листа 268 v. b. «Атлантического кодекса», рассмотренного нами выше, для случая, при котором нити образуют прямой угол, т. е. выправляет ошибку вышеприведенного рассуждения, не принимающего во внимание угол.

Наконец, на следующем листе Леонардо рассматривает соотношения сторон прямоугольного треугольника, определяющего собой угол прогиба а следовательно, и натяжение ветвей нити.

«Опора (рис. 143) полностью нагружается соединенным с нею весом, опускающимся по прямой линии на этот вес, согласно тому, что сказано на полях противолежащей страницы, и при таких расчетах весов надлежит иметь дело с плечами 2 *r* и 2-4. Рычаг 2 *r* кончается в соединении под прямым углом с подвесом *ar*, противорычаг же 2-4 кончается в соединении под прямым углом с подвесом 4 и 4, т. е. подвесом веса» (Ar. 6 r.).

Утверждение, заключающееся в приведенных словах, совершенно правильно и дает, наконец, вполне соответствующее

действительности и общее решение для случая подвеса груза в середине между точками укрепления, расположенными на одной высоте. Действительно, если добавить в чертеже Леонардо, как мы делали неоднократно, пунктирную линию mn, мы получим $\frac{ns}{ms} = \frac{\sin\frac{\alpha}{2}}{\sin\alpha} = \frac{1}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$; из прямоугольного же треугольника $a2r$ имеем $\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{r2}{a2}$, следовательно, $\frac{ns}{ms} = \frac{a2}{2r2}$, а $\frac{a2}{2} = 2\text{-}4$, и значит $\frac{ns}{ms} = \frac{2\text{-}4}{2r}$. Это и утверждает Леонардо, предлагающие для определения натяжения ветви нити рассматривать рычаг, одно из плеч которого равно 2-4, причем на нем подвешен данный груз, а второе—2 r; на последнем подвешен искомый груз, который может быть определен из этой пропорции.

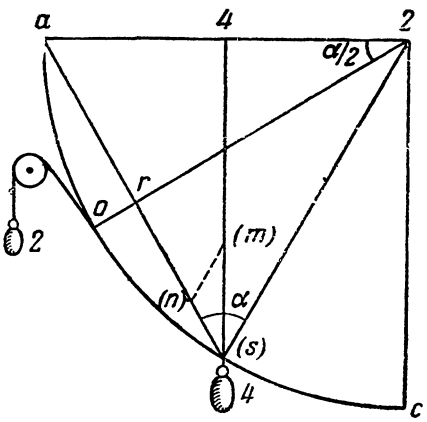


Рис. 143

Приведенная запись не только дает правильное решение вопроса, над которым столь долго и упорно бился Леонардо, но позволяет с несомненностью выяснить, как Леонардо пришел к этому решению.

Действительно, имеющееся на чертеже вспомогательное построение показывает, что рассматриваемый случай сначала сводится к уже получившему правильное решение случаю с прямым углом, образуемым нитью. Для этого случая, как мы помним, было доказано, что $\frac{2\cdot4}{2s} = \frac{ns}{ms}$, но при прямом угле α $2\text{-}4 = \frac{2s}{2}$ или $\frac{2o}{2}$. Когда же угол α уменьшается, то уменьша-

ется и 2 o, причем легко заметить на опыте, что ns, т. е. натяжение нити, увеличивается. Следовательно, можно сделать предположение, что пропорция $\frac{2 \cdot 4}{2r} = \frac{ns}{ms}$ приобретает для острого угла такой вид: $\frac{2 \cdot 4}{2r} = \frac{ns}{ms}$, и можно построить рычаг с плечами $2 \cdot 4$ и $2r$.

Таким образом, и в данном случае, как в ряде предыдущих, Леонардо продвигается вперед ощупью: он обобщает результаты, получаемые из данного опыта, и заключает подмеченную им тенденцию в форму привычной ему пропорциональности, которая потом осмысляется как частный случай закона рычага и затем опять проверяется на ряде следующих опытов. При таком способе неизбежны ошибки, неизбежно выведение неправильных законов, часть которых мы разобрали выше. Но, с другой стороны, контрольная инстанция опыта неукоснительно должна в конце концов указать на правильный путь в тех случаях, когда все понятия, связываемые данной закономерностью, допускают более или менее точное измерение средствами, имеющимися в распоряжении Леонардо.

Добившись правильного и общего решения, Леонардо тут же показывает применимость его для различных частных случаев как при острых, так и при тупых углах α, образуемых нитью.

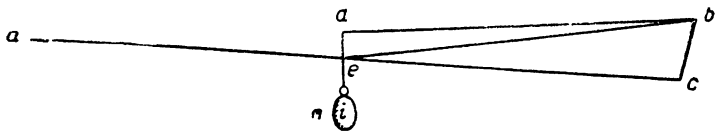


Рис. 144

«Здесь (рис. 144) потенциальный рычаг db в шесть раз больше своего потенциального противорычага bc, из чего следует, что 1 фунт, помещенный на подвесе, равен по силе (p) 6 фунтам, помещенным в полуреальном подвесе ca, и еще 6 фунтов силы (p) прибавляет b. Итак, нить aeb, при помощи фунта, помещенного в an, испытывает силу в 12 фунтов...

«Большее плечо весов *от* и *оп* (рис. 145) никогда не будет вдвое больше одно другого, если их подвесы *па* и *тр* не будут параллельны, что невозможно, так как эти подвесы, соединяясь, образуют угол *р*, и если бы эти линии не соприкасались, тогда угол уничтожился бы вместе с плечами этих весов. По тому, что сказано в предпоследнем, плечо *оп* превышает меньше, чем в два раза, почему подвес его испытывает больше половины веса *р*; это «больше» будет находиться в таком отношении со всем весом *р*, какое имеет часть, не хватающая *оп* для того, чтобы стать вдвое большим, чем *от* со всем плечом. И все это «больше» есть приобретаемый вес» (Ar. 6 r.).

В противоположность более раннему утверждению Леонардо, как бы ни был мал угол, образуемый нитью, ветви ее всегда испытывают натяжение больше половины веса; этот избыток будет так относиться к подвешенному грузу, как $\frac{ox-on}{on}$. Иными словами, так как натяжение ветви будет $\frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$, то прибавка к половине веса подвешенного груза, даваемая положением, есть $\frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}}-\frac{P}{2}$. Если же допустить, что в текст

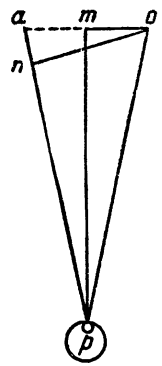


Рис. 145

Леонардо вкралась описка (их число в рукописях Леонардо значительно) и что он имел в виду отношение этой прибавки к весу $\frac{P}{2}$, а не к весу P, то мы получим $\frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}}-1=\frac{oa-on}{on}$, или $\frac{on}{\cos\frac{\alpha}{2}}-on=oa-on$. Подставляя из прямоугольного треугольника aon $\frac{on}{\cos\frac{\alpha}{2}}=oa$, получим

oa—on=oa—on. Это показывает, что утверждение Леонардо верно и в этой своей части. Правильность последнего утверждения доказывает, что Леонардо, придя через ряд заблуждений и ошибок к решению долго занимавшей его задачи, уже может при помощи его решать задачи более конкретные. В частности, он дает правильное объяснение явлению, отмеченному, как мы помним, уже в ранних записях (см. стр. 655), что никакими сколь угодно большими грузами на концах нити нельзя выпрямить ее, если она прогнута грузом, подвешенным в середине... Лист 6 v., в котором доказывается это утверждение, как бы суммирует все вышесказанное. Он гласит:

«Рычаг и потенциальный противорычаг (измерители веса, поддерживаемого углом нити) никогда не будут вдвое больше один другого, так как, находясь в положении, при котором один вдвое больше другого, они немедленно уничтожаются, и здесь кончается сообщество естественного веса с приобретаемым вместе с наименьшим углом из всех острых.

«Если бы было возможно выпрямить нить, растянутую поперек, и уничтожить последний, наибольший из тупых углов, создаваемых весом, поддерживаемым в середине этой нити, тогда сила (*p*) этой нити была бы бесконечной при поддержке малого веса и рычаг и противорычаг уничтожились бы, что невозможно, так как при таком положении нити ни одной силы нет без рычага.

«З а к л ю ч е н и е о в е с е, подвешенном в углу нити, и как он распределяется на каждую сторону этого угла.

«Невозможно, чтобы когда-либо под действием любой силы (*p*) нить, растянутая поперек, могла выпрямиться, и это тем более невозможно, если она будет иметь какой-нибудь вес. подвешенный в середине ее длины (рис. 146).

«Д о к а з а т е л ь с т в о. Пусть *dnb* — нить, растянута поперек, и *e* —вес, привешенный к ней. Здесь по 7-й «о равновесии» я построю потенциальный рычаг, плечами какового будут *ba* и *bc* и *cd* и *ae* — его полуреальные подвесы. Итак, я говорю, что для выпрямления нити *dnb* ее угол должен постоянно увеличиваться и рычаг *bc* уменьшаться, а противорычаг *ba* увеличиваться.

И так как этот рычаг делим до бесконечности, то необходимо было бы бесконечно увеличивать вес, для того чтобы уменьшить рычаг, каковой вес пришлось бы бесконечно увеличивать, если бы нить и его подвесы не порвались» (Ar. 6 v.).

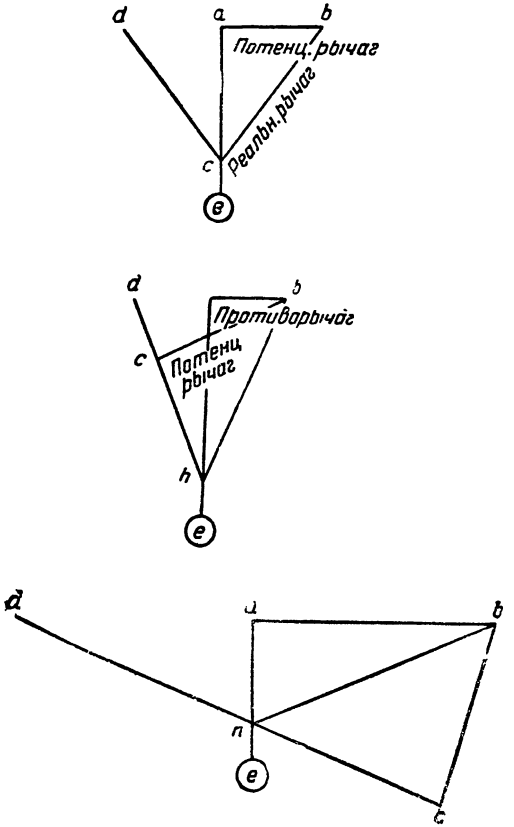


Рис. 146

Окончательно, казалось бы, разобравшись в простом случае подвеса груза, вертикаль из центра тяжести которого делит угол, образуемый нитью, пополам, Леонардо отнюдь не удовлетворяется этим. Он переходит к более сложному случаю, когда вертикаль эта не делит угла пополам, например, когда

концы нити укреплены на разных высотах. Весь следующий лист кодекса (7 v.) занят разрешением этой задачи.

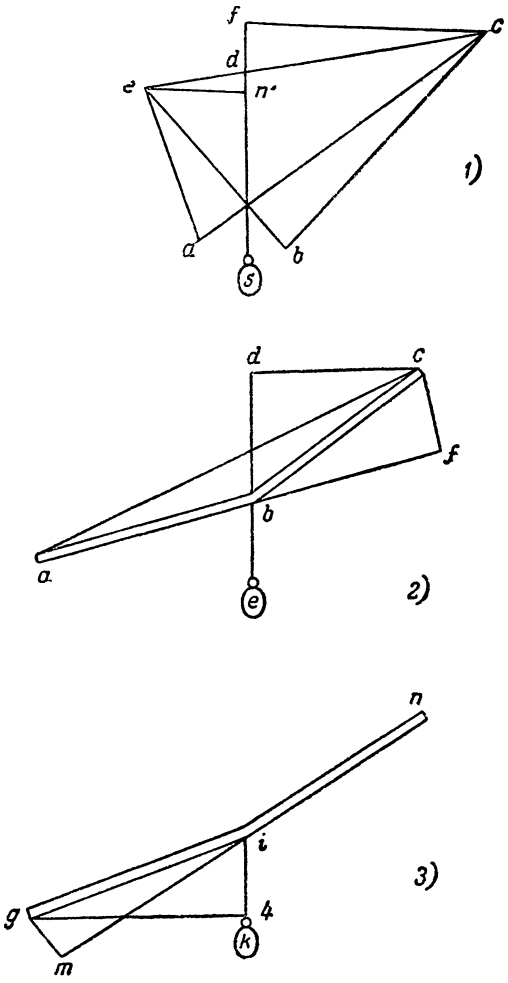


Рис. 147

Сначала Леонардо подходит к вопросу очень осторожно, расчленяя его на две части, а затем на конкретном примере иллюстрирует получаемое им общее правило.

«Здесь (рис. 147) имеется двое весов и одни из них имеют плечи *cf* и *cb*, плечи других — *en* и *ea* (фиг. 1), *abc* — нить, образующая угол (фиг. 2), *e* — вес, поддерживаемый этой нитью, *cd* — плечо весов, поддерживающее вес *e*, *cf* — противоположное плечо весов, где находится двигатель этого веса, т. е. *a*.

«*nig* — наклонная нить, поддерживающая в углу *i* (фиг. 3) вес *k*; *gi* — плечо весов, поддерживающее вес *k*, *gm* — второе плечо весов, где находится сопротивление веса *k*, т. е. *n*.

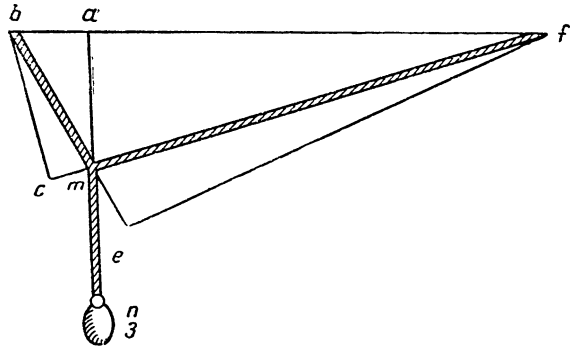


Рис. 148

«Обе эти фигуры есть одна и та же, но она рассчитана два раза, чтобы не запутывать глаз и один раз рассчитана с одной стороны и другой раз — с другой» (Ar. 7 v.).

Нетрудно понять, что Леонардо рассматривает каждую сторону отдельно; пользуясь установленным им раньше правилом, он находит, что натяжение ветвей нити так относится к весу груза, как длины перпендикуляров из точки подвеса противоположной ветви на вертикаль относятся к длине перпендикуляров из той же точки на направление данной ветви, т. е. (фиг. 1) $\frac{\text{вес в } e}{\text{вес } s} = \frac{fc}{cb}$ и $\frac{\text{вес в } c}{\text{вес } s} = \frac{en}{ea}$, что совершенно правильно и дальше иллюстрируется на следующем примере.

«Здесь (рис. 148) вес *n* поддержан двумя различными силами, т. е. *mf* и *mb*. Теперь мне нужно найти рычаг и потенциальный противорычаг этих двух сил *bm* и *fm*, из которых силе *b* будет дан рычаг *fe* и противорычаг *fa*. Рычагу *fc* будет дан подвес *eb*, к которому приложен двигатель *b*, и к противорычагу *fa* дан подвес *an*, поддерживающий вес *n*. Устроив равновесие между силой (*p*) и сопротивлением двигателя и веса, надлежит посмотреть, каково отношение между рычагом *fe* и противорычагом *fa*, каковое *fa* составляет $^{21}/_{22}$ противорычага *fe*. Следовательно, *b* чувствует 22, если вес *n* будет 21. Следует второе расположение рычага и противорычага *bc* и *ba*, с которым соединен подвес *cf*, соединяющийся с двигателем *f*, и подвес *an*, соединяющийся с весом *n*. Теперь нужно посмотреть, каково отношение между *bc* — рычагом и *ba* — противорычагом. Противорычаг составляет треть рычага. Следовательно, один фунт силы в *f* сопротивляется трем веса в *ba*, и $^{21}/_{22}$ трех фунтов в *n*, помещенные в *b*, сопротивляются 22-м, помещенным в *ba*.

«Окончено правило расчета неравных плеч нити, расположенных под углом» (Ar. 7 v.).

Последняя фраза создает впечатление, что задача окончательно разрешена, правило расчета плеч найдено и можно переходить к следующим вопросам. Но достаточно перевернуть два листа того же «Кодекса Арундель», и оказывается, что это далеко не так. С одной стороны, предложенное правило было, очевидно, слишком сложным и замысловатым для Леонардо-техника; с другой же, мы не должны забывать, что имеем дело с автором «Тайной вечери» и «Джиоконды», творцом, никогда не довольным своим произведением и всегда стремящимся достигнуть еще лучшего.

Действительно, начиная с листа 9 г., Леонардо, уже стоя на твердой почве полученных им результатов, приступает к разработке нового способа подсчета натяжений нити.

«Здесь доказывается, почему в таком отношении находятся части веса, подвешенного в углу между двумя сторонами треугольника, которые чувствуют 2 эти стороны, в каком находится одна из этих сторон со своей высотой (рис. 149). Причина

того, почему стороны воздействуют так, что их высоты испытывают влияние веса, привешенного к углу таким образом, что линия *fc* равна этой стороне по определению окружности. И так же можно было сказать, что таково отношение между частью *bc* и всем *fc*, каково оно между весом, укрепленным в углу, в котором сходятся эти стороны...

«Но в верхнем соединении двух сторон в точке *f* приобретаемый вес кончается и остается только естественный вес, и когда концы этих сторон начинают разделяться и двигаться круговым движением, тогда они начинают опускаться и тогда рождается приобретаемый вес, называемый силой, каковая хотя и не весит, но исполняет роль веса и приобретает тем бо́льшую величину, насколько концы сторон опускаются и мера опускания находится на перпендикулярной линии *fc*, и потому эта воображаемая линия изменяется при помощи пересечения с прямой, простирающейся от одного конца высоты до другого конца другой высоты. И в то же время с этой линией кончается треугольник, который своим основанием режет линию *fc*, и то, что внутри его остается от этой линии, называется высотой этого треугольника и является мерой того, насколько опущены края обеих сторон. И поэтому ею измеряется вес, лежащий на названных сторонах, каковой находится в таком же соотношении с естественным весом *c*, в каком находится эта высота *cb* со всей высотой *fc*, или, можно сказать, с одной из сторон, что то же самое» (Ar. 9 r.).

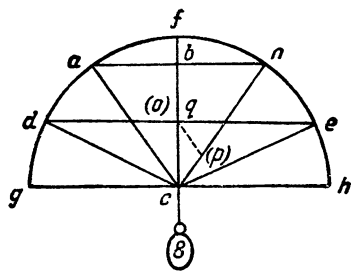


Рис. 149

Несомненно, что в конце данной записи Леонардо пропустил (как он делает нередко) упоминание о том, что высота *cb* со стороной *nc* обратно, а не прямо пропорциональны отношению нагрузки на нити к естественному весу, как он говорит в начале записи. Под натяжением же нити Леонардо понимает

в данном случае «вес, лежащий на названных сторонах», т. е. натяжение двух нитей, вместе взятых. В соответствии с этим даваемая им формула будет иметь такой вид:

$$\frac{2 \cdot p}{co} = \frac{cn}{cb}, \quad \frac{2\sin\frac{\alpha}{2}}{\sin\alpha} = \frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}}, \text{ или же: } \frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}},$$

т. е. оказывается совершенно правильной.

Что данное нами толкование приведенной записи точно передает результат Леонардо, доказывают следующие две страницы кодекса, вполне ясные и не требующие особых комментариев:

«Приобретаемый вес создается естественным весом.

«Настолько возрастает приобретаемый вес в сторонах подвешенной под углом нити, насколько уменьшается высота данного угла, в котором подвешен вес.

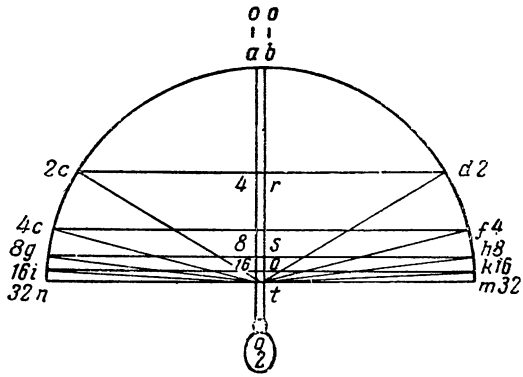


Рис. 150

«Пусть подвешенная под углом нить (рис. 150) будет *ctd* и высота ее угла будет *rt*, которая кончается в угле, в котором подвешен вес *o*.

«Вес *o*, бывший 2 для нитей, бывших равными своей высоте *at* и *bt*. При уменьшении этой высоты или перпендикуляра на

половину длины, когда концы нитей опустились в *c* и *d*, высота находится в *rt* — половине *at*, тогда вес 2, бывший в *ab*, делается 4 в *cd* и так далее, деля эту высоту последовательно пополам, каковое деление дает бесконечное уменьшение высоты, и, следовательно, оно должно было бы вызывать бесконечное умножение веса для сторон этой высоты» (Ar. 9 v.).

На следующей странице рассматривается более общий и сложный случай, когда высота не делится пополам:

«Груз, подвешенный в середине горизонтальной нити, образующей над собой угол. Пусть будет проведена прямая линия, своими концами упирающаяся в точку укрепления этой нити; итак, ты образуешь треугольник, высота которого будет находиться в таком отношении со своей стороной, в какой находится средний вес с весом, который чувствует точка укрепления этой нити.

«Так как высота *fD* (рис. 151) треугольника *bcD* равна $^7/_8$ своей стороны, то часть веса 1, поддерживаемого нитями, которую чувствуют две нити, будет $^9/_8$ и $^1/_7$ этой восьмой,[1] и следующая высота равна $^6/_8$ своей стороны, т. е. $^3/_4$; величина *d*, связанная с нитью, будет равна $^3/_4$ части веса, которую чувствуют обе нити. И 3-я высота равна $^5/_8$ своей стороны, и опять вес стороны будет $^8/_5$ веса высоты. И 4-я высота равна половине своей стороны, и вес стороны будет наполовину больше, чем вес высоты. И так постепенно можно до бесконечности делить эту высоту, и также бесконечным сделался бы вес, который бы прибавлялся к нитям, поддерживающим эту величину, если бы только они не порвались» (Ar. 10 r.).

В обеих вышеприведенных записях мы видим неоспоримые доказательства того, что Леонардо вполне овладел новым, упрощенным способом определения натяжения нити при равных углах с вертикалью. Следующая страница показывает, как от первого, более сложного способа, выведенного экспериментальным путем, он подошел ко второму, упрощенному способу.

---

[1] Имеется в виду $\frac{9}{8}+\frac{1\cdot1}{7\cdot8}=\frac{9}{8}+\frac{1}{56}=\frac{64}{56}$ т. е. $\frac{8}{7}$, что правильно.

Повидимому, он просто произвел ряд подсчетов по первому способу и затем подогнал формулу, дающую второй способ:

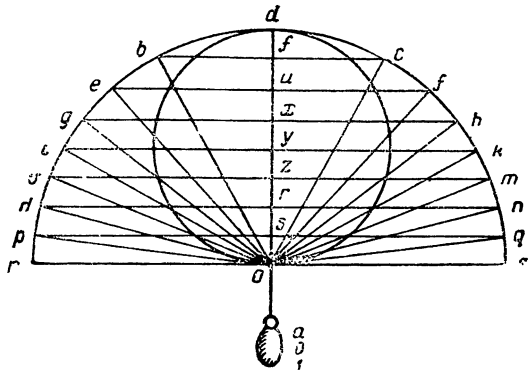


Рис. 151

«Здесь (рис. 152) доказывается, что отношение между высотой и ее стороной то же, каково оно между весом высоты и весом, который эта высота передает своим двум сторонам.

«То, что выше сказано, доказывается следующим образом. Так как от линии *bc* отрезается $^1/_4$ в *bh*, в *hc* от нее остается $^3/_4$. Из этого следует, что эти $^3/_4$ находятся в таком отношении со своим целым *bc*, в какой высота находится со своей стороной. Итак, сторона подобна всему перпендикуляру *bc*. Но то, что до сего сказано, еще не является доказательством. Доказывается же это при помощи весов *fh* и *fe*. Из этого следует, что 3 в *h* сопротивляется 2 в *e* и, следовательно, весы находятся в том же отношении, в каком были между собой плечи весов, т. е. $^2/_3$. Теперь, так как *bm* равно 4, а мы в этом втором примере приняли его равным 3 против 2 подвеса *ci*, то теперь в *m* мы имеем

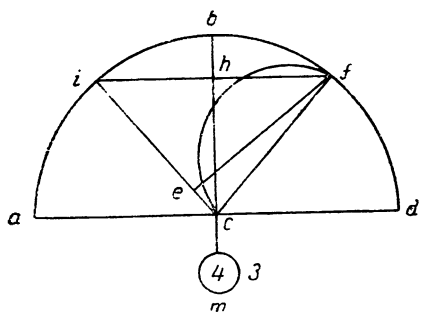


Рис. 152

3, а в *i* — 2, и это 2 есть $^2/_3$, что соответствует пропорции плеч этих весов. Итак, в *i* имеем $^2/_3$ веса *m*, равного 3. В этом примере применен вес, относящийся только к одной стороне, т. е. 2, и столько же нагружается на противоположную сторону, что дает 4; итак, мы сделали, что вес *m*, равный 3, есть $^3/_4$ веса, который чувствует обе стороны, и это сравнивается с первым, где высота была $^3/_4$ одной из двух сторон.

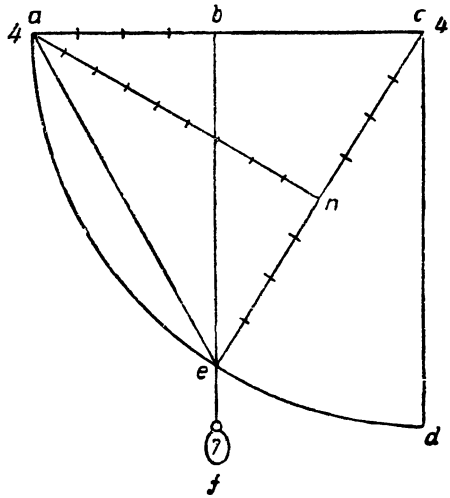


Рис. 153

«Полуокружность *fhc* строится на стороне *fc* только для того, чтобы найти внутри угол *fгc*, который получается из соединения под прямым углом рычага *fe* и его подвеса *ei*» (Ar. 10 v.).

Но не удовлетворившись и этим сведением второго способа к первому, Леонардо на следующей странице дает еще один вариант такого сведения:

«Здесь (рис. 153) высота *be* есть 7 и сторона *ce* есть 8. Следовательно, вес высоты, равный 7-ми, чувствуется как 8 своими двумя сторонами, из которых 4 приходится на каждую сторону. Следует второе доказательство.

«*ab* — противорычаг есть $^4/_7$ *an* — рычага. Следовательно, 4 сопротивления в *n* противодействует 7 опускания в *b*. И вот второе доказательство подтверждает верность первого, т. е. каждое из доказательств показывает, что сторона *ec* чувствует 4 в *c* из 7 поддерживаемых углом соединения обеих сторон *ae* и *ce*.

«В этом расположении нитей 7 (единиц) веса, помещенные в *e*, рождают единицу приобретаемого веса в двух сторонах» (Ar. 11 r.).

И эта запись, как предыдущая, показывает, что более простой способ дает численно такой же результат, как способ более сложный. Следовательно, если на нескольких примерах доказана идентичность результатов, получаемых обоими способами (а правильность результатов первого, более сложного опыта доказана), то, значит, и более простой способ будет давать всегда правильные результаты.

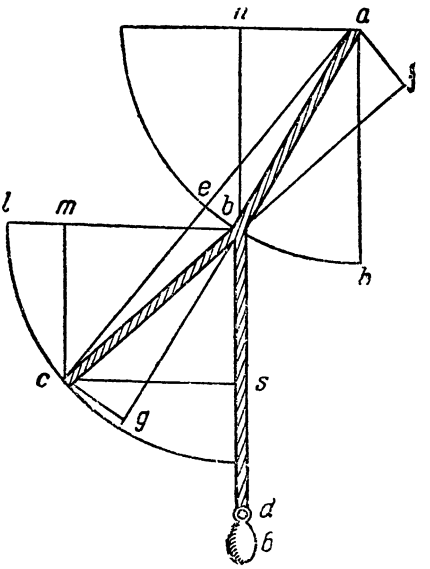


Рис. 154

Добившись полного усвоения способа определения натяжения нити с грузом, образующей равные углы с вертикалью, Леонардо не останавливается и на этом, а пытается применить тот же способ и для значительно более сложного случая неравных углов.

«Здесь (рис. 154) по пятой 7-го вес, приходящийся на нить *ab*, уменьшается на половину своего веса, как доказывает линия *hb* на расстоянии *ai*. Из этого следует, что вес 6 превращается в 3 в *b*, и так как рычаг *af* есть $^3/_5$ своего противорычага, из этого следует обратная пропорция, т. е. что вес *b*, привешенный к противорычагу *na*, превращается в 3 и вес рычага делается в 5 в *f*. Следовательно, 6 главного веса *d* чувствуется нитью *cb* как 5.

«Тяжесть 6 в *d*, которая по положению *b* превратилась в 3, чувствуется нитью *bc* как 2 и $^1/_4$, так как наклонность ее занимает расстояние *mb*, которое равно $^3/_4$ *cb*. Теперь, так как рычаг *cg* есть $^3/_7$ *cs* своего противорычага, вес *s* будет $^3/_7$ веса, который чувствует *g*. Так как вес *b* из 3 превратился в 2 и $^1/_4$ по отношению к нити *cb*, мы скажем, что 2 и $^1/_4$ увеличивается

по отношению к нити *ab* и в ней появляется сила (*p*), которая сопротивляется весу, от которого эти 2 и $^1/_4$ составляют $^3/_7$, т. е. весу в 5 и $^1/_4$. И вот вес 6, привешенный в *b*, превращается в своих двух опорах в 10 и $^1/_4$.[1] И если бы эти опоры *ab* и *ac* имели свои концы *c* и *a* (в оригинале ошибочно *d*) на равной высоте, то 6 в *d* превратилось бы в 36, так как высота *eb* помещается 6 раз в своей стороне *ab*» (Ar. 12 r.).

Все это довольно сложное рассуждение показывает, что Леонардо запутался в своих доводах и, применяя совершенно правильные отдельные положения и приемы, пришел к совершенно неправильному результату. Ошибка его заключается в том, что за несколько страниц до этого он, рассматривая во вспомогательном построении нить с концами, укрепленными на разных высотах, конечный вывод делает для нити с концами, укрепленными на одной высоте. В данном же случае, встречаясь с нитью, концы которой укреплены на разных высотах, он применяет не тот способ расчета, как для нити с концами на равной высоте, а значительно более усложненный. Он считает, что натяжение ветви нити равно не в с е м у грузу, помноженному на отношение перпендикуляра, опущенного из конца противоположной ветви на вертикаль, к перпендикуляру на продолжение данной нити, а части этого груза, причем эти части он определяет следующим образом. Правую часть он получает из отношения $\frac{x}{\text{вес в } d} = \frac{an}{ab}$, т. е. из предположения, что часть груза, нагружающая конец ветви, так относится ко всему грузу, как длина перпендикуляра, опущенного из точки укрепления этой ветви на вертикаль, относится к длине этой ветви. Левую же часть он получает из отношения $\frac{y}{\text{вес в } d - x} = \frac{mb}{cb}$, ибо полагает, что естественная часть груза $3 = s - x$ при опускании конца нити будет испытывать измене-

[1] Издатели Cod. Ar. почему-то считают, что здесь имеет место ошибка и поставлено $10\,^1/_4$ вместо правильных $10\,^1/_2$, однако $5 + 5\,^1/_4$ дает $10\,^1/_4$, так что никакой ошибки здесь, повидимому, нет.

ние «по положению». Таким образом, Леонардо дважды учитывает углы, образуемые нитью с вертикалью. Вследствие этого, вместо правильных формул: вес в c = вес в $d\,\frac{an}{af} = \frac{6\cdot 5}{3} = 10$ и вес в a = вес в $d\,\frac{cs}{cq} = \frac{6\cdot 7}{3} = 14$, что дает общий вес в 24, он получает вес в c = вес в $d\cdot\frac{an}{ab}\cdot\frac{an}{af} = 6\cdot\frac{1\cdot 5}{2\cdot 3} = 5$ и вес в $a = \left(\text{вес в } d - \text{вес в } d\,\frac{an}{ab}\right)\cdot\frac{mb}{cb}\cdot\frac{an}{af} = \left(6 - \frac{6\cdot 1}{2}\right)\cdot\frac{3}{4}\cdot\frac{7}{3} = \frac{21}{4} = 5\,{}^1/_4$, что дает общий вес в $10\,{}^1/_4$.

Из приведенного несомненно, что, желая подойти к более простому способу вычисления того случая, который он выше разбирал сложным способом совершенно правильно, Леонардо запутывается и попадает на путь не только еще более сложный, но и дающий неправильный результат.[1]

После листа 12, содержащего вышеразобранную запись, цельный кусок «Кодекса Арундель» обрывается и начинается обычная в леонардовых кодексах смесь. В ней к концу кодекса опять имеется несколько весьма интересных записей, относящихся к нашей теме. Однако, до их рассмотрения, мы должны упомянуть еще о ряде более или менее поздних записей других кодексов, которые повторяют, иногда несколько дополняя их, высказывания отдельных частей «Кодекса Арундель». Особенно много таких записей мы находим в кодексе «Е» — одном из позднейших в наследии Леонардо. Замечательно здесь то, что наряду с разными вариантами правильных решений, казалось бы твердо усвоенных, изредка встречаются и попытки вернуться к уже ранее отброшенным неправильным решениям. Очевидно, полной уверенности в том, что найденные методы являются единственно правильными, у Леонардо не было.

---

[1] Совершенно непонятно, как Марколонго в неоднократно цитированной нами работе, приводя разобранное выше место, характеризует его как «bell esempio» правильного метода, применяемого Леонардо; повидимому, он не заметил в рассуждении Леонардо грубой ошибки.

Из записей кодекса «Е» мы приведем только одну, показывающую, что Леонардо, как он это обычно делал, добившись более или менее совершенного разрешения того или иного вопроса, возвращается к той его постановке, с которой он начал свою работу. Мы видели, что в части наиболее ранних записей он пытался разрешить вопрос о провесе ненагруженной нити. К этому же вопросу он возвращается в конце кодекса «Е», применяя способ, найденный для определения натяжения нагруженной нити.

«Доказательство веса, который имеет изогнутая нить.

«Нить, искривленная при том, что концы ее укреплены на одной горизонтали, всегда описывает часть окружности, и центр ее тяжести будет всегда находиться в середине ее вещества (quantita).

«Линия потенциального (рычага?), которую имеет вес всей изогнутой нити, пряма и имеет начало в начале дуги в месте, в котором окружность отделяется от прямой линии, касательной к ней, а для того чтобы найти это начало, обратись к нижней фигуре (рис. 155) и заметь дугу нити *abc*, которая является частью окружности круга. По седьмой этой найди центр всей окружности, каковой и будет *h*, и из этого центра проведи прямую *ha* и будешь иметь полудиаметр этого круга, в конце которого проведешь перпендикуляр *an*; таким же образом ты поступишь с противоположным концом названной нити в линии *ce* и к ней построишь перпендикуляр *ea*, который и будет реальным рычагом по отношению к реальному противорычагу, к каковому присоединен подвес веса *dl*.

«Все те (части) фигуры, которые имеют двойные линии, должны пониматься как реальные члены, а те, которые имеют только простые линии, понимаются как потенциальные линии, и среди многих фигур есть (части) простые потенциальные, и простые реальные, и составные из реальных и потенциальных» (E. 62 r.)

В приведенной записи Леонардо уже не старается выяснить форму провеса нити, как он это делал вначале, а занимается проблемой натяжения ветвей нити под действием ее собствен-

ного веса, вытекающей из всех его работ позднего периода. При этом он принимает, что весь вес нити сосредоточен в середине ее провеса и что ветви ее, примерно, прямолинейны и сходятся к точке, в которой помещен этот вес. Это и сводит данную задачу к задаче натяжения ветвей нити с подвешенным грузом, а

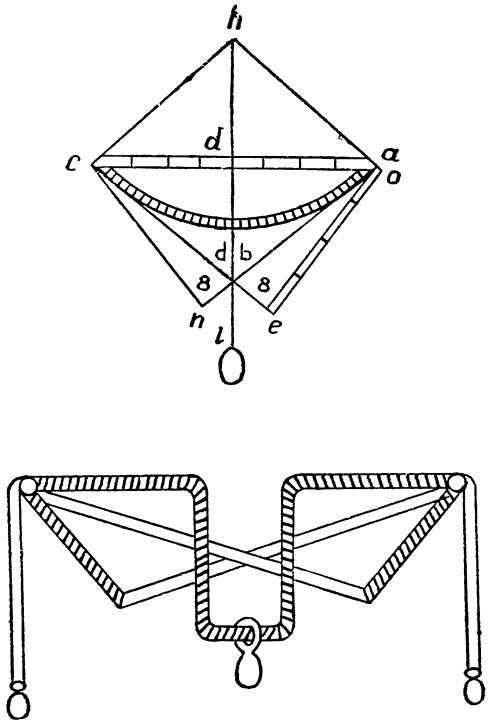


Рис. 155

она, как мы видели выше, легко разрешается Леонардо. Однако предположения Леонардо, что нить провисает по дуге окружности, что ветви нити могут быть приняты прямолинейными и что натяжение вследствие этого равно на всем протяжении данной ветви, неправильны. Фактически нить провисает по цепной линии, и натяжение каждой ее ветви изменяется обратно

пропорционально глубине провеса. Это обстоятельство делает неправильной формулу Леонардо, которая может быть расшифрована как $s = Q \cdot \frac{l}{2 \cdot l \cdot \cos \alpha} = \frac{Q}{2 \cos \alpha}$, где s — натяжение ветви, l — пролет (ca) и α — угол hca. Но тем не менее формула эта весьма замечательна, ибо она представляет первую попытку действительно научного разбора столь сложного вопроса, как провес нити под действием собственного веса.

Если последняя из рассмотренных записей показывает, что Леонардо, углубляясь в сравнительно абстрактные вопросы, отнюдь не забывает тех исходных положений, которые побудили его этими вопросами заниматься, то несколько страниц «Кодекса Арундель» демонстрируют то же самое с еще большей убедительностью. Действительно, мы нашли, что поводом, давшим толчок леонардовым занятиям над прогибом нити и натяжением ее концов, послужили работы его над конструированием сводов и арок. Именно с этих работ, связанных со строительными занятиями молодого инженера, начались механические штудии его — попытки определить (как он писал жюри конкурса на тамбур Миланского собора):

«Какова природа тяжести и каково стремление тяжести и каким образом тяжести должны быть сплетены, связаны вместе и соединены и какие действия рождают».

Легко могло случиться, что, поставив перед собой столь сложную задачу и погрузившись во все более абстрактные способы ее разрешения, Леонардо оторвался бы от той практической исходной цели, которая поставила перед ним эту задачу. Чтение ряда записей, приведенных нами выше, как будто подтверждает справедливость этого предположения. Однако записи конца «Кодекса Арундель» совершенно опровергают его. Леонардо был слишком техником. Даже погружаясь в наиболее отвлеченные рассуждения, он никогда не забывал о начальном импульсе своих теоретических исследований и, достигнув известной теоретической высоты, немедленно возвращался к технической проблеме. На листе 116 «Кодекса Арундель» мы находим следующую замечательную запись:

«Соединение рычага со своим противорычагом всегда бывает прямоугольным.

«При подсчетах сил в машинах (potenzie machinali) принимаются во внимание вес и положение не их материальных членов (membrificazioni materiali), а только их потенциальных, т. е. математических линий.

«Я хочу знать, какую свою часть отдает весомое тело свóим опорам, т. е. *mg* и *nb* (рис. 156). Я построю два потенциальных рычага *bc* и *gr*, которые будут находиться в прямоугольном со-

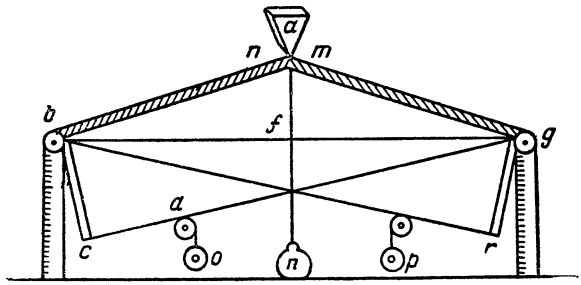


Рис. 156

единении с *bn* и *mg* в точках *b* и *g*. Затем проведу прямую *bg* из *b* в *g* и в середине ее опущу перпендикуляр *fn* из-под центра весомого тела *a* и таким образом получу прямой угол *bfn* в точке *f*. Кроме этого, проведу подвес *cd*, под прямым углом соединяющийся с рычагом *bc*, и так получу рычаг *bc* с подвесом *cd* против потенциального противорычага *bf* с его подвесом *fn*. Если же противник утверждал бы, что этот противорычаг не потенциален, но реален, т. е. противорычаг *bn*, то ему можно ответить при помощи 10-й этой работы, где говорится, что все подвесы, направленные к центру мира, соединяются под прямым углом с плечами весов, находящихся в положении равновесия, и по вышеприведенному первому положению, что всякое соединение между подвесом и плечом рычага прямоугольно, что не может быть осуществлено, если по утверждению противника *bn* будет соединено с подвесом *fn*. А, следовательно, прямой угол *bfn* соответствует нашему требованию и т. д.

«Здесь подсчитываются математические силы (*p*), а не реальные веса, т. е. веса членов механизмов (membre de li strumenti).

«П о д с ч е т. В той же пропорции, в которой находится потенциальный рычаг *bc* с реальным противорычагом *bf*, будет находиться и сила угла с сопротивлением угла. Следовательно, так как силы обратны, то *bc*, будучи вдвое меньше *bn*, будет иметь двойную силу для поддержания *bn*.

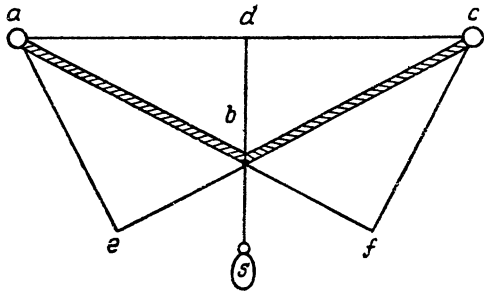


Рис. 157

«Сила (*p*), изображенная здесь (рис. 157), похожа на изображенную выше, но первая учитывает вес, который поддерживает нить *abc* благодаря весомому телу *s*, т. е. естественный вес, называемый тяжестью, и приобретаемый вес, называемый силой, и научает отделять тяжесть от силы. И эта операция производится для нитей *abc* под горизонтальной линией *adc*. Но выше принимаются во внимание вес и сила, которые отдает весомое тело *d* или же *nm* над горизонтальной линией *bfg*, соединяющей обе балки *bn* и *mg*, поддерживающие эти весомые тела *m* и *n*.

«Рычаг и потенциальный подвес *ae* и *eb* всегда будут иметь прямоугольное соединение в точке *e* (и потенциальный подвес) всегда будет иметь одно направление с реальным подвесом *bc*, т. е. если продолжать реальную нить *bc* прямо, то она встретит потенциальный рычаг *ae* в точке *e* под прямым углом, а потенциальный противорычаг рычага *ae* будет находиться на линии *ad*, кончающейся (полу)реальным подвесом *db* над реальным подвесом *bs*.

«П о д с ч е т. В той же пропорции, в которой находится рычаг *ae* с противорычагом *ad*, находится сила с весом, но она обратна, так как противорычаг вдвое больше рычага. Следовательно, подсчет половины веса будет найден при подсчете потенциального рычага и противорычага *ae* и *ad*; подвесы *ec* и *dc* полуреальны, как это видно здесь» (Ar. 116 v.).

Из этой записи, весьма пространной и более чем ясной, после всего, что нами разобрано выше, можно заключить, что Леонардо рассматривает давление свода на опоры. Он поступает при этом точно так же, как при разборе натяжения концов нити, провисающей под действием собственного веса: он рассматривает вес всего свода сосредоточенным в наивысшей его точке — замке, который и изображен на чертеже; обе же опоры он считает прямолинейными и невесомыми. Сделав такие, неправильные по существу предположения, он вполне закономерно заключает, что свод есть, собственно говоря, не что иное, как перевернутый канат, провисающий под действием подвешенного в середине его веса, и применяет найденный им вполне правильный способ определения нагрузки на концы нити, что в данном случае дает нагрузки на опоры свода. При этом, для наглядности, он, переворачивая привычный чертеж прогнутой нити, строит свои потенциальные рычаги и подвесы не на продолжениях ветвей, т. е. над ними, а на параллельных им линиях под ними, что дает, конечно, тот же результат. Таким образом, и для определения нагрузки на опоры свода арки Леонардо применяет формулу $S = \frac{Q}{2\cos\alpha}$, где Q — общий вес арки.

Формула эта неправильна для полной нагрузки, но дает практически приемлемый результат, так как вертикальная составляющая давления, практически интересующая Леонардо, будет равна $Sy = \frac{Pl}{2}$, где P — вес на единицу длины, а l — пролет.

Пролет l несколько меньше длины арки, почему Pl будет меньше Q; но так как $\cos\alpha < 1$, то полученная Леонардо величина давления на опору будет практически приемлемой, ибо она

превышает, и притом не очень значительно, действительное давление. Опоры, которые Леонардо, может быть, строил по своей формуле, должны были надежно поддерживать возведенные на них арки и своды.[1]

Подробно рассмотренная история работы Леонардо над проблемой натяжения нити, подвешенной на двух опорах, может быть еще полнее и нагляднее рисует его творческий путь и применяющиеся им методы, чем ранее рассмотренная проблема равновесия на наклонной плоскости. Мы видим здесь, как Леонардо ставит проблему под давлением правильно и исключительно глубоко почувствованного им запроса техники и разрешает ее сначала простейшими имеющимися в его распоряжении средствами, сводя ее к прямолинейному рычагу. Убедившись, однако, в незаконности такого сведения, он начинает тщательно экспериментировать и, на основании отдельных экспериментов или групп экспериментов, составляет пропорцию, более или менее точно связывающую между собой результаты этих экспериментов. Так, он высказывает предположение, что нагрузки ветвей нити пропорциональны их длинам или же расстояниям их концов до вертикали. Но, составив пропорцию, охватывающую более или менее удовлетворительно результаты данной группы экспериментов, Леонардо затем проверяет ее на ряде других экспериментов и обнаруживает, что она неправильна, что здесь необходим более тонкий подход. В поисках такого подхода он пробует ввести в пропорцию количество нити, сходящей со шкива, но и эта попытка оказывается неудачной. Тогда он от экспериментирования на нити, подвешенной за оба конца на шкивах, оси которых находятся на равной высоте, переходит к экспериментированию с нитью, один конец которой укреплен на неподвижном шкиве, а другой — на подвижном, причем между ветвями нити угол всегда остается прямым. Результат оказывается правильным, выдерживающим проверку

[1] То же рассуждение, что на листе 116 *v*., Леонардо повторяет с некоторыми вариантами, не вносящими, впрочем, ничего существенно нового, на листе 118 r. и *v*.

любого числа экспериментов. Это и наводит, очевидно, Леонардо на мысль о том, что решающее значение в данной проблеме имеет угол, образуемый ветвями нити. Дальнейшее экспериментирование показывает, что с увеличением этого угла увеличивается натяжение ветвей нити; это, однако, еще не решает вопроса о натяжении каждой ветви, правильный путь к определению которого находится только тогда, когда Леонардо вводит принятые им при разборе равновесия коленчатого рычага понятия потенциальных плеч. Первое решение, даваемое им на этой основе, опять оказывается неправильным: отношение длин ветвей к длинам перпендикуляров на продолжение противоположных ветвей не определяет распределения натяжений. Но после нескольких наблюдений находится, наконец, правильное и вполне общее решение: натяжение каждой ветви равно весу подвешенного к нити груза, помноженному на частное от деления расстояния точки подвеса противоположной нити до вертикали на длину перпендикуляра из той же точки подвеса на продолжение данной нити. Решение это оказывается правильным при всех вариантах и экспериментах, но оно кажется Леонардо, и не без основания, слишком сложным. Поэтому он, оперируя с уже вполне надежными данными, полученными из него, формулирует более простую зависимость: сумма натяжения обеих нитей равна весу груза, умноженному на частное от деления длины нити на глубину прогиба.

Но, добившись, в результате многолетних усилий, правильного решения когда-то поставленной им задачи, Леонардо не забывает об исходной точке своих поисков. Он сразу обращается к технической проблеме, которая поставила перед ним эту задачу. Он пытается применить свое решение к определению нагрузки на опоры свода и получает результат хотя теоретически и неправильный, но практически применимый.

На этом примере мы видим, что метод научной работы, который прокламировал Леонардо, в точности применялся им на практике. Он ставит задачу, выдвигаемую техникой, подходит к разрешению ее через ряд экспериментов, на результатах их строит закон, проверяет его опять на эксперименте, находит

ошибки, строит новый закон и, найдя его правильным, применяет его на технических объектах. Научное творчество Леонардо вырастает из запросов техники, оно органически связано с экспериментом. В этом его основное отличие от его предшественников, в этом его сила и прогрессивная ценность.

§ 6. ПРИЛОЖЕНИЯ ЗАКОНА РЫЧАГА — НАКЛОННЫЙ СТЕРЖЕНЬ

Естественным и, можно сказать, почти неизбежным продолжением работ Леонардо над нитью, оттянутой висящим на ней грузом, являются его работы над балкой, висящей на двух нитях. Проблема эта разбивается им на три части.

Первой, наиболее простой, является вопрос: как распределяется вес балки на две параллельные нити разной длины, поддерживающие концы ее. Впервые этот вопрос Леонардо ставит в ранней записи кодекса «А», ставит (как обычно он это делает в своих ранних записях) чрезвычайно конкретно, на техническом примере, без какого бы то ни было теоретизирования.

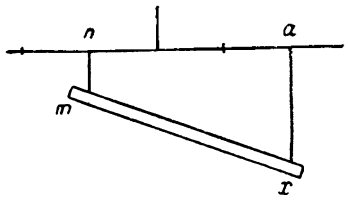


Рис. 158

«Если 2 человека несут балку наверх по лестнице и если дерево этой балки имеет равномерную толщину и вес, то точно столько же будет чувствовать его вес тот, который поддерживает его вес внизу, как тот, кто поддерживает его наверху, и если все бревно стремится упасть к центру, то все части его имеют то же самое стремление и, стремясь падать вертикально (a piombo), дают вышеприведенный результат (A. 52 v.) (рис. 158).

Таким образом, Леонардо дает сразу же совершенно точный и правильный ответ на свой вопрос: балка, подвешенная наклонно на двух параллельных нитях, равно нагружает обе эти нити. Вполне четко формулирует Леонардо это утверждение в

несомненно ранней записи «Атлантического кодекса», где он дает его без доказательства:

«Та балка, которая будет укреплена за свои концы и будет подвешена на нитях разной длины, будет всегда отдавать равную часть своего веса каждой из двух нитей, если они падают перпендикулярно к месту, в котором они привязаны» (С. А. 273 r. a.).

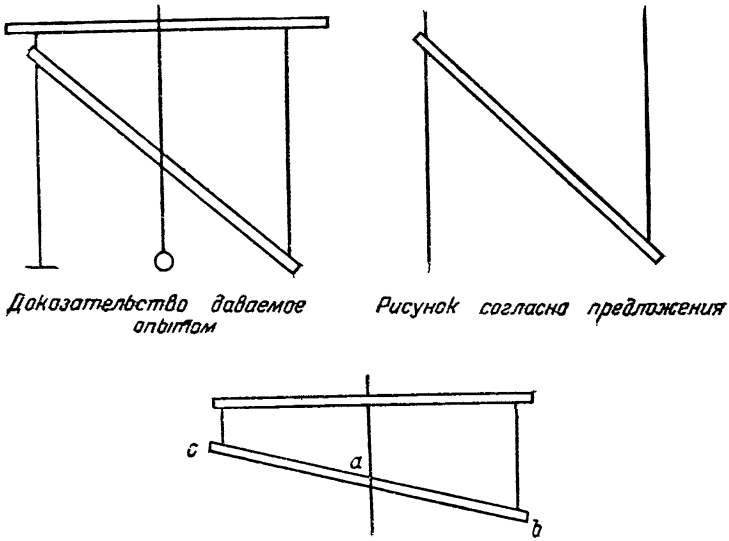


Рис. 159

Из рисунка, сопровождающего запись, видно, что Леонардо, как обычно, пришел к своему утверждению через эксперимент, техника которого видна из также ранней записи кодекса «С»:

«При подвешивании тела длинной формы, равномерной толщины и веса за свои концы на двух нитях, укрепленных на концах равных плеч весов, весы останутся в горизонтальном положении, несмотря на разную длину нитей. Причина этого та, что если ты проведешь вертикально линию, проходящую под центром весов, то эта линия пройдет также через центр поддержанного веса» (С. 7 v.) (рис. 159).

При подвесе балки за концы вопрос разрешается, таким образом, совершенно легко. Но тогда, естественно, возникает и следующий вопрос: как будет распределяться нагрузка, если одна из нитей сдвинется от конца, который останется торчать в воздухе? К этому вопросу Леонардо многократно возвращался в записях «Атлантического кодекса». Одна из наиболее простых и, повидимому, ранних из них гласит:

«Если 2 нити поддерживают стержень за его два конца (рис. 160), то его вес равномерно распределяется между этими нитями.

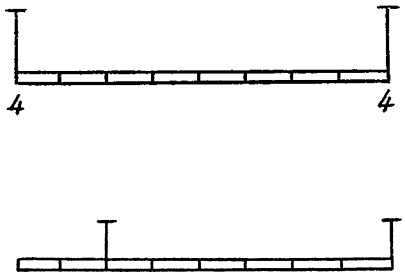


Рис. 160

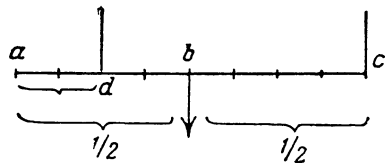


Рис. 161

«Когда же одна из нитей будет передвигаться от конца стержня по направлению к его середине, то отношение между уменьшением веса, облегчающего нить, и остающимся на противоположном конце весом будет таково, каково оно между торчащим концом стержня и той его частью, которая заключена между двумя нитями» (С. А. 138 v. a.).

Не вполне ясное утверждение Леонардо в приведенном отрывке оказывается вполне правильным, если мы под словами «вес, остающийся на противоположном конце», будем понимать, как это делает Шустер, груз, который раньше выдерживала данная нить. Тогда, обозначив (рис. 161) весь вес балки через P, всю длину ее через l, длину передвижения левого подвеса через a, а натяжение неподвижной нити после передвижения подвижной через x, получим формулу Леонардо в таком виде:

$\frac{\frac{P}{2}-x}{\frac{P}{2}}=\frac{a}{l-a}$. Это вполне правильно, так как задача сводится к разложению силы P на две параллельные составляющие, причем $\frac{P}{l-a}=\frac{x}{\frac{l}{2}-a}$ и есть утверждение Леонардо, в чем легко можно убедиться.

К этой же формуле Леонардо возвращается и в ряде других записей; одна из них дает числовой пример и, до некоторой степени, вскрывает ход его мыслей.

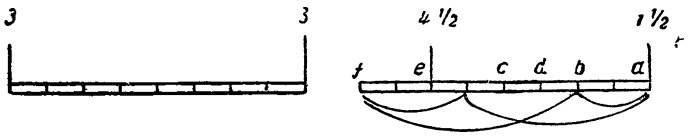


Рис. 162

«Между весом, который отделяется от неподвижной нити, и весом, который она раньше выдерживала (где он приложен), будет такое отношение, как между частью стержня, выступающей за одну из нитей, и остатком его, заключенным между 2 нитями.

«То, что выше высказано, легко может быть доказано (рис. 162), так как если ты посмотришь в опыте, приведенном выше, на стержень, выступающий за одну из нитей, то ты найдешь, что он помещается 2 раза в длине стержня, заключающейся между 2 нитями, и так же обстоит с весом, отделяющимся от крайней нити и присоединяющимся к весу движимой нити, так как когда 2 нити были привязаны на концах стержня в 6 фунтов, то каждая из них выдерживала 3 фунта. Когда же затем одна из нитей передвигается к середине, то ты видишь, что та,

которая остается неподвижной, в конце стержня разгружается от половины своего прежнего веса, так как если она вначале выдерживала 3 фунта, то теперь она выдерживает только $1^1/_2$, что составляет 3. И кажется, что природа в этом случае применяет равные движения, так как если движение, производимое нитью от конца стержня к середине, помещается, как видишь, 2 раза в остатке этого стержня, то также и вес неподвижной нити, укрепленной на противоположном конце стержня, прибавляется к весу нити, движущейся к середине стержня, и помещается 2 раза в весе, ранее поддерживаемом ею» (C. A. 101 r.a).

Запись эта, во-первых, делает совершенно бесспорным приведенное выше толкование формулы, даваемой Леонардо; во-вторых, она показывает, что к довольно сложному и искусственному выражению этой формулы Леонардо пришел отнюдь не через освоение закона разложения силы на составляющие, как утверждает Марколонго, а чисто экспериментально. Он, несомненно, подвешивал каждую нить к отдельным весам и следил за изменением веса при передвижении левой нити. Затем, получив ряд значений, он подобрал формулу вида пропорции, связывающей эти значения, — отсюда и искусственность выражения формулы, отсюда и ее правильность. Полученную и рассмотренную выше формулу Леонардо записывает еще в ряде мест (C. A. 101 r. a., 152 v. b., 345 v. a. и др.). Но на ней не заканчиваются его исследования распределения веса подвешенного стержня, — он ставит перед собой еще один вопрос: как передается вес стержня непараллельным подвесам?

Первоначально Леонардо как будто склонен считать, что направление подвеса не играет роли. Так, в одной из ранних записей «Атлантического кодекса» он пишет:

«Эта балка, будучи поддержана равными углами, будет равно поддержана каждой нитью, и хотя одна нить длиннее другой, одна выдерживает такой же вес, как и другая.

«Равные углы, которые образуют линии нитей, поддерживающих балки, с линией балки, этими нитями поддерживаемой, поддерживают в этой балке равный вес (рис. 163).

«Наклонная сила производит то же самое действие в весах, что и перпендикулярная; испытано это в форме, указанной ниже, на натягиваемой медной проволоке» (C. A. 253 r. b).

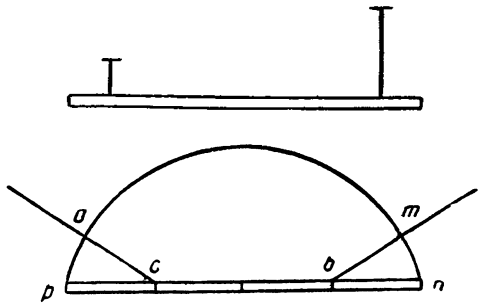


Рис. 163

Дальнейшее экспериментирование приводит, однако, Леонардо к более определенному и более правильному решению вопроса. Как он ведет эксперименты, мы видим из следующей записи:

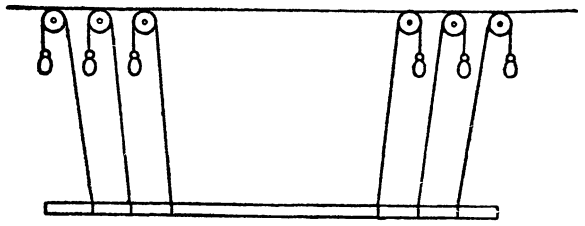


Рис. 164

«Здесь (рис. 164), потому что углы, образуемые нитями с балкой, равны между собой, каждая нить будет поддерживать равную часть веса балки, хотя бы они были подвешены на разных высотах» (C. A. 268 r. a.).

Чертеж, сопровождающий запись, ясно показывает, как Леонардо пришел к этому правильному, но далеко не достаточному результату. Для того же, чтобы подойти к определению изменения нагрузки стержня при изменении угла, образуемого нитью с балкой, Леонардо рассуждает так:

«Вес, т. е. балка. Там, где нить, на которой она подвешена, будет отходить от этой балки под прямыми углами, там эти нити никогда не будут иметь больше веса, чем вес поддерживаемой ими балки.

«А когда нити будут отходить от подвешенной на них балки под более острыми углами, тогда они будут поддерживать тем

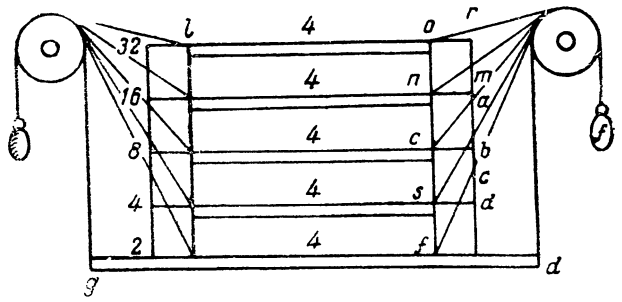


Рис. 165

больший вес по сравнению с весом балки, чем острые углы, образованные направлением балки и направлением нити, будут меньше прямых углов (рис. 165).

«Таково будет отношение между весом *bf*, где поддерживается голова балки *dg*, и весом там, где будет поддерживаться голова балки *sx*, каково оно будет между углом *s* треугольника *bds* и прямым углом *d*[1] и таким же образом один угол за другим.

«Скажи, например, что балка *dg* будет равна 4 единицам веса; ясно, что 2 из них попадают в *d* — прямой угол и 2 из них будут находиться в противовесе *f*, а затем я хотел бы дать столько веса *f*, чтобы эта балка поднялась до *ol*; поступай так: посмотри, сколько раз угол *o* помещается в прямом углу *d*; он помещается 16 раз, следовательно 32 единицы веса будут уравновешивать эту голову *o*» (C. A. 274 r. b.).

Несмотря на то, что некоторые детали чертежа не вполне ясны и буквы на нем спутаны, техника производства экспери-

[1] Текст записей здесь не вполне ясен, но смысл их не вызывает сомнений.

мента и результат его вполне ясны. Леонардо находит, что натяжение наклонной нити так относится к натяжению прямой, или, что то же самое, к половине веса, как прямой угол относится к острому углу, образуемому нитью с балкой, т. е. искомое натяжение нити $x=\frac{P\cdot 90^\circ}{2\cdot\alpha}$. Утверждение это не вполне правильно, так как фактически $x=\frac{P}{2}\cdot\frac{1}{\sin\alpha}$ или $\frac{P\cdot\sin 90^\circ}{2\sin\alpha}$, т. е. вместо отношения углов фактически должно быть принято во внимание отношение их синусов; но получающаяся разница, очевидно, относилась Леонардо к неточности эксперимента.

Приведенными тремя вопросами и исчерпываются (вообще не слишком многочисленные) записи Леонардо, относящиеся к вопросу распределения веса балки на поддерживающие ее сверху нити. Еще малочисленнее записи, близко примыкающие к предыдущим и относящиеся к распределению веса балки на поддерживающие ее снизу опоры. Здесь Леонардо рассматривает две проблемы, параллельные вышеприведенным: как распределяется вес горизонтально лежащей балки между двумя расположенными в разных местах опорами и как распределяется между своими опорами вес балки, один конец которой лежит на земле, а другой оперт о стену, колонну и т. п.

К обеим проблемам Леонардо впервые подходит еще в ранних записях кодекса «А». Так, по первой проблеме он задает себе вопрос:

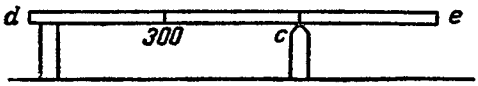


Рис. 166

«Я спрашиваю: если брус *ed* (рис. 166) весит 300 фунтов, то сколько из них несет *c* и сколько несет *d*?» (A. 2 v.).

Ответа на этот замысловатый вопрос Леонардо, повидимому, еще дать не может, во всяком случае в кодексе «А» мы напрасно искали бы такого ответа.

Зато в записях «Атлантического кодекса» мы находим и ответ и указание на то, как искал его Леонардо. На листе 268 v. b. мы видим изображение постепенного хода опытов Леонардо, но не находим еще решения задачи. Мы видим здесь балку в восемь единиц длины и, повидимому, веса, подпертую внизу в восьми разных положениях, и на девятой фигуре все эти положения, сведенные воедино; подпись под чертежом гласит:

«Каждая имеет девятую[1] часть (рис. 28); отними одну из них от головы, и предпоследняя будет иметь $^2/_9$, а противоположная разгружается. Дальше я не распространяюсь, так как этот тонкий предмет требует более тонкого рассмотрения и тщательного размышления» (C. A. 268 v. b.).

Леонардо, таким образом, высказывает только утверждение, что при передвижении опоры внутрь нагрузка ее увеличивается, а нагрузка неподвижной опоры уменьшается, но он ничего не говорит о величинах этих нагрузок, предмете, ему еще не ясном и требующем дополнительной работы. Результатом такой работы является запись листа 316 v. b. того же кодекса, гласящая:

«П я т н а д ц а т о е п р е д л о ж е н и е о в е с е (рис. 167). Опора будет иметь на себе тем меньше веса по сравнению с другой, чем более удалена она будет от центра этого веса — одна по сравнению с другой и (общий вес делается) меньше на вес, выступающий за вторую опору (текст не ясен и восполнен нами).

«Примем, что более удаленная опора будет *b*, более близкая— *a*, центр же вышеназванного веса будет *k*; тогда я утверждаю, что если вес, помещенный на двух опорах, будет равен 8 фунтам, то *b* будет поддерживать 1, а *a* — 5. Тут ты мне мог бы сказать, что нехватает 2 для того, чтобы получить вышеназванные 8 фунтов, на что можно ответить и доказать, что на опорах *a*,*b* находятся 6 фунтов, из которых 3 приходится на опору *a* и

[1] На рисунке, как уже сказано, на 8 фигурах делений 8, а на девятой 9, что, впрочем, не играет особой роли.

3 на *b*, а 2, а именно *sr*, выступающие за опорой *a* наружу, служат противовесом той части, которая находится между *a* и *b*, каковая облегчается на 2 фунта» (C. A. 316 v. b.).

Решение, даваемое здесь Леонардо, совершенно ошибочно. Он здесь имеет дело с тем же разложением веса тела на две параллельные составляющие, как и в случае подвеса балки, для которого он дал правильный ответ. Но он почему-то не замечает идентичности обоих случаев и, не имея возможности экспе-

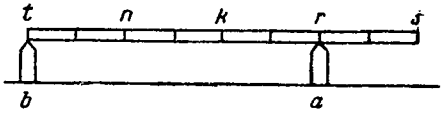


Рис. 167

риментально определить величину давления на опору, предается неубедительным и противоречивым рассуждениям, приводящим его к неправильному результату. Эта ошибка Леонардо, которую он, может быть, где-нибудь позднее исправил (нам такие исправления найти не удалось), вскрывает сильные и слабые стороны его метода не хуже его успехов. В тех случаях, когда он мог в ряде экспериментов более или менее точно измерить при разных условиях величины, связанность которых между собой он стремится определить, он через ряд ошибок, неправильных и неудачных формулировок всегда добивался правильных результатов. Там же, где хотя бы одна из этих величин не поддается точному измерению, он оказывается совершенно беспомощным. Леонардо в первую очередь экспериментатор, а не математик-теоретик.

Подтверждение этому мы находим и во второй решаемой Леонардо задаче на подпертую балку, косо стоящую на земле.

Вопрос о косо стоящей балке (но на двух опорах) возник (как уже выше сказано) перед Леонардо еще в начале его научной деятельности. Так, в кодексе «А» он ставит перед собой следующий, не получающий ответа вопрос:

«Если брус *fg* (рис. 168) будет весить 200 фунтов, то какую часть веса будет нести *h* и какую *m*?» (A. 2 v.).

Первые попытки дать ответ на этот или, вернее, близкий к этому вопрос мы находим в записях кодекса «B», относящихся к этому же времени, а может быть и несколько более ранних.

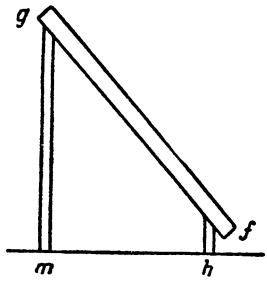


Рис. 168

Очевидно, уже в самом начале своей научно-технической карьеры, в качестве инженера герцога Миланского, Леонардо при постройке укреплений, рытье каналов и проектировании тамбура собора натолкнулся на проблему распределения веса косо стоящего стержня или балки — будь это стрела крана, или осадная лестница, или что-нибудь в этом роде. Довольно подробные записи кодекса «B» возвращаются к данному вопросу неоднократно. Наиболее короткую и, повидимому, наиболее раннюю запись мы встречаем в самом начале кодекса:

«Я нашел на опыте (io trovo per isperienza), что балка *cd* (рис. 169) будет настолько уменьшать тяжесть в точке *d*, насколько велика половина основания треугольника *adc*, т. е. если балка будет иметь 6 локтей и весить 6 фунтов, а половина основания *ad* будет иметь один локоть, то я утверждаю, что балка будет отдавать точке *d* 5 фунтов и один фунт идет на усилие (ne va in forza) в месте, где прислоняется *c*» (B. 14 v.).

Приведенная запись не разъясняет, что следует понимать под опытами, которыми пользовался Леонардо для получения приводимого им решения. Зато запись того же кодекса, непосредственно примыкающая по своему содержанию к изложенной, показывает, какие рассуждения лежат в основе такого утверждения:

«Если ты хочешь знать, сколько веса отдает стержень в 4 фунта и 4 локтя стене *ac* (рис. 170) и сколько точке *e*, то поступай так: раздели пополам основание треугольника *aec*, что дает *dc*,

и столько, сколько эта часть занимает на длине стержня, столько веса остается на стене *ac*, остальное же идет в *e*.

«Телу, в котором длина превосходит значительно ширину и глубину, надлежит отдавать бо́льшую часть своего веса своей нижней части, которая опускается от своего горизонта, чем верхней. Но если это тело буде́т находиться на одном уровне

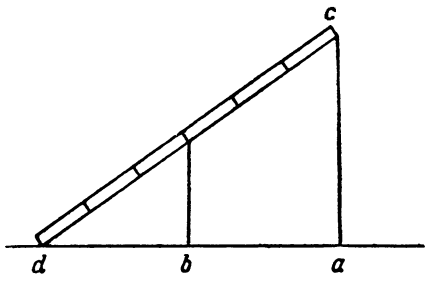


Рис. 169

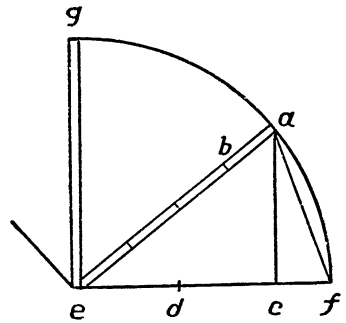


Рис. 170

со своими двумя концами, то необходимо, чтобы его два конца имели равный вес при своем соприкосновении (с опорами)... когда тело будет иметь равную толщину и вес по всей своей длине.

«То тело, общая толщина которого превосходится длиной, должно давать равную нагрузку двум крайним своим точкам соприкосновения, когда они равно отстоят от центра, как *fe*. Но когда тело будет расположено по линии перпендикулярной (т. е. вертикальной), то я утверждаю, что соприкосновение нижнего конца примет на себя весь лежащий над ним вес. Верхний же конец не передаст никакого веса противоположному соприкосновению, как это ясно в *ge*. Но если это тело будет своими двумя концами находиться на разных расстояниях от названного центра, то и вес будет разным, так как часть, наиболее к нему приближающаяся, более нагружается, более же далекая делается более легкой, что явствует в *ae*. Следовательно, если в первом предложении доказывается, что названный вес делится между двумя своими конечными опорами *f* и *e* и также во

втором, что нижняя получает все, а верхняя — ничего, то необходимо признать, что по доводам геометрическим и арифметическим тот вес, который находится между одним и другим положением, получает нечто от обоих концов, как *ae*.

«Если вес *ae* будет 4 локтя и 8 фунтов и если ты подвесишь его так, чтобы он не был весь в точке *e* и не разделялся пополам в *fe*, но, наоборот, находился бы в середине линии *fe*, т. е. над точкой *c*, то я, благодаря арифметическим доводам, утверждаю, что если вес, стоя вертикально, отдает нагрузку в 8 фунтов точке *e*, он, лежа совершенно, отдает ей 4; возьми теперь середину, находящуюся между 4 и 8, т. е. 6, следовательно точка *e* есть 6, а *ca* — есть 2 по силе и весу. И на основании геометрических доводов мы находим, что, если взять основание треугольника *ace* и разделить его пополам в точке *d*, то *de* всегда прибавляется к *ae*, и также *df* прибавляется к *ed*, и также к *ab*, и также *df* подобно же к *be*» (B. 63 г.).

Приведенные две записи чрезвычайно явственно показывают как метод рассуждения Леонардо, так и получаемый им результат. Леонардо применяет рассуждение, которое мы встречаем выше в схоластической механике школы Иордана Неморария и многократно в его собственных доказательствах. Замечая, что нагрузка верхнего конца балки в горизонтальном положении ее равна половине ее веса, а в вертикальном — равна нулю, Леонардо полагает, что в промежуток между этими положениями нагрузка постепенно и равномерно изменяется, т. е. в середине между ними (при угле в 45°) она будет равна четверти веса всей балки и т. п.

Результат же, который выводится из этого рассуждения, может быть сформулирован следующим образом: нагрузка, которую верхний конец балки передает своей опоре, равна весу длины балки, равной половине расстояния нижнего конца ее до вертикали; т. е., если пользоваться ближайшим чертежом, нагрузка в a=весу ab, или, обозначая вес единицы длины балки через k и длину ее через l, нагрузка в $a = k\frac{e^2}{2}$, или, в современ-

ных обозначениях, нагрузка в $a=\frac{kl\cdot\cos\alpha}{2}$, где α — угол между балкой и горизонталью. Нагрузка же в e будет равна полному весу балки без нагрузки в a, т. е. нагрузка в $e=kl-\frac{kl\cdot\cos\alpha}{2}$.

Нетрудно убедиться в том, что первое из утверждений Леонардо совершенно правильно, а второе ошибочно. Действительно, если под нагрузкой в a мы будем понимать опорную реакцию в $a=x$, действующую нормально к оси ae, а под нагрузкой в e — опорную реакцию в $e=y$, действующую вертикально вниз, мы получим $xl-\frac{kl\cdot\cos\alpha}{2}=0$ (из уравнения равновесия), или $x=\frac{kl\cdot\cos\alpha}{2}$ (из равенства моментов), и $x\cdot\cos\alpha-kl+y=0$, или $y=kl-x\cdot\cos\alpha$ (из равенства проекций на ось x). Иными словами, для верхнего конца выражение, данное Леонардо, оказывается правильным, а для нижнего — из общего веса следует вычитать не просто реакцию верхнего, а ее же, помноженную на косинус угла α.

Несмотря на грубую ошибку в определении величины нижней реакции, вывод Леонардо нельзя не признать в высшей степени замечательным. Правда, как вполне справедливо указывает Шустер, уже третий вариант трактата Иордана Неморария содержит попытку разобраться в вопросе распределения веса наклонно поставленного стержня. И при этом арифметически-геометрический способ доказательства, приводимый Леонардо, несомненно восходит именно к тексту Иордана, только не вполне понятому и упрощенному. Но именно разница подходов, а также самый факт заимствования винчианцем данной, довольно чужеродной в построении Иордана задачи бросают новый луч света на специфику научного творчества Леонардо. С орлиной прозорливостью он замечал во всех, даже наиболее чужеродных научных системах то, что ему нужно было для создания своей системы, имевшей целью помощь технике, и затем вводил этот элемент в свою систему, в корне переделывая его. Из теоретической головоломки он превращает такую

осваиваемую им задачу в практически нужную проблему, он отбрасывает сложные и абстрактные геометрические доказательства или же, как в данном случае, сокращает и упрощает их, сохраняя только сущность их для видимости теоретического обоснования. Фактически же он решает задачу наново при помощи эксперимента, который, если только речь идет о легко измеримых величинах, неукоснительно приводит его к правильному результату; последний не тонет у него, как у Иордана, в праздных, хотя, может быть, и остроумных математических рассуждениях, но сразу подхватывается и включается в арсенал орудий техника-ученого. Поэтому для нас представляет особый интерес тот путь, которым Леонардо пришел к своему решению. Мы видели из записи листа 14 v., что он говорит об опыте как источнике этого решения, а из листа 63 r. — что он обосновывает решение «арифметически-геометрическим» рассуждением. Но внимательное рассмотрение последнего убеждает, что из него нельзя было вывести решения, даваемого Леонардо. Действительно, это было бы возможно, если бы горизонтальная проекция балки была пропорциональна углу между ее осью и горизонталью, ибо тогда, при угле в 45°, половина этой проекции была бы равна половине половины длины и, следовательно, веса балки. Но фактически проекция эта пропорциональна косинусу этого угла, а следовательно, все арифметически-геометрическое рассуждение Леонардо не более как обычная для него, и притом неудачная, попытка теоретически обосновать результат, полученный им экспериментально и сведенный в правильную формулу.

Как мы отмечали выше, Леонардо не говорит в записи кодекса «В» (14 v.) о том, при помощи каких экспериментов он пришел к своему решению. Но самая его ошибка дает нам право утверждать почти без риска впасть в произвольное толкование, что он подвешивал верхний конец балки к нити, перпендикулярной к ее оси, и затем, перекидывая нить через шкив, нагружал ее весом до наступления равновесия. Поступая таким образом, Леонардо мог вполне точно определить верхнюю опорную реакцию балки. Так как расстояние от нижнего конца балки до

вертикали также вполне точно поддавалось измерению, то, пригоняя, как обычно, формулы и проверяя их повторными экспериментами, он, несомненно, должен был притти и действительно пришел к правильному решению. Что же касается реакции нижней опоры, то измерить ее Леонардо не имелетехнической возможности; поэтому он и остановился на решении, казавшемся ему наиболее вероятным, но фактически неправильном.

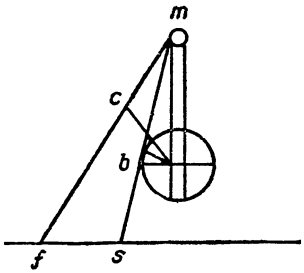


Рис. 171

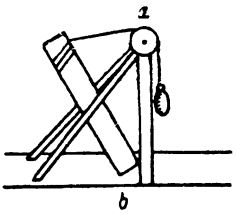


Рис. 172

Что наше предположение соответствует действительности, доказывается несколькими более поздними записями «Атлантического кодекса».

Одна из более ранних записей этого кодекса, наполовину сформулированная еще в виде вопроса, показывает экспериментальную базу, на которой Леонардо искал решения задачи.

«Хотя нити *ms* и *mf* (рис. 171) укреплены в *m*, но, несмотря на это, действуют (fanno forza) так же, как если бы они были укреплены в рычаге такой длины, которая была бы (равна) прямой, соединяющей (их направление) с центром под равными углами.

«Я спрашиваю, сколько веса в *a* и сколько в *b*» (C. A. 75) (рис. 172).

Запись эта, носящая чисто черновой, предварительный характер, служит как бы подготовкой к несравненно более отделанной записи другого листа того же кодекса, подробно разбирающего тот же вопрос. Запись эта гласит:

«Так следует взвешивать вне прямых углов, т. е. линия нити и линия балки должны быть устроены таким образом (рис. 173):

«Если балка, привязанная нитью, будет весить 4 единицы веса, а ты помнишь, что, по правилу пятого предложения, если n находится под головой балки и эта голова подвешена на нити, под прямым углом сходящейся с линией этой балки, то эта голова не будет весить больше одной единицы веса и 3 будет ве-

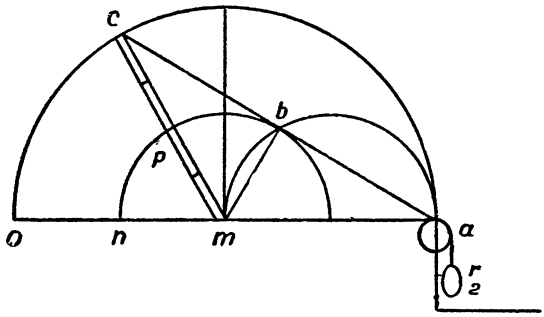


Рис. 173

сить другая голова. Теперь нужно заключить, что эта нить, находящаяся под прямым углом к этой балке, испытывает и показывает просто вес головы ее, а так как она весит одну единицу, то проведи линию нити, поддерживающей балку, т. е. ac, и затем посмотри, сколько раз расстояние bm помещается в mc. Получается, что 2 раза, следовательно 2 единицы веса в r, будут уравновешиваться c и, следовательно, если балка весит 4 единицы веса, ее нога получает их и 2 единицы веса r, которые получает противовес» (C. A. 149 v. a).

В этой записи мы видим отражение реального опыта, произведенного Леонардо. Ввиду того, что в равновесии устанавливалась, очевидно, балка значительных размеров, оказалось неудобным прикреплять к ней нить под прямым углом. Поэтому он прикрепляет ее под острым углом, в данном эксперименте равным $30°$ $\left(\text{если } nm=\frac{cm}{2} \text{ и } bm=nm\right)$. Установив так бал-

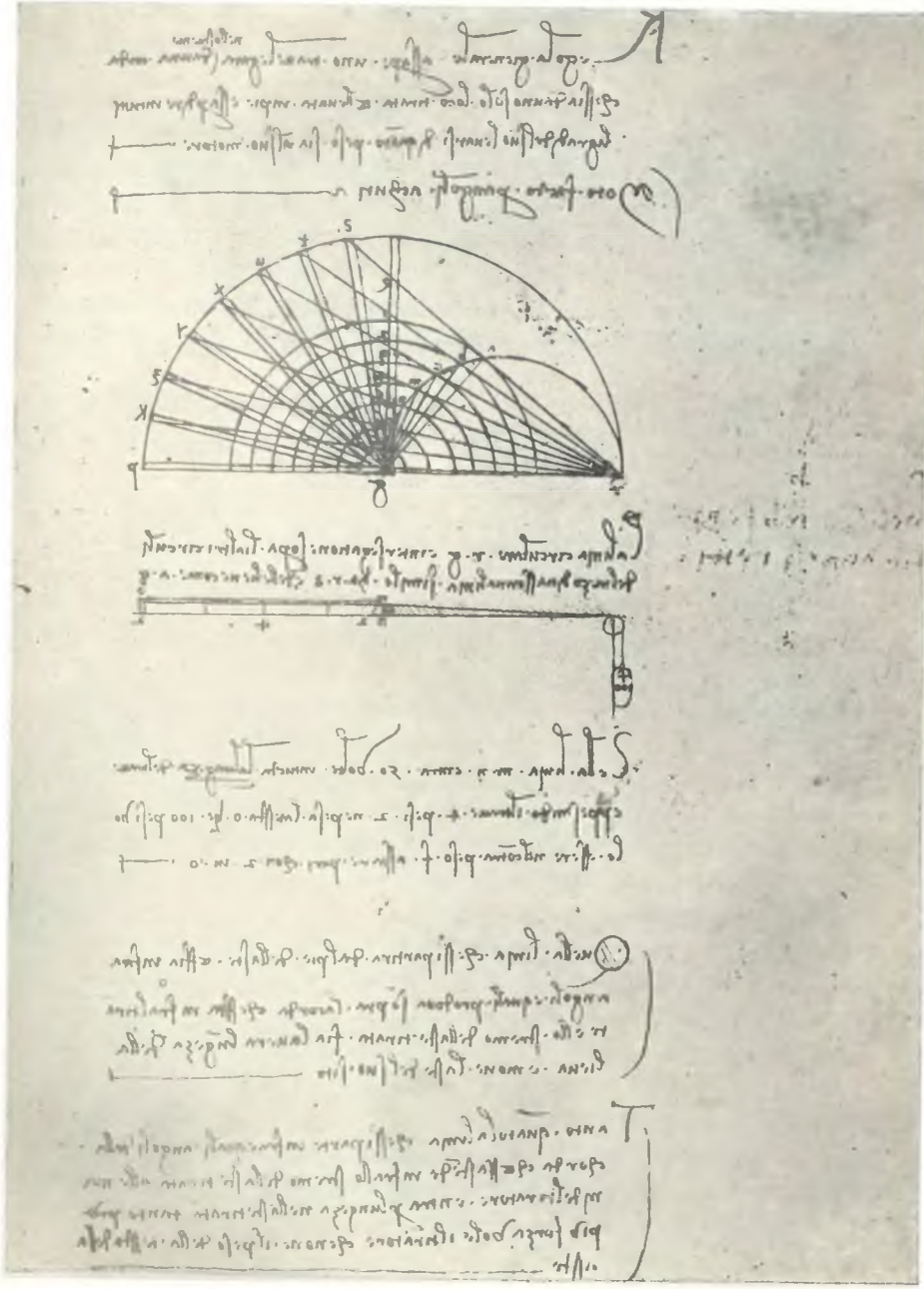


Рис. 174

ку и исходя из своей теории коленчатого рычага с его потенциальными плечами, Леонардо констатирует, что, по выведенному им выше, при горизонтальной проекции балки, равной половине ее длины, верхний ее конец нагружает перпендикулярную к нему нить весом, равным весу четверти длины балки, т. е. единицей веса; нить же, наклонная по теории коленчатого рычага, будет нагружаться весом во столько раз бóльшим, сколько раз потенциальное плечо будет помещаться в реальном, т. е. *bm* в *cm*; следовательно, натяжение нити *ca* будет равно двум единицам веса, и вся формула для определения величины противовеса r будет $r = k\frac{mn}{2} \cdot \frac{cm}{mb}$, или $\frac{kl \cdot \cos\alpha}{2} \cdot \frac{1}{\sin\beta}$, где β—угол между направлением нити и осью балки. Формула эта, как легко заметить, вполне правильна и, как обычно, очевидно выведена Леонардо экспериментально и потом уже оправдана теоретически.

Зато реакция нижней опоры в данном, более сложном случае еще меньше поддается экспериментальному определению. Поэтому Леонардо и говорит о ней не вполне ясно и, повидимому, предполагая, что величина ее будет равна всему весу балки плюс вес r, определяет эту величину, фактически равную $p - r\cos(\alpha+\beta)$, совершенно неправильно.

Примерно то же самое, но более сжато Леонардо развивает еще в нескольких местах «Атлантического кодекса» (например, С. А. 104 r. a., 232 v. a., 253 v. c. и 253 v. a.), вносящих, однако, мало нового и потому не приводимых нами подробно. Так, на листе 253 v. a. он пытается еще раз, в возможно более общем виде, сформулировать вышеразобранный нами вывод:

«Общий закон для того, чтобы рассчитать балку, укрепленную на конце нити, которая натягивается из одного места и поднимается стоймя, и уметь определить во всех степенях ее подъема, какой вес она передает своему двигателю.

«Движение, производимое под прямыми углами (рис. 174). Часть окружности *rg* есть пересечение на

других кругах половины каждой из линий подобных *rs* и рычага как *ag*.

«Если линия *mn* (рис. 175 — деталь рис. 174) помещается 50 раз во всей длине балки и балка эта весит 4 веса, и 2 из них весит голова *o*, то 100 весов должны быть приложены в противовесе *r*, для того чтобы уравновешивать 2 в *o*.[1]

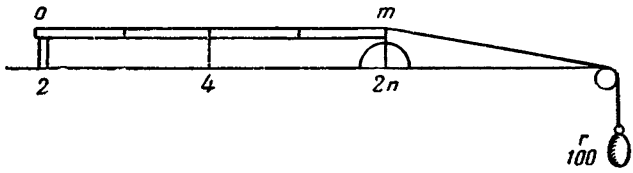


Рис. 175

«Та линия, которая выходит из ноги балки и будет составлять прямые углы с нитью, находящейся между тянущим и концом тащимой балки, будет истинной длиной рычага и будет сдвигать стержень с его места. Чем больше раз линия, под равными углами отходящая от нити, тянущейся между концом тащимого стержня и руками тянущего, помещается по длине в тащимом стержне, тем больше силы должен проявить тащащий по сравнению с весом головы этого стержня» (C. A. 253 v. a.).

Легко убедиться, что в приведенной (как и в ряде других близких к ней) записи мы имеем тот же разобранный выше способ определения натяжения нити, под углом поднимающей балку, который исходит из правильного определения реакции верхней опоры, выведенного Леонардо.

Иначе подходит Леонардо к тому же вопросу в наиболее, повидимому, поздней записи «Кодекса Арундель», очень путаной и неясной, но и весьма характерной. Запись эта показывает, что Леонардо, вполне удовлетворенный найденным им, действительно правильным методом определения верхней реакции балки, чувствует неудовлетворительность своего неправильного метода определения ее нижней реакции. При этом он рассмат-

[1] В этом случае, повидимому, надо предполагать, что конец лежит на горизонтальной поверхности.

ривает вопрос с разных сторон, рассуждает разнообразнейшими способами, но, не имея возможности проверить результаты своих рассуждений на опыте, не может добиться правильного решения вопроса. Запись «Кодекса Арундель» звучит так:

«В *a* (рис. 176) имеется вес *e* и сопротивляющийся ему вес *m*, равный половине *e*. Следовательно, в *a* чувствуется 3 раза вес *m*, так как *e*, находясь в таком положении, весит половину в *a* и вторую половину по направлению к *d*. Половине (действующей по направлению к *d*) сопротивляется *m* с таким же весом, второй же половине сопротивляется *a*. Следовательно, заключаем, что *a* нагружается тремя весами, равными *m*, т. е. половине *o*, и вторая половина ее противовесом *m* каковой ему равен (?).

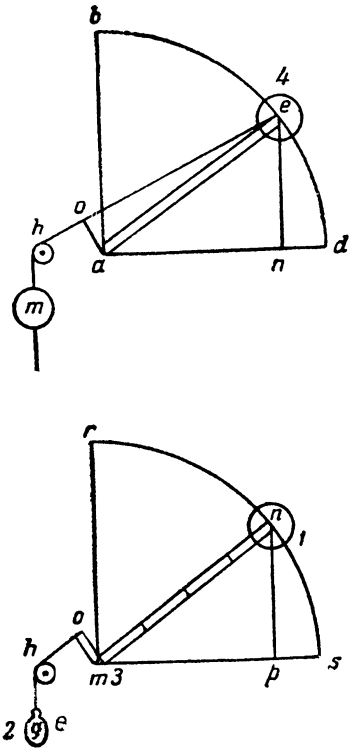


Рис. 176

«В *m* также находится 3 раза вес *g*, так как в этом *m* находится половина веса *n*, как сказано выше. Затем *m* оказывается точкой подвеса весов, помещенных между двумя силами (*p*), т. е. силой половины *n*, желающей итти в *s*, и сопротивлением *g*, не дающим спускаться к этому *s*.

«Следовательно, доказано, что то же самое действие будет, если привязать нить *he* в *e*, как и если привязать нить *ho* в *o*. Чтобы сказать лучше: рычаг *om* есть четверть противорычага *nm*. Два фунта в *g* сопротивляются одной $^1/_2$ в *n*, отчего *m* чувствует 2 от *g*, $^1/_2$ от *n* и вторую половину, нагружающуюся в *m*, спускаясь из $^1/_2$ *n*. И вот фунт с половиной силы в *n* против

2 в g, но точка подвеса p не чувствует силы потому, что она не весит» (Ar. 8 r.).

Несмотря на все попытки, нам не удалось добраться до однозначного толкования приведенного текста. По всей вероятности, он его и не допускает, так как мы имеем дело с записью получернового характера, в которой проявляется процесс работы Леонардо над решением задачи, а не готовое решение. Действительно, из всего текста как будто следует, что нижняя реакция стоящей балки равна противовесу, удерживающему балку в равновесии, умноженному на три. Это объясняется тем, что нижний конец a выдерживает вес m, затем половину веса e, идущую по нити, и такую же величину, сопротивляющуюся ей в нити. А так как, по предположению первого абзаца, m равно половине e, то сумма всех нагрузок в a и будет равна 3 m. И предположение, что $m = \frac{e}{2}$ и вывод совершенно неправильны и непонятны, особенно после того, как Леонардо в ряде вышерассмотренных записей вполне четко сформулировал, что m будет во столько раз больше e, во сколько его рычаг oa меньше рычага — длины балки ae. Но Леонардо в данном решении, очевидно, не принял в расчет этого правила для определения верхней реакции. Он стремится определить нижнюю и берет первое попавшееся удобное соотношение между m и e, не замечая, что оно лишает его решение какой бы то ни было убедительности. На этом примере мы еще раз видим, как неуверенно чувствует себя Леонардо, не имея в руках путеводной нити эксперимента, как неизбежно и глубоко он ошибается, пользуясь только математическими доказательствами, никогда не бывшими сильной стороной его научного творчества.

§ 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели наиболее развитой, наиболее важный и, пожалуй, наиболее сложный раздел механики Леонардо — его учение о весах-рычагах, или статику. Мы видели, что этот раздел, занимающий многие сотни страниц в записных книжках

и тетрадях Леонардо, довольно четко делится на две, отличные друг от друга части.

Первая носит сугубо теоретический характер и содержит обоснование законов весов-рычага. Начиная с рассмотрения простейшего случая прямолинейного невесомого рычага, Леонардо переходит затем к рычагу весомому и коленчатому. Все эти вопросы получили правильные ответы уже в предшествующей Леонардо механике — особенно механике Иордана Неморария, так что найти здесь что-нибудь новое Леонардо не мог. Однако, так же как в динамике, принимая конечные формулировки законов, данные его предшественниками, Леонардо и здесь дает им совершенно иные обоснования, зачастую весьма свежие и интересные.

Каждый из повторяемых законов он многократно проверяет на опыте, конструируя более или менее сложные и остроумные экспериментальные установки, поворачивая во все стороны и рассматривая со всех сторон изучаемый им объект. В результате такого глубокого чуждого всей предыдущей научной традиции подхода, Леонардо наталкивается на методы и понятия, которые в дальнейшем прочно войдут в механику как ее главные вспомогательные средства. Так, он в ряде вопросов оперирует с расчленением силы на две составляющие, рассматриваемые не только (как у псевдо-Аристотеля) по своим направлениям, но и по своим величинам; он вплотную (и значительно ближе, чем Иордан Неморарий) подходит к понятию момента силы относительно точки и т. п. Однако было бы непростительной модернизацией, в которую и впадают некоторые исследователи, в первую очередь Марколонго, приписывать ему открытие этих методов и понятий и полное овладение ими.

Впервые став в своей исследовательской работе на путь экспериментальной проверки выводов, путь, по которому затем пойдет вся европейская наука, Леонардо наталкивается на ряд ее методов и вспомогательных понятий. Но наталкиваясь на них, художник-техник, работающий спешно, с увлечением и беспорядочностью, без достаточной математической подготовки

не может выловить их из массы своих мыслей, опытов, законов. Он пользуется ими и проходит мимо них, как мимо более или менее безразличных вспомогательных средств. На его смелом, поистине завоевательском пути все настолько ново для него, что он еще не может отличить наиболее ценного и общего от массы менее важных открытий.

Если первая часть статики Леонардо, не приносящая новых результатов, представляет для нас очень большой интерес, то вторая, такие результаты приносящая, несомненно является наиболее ценной и интересной частью научного наследия гениального винчианца. Переходя от общих вопросов теории весов к разрешению отдельных частных задач, которые он пытается разрешать на основе и в связи с этими общими вопросами, Леонардо попадает в свою настоящую сферу. Здесь все оказывалось конкретным, близко связанным с экспериментом, с одной стороны, и с технической практикой — с другой. И, что особенно важно, здесь не существует никакой (или почти никакой) научной традиции, нечему следовать и не от чего отталкиваться. Как постановка вопроса, так и ответ на него должны быть вполне оригинальными. И именно поэтому Леонардо, выше всего ценивший именно оригинальность, самостоятельность, несходство со всем ранее созданным, с особенным интересом и упорством занимался этими вопросами, в первую очередь тремя: равновесием на наклонной плоскости, натяжением ветвей подвешенной за два конца нити и распределением веса косо поставленного стержня. Только во втором из этих вопросов, особенно привлекающем внимание Леонардо, он после долгих блужданий доходит до вполне правильных результатов. В двух других он получает результат либо частично правильный (косой стержень), либо близкий к правильному (наклонная плоскость).

Но не это приближение к результатам, которые наука смогла сформулировать значительно позже смерти Леонардо, делает для нас особенно важной эту часть его наследия, а тот метод, который он применяет при достижении этих результатов наиболее определенно и последовательно. Разбирая этот метод в

его еще часто беспомощных и наивных деталях, мы как бы присутствуем при самом процессе рождения новой науки. Мы видим ее в совершенно еще первозданной, прямой, непосредственной связи с практикой, наблюдаем за постепенной выработкой ее наиболее острого оружия — эксперимента.. Сравнивая ее со всей предыдущей наукой, мы ясно ощущаем то могучее дуновение нового ветра, которое находит свое воплощение в гениальных художественных творениях высокого Возрождения и свою первопричину в кровавых классовых боях на улицах и площадях итальянских городов Возрождения раннего.

Глава 4

ОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ДЕТАЛИ МАШИН, ТРЕНИЕ

*

§ 1. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Исследования Леонардо в области определения опорных реакций косо поставленной балки или стержня должны быть признаны, независимо от результатов, новым словом технической науки. Эти исследования имеют некоторый прецедент только в рассуждениях Герона, излагающих соответствующее сочинение Архимеда о колоннах и принимаемом ими весе, несомненно Леонардо неизвестных, а также, может быть, в элементарных, но, вероятно, известных ему рассуждениях «Механических проблем» о распределении нагрузки, несомой на шесте. Еще более оргтинальными, смелыми и как бы смотрящими в будущее являются его штудии из области сопротивления материалов. Здесь, конечно, Леонардо является пионером, смело ставящим проблемы и не менее смело, хотя и не точно, как увидим ниже, их разрешающим. Единственный прецедент в этой области — замечания тех же «Механических проблем» о большом прогибе более длинной палки вряд ли могли дать большее, чем некоторый предварительный толчок мысли, — настолько они кратки и элементарны. С большей степенью справедливости в качестве предшественника Леонардо в данной области может быть назван Альберти с его замечанием о том, что при равной толщине более короткие канаты крепче, а более длинные слабее. Но, поскольку Альберти никак не развивает брошенной им и почти несомненно подхваченной Лео-

нардо мысли, он вряд ли может претендовать на звание отца сопротивления материалов. Звание это, несомненно, должно по праву принадлежать Леонардо да Винчи.

Отправным пунктом изысканий Леонардо в данной области, так же как для Альберти, возможно, послужила его строительная деятельность. Вспомним объяснительную записку его к проекту тамбура Миланского собора с ее требованием к врачу-архитектору выяснить, «какова природа тяжести, и каково стремление тяжести, и каким образом тяжести должны быть сплетены, связаны вместе и соединены, и какие действия рождают».

И мы сразу поймем, что мимо вопросов из области сопротивления материалов молодой техник, стремившийся на все технические проблемы (равно как и на проблемы нетехнические) посмотреть по-новому, не мог пройти равнодушно. И действительно, вопросы из этой области занимают его главным образом во время работы над тамбуром Миланского собора, и именно в кодексе «А», современном этим работам, мы находим наибольшее количество записей, относящихся к проблеме сопротивления материалов.

Основным и первым вопросом, к которому в этой связи обращается Леонардо, является зависимость сопротивления на сжатие и изгиб различного рода колонн и пилястров от их толщины и высоты. Ведь одной из основных черт архитектуры высокого итальянского Возрождения, представителем которой являлся и Леонардо, было широкое и повсеместное применение колонн и пилястров, поддерживающих все наиболее мощные своды, все наиболее грандиозные куполы. В архитектурных зарисовках Леонардо миланского периода обилие таких колонн бросается в глаза. Поэтому естественно, что именно к этому теоретическому вопросу он подошел в самом начале своей научно-технической деятельности. Повидимому, наиболее раннюю запись по этому вопросу, показывающую, как обычно, экспериментальную, и притом весьма элементарную базу, на которую он ставил разрешение вопроса, мы находим еще в кодексе «В».

«Если один прут (рис. 177) будет иметь такое же отношение между своей толщиной и длиной, как и связка таких прутьев, то он будет сам по себе так же крепок и обладать таким же сопротивлением, как эта связка сама по себе. Так, если эта связка имеет 9 мер длины и выдерживает 9 унций и составлена из 9 соединенных вместе прутьев, то один из подобных же прутьев в 9 мер длины будет выдерживать одну унцию.

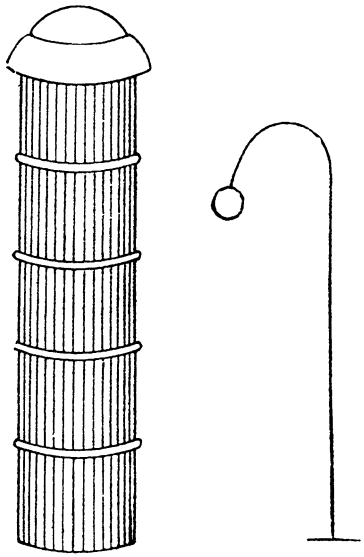


Рис. 177

«Пусть к вершине прута приложен вес в один динар; ты увидишь, что он согнется до земли, но возьми тысячу этих прутьев и туго свяжи их вместе, и укрепи их снизу, и сравняй их сверху, — и ты увидишь, что, в то время как по первому соображению (ragione) они должны были бы выдерживать около $3^1/_2$ фунтов, они будут выдерживать больше 40» (B. 89 v.).

Приведенная запись содержит, как уже сказано, результат первых опытов Леонардо, имевших целью определение сопротивления колонн. Не исключена возможность того, что опыты

эти были навеяны известной в XV в. дидактической новеллой о поучении отца сыновьям, в которой отец показал на примере прутьев преимущество совместных действий; во всяком случае они еще крайне просты и незамысловаты. Запись, очевидно, распадается на две части. Первая постулирует известное положение: при равном отношении между длиной и толщиной опоры их сопротивление будет равным, а при уменьшении или увеличении одной из этих величин оно пропорционально уменьшается или увеличивается; так, если уменьшить в несколько раз толщину (понимается, очевидно, диаметр прута) при сохранении длины, сопротивление уменьшится во столько же раз. Однако после производства опыта уверенность в правильности только что высказанной зависимости у Леонардо исчезает. Наоборот, он констатирует, что при сохранении длины и уменьшении толщины в несколько раз сопротивление сокращается не во столько же раз, а гораздо больше. Расшифровкой этой зависимости, совершенно правильно подмеченной им, он в дальнейшем упорно занимается на ряде страниц кодекса «А», непосредственно примыкающего в «В». Так, уже на одной из первых страниц этого кодекса он заносит следующую запись, основанную, так же как и предыдущая, на простейших экспериментах.

«Об о п о р а х. Несколько малых опор, соединенных вместе, выдержат больший вес, чем если они будут разделены. Например, 1000 столбиков одной и той же толщины и длины, если ты поставишь каждый из них вертикально, согнутся под нагрузкой какой-нибудь одной единицы веса; если же ты свяжешь их вместе так, чтобы связки заставляли их соприкасаться, то каждый из столбиков сможет выдерживать, не сгибаясь, в двенадцать раз больший вес, чем раньше... Если из двух отдельно стоящих колонн каждая в состоянии выдержать нагрузку в 1000 фунтов, то, при их соединении, они выдержат 3000 фунтов» (A. 3 v.).

Здесь опять констатируется, что при сохранении высоты опоры и при увеличении ее диаметра сопротивление ее растет не пропорционально росту последнего, а значительно больше.

Однако какого бы то ни было закона, которому подчиняется это «больше», Леонардо в этих ранних записях не дает, а определяет его прямо на-глаз. Если же мы попытаемся написать в алгебраических выражениях приводимые им в двух рассматриваемых нами записях примеры, то получим, что в двух местах первой и начале второй он утверждает следующее: если опора при отношении ее диаметра к высоте $\left(\frac{d}{h}\right)$ выдерживает определенный вес, то тысяча таких же опор, для которых, очевидно, это отношение изменится и будет $\frac{100d}{h}$, выдержит вес не в тысячу и не в сто раз, а в двенадцать тысяч раз больший. Во второй части второй записи утверждение Леонардо гласит, что если при определенном отношении диаметра опоры к ее высоте $= \left(\frac{d}{h}\right)$ эта опора выдерживает 100 фунтов, то две такие же опоры, у которых отношение это превратится в $\frac{\sqrt{2d}}{h}$, будут выдерживать 300 фунтов. Таким же образом Леонардо утверждает, что сопротивление опоры растет не пропорционально отношению диаметра к высоте и не пропорционально площади сечения опоры — величине r^2, а пропорционально этой площади, помноженной на некоторую, экспериментально устанавливаемую в каждом случае величину. При увеличении площади в 1000 раз величина эта будет равна 12, при увеличении ее в два раза она будет равна $^2/_3$ и т. д.

Разобранное выше чисто эмпирическое решение абсолютно новой и впервые ставящийся Леонардо задачи, очевидно, не удовлетворяет его самого. На дальнейших страницах того же кодекса «А» мы находим постановки той же задачи в двух ее вариантах: как изменяется сопротивление при сохранении высоты и увеличении сечения, и как оно изменяется при сохранении сечения и увеличении высоты?

«Если нить в один локоть поддерживает сто фунтов, то сколько фунтов поддержит нить такой же толщины, но длиной в сто

локтей?» (А. 5 г.), или: «Если нить выдерживает сто фунтов, то сколько выдержат десять таких же нитей, тесно скрученных вместе?

«Если деревянная опора поддерживает сто фунтов, сколько поддержат десять таких же деревянных опор, тесно связанных вместе?» (А. 6 г.).

В этих кратких и лаконических записях мы ясно видим программу элементарных опытов, которые Леонардо предполагает поставить для решения занимающей его задачи. При этом замечательно, что, фиксируя на следующих страницах того же кодекса «А» последовательные и разнообразные попытки дать правильное решение этой задачи, Леонардо постоянно перемежает и нередко спутывает ее с другой задачей, близкой ей по формулировке: как изменяется давление тела на опору, поддерживающую его, при изменении его высоты и сохранении сечения, а также при сохранении высоты и изменении сечения. Данную задачу в трактовке Леонардо мы разберем несколько ниже — теперь же укажем на следующее. Очевидно, не удовлетворившись приведенными выше краткими записями о необходимости производства опытов для выяснения взаисимости сопротивления опор от изменения их измерений, Леонардо через несколько десятков страниц в том же кодексе следующим образом подробно описывает разработанную им специально методику производства этих опытов, сопровождая описание соответствующей зарисовкой с подписью «опыт».

«Ты произведешь опыт следующим образом. Приготовь две железные проволоки, вытянутые на вытяжном стане квадратного сечения, закрепи одну внизу двумя закрепами, нагрузи ее сверху равномерным весом и заметь, когда она начинает сгибаться; проделай то же на проволоке с противовесом внизу и заметь, на какой ступени она начинает сгибаться; затем удвой ее в 2 двойные и соедини их тонкой шелковой нитью, обернутой вокруг, и увидишь, что этот опыт подтверждает мои соображения; таким же образом проверь их на 4 двойных и так постепенно, насколько тебе представится нужным, все время связывая редкими витками шелка» (А. 47 г.)

Методика опыта в данном случае, как нередко у Леонардо, вполне ясна и хотя не должна была дать сколько-нибудь точных результатов, поскольку сопротивление на сжатие определяется моментом наступления изгиба испытуемого стержня, все же должна была приблизить к правильному результату. И действительно, приведенная запись продолжается описанием конкретного случая, очевидно проанализированного при помощи разобранной установки и затем, как обычно, добавочно рассматриваемого «научно», т. е. путем логических рассуждений:

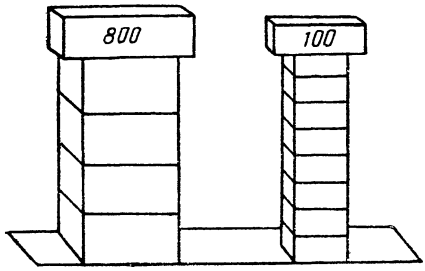


Рис. 178

«При ширине (il diametro) опоры вдвое большей, чем (ширина) другой, (первая опора) будет выдерживать 8 раз столько же веса по сравнению с другой опорой такой же высоты.

«Это обнаруживается вполне ясно, ибо если первая опора (рис. 178), имеющая определенную ширину, выдерживает 100, то вторая, удвоенная по квадрату (di quadrato duplicatione), содержит в себе 4 такие же опоры, как первая, но так как, имея 4 ширины, она уменьшает наполовину надлежащую высоту и настолько же повышает силу, то если раньше она выдерживала (100 фунтов), теперь, будучи в четыре раза больше по толщине по сравнению с первой и будучи кроме того вдвое более сильной, она выдерживает вдвое больше, что дает 800 фунтов» (A. 47 r.).

В настоящей записи, окончательный результат которой, как мы отмечали уже выше, получен, повидимому, им из опыта, Леонардо рассуждает так.

Если обозначить сторону сечения первой опоры через a, а второй через $2a$, то поддерживающая груз площадь второй опоры превратится в $4a^2$, а так как высота опоры h останется без изменения, то отношение стороны сечения к этой высоте, величение которого, как уже подмечено Леонардо, пропорцио-

нально увеличению сопротивления, — $\frac{a}{h}$ — превратится в $\frac{2a}{h}$, т. е. удвоится; все же сопротивление второй опоры, в результате, выразится отношением $\frac{8a^3}{h}$.

Окажется, значит, что сопротивление вертикальной опоры равно частному от деления площади сечения на отношение высоты ее к стороне этого сечения.

Как отмечают все исследователи (Шустер, Марколонго, Харт), формула эта вполне правильна в первой своей части, утверждающей, что сопротивление прямо пропорционально площади сечения опоры, но ошибочна во второй части, поскольку в правильной формуле $\left(\frac{a^4}{h_2} \text{ или } \frac{a^2}{\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)$ в знаменателе должно стоять то же отношение, которое стоит в нем у Леонардо, но не в первой степени, а в квадрате. Таким образом, в примере, приведенном выше, сопротивление большей опоры будет не в восемь, а в шестнадцать раз больше сопротивления опоры меньшей. Это объясняется значительной неточностью проделанных для обоснования формулы экспериментов. Однако и в таком, по своему результату ошибочном, виде формула Леонардо в высшей степени замечательна. Во-первых, она бесспорно является первой формулой из области сопротивления материалов, вводимой в науку; во-вторых, она все же в основном правильно схватывает структуру действительно существующей зависимости, устанавливает пропорциональность сопротивления площади сечения опоры и обратную пропорциональность отношения высоты ее к стороне этого сечения и ошибается только в степени. Очевидно, глубокое проникновение в самую физическую сущность технических явлений, с которыми ему приходилось оперировать, исключительно острый глаз художника-экспериментатора, как бы анатомирующий все, попадающее в его орбиту, подсказывают в данном случае такое решение, которого не могли дать ни элементарная математика,

находившаяся в распоряжении Леонардо, ни неточно проводимые эксперименты, которые должны были, но не могли проконтролировать конечные результаты, что и дало в конце концов неправильную формулу. Конечно, ни в коем случае не следует думать, что Леонардо ясно и четко представлял себе приведенную выше формулу и, раз выведя ее, мог принять в каждом отдельном случае для решения той или иной конкретной задачи. Повидимому, хотя формула эта и могла быть выражена в виде простой пропорции, что было необходимо с точки зрения Леонардо, она все же была слишком сложной и запутанной, чтобы он мог добиться ее общей формулировки. Поэтому, решая конкретную задачу, он в каждом случае наново разворачивает всю аргументацию, приводящую к решению, как бы проверяя себя каждый раз. Примеров этому мы имеем значительное количество в записях кодекса А; приведем один из наиболее характерных:

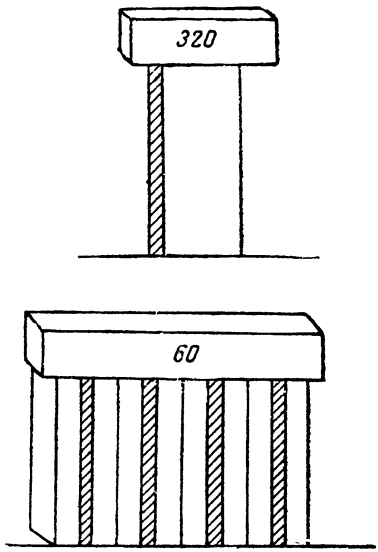


Рис. 179

«Всякая опора представляет собой тем большее сопротивление положенному на нее весу, чем более соединены между собой и крепки ее части.

«Всякая же часть, которая будет разделена по всей высоте опоры равномерной толщины, будет тем более слабой по сравнению с тем, как она была соединенной, чем большее число раз ее ширина (diametro) помещается в ее высоте по сравнению с тем числом, которое имелось во всей величине объединенной опоры.

«Пусть, скажем, имеется (рис. 179) квадратная (в сечении) колонна высотой в 10 равных частей и толщиной в одну, причем она сопротивляется 320 фунтам веса. Я хочу разделить ее по

длине на 16 равных частей, которые до деления выдерживали каждая 20 фунтов, ибо 16 на 20 дает 320, а когда они будут разъединены и отделены друг от друга, то ты увидишь, что каждая из них сама по себе будет настолько тонкой, что ее ширина будет помещаться на $^3/_4$ больше раз в ее высоте, чем было раньше в первой соединенной колонне, ибо в последней она помещалась 10 раз в своей высоте, эта же помещается 40 раз, почему она выросла на $^3/_4$ сверх должной пропорции и силы; и если раньше, будучи соединенной, она сопротивлялась двадцати фунтам, то теперь она не будет сопротивляться более чем 5, ибо 16 раз 5 дает 60 (ошибка Леонардо — надо 80. — *М. Г.*) так что с первой объединенной силы сбавляется 260 фунтов — точно.

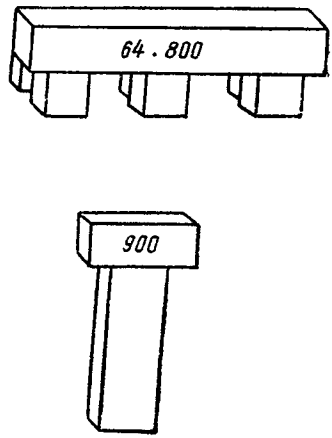


Рис. 180

«Насколько разделенные по длине части опоры делаются более слабыми по сравнению с соединенными, настолько разделенные поперек части опор увеличивают свою силу (*р*).

«Например (рис. 180), колонна квадратная (в сечении имеет длину) в 9 локтей и сопротивляется 900 фунтам; я сделаю из нее 9 частей и подставлю их под вес, который будет нагружать их согласно их сопротивлению. Я утверждаю, что по правилу, высказанному выше, каждый кусок будет выдерживать тем больше по сравнению с первой (колонной), чем он ниже, и если он уменьшен на $^8/_9$ своей высоты, то он возрастет на $^8/_9$ своей силы, и если раньше он выдерживал 900 фунтов, я утверждаю, что 9 раз 900 даст 7200, — и так как имеется 9 кусков, то 9 раз 7200 даст 64 800» (А. 46 г.).

В этой длинной записи без труда можно выделить три части. Первая дает нечто вроде общей формулы для расчета сопротивления опоры, где Леонардо, в противоположность

тому, что он фактически делает при этом расчете, принимает во внимание только отношение стороны сечения к высоте и ничего не говорит о площади сечения, влияние которой, как очевидное, возможно, подразумевается. Таким образом, формула, даваемая в первой части записи, оказывается неудовлетворительной или, в лучшем случае, неполной.

Вторая часть рассматривает частный случай, когда высота опоры, несущей 320 фунтов веса, остается неизменной, а площадь сечения уменьшается в 16 раз, т. е. сторона сечения уменьшается в 4 раза (оно квадратно). Тогда, по приведенной выше формуле, Леонардо должен получить сопротивление новой опоры из равенства $x = \frac{320}{4^3} = 5$. Он действительно и получает эту величину, но не путем простого применения формулы, а путем сложной цепи рассуждений, в общем повторяющих путь доказательства самой формулы.

Третья часть записи пытается решить также частную задачу обратного порядка: определить сопротивление опоры, которая сохраняет сечение другой опоры, сопротивление которой (900 ед. веса) известно, но уменьшает в 9 раз ее высоту. При решении этой задачи Леонардо идет тем же путем, что и в первой, но в то время как в первой задаче он правильно множил площадь нового сечения на сторону его (4), во второй он ошибочно множит эту площадь на добавок высоты, т. е. на разность между старой и новой высотой, а не на частное от деления их, — на 8, а не на 9; поэтому он получает $900 \cdot 8 = 7200$ вместо 8100, которые он должен был получить, правильно применяя свою формулу.

Из этого примера мы совершенно ясно видим, что Леонардо очень нетверд в применении выведенной им зависимости, что ход его мысли далеко не ясен и что, как это явствует из даваемой им общей формулировки, он вполне четко сознает только влияние отношения между стороной сечения и высотой. Полную же формулу он умеет находить ощупью, не всегда точно и четко.

Несмотря на это, а может быть и именно вследствие этого, Леонардо далеко не ограничивается решением приведенных выше задач, а шаг за шагом решает все новые и новые. Так, на

обороте страницы, на которой дана приведенная выше запись, он пытается решить аналогичную задачу для опор не квадратного, а круглого сечения, причем опять-таки разворачивает весь ход аргументации.

«Всякая опора, имеющая двойное отношение по сравнению с меньшей, будет выдерживать вдвое больше веса, чем меньшая, если каждая сама по себе соединена и цела.

«Причина этого ясно видна, ибо, хотя одна колонна будет по величине вдвое больше другой — меньшей и, как кажется, вследствие двойной величины она будет иметь бóльшую силу, чем будучи ординарной, тем не менее, так как она увеличивает

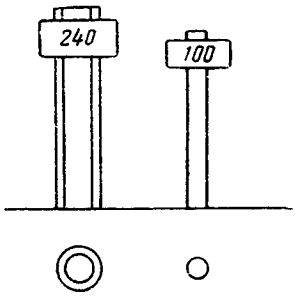


Рис. 181

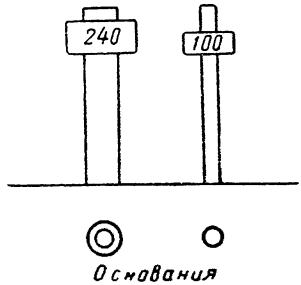


Рис. 182

при увеличении ширины (в оригинале, очевидно, ошибочно — высоты) также вес, длина же ослабляет ее, то, соединив вместе все эти противоположности, находишь, что при всем своем увеличении она выдерживает только настолько же больше веса, сколько выдерживает меньшая, что точно подтверждается опытом (рис. 181). Из всех опор одного и того же материала и равной толщины та, которая будет более короткой, будет выдерживать настолько больший вес по сравнению с более длинной, чем она короче по сравнению с более длинной.

«Хотя невозможно окончательно доказать числовым образом (benché non si possa terminatamente dimostrare per numero), каково увеличение тела, имеющего двойную величину по сравнению с другим, но все-таки можно несколько приблизиться к

истине. Я нахожу, что его увеличение составляет $^2/_5$ всей величины меньшего как по высоте, так и по ширине. И если из двух колонн одна одевает другую и ширина ее увеличивается на $^2/_5$ первоначальной ширины, а отношение (между размерами) уменьшается на $^2/_5$, то опора эта будет на $^2/_5$ более сильной. И ты скажешь так: если первая колонна выдерживает 100 фунтов, то двойная второй пропорции выдерживает их 200, и так как она растет на эти $^2/_5$ по высоте так же, как по толщине, то она имеет на $^2/_5$ больше силы, чем если бы она имела надлежащую высоту согласно (размерам) меньшей колонны. Поэтому, так как она на $^2/_5$ сильнее цельной, в каковом случае она выдерживала бы 200, она прибавляет $^2/_5$ от 200, т. е. 40, каковые положи на 200, и я утверждаю, что 240 будет сопротивление удвоенных и соединенных колонн» (A. 46 v.) (рис. 182).

В этой весьма запутанной и неясной записи, искаженной к тому же описками, что часто встречается в поспешно и небрежно составленных ранних тетрадях, Леонардо, очевидно, пытается определить, насколько увеличивается сопротивление колонны при увеличении вдвое ее объема. Эта проблема, повидимому, остро интересовала его, судя по тому, что он, в очень близких выражениях и приходя, примерно, к тем же результатам, возвращается к ней в записи листа 215 r. с. «Атлантического кодекса», нами, для краткости, не приводимой. При этом он констатирует, что точно определить, как здесь изменяются диаметр и высота колонны, он не может, но считает, что, примерно, они увеличиваются на $^2/_5$ своих прежних размеров, т. е. что $d_1 = \frac{7}{5} d$ и $h_1 = \frac{7}{5} h$. Утверждение это, показывающее сравнительную скудость геометрических познаний Леонардо, очевидно еще не знакомого ни с Пачьоли, ни с его работами, не так далеко от истины, ибо ясно, что при увеличении объема вдвое и условии, чтобы диаметр и высота колонны росли одинаково, $d_1 = \sqrt[3]{2}\, d$ и $h_1 = \sqrt[3]{2}\, h$, а $\sqrt[3]{2} = 1.26$, т. е. больше $^6/_5$. Установив, что при росте объема вдвое диаметр и высота растут на $^2/_5$ своих старых

размеров, Леонардо сложной цепью рассуждений приходит к выводу, что при увеличении объема колонны, выдерживающей первоначально 100 единиц веса, она будет выдерживать 240 единиц. При этом он делает явную арифметическую ошибку, принимая $^2/_5$ от 200 равными 40 вместо 80; но если, исправив эту ошибку, принять сопротивление большей колонны равным 280, то и здесь мы не найдем точного применения формулы $\frac{a^2}{h}$, ибо при таковом мы получили бы новое сопротивление равным $100 \cdot \frac{7^3}{5^3} = \frac{6860}{25} = 274$. Из этого видно, что о сознательном и четком применении Леонардо какой бы то ни было формулы (об этом постоянно говорят все исследователи) не может быть и речи. В каждом данном случае он путем более или менее сложных рассуждений подгоняет результаты своих экспериментов, не имея возможности объективно показать сопротивление опоры на сжатие, к той или другой общей формулировке. Он еще не может — вследствие неустойчивости результатов экспериментов или же из-за сложности соотношения — подняться до matematicha certezza, т. е. до формулировки общего закона. Что это так, показывает еще одна запись, приводимая обыкновенно не особенно внимательными исследователями (Шустер, Марколонго) как пример применения Леонардо разобранной нами выше формулы, но фактически имеющая с нею очень мало общего.

«Например, если ты возьмешь трубу (giungho), по высоте равную 100 толщинам, поставишь ее вертикально и положишь на нее одну унцию веса, то она выдержит ее. Свяжи затем 100 труб вместе сплошной связью. Эти трубы составят тело, высота которого заключает 5 раз его ширину, и столько раз, сколько 5 помещается в 100, во столько раз это тело будет выдерживать больше веса, чем имея 100 раз свою толщину, и так как 5 помещается 20 раз в 100, то каждая труба будет этим связываньем выдерживать в 20 раз больше веса, чем раньше, т. е. если она раньше выдерживала одну унцию, то теперь будет выдерживать 20» (A. 48 v.).

Мы предоставляем читателю проделать расчет данного случая по установленной выше формуле самостоятельно, со своей же стороны мы можем констатировать, что как бы ни относиться к утверждению Леонардо, по которому при соединении 100 труб отношение высоты к диаметру из 100 превратится в 5, мы никаким образом не получим по разобранной выше формуле результата, полученного Леонардо.

Таким образом, рассмотрение записей Леонардо о сопротивлении вертикальных опор приводит нас к следующим выводам: самая постановка вопроса исключительно свежа, своеобразна и плодотворна, но экспериментальная база элементарна и не может дать объективно правильных результатов, в связи с чем и не получается окончательной, точной формулировки. Иногда вырисовываются довольно правильные очертания этой формулировки, но при столкновении с первым, более или менее сложным частным случаем они тонут в море неопределенных и неоформленных рассуждений.

Вопрос о сопротивлении вертикальных опор, как мы уже отмечали, Леонардо разработал в сравнительно большом количестве записей. Несколько реже он обращался к вопросу о сопротивлении горизонтальных опор, лежащих на двух основаниях, и еще реже к вопросу о балке, укрепленной одним концом.

Первый из названных вопросов, наряду с сопротивлением вертикальной опоры, занимает Леонардо еще в самом начале его научно-технического творчества. В рукописи «А» мы находим следующую запись:

«Если одна балка поддерживает тысячу фунтов, то сколько поддерживают четыре балки, положенные одна над другой?» (А. 5 г.) (рис. 183).

Как обычно, Леонардо начинает с постановки вопроса и, очевидно, с серии простейших экспериментов, результаты которых формулирует в следующей записи «Атлантического кодекса»:

«Ты найдешь такую же силу и сопротивление в соединении 9 балок равного качества, как в девятой части каждой из них. *ab* (рис. 184) поддерживает 27 и составляет 9 балок, а, следова-

тельно, *cd*, являющаяся девятой частью их, поддерживает 3, и если это так, то *ef*, являющаяся девятой частью длины *cd*, будет поддерживать 27, так как она в 9 раз короче ее» (С. А. 152 r. a.).

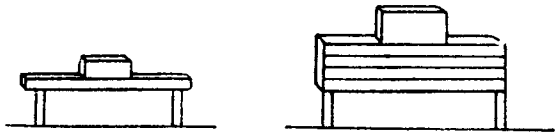


Рис. 183

Таким образом, в результате своих экспериментов, под которые он в данном случае даже и не пытается подвести какую бы то ни было теоретическую базу, Леонардо приходит к следующей

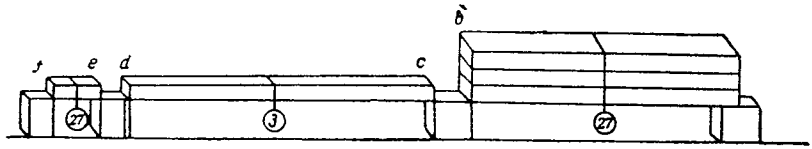


Рис. 184

формуле: сопротивление $x = c\,\frac{h^2}{l}$, где h — сторона сечения балки, а l — длина ее. Формула эта неправильна, так как правильная формула дает $x = \frac{2}{3}\,k \cdot \frac{h^3}{l}$. Но в то же время, так же как и формула сопротивления вертикальных опор, она замечательна и как первая в своем роде, и как правильно в общем схватывающая основной характер зависимости, точно вывести которую не позволяла Леонардо его недостаточная экспериментальная техника.

С приведенной выше записью, насколько нам известно, единственной в своем роде в научном наследии Леонардо, тесно связана другая запись того же «Атлантического кодекса» — по вопросу о прогибе балки, лежащей на двух опорах и нагру-

женной в середине определенным грузом. Возможно, что именно от определения прогибов Леонардо думал перейти к более точному определению сопротивления балок, лежащих на двух опорах. Определение прогиба Леонардо, конечно, производит на эксперименте, который он описывает следующим образом:

«Опыты с железными нитями и пластинками (sperienze con fili di ferro e maglietti). Если *ab* (рис. 185) под влиянием веса 8 сгибается на $^1/_8$ своей длины, то *cd*, если она будет, как я полагаю, двойной силы (fortezza) по сравнению с *ab*, не будет сгибаться на $^1/_8$ своей длины под влиянием веса меньшего 16, ибо она имеет длину вдвое меньше, чем *ab*, и также *ef* не будет опускаться на $^1/_8$ своей длины под влиянием веса в 32.

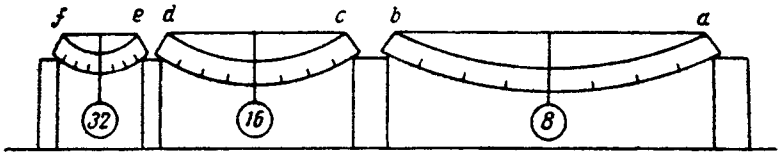


Рис. 185

«Здесь следует принять во внимание то, что балка *cd*, обладая силой вдвое большей, чем *ab*, под влиянием двойного веса, примененного в *ab*, не будет огибать свою длину на $^1/_8$, как я сказал выше, но будет сгибать ее точно на $^1/_{16}$» (C. A. 332 r. b.).

Приведенная запись, подобно ряду других, которые мы рассматривали выше, делится на две части. В первой заключается экспериментальная формулировка, полученная, очевидно, в результате небольшого количества наблюдений. Формулировка эта гласит: стрела прогиба при данной толщине балки прямо пропорциональна произведению веса груза на расстояние между опорами (или длину балки), т. е. при уменьшении расстояния между опорами вдвое и при увеличении груза тоже вдвое стрела прогиба остается неизменной.

Однако повторные наблюдения показывают Леонардо неправильность его утверждения, и он во второй части записи исправляет его. Он констатирует, что при уменьшении расстоя-

ния между опорами вдвое и при увеличении груза тоже вдвое стрела прогиба не остается неизменной, как он предполагал ранее, а уменьшается вдвое, так как уменьшение длины действует не только само по себе, но и тем, что делает балку более сильной. Таким образом, согласно этому утверждению, прогиб пропорционален произведению груза на квадрат расстояния между точками опоры. Если мы проверим последнее утверждение Леонардо на современной формуле $x = k\frac{Pl^3}{ah^3}$, где P — нагрузка, l — длина балки, a — ширина и h — высота ее, то легко убедимся в том, что последнее утверждение Леонардо ближе к истине, чем первое.

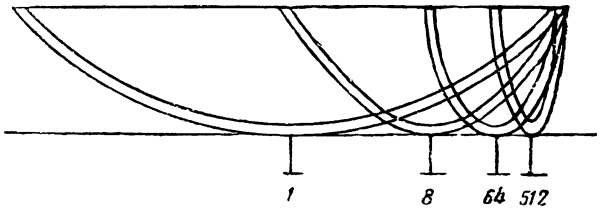


Рис. 186

Действительно, при увеличении вдвое P и при таком же уменьшении l, x не остается неизменным, а уменьшается, но не вдвое, как полагал Леонардо, а вчетверо. Таким образом, вопреки утверждению всех исследователей (Шустера, Марколонго и Харта), и во второй своей формулировке Леонардо не установил правильного соотношения, но он подошел очень близко к нему. Поскольку методика его опыта мало отличается от современной методики в этом вопросе и поскольку все величины, которыми ему приходилось здесь оперировать, поддавались вполне точному измерению, он, несомненно, продолжая работать в этом направлении, достиг бы и правильных результатов.

Мы располагаем лишь очень скудными сведениями о продолжении работы Леонардо над этим вопросом, но такие работы

существовали, что подтверждает следующая запись, очевидно, также отражающая непосредственные результаты эксперимента:

«Я нашел, что стержень в 12 локтей (рис. 186), если к нему подвесить в середине 1 фунт веса, будет иметь кривизну (incurvatura) в 1 локоть, и я хочу знать, какой вес будет требовать стержень в 6 локтей такой же толщины, для того чтобы создать тот же локоть дуги.

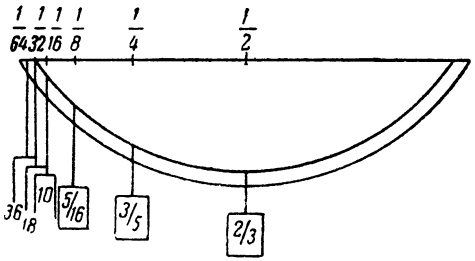


Рис. 187

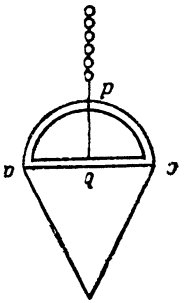


Рис. 188

«Стержень в 6 локтей вдвое крепче (forte) в середине, чем 4 стержня в 12 локтей такой же толщины, связанные вместе.

«Если бы все эти веса были подвешены вместе к этому стержню, какую кривизну получил бы этот стержень?

«И какие надо взять веса, чтобы при подвешивании в каждом из этих мест одновременно этот стержень сохранил ту же кривизну? (рис. 187).

«Согни его на $^1/_8$ часть его длины. В стержне *abc* (рис. 188), до тех пор пока своей кривизной он не достигнет шестой части окружности, степени опускания к данной кривизне, производимые равными весами, будут также равны между собой.

«Я хочу подвесить вес в середине горизонтального стержня и хочу поддержать в нем ту же кривизну и изменить этот вес в 5 разных местах стержня, постоянно приближая его к одному из концов, и хочу постоянно удваивать подвешенный вес и найти точно положение каждого веса, поддерживая стержень в первоначальной кривизне.

«Я хочу только увидеть вес, при помощи которого ты, подвешивая его в середине горизонтального стержня, даешь ему определенную кривизну; тронь затем стержень, где тебе хочется, и я тебе скажу, какой вес нужно подвесить в этой части, для того чтобы придать такую же кривизну этому стержню» (C. A. 211 b.)

В первой части приведенной записи Леонардо разрешает тот же вопрос, который он разрешал в записи, разобранной нами выше. На этот раз как в цифрах, проставленных на рисунке, иллюстрирующем текст, так и в самом тексте он приходит к такому вполне правильному выводу: изгиб приопорционален произведению веса на куб, а не (как он раньше предполагал) на квадрат расстояния между опорами. Действительно, на рисунке он изображает балки одного сечения, но разной длины, прогнутые разными грузами до одной и той же глубины, и помечает нужные для этого грузы. При этом он вполне правильно констатирует, что при уменьшении длины в 2 раза груз должен быть увеличен в 8 раз; при уменьшении длины в 4 раза — груз должен быть увеличен в 64 раза и т. д., и совершенно то же самое утверждает в словах, что при уменьшении длины в 2 раза крепость стержня будет в 2 раза больше 4 стержней первого сечения, т. е. в целом в 8 раз. Таким образом, как мы и предполагали, правильно поставленные эксперименты, к тому же находившиеся в пределах возможностей Леонардо и его времени, довольно скоро привели его в вопросе о прогибе балки, лежащей на двух опорах, к вполне правильному результату. Этот результат он, правда, не обобщает в виде формулы, применимой во всех случаях, но он уже умеет применять его в отдельных частных случаях. Как обычно, полученный результат не удовлетворяет ненасытного исследователя. Во второй части приведенной записи Леонардо ставит перед собой и дальнейшую задачу — определить, как изменяется прогиб при передвижении одного и того же веса от середины стержня к одному из его концов или, наоборот, какой вес нужно приложить в разных местах стержня, чтобы получить тот же изгиб, который получается при укреплении данного груза в середине стержня.

Ответов на эти вопросы, достаточно сложные и для современной науки о сопротивлении материалов, Леонардо не дает. Только в один из рисунков он вписывает, очевидно, полученные им из эксперимента, величины грузов, укрепленных в разных местах и дающих определенный изгиб, но самая постановка вопроса и без ответа представляет большой интерес. Мысль Леонардо идет в точности тем же путем, каким идет мысль современного специалиста по сопротивлению материалов. Разрешив более простой частный случай изгиба под действием груза, привешенного в середине, Леонардо переходит к более общему случаю изгиба под действием произвольно расположенного груза. При этом он обнаруживает исключительно ясное представление о физической сущности изучаемого им явления и о путях экспериментального его исследования.

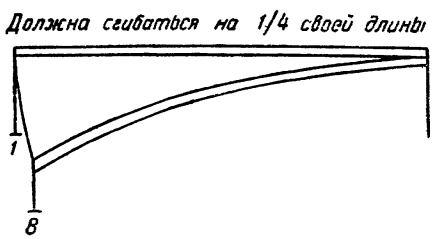


Рис. 189

Столь же глубокое проникновение обнаруживает и то обстоятельство, что Леонардо рассматривает изгиб балки, укрепленной одним своим концом, в связи с изгибом балки, лежащей на двух опорах, как это делается и в современных курсах сопротивления материалов. Так, в середине последней из приведенных нами записей (в месте, обозначенном нами многоточием) он пишет:

«В стержне (рис. 189), который будет закреплен одним из своих концов, а противоположным концом будет описывать или производить при своем опускании двенадцатую (dodecima) часть окружности, все степени (gradi) опускания будут равны, если они будут производиться равными весами» (C. A. 211 r. b.).

В этом беглом, схематичном замечании Леонардо, очевидно, хочет сказать, что глубина прогиба балки, один конец которой укреплен, так же как и стрела прогиба балки, на двух основаниях, пропорциональна привешенному грузу, что правильно.

К вопросу о прогибе балки, укрепленной одним концом, Леонардо, насколько нам известно, больше нигде не возвращается. Зато в двух записях он трактует вопрос о сопротивлении на изгиб такой балки. Обе эти записи относятся к числу ранних. Первую из них находим еще в кодексе «А». Она гласит:

«Если стержень в 2 локтя (рис. 190) выдерживает 10 фунтов, то 1 локоть стержня той же толщины будет выдерживать 20, ибо сколько раз короткий стержень помещается в длинном, во столько раз больше он выдерживает веса, чем длинный.

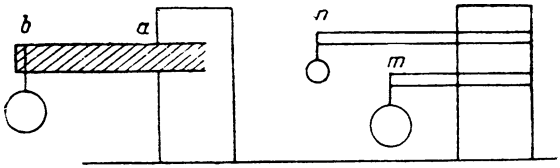


Рис. 190

«Если стержень выступает из стены на 100 толщин и выдерживает 10 фунтов, то сколько будет выдерживать 100 подобных стержней, выступающих также и связанных и соединенных вместе? Я утверждаю, что если 100 толщин выдерживают 10 фунтов, то 5 толщин будут выдерживать в 10 (не в 20 ли?) раз больше, чем 100, и если *ab* имеет 5 толщин и соединяет 100 таких стержней, то оно выдерживает 20 тысяч» (А. 49 г.).

В данной записи, как обычно, Леонардо высказывает сначала некоторое, наиболее схематичное, априорное суждение, затем проверяет его на опыте, зафиксированном на рисунке, и, убедившись в ошибочности первого суждения, переходит к другому, обобщающему результаты опыта. При этом он делает неправильное предположение, что если в первом стержне отношение длины к стороне сечения (очевидно, квадратного) будет равно 100, то при соединении 100 таких стержней отношение это будет равно 5, в то время как оно будет равно либо 10, если новая балка будет сохранять квадратное сечение, либо 1, если балки будут накладываться одна на другую. Затем (мы

предполагаем, что наша замена 10 на 20 правильна) Леонардо утверждает, что если отношение длины к стороне сечения уменьшилось в 10 раз, то сопротивление увеличилось во столько же раз, т. е. стало равным 200, а так как и стержней вместо одного стало 100, то сопротивление увеличилось еще в 100 раз, т. е. всего стало равным 20 000. Рассуждение это, как нетрудно заметить, очень мало убедительно (так как непонятно, чем обосновано умножение на 100) и весьма близко к рассуждению, обосновывающему сопротивление вертикальной опоры. Легко также увидеть, что и окончательная формула, которая может быть выведена из приведенного рассуждения, строится, примерно, так же, как строилась наиболее часто применяемая Леонардо формула сопротивления вертикальной опоры. Ибо при $h_1 = 10h$ и $\frac{l_1}{h_1} = 5\,\frac{l}{h}$ Леонардо получает конечную величину сопротивления по той же формуле $x = \frac{h^2}{\frac{l}{h}}$, или $\frac{h^3}{l}$. Это в общем правильно, поскольку сопротивление изгибу балки, укрепленной одним концом, так же как сопротивление изгибу балки, лежащей на двух опорах, пропорционально кубу высоты сечения и обратно пропорционально длине ее.

Придя к этому правильному результату, как и в ряде других случаев, чисто эмпирически, Леонардо опять-таки, очевидно, не считает полученное им решение окончательным и применимым во всех аналогичных случаях. Так, в примерно одновременной или, может быть, несколько более поздней записи «Атлантического кодекса» он пишет:

«П р а в и л о п о п е р е ч н ы х о п о р, неподвижных в месте своего укрепления.

«Опора *nb* (рис. 191) будет иметь такое сопротивление в *n*, как опора *cd* в *c*. Причина этого в том, что опора *cd*, имеющая по толщине вдвое больший диаметр по сравнению с верхней опорой *ab*, является по пятому положению в 4 раза более толстой, чем эта опора, и поэтому на одинаковом расстоянии от

места их неподвижного укрепления выдерживает в 4 раза больший вес.

«Но половина опоры *ab*, т. е. *nb*, будет в *n* выдерживать столько же, как *c* конец опоры *cd*, так как если диаметр толщины одной содержится 20 раз в толщине (не длине ли?) ее, то другая имеет такую же пропорцию и поэтому они представят одинаковые сопротивления для одинакового веса» (C. A. 86 v. b.).

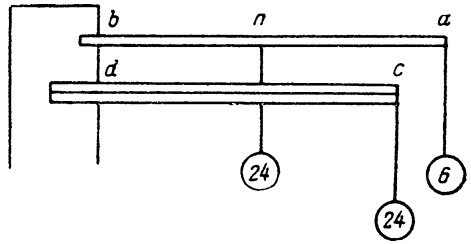


Рис. 191

Несмотря на некоторую противоречивость в двух абзацах этой записи, общий смысл ее более или менее очевидно сводится к тому, что сопротивление обратно пропорционально отношению длины балки к высоте ее сечения, так как при равных отношениях и сопротивления оказываются равными.

Как мы уже говорили, сопротивление на изгиб балок, укрепленных одним концом, Леонардо рассматривает в сравнительно немногих записях. Однако приведенными вопросами не исчерпываются все темы, которые рассматривает Леонардо в отделе сопротивления материалов своей механики. Он бегло ставит, а иногда и разрабатывает, еще ряд проблем, рассмотрение которых находится вне пределов возможностей даже столь подробного исследования, как наше. Мы приведем для образца и без особого анализа, поскольку имеем здесь дело не с установившейся системой взглядов и положений, а с отдельными замечаниями, две записи по вопросу изгиба и разрыва вертикальной опоры.

«Середина высоты опор испытывает больший напор (e piu combatuta) и более побеждается силой (*f*) излишнего веса, помещенного на них, чем любая другая часть (рис. 192).

«Это может быть найдено на опыте, ибо если ты возьмешь 3 куска дерева равных пропорций и посадишь их в виде треугольника (in forma triangolare), т. е. широко (расставив) снизу и сблизив сверху, и нагрузишь их таким весом, чтобы он

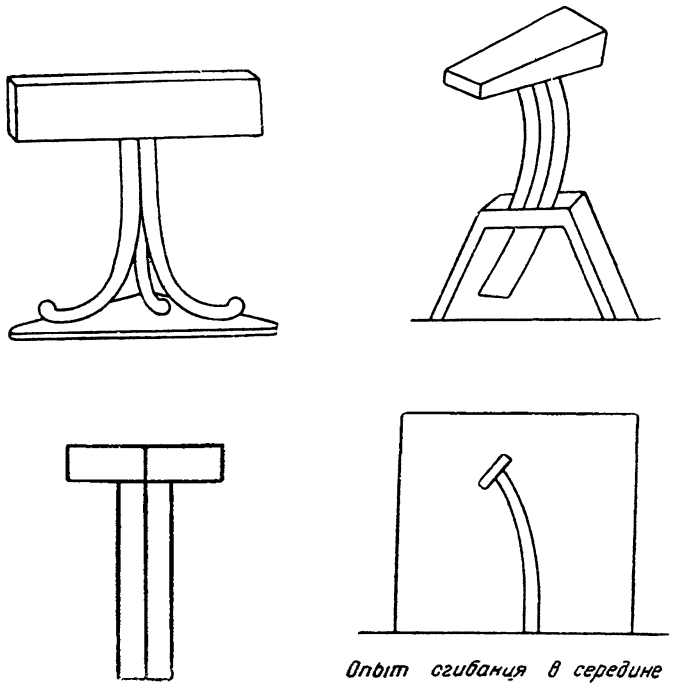


Рис. 192

заставил их согнуться, то увидишь, что середина первая начнет сгибаться. Причина же этого та, что вес, помещенный сверху, опускается по всей опоре и кончается настолько же в основании, как и наверху; а если, как сказано выше, вес находится весь в (любой) части своей опоры, то та часть, которая является более слабой, представляет ему меньшее сопротивление, почему та часть может быть названа более слабой, которая более отделена от точек укрепления (firmamenti), т. е. середина, одинаково отстоящая от краев, укрепленных один — весом, дру-

гой — в земле. И если ты натянешь нить как бы на лук, укрепив ее в двух концах, то ты можешь сказать, что та часть этого куска дерева, которая более удалена от нити, наиболее слаба и она же является серединой.

«Та опора, перпендикулярная (perpendiculare) линия которой будет расположена вне центра лежащего на ней веса, согнется в сторону большей части этого веса.

«Это также доказывается разумом и подтверждается опытом. Разум нас принуждает следующим образом, а именно: если ты нагрузишь опору, перпендикулярная линия которой будет расположена так, что центр этой опоры будет помещен под центром веса, то она скорее воткнется, чем согнется, ибо все части веса соответствуют частям сопротивления.

«Невозможно, чтобы опора, перпендикулярная линия которой находится под центром лежащего на ней веса, могла при каких-нибудь условиях согнуться, — скорее она воткнет в землю свою нижнюю часть.

«Причина предложения «а» (см. выше) такова, что та часть опоры, которая находится под центром веса, становится как бы осью этого веса; когда же это так, то в ней остается почти вся сила, и так как та часть опоры, которая делается осью, не окружена и не вооружена равномерно всей толщиной опоры, то сгибается та часть, которая является более слабой» (A. 45 v.).

Эта ранняя запись уже показывает неоднократно констатированное нами в творчестве Леонардо слияние элементов опыта с элементами схоластически окрашенного рассуждения (с некоторым, естественным для ранних работ, преобладанием последнего). В ней мы видим попытку определить место, в котором согнется вертикальная опора под действием положенного на нее груза, и условия, при которых она согнется. При этом вторая и третья констатация Леонардо правильны, первая же (опора согнется в середине) — неправильна.

Запись, близкую тематически к вышеприведенной, мы находим в значительно более позднем кодексе «G».

«Та часть нити с равномерным сопротивлением легче рвется, которая чувствует больший вес, чем она сама. Доказывается

это так: пусть нить *ab*, подвешенная в воздухе за верхний конец, может сопротивляться тысяче. Я утверждаю, что если такая нить весит сама по себе тысячу и один фунт, то она порвется ближе к концу *a*, где кончается длина, которая весит тысячу фунтов, чем в другом месте, в котором она весит девятьсот девяносто девять фунтов, ибо у такой нити остается еще сила (*p*) в один фунт. Будучи прибавлена к остальной части нити, она находится на последнем пределе всей ее силы (*p*), и тот вес, который будет прибавлен к такой нити, тотчас же порвет ее в верхнем пределе ста сотых ее длины и ее веса.

«Нить равномерной толщины и сопротивления, помещенная в разных положениях, будучи превзойдена весом, порвется в разных местах своей длины.

«Но если лук помещен вертикально (per diricto), тогда нить порвется в верхней части, где кончается ее прямое направление (rectitudine), и происходит это оттого, что сила нити вся находится во всей и вся в каждой части длины нити, но к этой силе прибавляется вес нити.

«Посмотри, где лук (il balestro) рвет свою тетиву, и поймешь где она порвется, будучи превзойдена силой» (G. 80 г.).

В приведенном отрывке Леонардо возвращается к вопросу, который, как мы упоминали, ставил уже Альберти, — к вопросу о прочности подвешенной вертикально нити. Но в противоположность Альберти он не ставит эту прочность в зависимость от отношения длины к толщине, а рассматривает только груз, подвешенный к нити, и зависимость от него места разрыва.

Значительно больший интерес, чем записи, образцы которых мы привели выше, представляют собой записи, рисующие конкретные экспериментальные работы Леонардо над вопросами сопротивления материалов, вопросами не общетеоретического характера, а характера сугубо технического, прикладного. Одну из таких записей мы находим в сравнительно раннем кодексе «С»:

«С и л а. Я спрашиваю, будет ли вес лучше поддержан двумя ординарными скобками (рис. 193) (uncini), изображенными в *ebd*, или же одной двойной скобкой, как *feq*. Я утверждаю, что раньше сломается одна двойная скоба. Докажу я это на опыте

при помощи железной проволоки равномерной толщины. Ибо ясно можно понять без сравнения, что железную проволоку легче согнуть, чем разорвать. Если нижняя часть (fondo) крючка (ranpino) будет нагружена излишним весом, то его точка укрепления *e* будет сопротивляться, но точка *d*, не будучи укреплена,

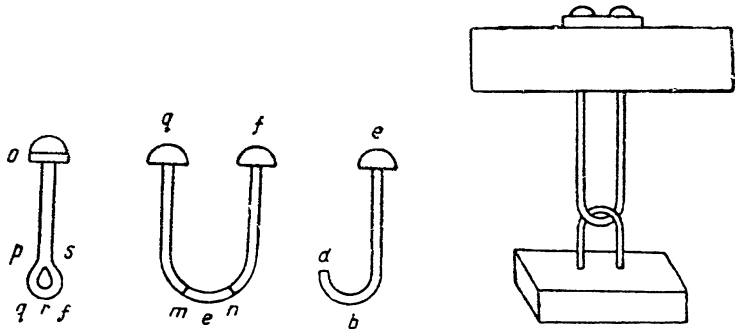


Рис. 193

будет повиноваться стремлению веса и вместе с ним направится к земле. Нижняя же часть двойной скобы *e* укреплена в *fqnm* и не может сдвинуться, если только опоры не сломаются, а нижняя часть *e* нагружена не только в середине, но по всей своей плоскости и не может отделиться одним отделением (non si po dividere in se d'una sola divisione), почему необходимо, чтобы, если опоры имеют равномерную толщину, эта нижняя часть сломалась в двух местах, а именно в *n* и *m*. Железная (петля) *or* не сможет сломаться ни в *r*, ни в боковых частях кольца *pqfs*, ибо каждая из этих боковых частей имеет наполовину меньше веса, чем пространство между *p* и *o*, почему петля и сломается между *o* и *p*». (С. 7 v.).

Ясно, что приведенная запись показывает нам Леонардо в разгаре его технических работ, пытающимся разрешить совершенно определенную задачу и еще не задающимся особыми теоретическими проблемами. Однако проблемы эти должны были возникнуть при расчленении объекта на его элементы и внимательном всматривании в эти элементы; такой подход

сквозит из приведенных слов. Несколько общие, литературные и неуклюжие описания тех или иных технических явлений, которые мы встречали в писаниях Альберти или Джиорджио Мартини, заменяются цепким и трезвым анализом остро видящего практика-наблюдателя. Анализ этот не искажен никакими литературными влияниями и потому особенно плодотворен.

Еще более интересна несколько более поздняя запись, описывающая экспериментальную установку для испытания сопротивления проволоки на разрыв:

«Опыт с силой, которую может выдержать железная проволока разной длины.

«Запомни, как ты должен сделать опыт на подвес или какой вес может выдержать железная проволока.

«Для этого опыта поступай так (рис. 194). Привесь железную проволоку длиной в 2 локтя, или около того, в прочно укрепленное место, затем привесь к ней ведро (cavagno), или корзину (sporta), или что-нибудь другое по твоему усмотрению и в нее через маленькое отверстие в воронке (tramoggia) насыпай мелкого песку; когда эта железная проволока не сможет больше выдерживать и порвется, приладь клапан (moletta), который бы сразу закрыл воронку, так, чтобы песок больше не падал в корзину, которая упадет вниз... заметь, каков вес, который порвал эту проволоку; заметь, в каком месте эта проволока порвалась, и повтори много раз этот опыт, чтобы подтвердить, что она постоянно рвется в одном и том же месте. Затем сделай проволоку вдвое короче и заметь, насколько больше веса она выдерживает; затем сделай ее в $^1/_4$ длины первой и так раз за разом поступай с равными длинами, отмечая вес, которым каждая разрывается, и место, в котором разрывается.

Проделай этот опыт с каждым металлом и деревом, камнем, канатом и всяким веществом, способным выдерживать нагрузку, и выводи в каждом случае общий закон (regola generale); так же поступай с опорами земляными, т. е. такими, которые, поддерживая, имеют один свой конец укрепленным в земле или на земле» (C. A. 82 r. b.).

Рис. 194

В данной записи, одной из самых ярких и выразительных во всем научном наследии Леонардо, мы не находим результатов опытов, о которых она говорит, но зато самые эти опыты описаны точно и полно. Запись опять рисует нам Леонардо как сознательного, упорного экспериментатора, тщательно придумывающего и обстоятельно выполняющего ряд опытов, результаты которых и должны лечь в основу его дальнейших научных обобщений.

В общем раздел механики Леонардо, посвященный, условно говоря, сопротивлению материалов, отличается исключительно смелой постановкой вопроса, имеющей немногочисленных и весьма примитивных предшественников, и обычными для Леонардо попытками разрешить этот вопрос экспериментальным образом. Однако, хотя проблемы сопротивления материалов упорно и настоятельно ставились перед Леонардо-техником и Леонардо-ученым всей его инженерной деятельностью, всем его техническим окружением, и хотя проблемами этими он в ранние годы своей деятельности занимался очень много, он почти не добился ни окончательно правильных, ни сколько-нибудь устойчивых и сформулированных в общей форме решений. В процессе упорного экспериментирования Леонардо нередко подходил близко к правильным ответам. Но недостаточная математическая изощренность и неточные результаты экспериментов помешали ему облечь эти ответы в единственно доступную ему форму пропорции. Поэтому предлагаемые им решения только указывают пути для дальнейших плодотворных работ в данной области, пути, на которых самому Леонардо не суждено было дойти до какой-нибудь определенной цели.

§ 2. ДЕТАЛИ МАШИН

Занявшись новой и весьма трудной областью сопротивления материалов, Леонардо не мог пройти равнодушно мимо другой области механики, значительно более разработанной его предшественниками и, пожалуй, несколько более легкой, — области деталей машин.

На всех строительных работах, в которых он участвовал с юных лет, на работах по устройству придворных празднеств, наконец, на военных работах Леонардо неизбежно встречался в первую очередь с блоком и системой блоков. Поэтому вполне понятно, что проблема блока и тали занимает его с самого начала технико-теоретических штудий до самого их конца. И действительно, мы находим значительное количество записей, в которых он занимается проблемой блока. Они помещены в кодексе «А» в «Атлантическом кодексе» и в кодексах «Арундель», «G» и «E».

Мы помним, что еще «Механические проблемы, хотя неясно и сбивчиво, но вполне определенно, ставили проблему блока как одного из основных технических приспособлений античности. Механика Герона дает уже развернутую теорию блока и системы блоков. Наконец, отрывки по механике «Трактата об архитектуре» Альберти в своих немногих строках по-новому ставят вопрос о блоке, переводя его в столь родную и понятную Леонардо сферу наглядных, экспериментальных констатаций и связывая непосредственно теорию рычага с технической рецептурой — основным содержанием трактата.

Первые записи, относящиеся к блокам и талям, мы находим уже в ранних местах кодекса «А».

«О тяжести (pondo) и движении. Ни одно весомое тело не поднимает на круговых весах (bilancia circulare) силой своего простого веса больше веса, чем оно само.

«Круговыми весами я называю колесо или шкив, при помощи которого вытягивается вода из колодцев и при помощи которого никогда не поднимается больше веса, чем прикладывает тот, кто достает воду.

«О тяжести (ponderibus) и движении. Всякий вес, поднимаемый при помощи круговых весов, удваивается в опоре (nel sostentaculo) этих весов.

«Это предложение может быть ясно понято также на (примере) колодезных шкивов, и если кто-нибудь привязывает ведро в 100 фунтов, то необходимо, чтобы привязывающий при-

ложил с противоположной стороны 101 фунт, и весь этот вес остается на опоре этого шкива (рис. 195).

«Верхняя точка укрепления талей, (поднимающих) один и тот же вес, будет чувствовать тем меньшую нагрузку (charicho) от двигателя, сколько раз меньшее удвоение нитей помещается в большем (рис. 196).

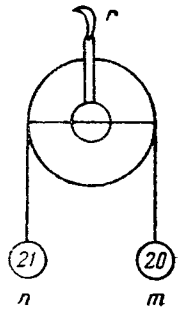


Рис. 195

«Если m весит 20 фунтов, то 21 в n будут поднимать их вверх, а следовательно ось весов r будет чувствовать вес в 41 фунт (рис. 195). Если ты удвоишь нить, поддерживающую 20 фунтов, то f будет поддерживать 10 из них и также d другие 10 (рис. 196). Если же ты хочешь, чтобы c тянуло 10 фунтов, нагружающихся в d, дай в c 11 фунтов и ты поднимешь 10 имеющихся в d, а следовательно опора fd выдерживает 31 фунт. Если же ты наденешь на талю (se tu voli inchordare le taglie) 4 двойные нити и эта таль должна будет поднять 20 фунтов веса, то я утверждаю, что колесо r (girella) выдерживает 10 фунтов и 10 выдерживает

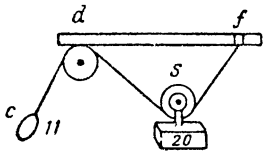


Рис. 196

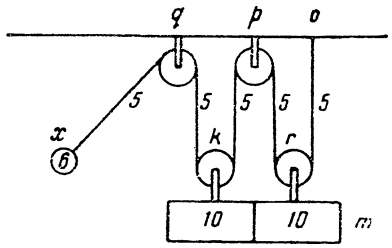


Рис. 197

колесо k (рис. 197), каковые веса передаются их верхним опорам, т. е. o принимает от r 5 фунтов и 5 принимает также p от r и 5 от k — и то же k отдает 5 q; и тот, кто захотел бы победить эти 5 в q, должен поместить 6 в противовесе x, и если поместит в последнем месте 6 против 5, то каждая из 4 нитей, поддерживающих 20 фунтов, не чувствует сама по себе больше 5 фунтов, так

что тот лишний фунт, который я помещаю в нити *qx*, не встречая ни в одной из противопоставленных сил нитей равного себе веса, всех их побеждает и всех движет.

«Всякий вес, приложенный к свободным и непрерывным нитям, весь во всей (длине) и весь в части (ее)» (A. 62 г.).

Несмотря на неуклюжесть формулировок этой ранней записи, мы видим в ней уже всю леонардову теорию блока и тали, теорию, выведенную, несомненно, экспериментально и затем обоснованную теоретически, путем обычных в таких случаях для Леонардо рассуждений несколько схоластического типа. Теория эта сводится к трем основным положениям: 1) простой неподвижный блок не уменьшает силы; 2) система подвесных блоков уменьшает силу, деля ее на число заключенных между точкой укрепления и шкивами ветвей нити (очевидно, это имеет в виду Леонардо в своем туманном: «сколько раз меньшее удвоение нити помещается в большем»); 3) вся нить в целом и неподвижная опора, на которой привешены блоки, выдерживает сумму напряжений во всех ветвях нити, т. е. в первом случае — при неподвижном блоке — 41 фунт, во втором случае — при одном подвижном и одном неподвижном — 31 фунт и в третьем — при двух подвижных и двух неподвижных — 26 фунтов. Первые два утверждения совершенно правильны и были в общем хорошо известны еще предшественникам Леонардо. Последнее утверждение ошибочно, но оно находит полное объяснение в рассмотренном нами (см. стр. 495) убеждении Леонардо, что в каждой натянутой нити существует противодействие, равное действию, и что обе эти силы должны суммироваться для получения полного напряжения нити.

Установив на основании простейших наблюдений закон действия блоков и талей, Леонардо затем идет по двум путям: во-первых, он пытается теоретически более глубоко, чем в вышеприведенном отрывке, разобраться в сущности столь удивительного и в то же время столь широко известного явления, как потеря силы на подвижных блоках; во-вторых, он стремится решить ряд частных задач на сложные системы блоков. Записи первого типа особенно характерны для более раннего

научного творчества Леонардо. Так, на соседней с только что разобранной нами странице кодекса «А» он пишет:

«О силе и движении. Среди вещей, движимых одной и той же причиной, та, которая будет иметь более быстрое движение, будет вредить своему двигателю.

«Пример. Предположим, что *ag* есть таля и таким же образом *bn* другая внизу, каковую я хочу поднять до высоты линии *mn*. Я утверждаю, что для того, чтобы это сделать, необходимо, чтобы часть нити *gh* опустилась таким образом, чтобы часть *g* опустилась в *h*, почему необходимо, чтобы нить, которая останется между *g* и *n*, была (равна длине нити), которая выйдет на место *mbo*, *pdq*, *rfs* (рис. 198). А следовательно, возвращаясь к соображению, высказанному выше, когда *mbo* выйдет из своего места и будет тянуться из *pdq*, которое со своей стороны выйдет со своего места, имея двойную длину нити, и после того, как оно выйдет из своего места, стержень в *h* нисколько не поднимется, если выйдет только столько же нити, сколько имеется в *mbo*.

«И таким образом нить *rfs* выйдет со своего места утроенной, так как через нее проходит нить *mbo* и также *pdq*. Следовательно, когда угол *b* будет двигать 1 локоть нити, угол *d* будет двигать 2, угол *f* — 3, почему будет испытывать в 3 раза бо̀льшую нагрузку (fatica), чем *b*, ибо движется в 3 раза более быстро, чем *b*. Я не отрицаю того, что каждая нить чувствует равный вес, но неравное движение более нагружает (fia più faticoso) свой двигатель; например, пусть тот же двигатель тащит тот же вес в быстром движении, и тем бо̀льшую нагрузку (fatica) он будет переносить и тем большее сопротивление (noia) чувствовать, чем дальше второе движение от первого» (А. 61 г.).

В приведенной длинной и неуклюжей записи Леонардо старается уяснить себе самый механизм действия талей; он старается показать в схематическом виде, почему и как тянущаяся нить движется скорее, чем поднимаемый ею блок, и почему эта разница в скоростях связана с разницей в силе.

Если в данной записи Леонардо пытается вывести закон действия тали путем внимательного рассмотрения ее, то в ряде

других он пытается сделать то же самое, опираясь на уже установленные им в другой связи общие законы механики. Так, в нижеследующей записи «Атлантического кодекса» он сводит закон действия тали к целиком принимаемому им (см. стр. 505) перипатетическому закону приобретаемого движения.

«Если сила движет тело в определенное время на определенное расстояние, то половина этой силы будет двигать все это тело в то же время на половину пространства. Двигатель в *b* двигает в два равных промежутка времени (tempi armonici)

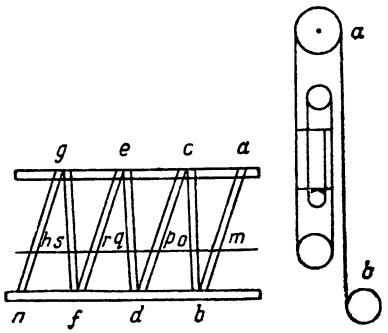


Рис. 198

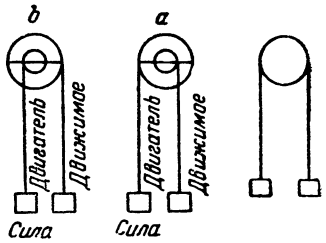


Рис. 199

свое движимое на длины всей изображенной линии (рис. 199). Но двигатель в *a*, будучи половиной первого двигателя, двигает в то же время свое движимое на половину этого расстояния. Это доказывается тем, что такое отношение имеется между силой двигателя *a* и двигателя *b*, каково оно между длиной движения двигателя *a* и двигателя *b* или же в точности каково оно между рычагом вращения *a* и рычагом вращения *b* (C. A. 301 v. d.).

Несколько проще, но по существу в том же духе подходит к вопросу другая запись того же кодекса:

«О д в и ж е н и и. Во столько раз более длинным будет движение тянущей нити, движущей груз, по сравнению с движением груза, движимого при помощи талей этой нити, каково число шкивов, находящихся в этой тали.

«В нити, проходящей между талями (infralle taglie), в краях их, двумя вышеназванными способами, та часть, которая вызывает движение и укрепляется на первом шкиве (argano), называется тянущей (arganica); та же, которая укрепляется на верхней тали и не дает талям упасть или опуститься, называется поддерживающей.

«О времени. Чем больше число колес, находящихся в талях, тем более скорым будет движение, производимое тянущей нитью по сравнению с нитью поддерживающей.

«О весе. Чем больше будет число колес талей, тем большим будет поддерживаемый вес по сравнению с поддерживающим.

«О движении. Настолько больше будет число плеч (ветвей) нити, присоединяющихся к первому шкиву (argano), по сравнению с числом веса, поднимаемого этой нитью, каково число шкивов, находящихся в талях» (С. А. 321 г. а.).

Опять-таки в несколько других выражениях, и притом, может быть, наиболее удачно, Леонардо формулирует то же самое в следующей записи:

«Колеса, укрепленные в машинах (strumenti) и вращаемые силой (*f*) или грузом действуют, как совершенные весы, когда одна сила (*p*) побеждается другой.

«Сферическое тело, подвешенное за поперечные противоположные концы, будет отдавать равные части своего веса своим опорам.

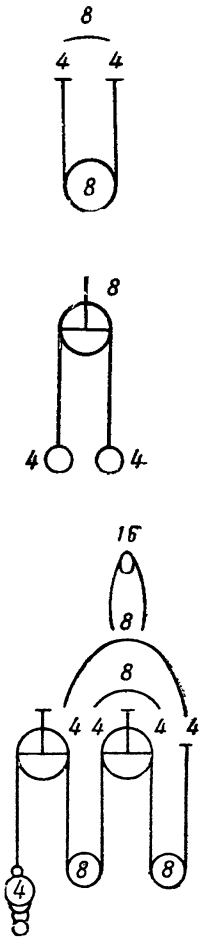
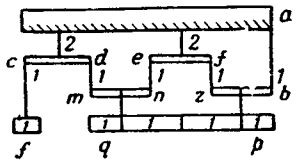


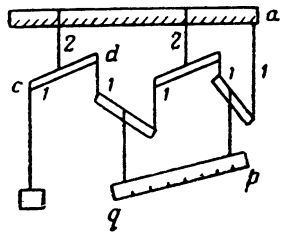
Рис. 200

«О том, что все колеса по своей природе являются весами. Колесо, центром которого есть центр окружности, будет действовать как совершенные весы.

«О в е с е. Если ты разделишь вес, поднимаемый талью, на число колес, имеющихся в этой тали, и результат привесишь к тянущей нити, то полученные веса будут уравновешивать опускание друг друга» (С. А. 321 r. a.) (рис. 200).

Во всех приведенных записях мы видим одно и то же стремление, находящее, правда, несколько различные выражения. Закон действия блоков и талей настолько хорошо известен Леонардо и его предшественникам, что не требует особого подтверждения на опыте. Поэтому Леонардо стремится только возможно более ярко и кратко сформулировать его, подведя под него некоторую базу, чего, как мы это неоднократно видели, он делать не умеет и в чем он редко добивается сколько-нибудь окончательных и ценных результатов. Повидимому, такое доказательство, наиболее позднее и совершенное, дает следующая запись кодекса «Е».





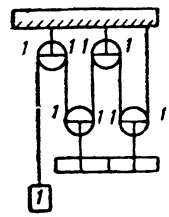


Рис. 201

«Мы определим природу составных весов как в круговых весах (т. е. шкивах и колесах), так и в прямолинейных. Но раньше я произведу несколько опытов, прежде чем пойду дальше, ибо мое намерение — раньше приводить опыт и затем рассуждением показывать, почему этот опыт принужден быть именно таким, и это есть правильный закон, которому должны следовать рассуждающие о естественных явлениях. И хотя природа начинает с разума (ragione) и кончает опытом, нам надлежит поступать обратным образом, т. е. начиная (как я говорил выше) с опыта, при помощи его искать разумные рассуждения.

«Я вижу, что необходимо в прямолинейных составных весах во втором чертеже (рис. 201), так как, насколько один из концов опускается, настолько противоположный конец поднимается, причиной же этого является неравенство их плеч. Но последние весы первого чертежа показывают нам, что подвес *ab* не может опускаться вместе с *cb* настолько, насколько противоположный подвес *fc* подымается» (E. 55 r.).

В последней записи Леонардо даже и в разборе закона тали прибегает к эксперименту. При помощи него он вполне правильно сводит сущность действия системы блоков к составному рычагу, теория которого ему хорошо известна (см. стр. 597), что, впрочем, опять-таки не дает ему никаких новых результатов.

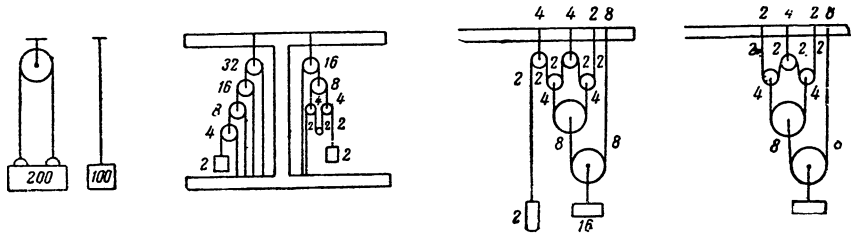


Рис. 202

Не реже, чем попытки теоретически разобраться в сущности действия системы блоков, несколько примеров которых мы привели, в рукописях Леонардо находятся и решения отдельных задач на частные случаи таких более или менее сложных систем. В своем большинстве записи эти совсем не имеют текста, а состоят просто из чертежа соответствующего приспособления с нанесенными на нем цифровыми обозначениями натяжений отдельных частей нити. Образцом таких записей, подробный разбор которых вряд ли был бы интересным, может служить следующая запись или, вернее, чертеж «Атлантического кодекса» (C. A. 153 r. a.) (рис. 202).

Из приведенных чертежей мы видим, что Леонардо интересуется не только (и даже, вернее, не столько) конечным результатом — определением того груза, который нужно подвесить

к движущей нити (arganica), чтобы держать всю систему в равновесии, сколько задачей более теоретического характера: каково будет натяжение в отдельных ветвях этой нити. И действительно, эта задача и близкие к ней приковывают к себе внимание Леонардо в записях позднейших тетрадей. Задача этого рода ставится Леонардо в разных вариантах; мы рассмотрим несколько наиболее любопытных из них.

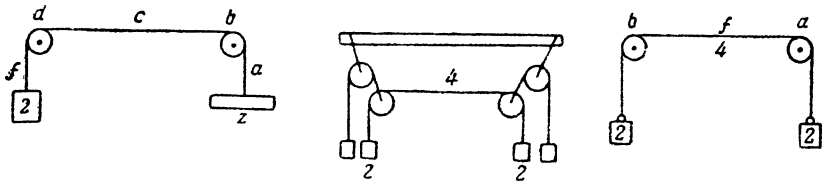


Рис. 203

Мы уже видели (см. стр. 496), что Леонардо ставит и, в точном соответствии со своей теорией действия и противодействия, неправильно разрешает вопрос о натяжении горизонтальной нити, помещенной между двумя шкивами. Эта же задача, всегда с тем же неправильным решением, находится в ряде записей, например:

«Если в *f* (рис. 203) поместить два фунта, то несомненно, что что эти два фунта будут чувствоваться во всей нити вплоть до *a*, не иначе как если бы эта нить была прямой. И если верно, что в *a* не чувствуется влияние веса *f* сверх 2 фунтов, то подвесь в *a* другие 2 фунта, и они будут служить противовесом опусканию *f*. В каждой частице нити чувствуется влияние противовеса, а следовательно, если каждая частица нити чувствует силу (*p*) веса и сопротивление его, то несомненно, что эта нить по виду сопротивляется двум, а действительно сопротивляется четырем» (C. A. 153 r. a.).

Не имея возможности экспериментально проверить натяжение нити и находясь поэтому целиком во власти своих теоретических спекуляций, Леонардо не может отказаться от установленного им ранее на основании априорных соображений закона

сложения действия и противодействия, который продолжает руководить им во всех его дальнейших рассуждениях.

Довольно часто, как это видно из уже приведенных чертежей, Леонардо останавливается на вопросе о натяжении отдельных вертикальных частей нити, проходящей через систему блоков. Например: «О т а л я х. Нити, опускающиеся со шкивов, чувствуют больше тяжести, чем те нити, которые поднимаются. Доказывается это четвертой этой, которая гласит: «Двигатель всегда более силен, чем движимое». И если бы ты утверждал, что нити *nm* и *np* (рис. 204) чувствуют равные веса под влиянием весомого тела *m*, ибо нить *np* чувствует весь тот же вес, который нагружается на нить *nm*, не больше и не меньше, так как больше или меньше там нет... Но если *pn* делается двигателем, то необходимо, чтобы двигатель был (как сказано) сильнее, чем движение.

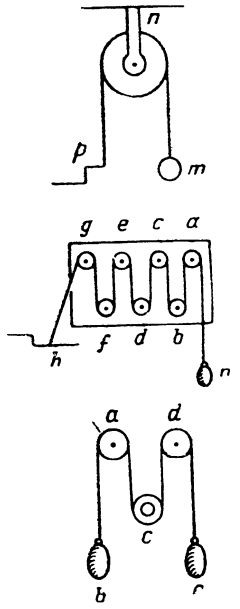


Рис. 204

«По тому, что выше доказано, необходимо в этом втором и третьем доказательстве (dimostrazione) (доказать), что в *a* двигатель третьей (нити) более силен, чем нить *ac*, как доказано в первой, и таким же образом нить *ac* более сильна, чем нить *cd*, и *cd* — более, чем нить *de*, и, следовательно, чем больше шкивов соединены в одном и том же приспособлении (ordine), тем больше движимое растет по трудности для своего двигателя и двигатель уменьшается по своей силе (*p*).

«И для противника (e per lo aversario) настолько уменьшается вес движимого и растет сила двигателя, насколько больше число шкивов, помещенных между движимым и двигателем, ибо если многие нити, которые движутся вверх и вниз, уменьшаются по силе, из этого следует, что чем больше имеется нитей, тем больше имеется сопротивлений двигателю, так что для

двигателя растет трудность двигать движимое, помещенное на последней нити, если предпоследняя нить имеет намного меньше силы (p), чем предпредпоследняя» (G. 81 r.).

В приведенной записи Леонардо правильно констатирует, во-первых, разницу натяжений в отдельных ветвях нити, проходящей через блоки; во-вторых, вводит особую поправку на трение, которое увеличивается по мере увеличения числа шкивов и тем изменяет теоретически выведенные результаты. Этот учет влияния трения, который характерен уже для Альберти, еще более важен и характерен для Леонардо. Во всех своих штудиях над вопросами деталей машин он неизбежно натыкается на влияние трения, легко определимое экспериментально и объясняющее неточное совпадение с результатами теоретического расчета. В данном случае Леонардо ограничивается простой констэтацией наличия трения, как это делали и Альберти и отчасти уже Герон, но дальше не идет. Мы увидим, однако, ниже, что, раз обратив свое внимание на явление трения, Леонардо не останавливается на этом, а начинает специально изучать его.

Вопросы различного натяжения ветвей нити встречаются еще в ряде записей, не представляющих, однако, особого интереса, почему мы ограничимся приведением только еще одной:

«О т а л я х. Нити талей разделяют поддерживаемый ими вес на равные части. Сила (p), движущая тали, пирамидальная, ибо равномерно неравномерно уменьшается по направлению к последней нити.

«И пирамидально движение, которое имеют нити этих талей, ибо равномерно неравномерно от первой нити к последней оно уменьшается.

«Следовательно, та нить чувствует больше от силы (p) двигателя, которая более быстра, и тем меньше, чем более она медленна.

«Тем более чувствуют нити силу (p) своего двигателя, чем ближе они к нему, и тем меньше, чем они более удалены от него» (G. 87 v.).

Рассуждения о сравнительном натяжении отдельных ветвей нити вряд ли имели для Леонардо какое-нибудь практическое значение и не привели его к сколько-нибудь ценным теоретическим результатам. Они скорее всегда являются промежуточным звеном между основным законом действия блока и тали и двумя частными вопросами, которыми Леонардо занимается особенно упорно. Вопросы эти следующие: в каком месте порвется нить, перекинутая через блок, под действием излишнего груза и какое натяжение испытывает подвес блока при движении его под влиянием неравенства грузов.

Первый вопрос вполне естественно и неизбежно возникает в процессе практической инженерной работы Леонардо со всякого рода подъемными приспособлениями и как бы насильственно навязывался его вниманию. Мы имеем в виду вопрос о том, где, в каком месте, порвется нить, проходящая через систему блоков при излишней нагрузке. Вопрос этот теснейшим образом связан с только что рассмотренными соображениями о различных натяжениях ветвей нити и освещен в ряде записей Леонардо. Приведем три из них, относящиеся к разным периодам.

«П о л о ж е н и е (Concepzione). Нить равномерной силы (p), которая должна порваться благодаря излишней силе, порвется там, где она испытывает наибольший вес.

С л е д с т в и е (Proposizione). Нить равномерной силы (p), будучи соединена с собственным весом, всегда порвется в месте своего укрепления.

«То, что здесь сказано, будет доказано в немногих словах. Если нить весом в 4 фунта висит под своим укреплением и в разделе между своей четвертью и тремя четвертыми не будет отдавать этим $^3/_4$ больше одного фунта, а в разделе между двумя половинами отдаст 2, в разделе же между $^3/_4$ и $^1/_4$ отдаст 3 своему остатку, в отделе же целой нити отдаст своей опоре 4, — следовательно, весь вес ее перегружается на укрепление, и по высказанному выше положению заключаем, что названная нить должна порваться в своем укреплении.

«Нить, которая обоими своими концами свешивается вниз со шкива между движимым и двигателем, всегда будет рваться с той стороны, где находится двигатель.

«Нить, висящая со шкива, один конец которой связан с движимым, а другой — с двигателем, будет всегда рваться над центром шкива, но тем ближе к двигателю, чем к движимому, чем двигатель сильнее движимого.

«Нить равномерной силы (*p*), вертикально опускающаяся к разрывающей ее тяжести, будет рваться в своей верхней точке. Нить *n* (рис. 205), имеющая всегда больше движения, чем нить *c*, будет рваться первой, так как она больше разрушается.

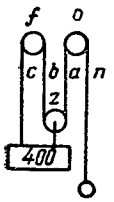


Рис. 205

«Можно считать, что 4 нити *nabc* нагружены равными весами, но излишек, который дает двигатель *n*, кроме качества веса, не разделяется равномерно, так как нить *n* и нить *b*, которые опускаются, имеют большое различие между собой в этом превосходстве по силе, так как *b* на одну степень превосходит *c*, так что *b* не пойдет вниз, если не будет весить больше *c*, и кроме того *b* испытывает большее трение от шкива *f*, несущего на себе 200 фунтов, *n* же испытывает трение в 400 фунтов и, кроме того, сопротивления двух трений *o* и *f* и излишек силы, идущей от *n* к *c*, так как если она в *n* равна 4, то в *b* она будет тем меньше, чем больше теряется в трении шкивов. Ибо, если оно 4 в *n*, то оно уже не будет 4 в *b*, так как 2 шкива использовали часть его, как показано в 5-й 3-го «Деталей машин», почему из этого, а также из того, что сказано, ясно, что нить *n* проделывает гораздо большую работу (sente molto piu fatica), чем нить *c*, и потому, если она должна порваться, она порвется при отделении от своего шкива *o*, так как вес всей нити *n* кончается над шкивом *o*» (C. A. 145 r. b.).

В поздней записи кодекса «E» та же мысль выражена кратко и категорично:

«Первая нить талей всегда первая рвется в последней части своей высоты в конце своего покоя на шкиве» (E. 20 v.).

Примерно то же, но несколько полнее сказано и в записи кодекса «G».

«Где рвется нить талей. Нить, которая движется в талях и которая сама по себе имеет равномерное сопротивление, всегда порвется в начале нити двигателя (при соприкосновении) с первым шкивом. Доказывается это первой, которая говорит, что более быстрая нить чувствует больше веса, а следовательно, так как нить двигателя более быстра, она чувствует больше веса, и, по определению (conceptione), та нить рвется скорее, которая чувствует больший вес» (G. 80 v.).

Смысл всех трех приведенных записей совершенно ясен: утверждение, высказанное в них, как уже отмечено, является логическим продолжением утверждения, высказанного Леонардо при рассмотрении разницы в натяжении ветвей нити, перекинутой через несколько блоков. Леонардо считает, что прежде всего порвется та ветвь, которая движется быстрее, причем порвется она в том месте, в котором испытывает максимальное трение. Из этого следует, что порвется первая ветвь, непосредственно соединенная с двигателем, и что порвется она в точке отделения своего от поверхности первого шкива. Утверждение это в общем правильно и, как ряд других рассмотренных нами утверждений Леонардо, покоится на ряде сравнительно точных экспериментов, имеющих целью вывести общее правило, которое в дальнейшем может быть применено на практике.

Если вопрос о разрыве нити тесно связан с технической практикой, то вряд ли сколько-нибудь серьезный практический интерес представлял второй, хотя и весьма увлекательный, но чисто теоретический вопрос, который часто находит отражение в тетрадях Леонардо. Действительно, при своих простейших экспериментах над блоками, подвешивая испытываемый блок к плечу весов, Леонардо мог без особого труда убедиться в том, что в случае блока, находящегося в движении под действием разницы весов, укрепленных на двух концах перекинутой через него нити, нить, на которой он подвешен, испытывает натяжение, отличное от суммы весов обоих грузов. Естественно, что, обнаружив это явление, Леонардо захотел обнаружить действительную

величину получаемого в этом случае натяжения и выяснить причину явления. Первые такие попытки мы находим уже в сравнительно ранних записях:

«Нить, свешивающаяся с противоположных сторон поддерживающего ее блока, будучи неподвижной, одинаково весит с обеих сторон, имея равномерный вес и толщину.

«Нить, поддерживающая блок, через который проходит нить, поддерживающая весомое тело в воздухе, поддерживает на себе дважды вес названного тела.

«Если два весомых тела, подвешенных на концах нити, свешивающихся с противоположных сторон названного блока, будут двигать один другой, блок будет испытывать тем больше веса по сравнению с естественной тяжестью названных весов, чем быстрее будут их движения вверх и вниз.

«Из двух нитей, свешивающихся с противоположных сторон блока, та, которая соединена с движущим весом, чувствует большую тяжесть, чем та, которая соединена с поднимающимся весом. И если бы это не было так, то этот вес был бы неподвижным» (C. A. 122 r. b.) (рис. 206).

Эта запись, возможно одна из первых записей Леонардо, относящихся к данному вопросу, совершенно правильно и четко формулирует разницу в натяжении нити, поддерживающей блок при его неподвижном состоянии и при его движении. Для первого состояния правильно указывается, что натяжение будет равно сумме подвешенных грузов; для второго же, на основании априорных соображений, совершенно неожиданно устанавливается, что натяжение будет тем больше, чем скорее происходит движение нити. Утверждение это явно неправильно, что, повидимому, было быстро замечено Леонардо, который уже на чертеже, сопровождающем приведенный текст, на средней фигуре, изображающей блок с грузами в 8 и 4 единицы веса, показывает натяжение поддерживающей нити равным 8, т. е. меньшим суммы грузов, а не бо́льшим ее. Шустер считает, что ошибка Леонардо происходит вследствие его приверженности к перипатетическим основам динамики и, в частности, к закону приобретаемого движения, требующему пропорциональности

между силами и отрезками пути, проходимыми в данные отрезки времени, т. е. скоростями, приобретаемыми под действием этих сил. Не имея никаких доказательств того, что предположение это действительно правильно, мы считаем его вполне правдоподобным, поскольку, как мы видели выше, перипатетический закон приобретаемого движения полностью принимался Леонардо. Но как бы то ни было, высказанное выше утвержде-

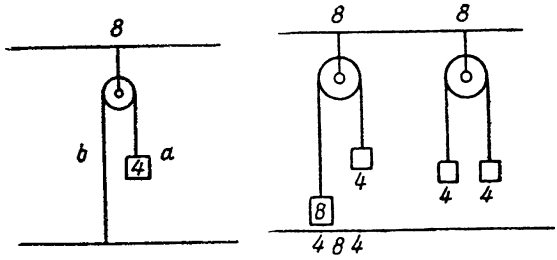


Рис. 206

ние оказывается единичным в научном наследии Леонардо. В других местах того же «Атлантического кодекса» и особенно в более поздних записях других кодексов мы находим другие, значительно более близкие к истине утверждения. К этим новым утверждениям Леонардо приходит как в результате рассуждений, так и на основании данных опыта, причем последние служат для него исходным пунктом. Как Леонардо производил опыты, мы узнаем с полной ясностью из следующей записи кодекса, вполне подтверждающей высказанные нами выше предположения:

«Опыт (для доказательства) того, что говорится ниже (sperienza di quel che di sotto si dimanda).

«Вопрос об опускающихся весах. Спрашивается, дают ли веса, опускающиеся на талях, бо́льшую или меньшую часть своего веса осям талей при опускании, чем в неподвижном состоянии» (G. 17 r.) (рис. 207).

Иллюстрирующий запись рисунок показывает, что речь идет о подвеске блока с неравными грузами на плече весов, причем груз, подвешенный на другом плече, определяет

натяжение подвеса блока. Хотя мы не знаем, чем и как уравновешивался вес большого блока и трение, но можем утверждать, что в общей форме ответ, даваемый описанным опытом, был правильным и показывал уменьшение натяжения при движении блока. От этого же правильного утверждения естествен и неизбежен был переход к попытке количественно определить это уменьшение. И действительно, такие попытки мы находим в записях Леонардо неоднократно, в первую очередь недалеко от только что приведенной записи в кодексе «G», например:

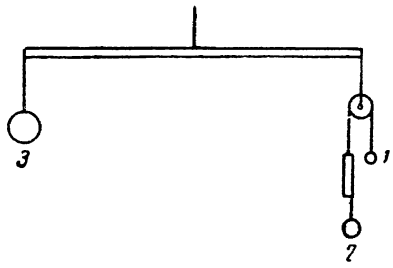


Рис. 207

«О в е с е. Если *ab* (рис. 208) будет 12 и будет неподвижно, то подвес (sostentaculo) чувствует эти 12. Но если *ab* — 12 находится в движении, то чувствует только 8, а излишек, который имеет 8, т. е. 4, не имеет подвеса, ибо если бы он был подвешен, он не падал бы. Доказывается это утверждением, что из двух четверок, из которых составлено 8, одна поднимает вес в 4, находящийся на весах *b*, следовательно 4 в *b* в жизни не имеет никакой тяжести, а из этого следует, что одна из двух четверок, составляющих эти 8, также не имеет никакой тяжести и поэтому вторая четверка из *a* имеет вес в 4 и потому она опускается, так как не имеет никакого сопротивления, кроме обычного, т. е. сопротивления воздуха и трения оси весов.

«Но если воспрепятствовать движению, которое *b* имеет вверх, тогда *c* будет чувствовать 16. Доказывается это тем, что 8 *a* не получат сопротивления большего 8, и если бы весь вес был в *b*, весы *c* никогда не чувствовали бы больше, чем 16» (G. 95 v.) (рис. 209).

В приведенной записи, одной из самых полных из относящихся к данному вопросу, Леонардо вполне ясно высказывает такое утверждение: когда на блок надета нить, нагруженная двумя неравными грузами, то, пока нить движется, подвес

блока испытывает натяжение, равное удвоенному весу меньшего груза. Это же утверждение в несколько других выражениях Леонардо высказывает еще в ряде других мест, например:

«О науке о весах. Весомое тело, опускающееся свободно, не отдает никакой части своего веса никакой опоре. Доказывается это так (рис. 210): *a* — 1 и *b* — 2, следовательно *m* поддерживает только 2, ибо излишек, который имеет 2 в *b*

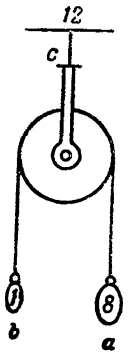


Рис. 208

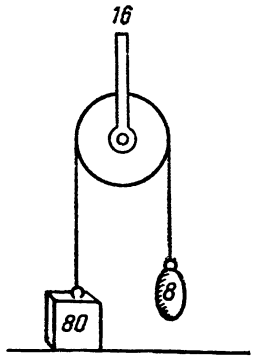


Рис. 209

над единицей, есть единица, каковая единица, так как ничто ее не поддерживает в *a*, свободно опускается и, следовательно, не имеет опоры, а не имея опоры, она не встречает сопротивления движению. А следовательно, *m* — конец весов — не чувствует этого излишка, ибо то, что падает, не бывает поддержано» (№ 2037, 13 г.).

То же находим в следующей записи:

«Спрашивается: при падении восьми, тянущих вверх единицу, какой вес чувствует ось этого блока? Когда опускание большего веса весов тянет вверх противоположный меньший вес, тогда ось весов чувствует такую часть обоих весов, которая равна удвоенному меньшему весу» (С. А. 249 r. b.) (рис. 211).

Во всех трех приведенных записях, число которых можно было бы без особого труда значительно увеличить, мы находим одно и то же утверждение: натяжене подвеса блока равно

удвоенному меньшему весу или, что то же самое, сумме обоих весов без превышения большего веса над меньшим. Как отметил Шустер, утверждение это, выведенное Леонардо, повидимому, в результате многочисленных опытов, так же как и ряд других утверждений Леонардо, подходит довольно близко к истине,

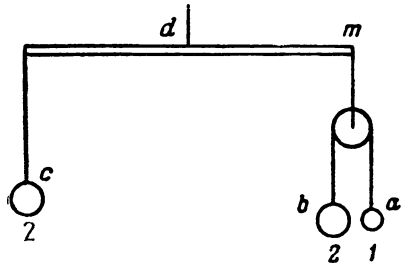


Рис. 210

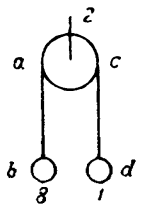


Рис. 21

как бы указывая путь к ее нахождению, но все же в своей количественной части неправильно. В действительности, без учета трения на оси блока, натяжение подвеса будет равно

$$x = m_1 q + m_2 q - \frac{(m_1 - m_2)^2 q}{m_1 + m_2},$$

в то время как формула Леонардо может быть в современных выражениях написана так:

$$x = m_1 q + m_2 q - (m_1 - m_2) q.$$

Из этого следует, что величина натяжения, принятая Леонардо, будет отличаться от современной на $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$, т. е. будет меньше фактически существующей величины. Постоянно, упорно и сравнительно точно экспериментирующий Леонардо, очевидно, заметил довольно скоро то, что установленная им величина меньше действительной. Кроме того, сомнение у него начало вызывать следующее соображение: если подвес блока чувствует только двойной вес меньшего груза, то почему блок будет вращаться? Казалось бы, что по обе стороны его помещены

равные грузы и излишек никак не действует на подвес, а следовательно на блок, и не может вызвать никакого движения. Соображение это, которое Леонардо развивает в ряде записей, далеко не ясных, но определенно обнаруживающих большую работу мысли, необходимую для разрешения, казалось бы, простой задачи, приводит его к такому выводу: фактически натяжение несколько больше, чем он полагал ранее, так как увеличивается усилием, производимым падающим излишком при преодолении сопротивления воздуха. Он, стало быть, вводит нас опять в круг идей перипатетического учения о движении с его прямой пропорциональностью скорости падения весу и обратной пропорциональностью — сопротивлению воздуха.

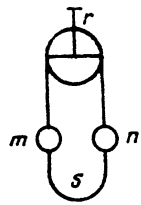


Рис. 212

Мы приведем две записи, относящиеся к этому вопросу, далеко не дающие окончательных выводов и не вполне ясные, но весьма характерные:

«Меньший вес (рис. 212) отдает всей нити *rn* и *rm* часть своего веса, равную 4, но вес *m* не будет отдавать нитям из себя больше, чем 4 фунта, а следовательно нить *nrm* не чувствует ни больше, ни меньше веса, чем 8, т. е. *nm*, и превышение веса *m* падает как тяжесть без опоры, и только нить *rm* чувствует движимое. Противник будет утверждать, что то, что падает, не поддержано и то, что не поддержано, не отдает никакой части своего веса ничему, но если оно движется силой, тогда эта сила медленна или скора в двигателе, так как в нем есть превышение.

«Нить движимого не чувствует... тяжести своего двигателя. Превышение падает на один локоть, так как не имеет противодействия. Превышение есть то, что двигает, и тем больше скорости (имеет оно), чем оно больше.

«Нить, противоположная превышению, никогда не чувствует большей части веса, соединенного с нею, за исключением сопротивления воздуха, сжимающегося над нею.

«Здесь двигатель имеет силу (*p*) только наверху своим превышением, равным единице. Следовательно, *d* движется со

скоростью в единицу насильственным движением, а не потому, что двигатель 5 движется со скоростью в единицу, т. е. превышения.

«Падающая вещь не имеет опоры. Следовательно, не отдает никакой части своего веса чему бы то ни было и поэтому его нить не чувствует. На это можно ответить, что если бы его нить не чувствовала, то она бы не опускалась.

«Каждая из двух нитей, висящих с противоположных сторон блока, чувствует весь вес, соединенный с нею, и это доказывается весами, в которых груз, помещенный на правом плече, не нагружает ни в какой мере левое плечо, и разделением этих плеч служит центр сопротивления, включающий ось весов и его опору.

«Противник возразит, что падающая вещь весит только в воздухе. На это можно ответить, что если бы она не весила больше, чем воздух, то она не проникала бы и оставалась бы неподвижной, но всякое движение проникает среду, в которой движется его превышение, а следовательно и вес опускающихся весов опускается только с той скоростью, с какой бы опускалось его превышение, причем это превышение имеет такую же величину (grossezza), как его целое.

«Спрашивается, увеличивает ли наибольшее превышение вес при движении своего соответствующего ему веса? Да, настолько, насколько есть подходящая ему скорость, причем оно сжимает сверху воздух до тем большей скорости, чем более быстрым является движение движимого по сравнению с естественной скоростью воздуха.

«Но нить всегда рвется в пределах между естественным и приобретаемым движением, рядом с точкой соприкосновения и уплотнения (contatto condensato) блоком там, где помещен вес одной и другой нити» (C. A. 342 r. c.).

Примерно тот же круг мыслей (кроме последнего абзаца, который мы рассмотрим особо) мы находим в значительно более поздней записи «Кодекса Арундель».

«О тяжести излишка (gravità dello ecciesso). Противник утверждает, что тяжесть излишка падает свободно,

и доказывает это тем, что грузы на весах, освобожденные от этого излишка, равны между собой или равно сопротивляются опусканию один другого, из чего следует, что между ними нет ни тяжести, ни легкости. Следовательно, излишек есть сила, отделенная от равенства этих грузов и дающая равным образом тяжесть грузу, к которому он прибавляется, или же легкость — противоположному грузу. А отсюда следует, что излишек, будучи присоединен к любому из этих грузов, опускается с такой силой, с какой он опускался бы, будучи свободным, в воздухе. Доказывается же это тем, что настолько возрастает один из равных грузов, каков вес соединяющегося с ним излишка, каковой излишек двигает противолежащий груз вверх, когда он себя двигал бы вниз, и тем меньше, чем больше сопротивляется воздух большему телу, чем меньшему» (Ar. 96 v.).

Вряд ли целесообразно анализировать весь ход мысли Леонардо в обеих, близких друг другу по содержанию записях; мы предоставляем это читателю, которого заинтересует данный частный вопрос. Для наших целей будет достаточно отметить, что, не удовлетворенный полностью полученной им формулой, выводы из которой далеко не всегда сходились с опытом, Леонардо не пытается, как в ряде других рассмотренных нами выше случаев, отказаться от найденной формулы и найти другую. Очевидно, результаты экспериментов слишком недостаточно отличались от результатов, получаемых по формуле, чтобы столь радикальный метод оказался необходимым. Он ищет какой-то поправочный коэффициент к теоретически найденным результатам, причем, так как поиски эти неизбежно идут по линии учения о движении и могут иметь только логический, а не экспериментальный характер, они приводят Леонардо к ошибкам перипатетической динамики, которые он только подкрепил своими экспериментальными доказательствами.

Исследования Леонардо над теорией блока и системы блоков отнюдь не являются единственными, хотя и остаются наиболее подробными в области деталей машин. Занимается он многократно и теорией зубчатых колес, и теорией винта, и теорией

ворота. Но так как записи, относящиеся к этим вопросам, весьма разрознены и почти всегда не составляют единого целого, мы не будем разбирать их полно и подробно. Остановимся только на нескольких примерах, которые покажут, как подходил Леонардо к разрешению подобного рода вопросов.

Одним из первых таких вопросов, заинтересовавшим Леонардо еще в ранний миланский период, является имеющий отношение к теории блока вопрос о влиянии толщины оси на вращение шкивов, блоков, колес. Так, в одной из весьма ранних своих записей он спрашивает:

«Какая разница между силой (valitudine) колеса с малой осью (polo) и колеса с толстой осью, как изображено в *s* и *t* (A. 3. v.) (рис. 213).

На этот вопрос, совершенно естественный для Леонардо — техника-экспериментатора, мы находим ответ в ряде записей «Атлантического кодекса», например:

«Из колес с разным диаметром легче будет вращаться то, которое будет поддержано меньшей осью.

«Если диаметр оси помещается 6 раз в диаметре колеса, которое будет весить 300 фунтов, то такой же вес испытывает опора этой оси.

«Весь вес колес поддерживается опорами их осей, и столько раз, сколько эти оси помещаются своим диаметром в диаметре колеса, настолько вес колес уменьшается для своего двигателя.

«Здесь (рис. 214), так как диаметр оси помещается 20 раз в диаметре колеса, то 2000 фунтов этого колеса, нагружающие ось, превращаются для двигателя в 100 фунтов» (C. A. 306 v. b.).

В данной записи Леонардо утверждает, что для вращения шкива, имеющего определенный собственный вес, к нему необходимо приложить силу, величина которой будет так относиться к весу шкива, как диаметр оси шкива относится к диаметру самого шкива, т. е. он сводит свою задачу к вороту, что неправильно. Впрочем, Леонардо довольно скоро сам замечает ошибочность своего утверждения и пытается, на этот раз закономерно, найти правильное решение, применяя свою теорию

трения, разбором которой мы займемся несколько ниже. Так, в этом же «Атлантическом кодексе» он пишет:

«Из колес равного диаметра то будет легче двигаться, которое поддержано более легкой осью. Ясно, что то колесо будет легче двигаться, диаметр оси которого больше раз помещается в диаметре самого колеса.

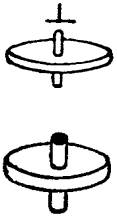


Рис. 213

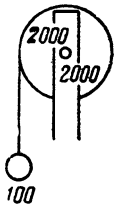


Рис. 214

«Неправильно, ибо ось и противовес, соединенные вместе, весят 200 фунтов, а четверть 200 есть 50, следовательно 50 фунтов будут двигать 200. Теперь ищи в 5-й первого.

«Что же касается до определения этой фигуры (рис. 215), то мы скажем так: если бы колесо (или круг), изображенное выше, было головой оси и весило бы само по себе 100 фунтов, то ложится ли этот вес и нагружает ли свою опору? Несомненно, да. Если же это так, то соприкосновение опоры с осью имеет силу в 100 фунтов и сила эта действует не иначе, как если бы кто-нибудь давил руками с силой или весом в 100 фунтов на ось, причем вес этот будет весь направлен против легкости двигателя этого веса» (С. А. 363).

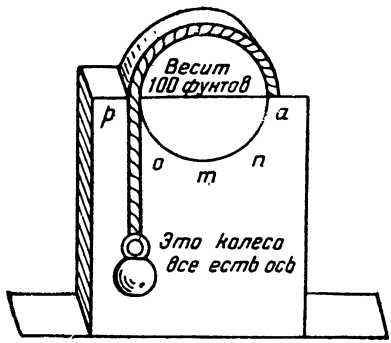


Рис. 215

В приведенной записи Леонардо, как мы уже указывали выше, сводит весь вопрос к трению, вызываемому определенным общим весом; это правильно, но нужно, однако, иметь

в виду, что, в то время как в первой из приведенных выше записей (C. A. 305 v. b.) говорилось о шкиве, свободно вращающемся на подпертой оси, в последней записи мы имеем дело, повидимому, с тем же шкивом, но от него как бы перекидывается мост к другому случаю — к случаю колеса, вращающегося на оси и в то же время движущегося по определенной плоскости. Разбор этого случая дан в следующей записи:

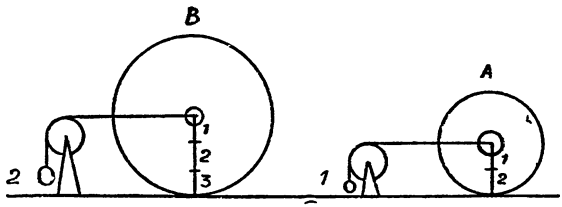


Рис. 216

«Докажи, что из двух колес равного веса и (размера) то, которое будет иметь более тонкую ось, будет легче движимо. В колесе A (рис. 216), вследствие того, что оно имеет толстую ось, от этой оси остаются только две унции; в колесе же B, вследствие того, что оно имеет тонкую ось, линия, ведущая от земли до этой оси, достигает 3 унций, и таким образом путем нижеописанного опыта с деревом и с колесами доказывается, что и в этих двух колесах имеющее более тонкую ось будет двигаться с большей легкостью (рис. 217).

«Докажем, что более высокое колесо легче тянется равным весом. Любая телесная вещь разделяется на два равных угла и будет итти с равной толщиной (?), и чем выше она будет удалена или притянута, тем легче она сможет быть сброшена или стянута на землю, так как, чем она дальше от места своего рождения, тем она делается слабее.

«П р и м е р. Возьми изображенное дерево. Если привязать его сверху, дерево будет стянуто на землю одним быком, а за нижнюю часть оно не будет сдвинуто девятью. Этот пример

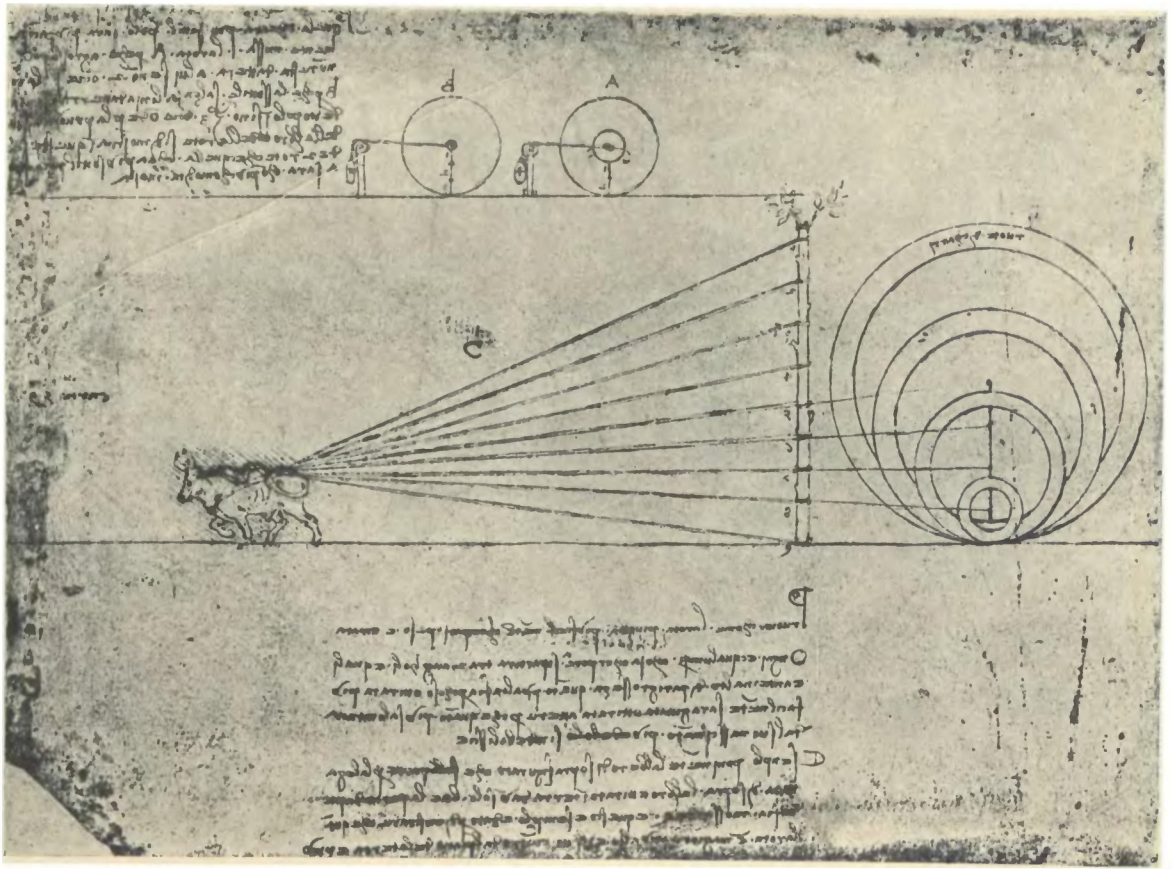


Рис. 127

приведен, дабы показать, что чем больше колесо, тем выше его центр от уровня земли и тем удобнее оно выполняет свое дело» (С. А. 211 r. a.).

Приведенная запись, по своему содержанию несколько выходящая за рамки рассматриваемого нами вопроса, интересна тем (и потому приводится полностью), что лишний раз показывает нам лабораторию Леонардо, вскрывает с полной ясностью технику производства тех экспериментов, которые и приводили его к выводам, формулируемым им затем в виде более или менее четких законов. Впрочем, вывод, к которому в данном, сравнительно сложном случае приходит Леонардо, как раз довольно нечеток и неопределенен. Дальше утверждения о том, что с увеличением колеса движение его облегчается, а с увеличением его оси — затрудняется, Леонардо пойти не может.

Уже и соображения по поводу колес и их осей, высказанные выше, относятся наполовину к теоретической, наполовину к чисто практической, рецептурной области. Естественно, что в записях Леонардо, особенно не очень поздних, имеется и значительное число таких, которые подходят к вопросу с чисто практической точки зрения. Например:

«О п р и г о н к е о с е й. Нужно озаботиться тем, чтобы оси, расположенные по прямой линии, равномерно снашивались.

«Что касается до впадины, в которой помещается ось вращающихся тел, то необходимо озаботиться предохранением ее от расширения. Об этом будет говориться в книге о трении.

«Какое движение больше разрушает равенство осей?

«Почему впадина, в которой помещается ось, снашивается больше, чем самая ось?

«Какие зубчатые колеса больше снашивают впадины, в которых помещаются оси?

«Снашивают ли колеса, движимые канатами, больше или меньше впадины осей, чем колеса, движимые зубцами их шестерен?

«Более тонкая ось больше снашивает впадину, в которой она находится, при равных весах.

«Снашивание впадины, в которой помещается ось, происходит по наклонной линии с той стороны, в которую ее вращательное движение склоняется.

«Какие материалы больше всего сопротивляются трению — плотные с плотным, или редкие с редким, или редкие с плотным?

«В приспособлениях, в которых движется много шестерен (колес?), не может существовать постоянное совершенство иначе как на короткое время. Происходит же это оттого, что шестерни не равны по весу, ни по осям, ни по силе.

«О б о с я х. О п р и г о н к е о с е й к о л е с. В предметах, которые должны иметь вращательное движение, оси этих вращающихся тел вследствие своей точной равномерности являются причиной совершенства названных движений, поэтому ниже мы будем говорить об этой равномерности.

«Какой способ больше разрушает подшипник (la madre) оси? Существуют 3 положения осей, а именно горизонтальное, вертикальное и наклонное. Но (вертикальное) больше снашивает подшипник, чем горизонтальное. Происходит это, потому что из осей равного веса та больше снашивает свою гайку (femina), которая меньше касается ее. Следовательно, ось, помещенная вертикально, занимает меньше места торцовой частью, чем боками, кроме случая, когда поддерживающий ее подшипник очень тесен, ибо последний в короткое время перерезал бы эту ось.

«С какой стороны подшипник стирается осью?

Подшипник стирается с той стороны, в которую ось склоняет свое движение, ибо ось эта постоянно движется в эту сторону, постоянно отходя от противоположной стороны.

«В каком направлении стирается подшипник от трения своей оси?

«Наклонна впадина, производимая частью... в подшипнике благодаря трению о него осью. Доказывается это 4-й этого трактата, которая гласит: «Всякое трение, производимое вращением горизонтальных осей на одном и том же месте, будет снашивать это место, создавая наклонную впадину». Образуется же она вследствие направления двух своих движений, одно из которых

происходит от тяжести, весящей по направлению к центру мира, второе же — от трения, ощущаемого осью со стенкой, к которой она больше приближается частью, склоняющейся при вышеназванном ее вращении.

«Какое вращение горизонтальной оси производит перпендикулярную впадину?

«Горизонтальное вращение оси, которое будет происходить при помощи нити, обмотанной вокруг этой оси, как это делают ювелиры (come far si vede alli conciatori di gioie), всегда будет описывать путь своего снашивания по линии, перпендикулярной к центру колеса, на которое надета нить, движущая эту ось.

«Доказывается это 5-й этого трактата, где говорится: «Та вещь, которая будет привязана между противоположными концами нитей, поддерживающими ее, не сможет приблизиться к противоположным концам этих нитей. Следовательно (рис. 218), ось *a*, вращающаяся при помощи двух нитей *bh* и *cg*, равных между собой, не сможет снашивать свой подшипник иначе, как по линии перпендикулярной к оси, на которой укреплено колесо, т. е. по линии *ad*, а не по линии *ah*, ибо нить *bg* тянет его к себе по направлению к *g* и не дает ей производить трение по направлению к *b*, и ты проверишь это на опыте при помощи оси *a*, выточенной напильником или резцом (scuffina) на колесе из мягкого камня».

«Что ось маленькой шестерни, движимой зубчатым колесом, стирает свой подшипник по наклонной впадине.

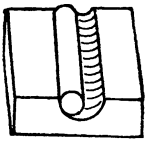
«Горизонтальная ось, находящаяся в маленькой шестерне, движимой зубчатым колесом, вызывает стирание в виде наклонной впадины, как это выше доказано.

«Что одно колесо, движущее другое, производит впадины противоположных наклонов.

«Зубчатые колеса, движущие одно другое, стирают своими осями поддерживающее их место, создавая впадины противоположных наклонов, ибо колеса имеют противоположные движения» (С. А. 344 г. а.).

Мы привели эту запись целиком, несмотря на ее значительную длину и хаотичность, потому что ее неприкосновенность

делает ее исключительно ценной и характерной. В ней мы видим четкое отражение постепенного, беспорядочного, но образующего новый этап в истории науки накопления разнообразного экспериментального материала. Этот материал неразрывнейшим образом связан с технической проблематикой, с техническими объектами, над которыми работает Леонардо. Подобные записи, число которых достаточно велико, еще не подводящие под экспериментальное наблюдение технических объектов сколько-нибудь общей теоретической базы, а только фиксирующие отдельные результаты этих наблюдений или подготовляющие первичную систематизацию их, дают единственно правильный ключ к пониманию сложного (как мы в этом достаточно убедились из всего нашего изложения), иногда прямо-таки загадочного творчества Леонардо или, во всяком случае, наиболее прогрессивных элементов его. Леонардо исходит в первую очередь из внимательного наблюдения технических объектов и процессов, из экспериментирования, чтобы вернуться с результатами своих изысканий к этим же объектам и процессам.



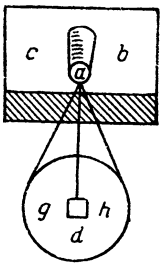


Рис. 218

К типу последней из рассмотренных нами записей относится большая часть рассуждений Леонардо по вопросам «Деталей машин». Рассуждения эти в большинстве не стоят на большой теоретической высоте, не доходят до сколько-нибудь абстрактных обобщений, но свидетельствуют о неустанном стремлении автора проникнуть детальнейшим образом в самое нутро тех технических объектов, с которыми ему приходилось ежедневно встречаться и к которым его предшественники и его современники относились, как к хорошо известным явлениям, ни для кого не представляющим никаких тайн. Упомянем кратко о двух вопросах из этой области: о теории зубчатой передачи и о теории винта.

Совершенно естественно, что, подойдя к проблеме зубчатой передачи (а произошло это, повидимому, очень рано), Леонардо прежде всего остановился на вопросе о системе дифференциальных зубчатых колес, значительно увеличивающей силу, приложенную к первому из колес. Этот вопрос нашел освещение уже у античных механиков, в частности у Герона и у пересказывающего его Паппа, широко известного Возрождению. Так, в одной из старейших записей Леонардо, находящейся в «Атлантическом кодексе» и выполненной еще прямым, а не зеркальным письмом, мы читаем:

«Я нахожу, что пятидесятитысячная часть полузерна преодолевает и поднимает тысячу фунтов веса, если каждое колесо имеет десять частей рычага и одну противорычага» (C. A. 40 v. b.).



Рис. 219

К этому же вопросу Леонардо, более многословно, возвращается в ряде поздних записей того же «Атлантического кодекса», например:

«О д в и ж е н и и. Если ты будешь двигать колеса из конца их противорычагов, то ты создашь большое и слабое движение; если же будешь двигать из концов их рычагов, то создашь сильную и медленную силу (*f*).

« *a* — будет в направлении противорычагов (рис. 219).

« *b* — будет в направлении рычагов.

«В действительности можно заключить, что чем более быструю силу создает один и тот же двигатель в машинах (colli strumenti), тем более слабой он ее делает» (C. A. 338 r. a.). Или, на обороте того же листа:

«Ни одно физическое или явное движение не обладает такой скоростью, чтобы оно могло уподобиться части колеса, которая будет движима движением многих других колес.

«На один поворот, делаемый колесом *m* (рис. 220), второе делает 20, так как это колесо *m* имеет 200 зубьев, а маленькая шестеренка (rochetto) второго колеса имеет 10 зубьев (fusi), и так как 10 помещается в 200 20 раз, то 20 раз будет поворачиваться названное выше второе колесо, и так от одного к

другому на каждый оборот каждого колеса второе делает 20, так как все они устроены одинаково, и здесь внизу изображены результаты движения; и точка, которую можно нанести на краю (stremo) последнего колеса n, при каждом обороте колеса вокруг этой точки движется на 3 локтя и $^1/_7$, так как его диаметр равен одному локтю. Теперь заметь здесь внизу: на каждый оборот первого колеса m сколько оборотов делает последнее n и сколько локтей проходит названная выше точка, сделанная на его краю, хотя этот опыт из-за зажигания не удался бы ни под водой, ни вне воды.

«Умножай все время каждый результат на 20
1
20
400
8000
160 000
и т. д. до
163 840 000 000 000 000» (C. A. 338 v.: b.).

Все приведенные записи как будто бы вполне ясны и не нуждаются в особых толкованиях. Во всех них Леонардо разбирает с разных сторон, как экспериментально, так и теоретически, выигрыш в силе и потерю в скорости, которая получается в простейшей конструируемой им системе зубчатых колес. Хотя он и оговаривает, что на опыте невозможно достигнуть очень высоких скоростей из-за неизбежного возгорания, но все же несколько по-детски умиляется теми теоретически беспредельными возможностями, которые представляет рассматриваемый им механизм.

Вторым вопросом, который неизбежно возникал при рассмотрении зубчатой передачи, было направление вращения каждого из звеньев системы шестерен. Об этом говорят несколько записей, например:

«Колесо a (рис. 221) вращается вправо, а b — влево, c же опять вправо и большое колесо m также вращается в обратном направлении к колесу, так как квадратная ось вращается по окружности, а шестеренка b не имеет оси; на колесе же m

Рис. 220

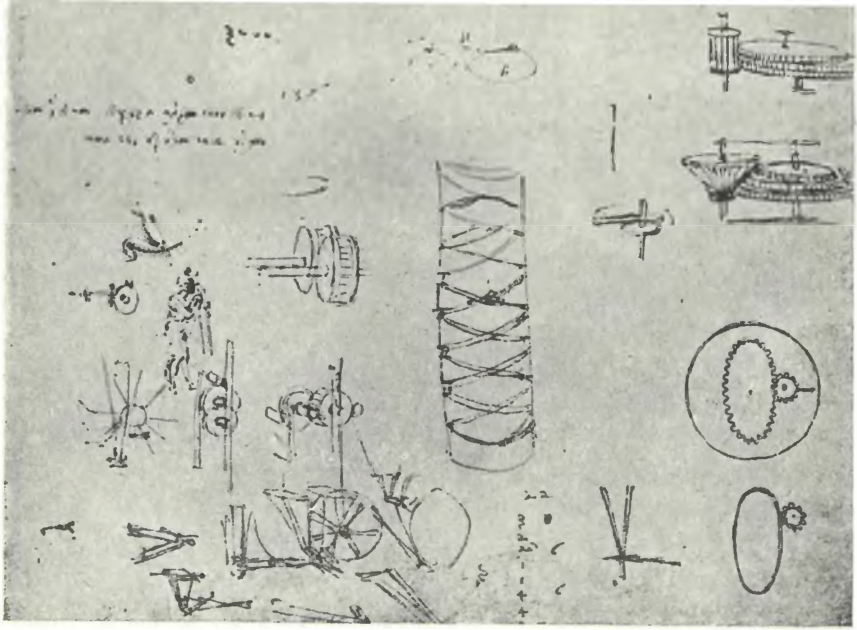


Рис. 221

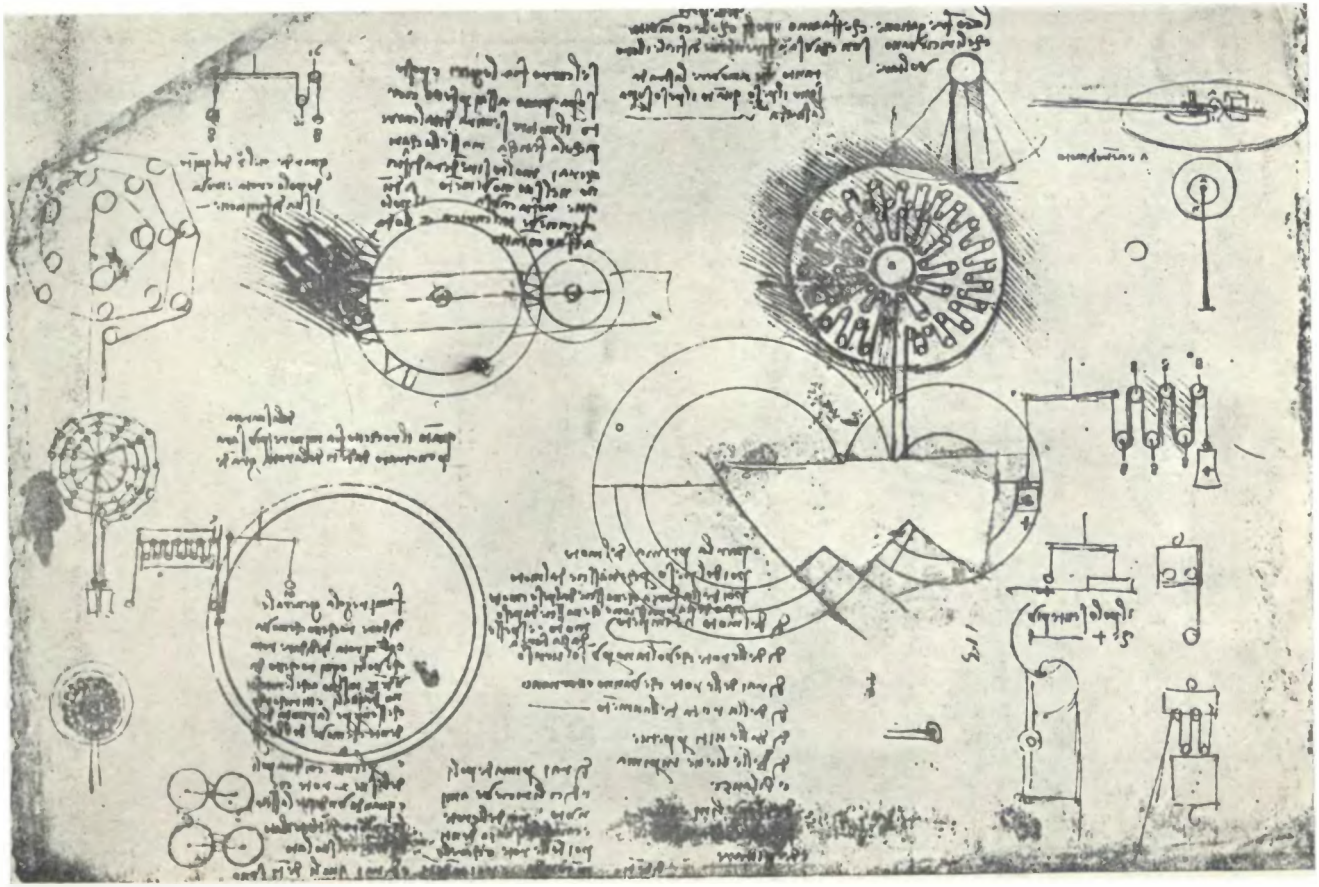


Рис. 222

Рис. 223

укреплены *bc*, которые вращаются вокруг *a*, вращающегося в обратном направлении к *b*» (C. A. 27 v. a.).

Или:

«Если колесо *d* (рис. 222,середина) вращается на левую руку, то колесо *a* и колесо *c*, будучи надеты на одну ось, вращаются на правую руку, имея в виду все время их верхние части. И так как они вращаются направо, то большое колесо *b* вращается налево. И также в приспособлении, изображенном выше, которое представляет собой то же самое и работает сзади (lavora della parte dirieto?) и делает то, что также колесо *c* вращается налево, *t* — налево, а *g* — опять направо» (C. A. 366 r. b.).

Обе приведенные нами записи представляют собой только описание и разбор совершенно конкретных, индивидуальных механизмов и не поднимаются до уровня теории. Но именно эта их еще элементарно конструирующая стадия, как мы уже неоднократно отмечали, особенно ярко показывает нам исходные импульсы механики Леонардо. Она показывает, как его взоры впервые со вниманием останавливаются на вопросах, мимо которых обыкновенно проходили с полным равнодушием.

В нескольких записях, повидимому совершенно черновых, Леонардо останавливается на вопросе, который подробно и со значительным математическим совершенством разрабатывал Герон, — на вопросе о форме зубьев шестерен, необходимой для наилучшего сцепления их. Однако и здесь, как обычно, Леонардо не следует по пути, намеченному Героном, ему, впрочем, безусловно неизвестным. Он не привлекает сложные и ему недоступные математические расчеты и доказательства, а пытается строить свои выводы прямо на наблюдениях, не приводящих его, впрочем, в данном случае к сколько-нибудь окончательным результатам. Так, в листе 214 «Атлантического кодекса» он пишет:

«Отнимай всегда от меньшего колеса частицу, которая будет иметь столько стрелки (di saeta), какова высота его зубьев, и найдешь, что эти зубья будут настолько сцеплены с зубьями большого колеса, какова длина дуги вышеназванной части» (C. A. 214 r. a.). В том же «Атлантическом кодексе» читаем:

«Чем маленькая шестерня меньше большей, тем более в нее будут проникать зубья большей шестерни (рис. 223). Создай мне общий закон (dammi regola generale), для того чтобы находить маленькую шестерню, которая бы двигала любую шестерню, и находить шестерню, которая бы двигала любую маленькую шестерню от одного зуба до того, что обе шестерни будут равны. Я напоминаю тебе, что острие (punta) движущего зуба должно лежать на одной линии с двумя осями двух шестерен, т. е. когда зуб выходит, тогда впадина касается всей стороны зуба своей стороной» (C. A. 155 v. b.).

Или еще в одном месте того же кодекса:

«То, что изображено здесь внизу, есть легкое движение, ибо и шестерня и малая шестеренка сделаны по винту (a vite), хотя достаточно было бы, если бы шестеренка была просто зубчатой. Здесь мы не получаем другого преимущества, кроме того, что винт более прочен, ибо его соприкосновение более широко» (C. A. 396 r. c.).

Во всех трех записях мы видим фрагментарные, частные наблюдения, программы работ, анализы отдельных частей определенных механизмов, в большинстве своем правильные, но случайные и неглубокие. И все же эти разрозненные замечания и рассуждения, несомненно, являются первыми в науке попытками теоретически подойти к зубчатому сцеплению как к цельной, вполне реальной технической проблеме, а не как к проблеме математической (как подходит Герон). Именно на путях, которые еще весьма робко и неуверенно, но в основном вполне правильно намечают разорванные, недоработанные заметки Леонардо, создается в дальнейшем в вековом движении вперед техническая наука или, вернее, научная техника. Поэтому мы и считаем необходимым остановиться на приведенных фрагментах, обыкновенно игнорируемых исследователями.

Так же фрагментарно, так же мало теоретично, но и так же плодотворно для дальнейшего развития технической науки подходит Леонардо и к проблеме винта, которую разбирали уже не только Герон и Папп, но, как мы видели выше, и ближайший предшественник Леонардо — Леон Баттиста

Альберти. Леонардо, как и следовало ожидать, подходит к этому вопросу менее теоретично и академично, чем первые, и более углубленно, чем второй. Так, уже в раннем кодексе «А» он пишет:

«О внутренней причине (ragione) винта: настолько, насколько вес находится ближе к первой степени легкости, чем к последней, тем легче будет ему подниматься» (A. 42 v.) (рис. 224).

Из этой краткой, но более или менее ясной записи следует, что Леонардо рассматривает винт как частный случай наклонной плоскости, расходясь в этом объяснении и с Героном, и особенно с Альберти. Другие записи по теории винта, повидимому, более поздние, к сожалению значительно менее ясны и понятны. Так, на одном из листов «Атлантического кодекса» рядом с совершенно непонятным схематическим чертежом находим следующий текст:

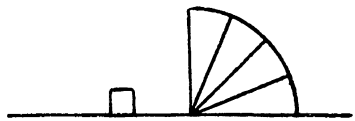


Рис. 224

«Этот вес будет нагружать одну только половину винта, которая обращена к нему.

«Зубья винта вместе с зубьями гайки, одевающими их, будут в направлении к центру веса нагружены вверх, а с противоположной стороны испытывать давление вниз.

«Этот груз увеличивает труд своего двигателя, и зубья винта вместе с зубьями гайки, одевающей его, будут в противоположных направлениях нагружаться двумя противоположными силами» (C. A. 100 r. ab.).

В этой мало понятной записи мы видим дальнейшую попытку проникнуть в сущность действия винта, в самый механизм его работы. Такого же рода попытки отражает и почти лишенный текста лист 69 r. «Атлантического кодекса», воспроизведенный нами в специальной работе[1] и потому здесь не повторяемый. Текст, сопровождающий рисунки, гласит:

[1] М. А. Гуковский. Очерки техники итальянского Возрождения. 1. Резьба у Леонардо да Винчи. Архив истории науки и техники, вып. 5, стр. 297.

«Чем более облегчается один из концов доски, тем тяжелее делается вещь, тащимая по ней; пример этому мы имеем в винте» (С. А. 69 г.).

Но дальше сведения к наклонной плоскости и бесформенных попыток глубже проникнуть в природу винта по пути чисто теоретического рассмотрения вопроса Леонардо не идет. Зато, так же как и в отношении зубчатых колес, он записывает ряд наблюдений и советов практического характера, приведенных нами в цитированной выше статье. Так, он подробно устанавливает различие между винтом с треугольной и винтом с прямоугольной нарезкой и определяет достоинства и недостатки каждой из названных систем, говорит о наилучших способах ввинчивания винта и, наконец, проектирует установку для испытания винтов. Все перечисленные вопросы трактуются в сравнительно ранних или, во всяком случае, не поздних листах «Атлантического кодекса». В позднем же кодексе «Е» он опять возвращается к этому кругу вопросов и набрасывает целую программу работ по изучению винта, работ, которые должны войти как часть в большое сочинение «О деталях машин».

«Пусть дана сила двигателя и вес движимого вместе с толщиной простого винта. Спрашивается, какова должна быть длина рычага. И если дана длина рычага и сила двигателя и его движимого, спрашивается, какова толщина винта. Или если дана толщина винта и длина рычага, ищется вес движимого. Итак, поищи в книге о деталях машин и там найдешь то, что выше спрашивается» (Е. 2 г.).

Таким образом, рассмотрение сравнительно немногочисленных записей Леонардо о винте приводит нас к тому же выводу, что и рассмотрение его записей, посвященных зубчатым колесам. Леонардо и здесь руководствуется в первую очередь требованиями, выставленными технической практикой, и пользуется данными, заимствуемыми из нее же. Он и здесь намечает ряд плодотворных путей изучения технических объектов, но сам не идет далеко по этим путям, ограничиваясь отдельными, разрозненными записями, замечательными и новыми, но еще

не развитыми и стоящими на недостаточной теоретической высоте.

Суммируя, таким образом, все сказанное нами выше о попытках Леонардо создать теорию «Деталей машин» (пользуясь нашей современной терминологией, отнюдь не всегда адэкватной терминологии Леонардо и его времени), мы должны констатировать следующее: как во всей этой области в целом, так и в отдельных ее частях Леонардо не удалось создать что-нибудь законченное; не удалось ему и в отдельных вопросах подойти к окончательным результатам. Наиболее разработанным оказался вопрос о блоке и системе блоков — тали или полиспасту. В этой области Леонардо имел ряд предшественников, и, кроме того, повидимому, система блоков была основным, ведущим звеном в технической системе времени Леонардо. В разработке этого вопроса Леонардо наиболее настойчив и упорен. Здесь он ставит ряд смелых и новых проблем, например пытается определить натяжение подвеса блока при движении охватывающей его и нагруженной двумя весами нити. В основных частях теории блоков он приходит к правильным результатам, правда намеченным уже его предшественниками, а в наиболее сложных и вспомогательных — приближается к ним. Что же касается других разделов леонардовых «Деталей машин», то они, хотя также имеют обычные положительные черты его изысканий — конкретность, обоснованность на эксперименте, уменье подметить физическую сущность явления и т. д., но настолько фрагментарны и первоначальны, что о них можно говорить скорее как о пророческих попытках, чем как о сколько-нибудь оформившихся научных достижениях. Очевидно, самые объекты, которые здесь попадали в поле зрения Леонардо, были слишком реально техничны для него, слишком тесно срослись с ежедневной, ремесленной, производственной практикой, чтобы даже он, при всей своей оригинальности и стремлении оттолкнуться от обычных, традиционных подходов к вопросу, смог поднять отдельные частные случаи на достаточную теоретическую высоту, дать им некое обобщающее истолкование.

§ 3. ТРЕНИЕ

Уже в последних рассмотренных нами записях Леонардо, содержащих вопросы «Деталей машин», мы постоянно встречаем упоминание о силе трения, как об одной из решающих сил, без учета которой не могут быть поняты основные технические влияния. Естественно поэтому, что Леонардо принимается за изучение трения, пытается выяснить определяющие его обстоятельства и, что особенно замечательно, величину трения в зависимости от этих обстоятельств. Мы видели, что, кроме совершенно беглого и к тому же явно гетерогенного целому замечания у того же Герона, трения не учитывал ни один из античных или же феодальных механиков (если, конечно, не сводить к трению перипатетическую доктрину о воздействии среды на движение). Зато впервые, и притом в том же духе, как и Леонардо, остановил на нем внимание Альберти, правда и в этом направлении, как и в ряде других, не пошедший дальше нескольких констатаций. Очевидно, сама социальная природа механики Возрождения, исполняющей или, вернее, стремящейся исполнить принципиально новые общественные функции и потому обращающей свое внимание на такие стороны исследуемых объектов, которые ранее не попадали в сферу изучения, толкала на изучение проблемы трения, роль которого трудно было не заметить при практическом подходе к техническим объектам.

Записи Леонардо, к сожалению, ничего не говорят нам о первых его шагах в трудной и новой области изучения трения. В ряде мест «Атлантического кодекса», относящихся скорее всего к последним годам первого миланского пребывания, мы находим уже готовый ответ на основной вопрос в этой области: чем определяется трение и какова его величина? Так, в одной записи, основное содержание которой относится к учению о тяжести, мы читаем:

«Каждым тяжелым телом побеждается сопротивление трения по весу, равное четвертой части этого веса» (C. A. 77 v. a.).

В этой краткой формулировке, очевидно, дающей как бы в конденсированном виде результат многих экспериментов, на

поставленный выше основной вопрос мы ясно разбираем ответ:

Трение определяется давлением между трущимися телами, и величина его равна четверти величины этого давления.

Другие записи, повидимому близкие по времени своего создания, дают тот же результат, но обставляют его рядом дополнительных оговорок и уточнений, например:

«Всякое тело при своем трении сопротивляется с силой (p), равной четверти своего веса, когда движение происходит по плоскости и поверхности плотны и гладки... Те тела, которые имеют более гладкую поверхность, имеют более легкое трение.

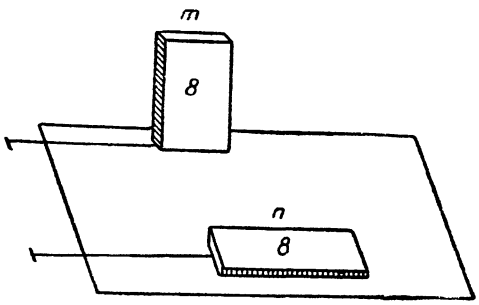


Рис. 225

«Между телами с одинаковой влажностью (lubricita) более тяжелое имеет более сильное сопротивление при трении.

«В теле равной влажности с неравными сторонами трение, производимое с любой из этих сторон, не меняет силы (p) при сопротивлении своему двигателю.

«В теле с неравными сторонами и с равной гибкой шероховатостью трение по его большей стороне будет более сильным.

«Это видно из того, что если частица гибкой шероховатости, как у мешковины (panno corda), сопротивляется как 1, то необходимо, чтобы 4 частицы сопротивлялись как 4 и сто как сто, но если одна нагружена большим весом, то эта частица сгибается и тело, которое должно испытывать трение, не имеет больше этой частицы, мешающей ему, так как она сгибается и выпрямляется и не представляет сопротивления.

«Это тело (рис. 225) имеет по длине $^4/_8$ и по ширине 2 и по толщине 1; из этого следует, что n лежит на $^8/_8$, а m лежит на

$^2/_8$ и каждая 8-я выдерживает $^4/_8$ и в *n* каждая 8-я поддерживает $^1/_8$» (C. A. 72 v. b.).

Рисунки 225 и 226, иллюстрирующие приведенную запись, к сожалению, повидимому, не законченную, показывают нам те простейшие опыты, которые проделывал Леонардо в своей работе над проблемой трения; запись вносит в первую общую и лаконическую формулировку закона трения два важных дополнения: во-первых, она утверждает, что трение зависит не только от давления, но и от характера поверхности трущихся тел; во-вторых, она констатирует, что при мало шероховатых поверхностях, соприкосновение которых облегчено смазкой, трение не зависит от величины поверхности трущихся тел; при сильной же шероховатости трение пропорционально величине этих поверхностей. Естественно, что такая констатация неизбежно приводит Леонардо к вполне четкому и теоретически правильному осознанию значения смазки механизмов, на которые обращал внимание, но опять-таки без сколько-нибудь глубокого рассмотрения вопроса, уже Альберти и которое пером Леонардо, повидимому впервые, вводится в научно-технический обиход.

Тот же круг вопросов затрагивает другая запись «Атлантического кодекса», относящаяся либо к тому же самому, либо к еще более раннему периоду.

«О т р е н и и г л а д к и х т е л, происходящем по прямой и наклонной линии и по кривой и круговой линии, и о качестве трущихся тел.

«Трение гладких и плоских тел сопротивляется своему двигателю с силой, равной четверти их веса.

«Пусть *a* (рис. 227) будет телом, трущимся или тащимым двигателем *b*; *cd* пусть будет гладкой поверхностью, о которую это тело трется.

«Трения бывают 4 родов, из которых первый — когда два тела гладки и ровны, как здесь предположено; второй — когда тащимое тело и поверхность, по которой происходит движение, шероховаты; третий — когда тащимое тело шероховато и поверхность, на которой оно движется, гладка; четвертый — когда

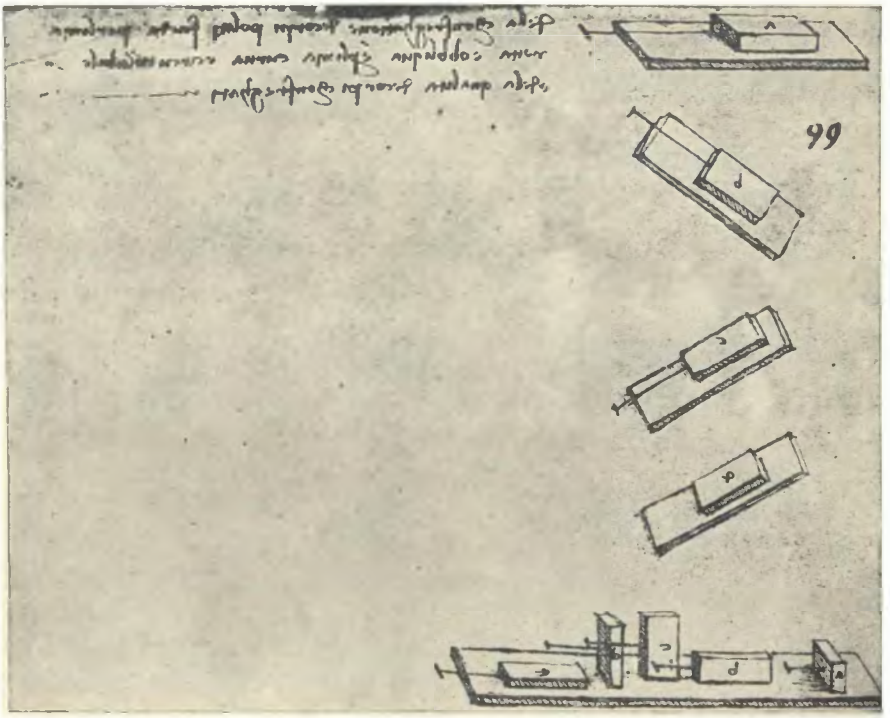


Рис. 226

тащимое тело и поверхность, по которой оно тащится, шероховаты.

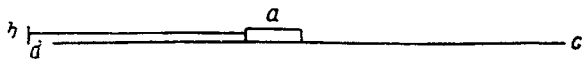


Рис. 227

«Приведи опыт (da la sperienzia) в подтверждение того, что гладкая вещь, тащимая по гладкой поверхности, сопротивляется при движении своему двигателю с силой, равной четверти своей тяжести. А в двух следующих родах (трения) то же самое— двигать шероховатую вещь по гладкой поверхности, как и гладкую вещь по шероховатой поверхности; 4-й раз — когда шероховатая вещь движется по шероховатой поверхности.

«Трение гладких тел будет тем больше терять в сопротивлении и приобретать в весе, чем менее наклонна поверхность, по которой оно движется, когда двигатель расположен над движимым (рис. 228).

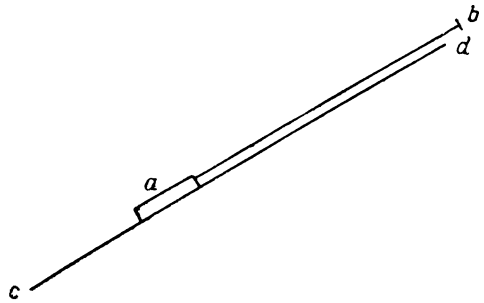


Рис. 228

«Трение гладких тел будет тем больше терять в трении и в весе, чем поверхность, по которой оно движется, менее наклонна, когда двигатель расположен ниже, чем движимое (рис. 229).

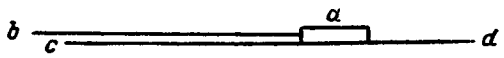


Рис. 229

«Когда на гладкой наклонной поверхности гладкое весомое тело весит по линии движения четвертой частью своего веса, тогда весомое тело само по себе расположено к опусканию.

«Весомое тело движется и не покидает (поверхности) с вращательным движением, причем, если соприкосновение трения гладко, оно всегда будет иметь силу трения, равную части своей тяжести» (C. A. 198 v. a.).

Тот же круг вопросов затрагивается и в следующих трех записях, идущих по пути классификации всех возможных случаев трения и учета всех возможных влияний на него.

«О простых передвижениях (tirari) плотных тел одного по другому.

«Так как трение плотных тел всегда равно четвертой части трущихся тел... Но в сложных передвижениях, т. е. при помощи рычагов, каковые бывают разных родов, а именно простые и составные: простые — такие, в которых применяется только один рычаг; составные такие, в которых много рычагов двигают один другой, но здесь я буду говорить о простых.

«Твердое (duro) движимое с твердой поверхностью.

«Мягкое (tenero) движимое с мягкой поверхностью.

«Мягкое движимое с твердой поверхностью.

«Шероховатое (aspro) движимое с гладкой (pulito) поверхностью.

«Гладкое движимое с шероховатой поверхностью.

«Шероховатое движимое с шероховатой поверхностью.

«Гладкое движимое с гладкой поверхностью.

«Шероховатое и твердое движимое с мягкой поверхностью.

«Шероховатое твердое с шероховатым твердым — движение крайней трудности.

«Шероховатое мягкое с шероховатым мягким — средней трудности.

«Эти движения с действием промежуточных тел (con interponimenti) — как когда песок помещается между движимым и поверхностью; и если промежуточные зернышки будут иметь круглую форму, движение будет легким; и когда промежуточные зерна будут иметь больший размер, движение будет более легким, если они при этом круглы; и это свойство движения не есть особенность, присущая трущимся движениям, но имеет

место также при движениях по жидкостям и трение...» (C. A. 193 r. b. — r. g.).

В приведенной записи мы видим неоконченную и фрагментарную, но вполне ясную попытку расположить все возможные случаи трения в определенную таблицу. Близка к двум вышеприведенным и следующая запись:

«О материале, наиболее сопротивляющемся при трении. Трение происходит трояким образом, а именно: твердое с твердым, мягкое с мягким и мягкое с твердым. Соприкосновение же этих трех разновидностей различается двух родов, из которых первое — простое соприкосновение трущихся тел, второе — составное соприкосновение. В простом соприкосновении (между трущимися поверхностями) не попадает (nom s'intramette) никакое вещество, но только самые эти поверхности соприкасаются между собой. При составном же соприкосновении разные вещества попадают между поверхностями трущихся тел, причем эти вещества тем более стирают вышеназванные тела, чем более шероховаты эти поверхности. Но если трущиеся тела будут обладать разной твердостью, то более мягкое стирает более твердое, и происходит это вследствие шероховатости находящегося между поверхностью вещества, которое въедается в вещество меньшей твердости и, укрепившись в нем, работает как напильник, каковым затем стирает более твердое вещество.

«Но если вещества обладают равной твердостью, тогда помещенное между поверхностями вещество размалывает само себя, если оно менее твердо, чем трущиеся вещи, но если оно более твердо, то оно поглощает это трение, точно так же, как два напильника равной силы стирают (si faccino) один другой» (C. A. 374 v. a.).

Таким образом, Леонардо во всех приведенных нами записях старается определить влияние как твердости, так и шероховатости трущихся поверхностей на величину трения и на состояние самих этих поверхностей. Результатом всех этих попыток является утверждение, что различная твердость и шероховатость изменяют величину трения, которая в идеальном, теоретическом

случае равна четверти давления; попытки же численно определить величину трения при разных комбинациях поверхностей, найти экспериментальные коэффициенты трения мы, как и следовало ожидать, у Леонардо не находим. Наиболее общую формулировку зависимости величины трения от свойств трущихся поверхностей, опять-таки без всякой попытки количественно подойти к вопросу, мы находим в позднем «Кодексе Арундель».

«Трения весов имеют столько разных сопротивлений, насколько разнообразны тела трущихся друг о друга весов, и в зависимости от того, будут ли поверхности трущихся друг о друга весов плотными и с сопротивляющейся плоскостью, тем большее соприкосновение будет иметь сопротивление, равное малому»[1] (Ar. 41 r.).

Все разнообразие явлений, устанавливаемых Леонардо путем ряда экспериментов, он сводит к некоему общему идеальному закону — закону, подчиненному простейшему математическому отношению, тому «legge matematica», который он считал обязательным субстратом всякого физического исследования. Установив же такой закон для идеального случая, он вносит для конкретных случаев ряд поправок, которые дают возможность найти переход от пестроты результатов наблюдений к всеобщности и жесткости идеального закона. Метод этот, характерный не только для Леонардо, но и для всего дальнейшего развития классической механики и физики, нередко приводит Леонардо к блестящим результатам, намного опережающим достижения его времени, но не поднимает эти результаты на надлежащую принципиальную высоту. Так, в данном случае рассмотрением влияния твердости и шероховатости трущихся поверхностей на величину трения, влияния смазки при различных поверхностях и различных составах этой смазки, Леонардо вплотную подходит к рассмотрению таких вопросов, которые впервые вошли в научный обиход только с конца

[1] Конец данной записи испорчен либо недоделан автором и потому не вполне понятен.

XVIII в. и по-настоящему не могут считаться разрешенными и до нашего времени.

Мы видели, что в одной из приведенных записей (A. C. 198 v. a.) Леонардо ставил также вопрос о различии трения скольжения и трения качения, или трения первого и второго рода. К этому вопросу, который поставлен, но не получает ответа в только что названной записи, Леонардо возвращается в другом месте того же «Атлантического кодекса», где говорится:

«Трение весомого тела будет обладать равной силой, когда оно создается вращением и по плоской поверхности. Существуют 3 рода трения, из которых один происходит по прямой поверхности, другой — по кривой, как в осях, а третий — в плоских кругах, как в жерновах мельниц, и из этих родов рождаются два смешанных и сложных, т. е. трение может заимствовать от первого и от второго. Вот, например, трение перекрестное двух длинных тел, движущихся накрест; и вот другое, в котором плоскость движется против движущегося тела, трущегося о нее.

«Трение тел имеет столь различные силы (p), каково разнообразие влажностей трущихся тел.

«Трение тел различается двух главных родов, а именно: жидкое с жидким и плотное с плотным, из них же рождается третье третьего рода, заимствующее нечто от двух вышеназванных или составленное из них, а именно: такое, при котором может происходить трение между жидким и плотным и плотным и жидким, т. е. гнущимся.

«Есть и 4-й род трения — например, колеса повозки, движущейся по земле, каковое не трется (non frega), а касается (tocca) и может считаться движущимся шагами бесконечной малости.

«Трущиеся движения бывают двух родов, а именно: равные и наклонные, и никогда не бывают направлены к центру мира, разве только случайно (per accidente)» (C. A. 209 v. a.).

Первая фраза этой весьма пестрой по содержанию записи как будто прямо говорит о том, что Леонардо высказывал глубоко неправильное утверждение, будто трение скольжения равно по величине трению качения. Однако предпоследний аб-

зац, в котором автор настаивает на принципиальном отличии трения качения, показывает, что либо Леонардо сразу же отказался от высказанного им в первой фразе утверждения, либо же понимал под словами «трение, которое создается вращением», — не трение качения. Как бы то ни было, но несомненным остается тот факт, что Леонардо вполне правильно поставил вопрос о различии между двумя родами трения, хотя окончательного ответа на него, повидимому, не дал.

Если мы теперь попытаемся в немногих словах свести воедино всю леонардовскую теорию трения, то получим следующее. В идеальном случае трение зависит только от давления между трущимися поверхностями, причем оно равно четверти этого давления; в действительности же эта величина изменяется в зависимости от твердости и состояния поверхности трущихся тел: твердость и шероховатость увеличивают трение, мягкость и гладкость его уменьшают. Величина трения при сравнительно гладких телах не зависит от величины трущихся поверхностей, при телах же шероховатых она пропорциональна этой величине. Жидкая смазка значительно уменьшает трение.

Просмотр страниц современного руководства, содержащих вопросы трения, заставляет с удивлением констатировать, что в такой совершенно новой и неизученной области, как теория трения, Леонардо сразу же нащупал вполне правильные пути. Он поставил почти все вопросы, ставящиеся в данной связи и посейчас, и дал на бо́льшую часть этих вопросов вполне правильные ответы. Даже и основное его утверждение о среднем идеальном коэффициенте трения, равном 0.25, не так уж далеко от истины: фактически при трении дерева о дерево коэффициент этот равен 0.36, а при трении металла о металл — 0.18.

Леонардова теория трения, которой в его наследии уделено сравнительно немного записей, представляет собой одно из наиболее поразительных проявлений его гения и одно из наиболее ярких доказательств того, как изменившаяся установка, изменившийся социальный заказ к науке, может сразу же привести к полному перевороту и в областях, до того совершенно не раз-

веданных, немедленно дать неожиданные и блестящие результаты.

Но рассмотрением основных законов трения отнюдь не исчерпываются записи Леонардо об этом предмете; в большей их части он занимается другими вопросами, связанными с трением. Так, в одном из приведенных выше отрывков из «Атлантического кодекса» (C. A. 198 v. a.) мы видели, что Леонардо ставит вопрос о влиянии наклона плоскости, по которой скользит данное тело, на величину трения. К этому вопросу, несомненно теснейшим образом связанному с рассмотренными нами выше штудиями Леонардо о равновесии на наклонных плоскостях, он возвращается многократно в своих поздних тетрадях — в «Кодексе Арундель» и кодексе «E». Именно ввиду того, что все эти записи только косвенно относятся к вопросу о трении, фактически же главным образом касаются вопроса о разложении веса тела, помещенного на наклонной плоскости, на две составляющие — параллельную плоскости и перпендикулярную к ней, причем величина второй определяет собой величину трения, мы приведем только небольшое число таких отрывков.

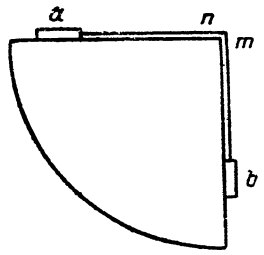


Рис. 230

«Рождение весомого тела от двигателя всегда вызывается в месте, противоположном тому, в котором вызывается его трение.

«Тело *a* не отдает двигателю *n* никакой части своего веса, так как это весомое тело давит только на горизонтальную поверхность, на которой оно лежит. Но этот двигатель нагружен только полным трением, равным половине (?) его тяжести (рис. 230).

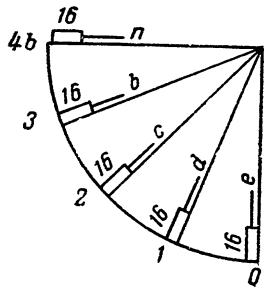
«Двигатель *m*, однако, не чувствует никакой части трения, так как он не трется ни в одной части, но этот двигатель нагружается всем поддерживаемым им естественным весом.

«Этот рисунок (рис. 231) показывает степени приобретения и потери трения тел, тащимых по разным наклонным поверхностям, причем эти степени получены на дуге *bh*.

«На линии *mn* показаны степени приобретения или потери веса в силе (*p*) его двигателя.

«Настолько, насколько уменьшается вес у двигателя, настолько увеличивается трение; и насколько уменьшается трение, настолько растет вес. Но эти увеличения и уменьшения весов сами по себе не пропорциональны увеличениям и уменьшениям трения, так как они не измеряются по одной и той же природе.

«Этот рисунок (рис. 232) показывает степени силы трения весов, тащимых (tirati) по разным наклонностям, и трение никогда не будет четвертью тащимого веса, за исключением тех случаев, когда этот вес будет передвигаем по горизонтальной линии, и происходит это оттого, что степени увеличения веса равны только в начале и в конце, но рождаются в противоположных местах.



«Заключение. Я утверждаю, что вес *m* весит по линии *me* только половиной своей тяжести. А следовательно, так как трение всегда сопротивляет-

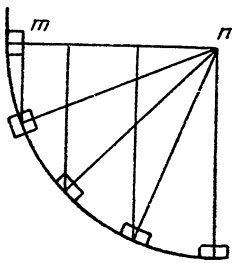


Рис. 231

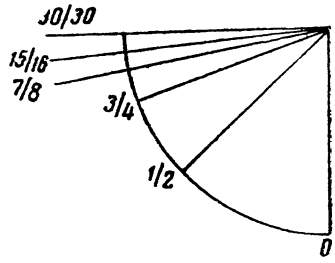


Рис. 232

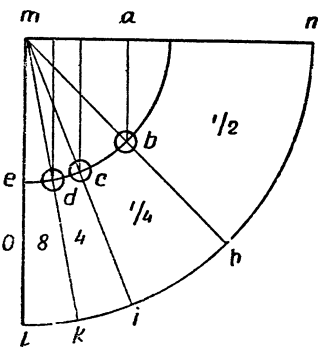
ся четвертью такой тяжести, то это трение достигает половины этой силы (p)» (Ar. 187 r.).

Очень близкую по содержанию запись мы находим в более позднем кодексе «E».

«Положение трущихся тел (рис. 233). Таковы наклонности меньшие, чем *gh*, каковы бо̀льшие, либо столько же

треугольников с равными основаниями и длинами (lungheze) можно построить в треугольнике *fgh*, сколько и в треугольнике *ghl*.

«По первой приведенной выше в этой вторая (фигура) ниже: трущееся тело (il chonfreghante) *a* на подвергающемся трению (chonfregato) *fg* отдает своему двигателю вес, равный четверти своего естественного веса (точно — che da di se peso al equale quarto della sua naturale gravità al suo motore), *ab* — половину этих четырех, *ac* — четверть, *ad* — восьмую часть, каковая при движении, которое она проделывает от *d* к *e*, превращается в ничто вследствие последней наклонности, где происходит трение восьмой части, которая, достигнув прямой линии, разрушает всякую тяжесть с трением.



«Заметь, что уменьшение тяжести при помощи уменьшения наклонности, на которой эта тяжесть находится, уменьшает также силу (*p*) трения. Следовательно, если вес *a* при трении имеет четыре фунта, то трение его имеет силу (*p*) сопротивления, равную одному фунту, а в средней наклонности *e*, будучи уменьшено на половину, остается равным двум фунтам на своем наклоне, четверть же его есть полфунта...

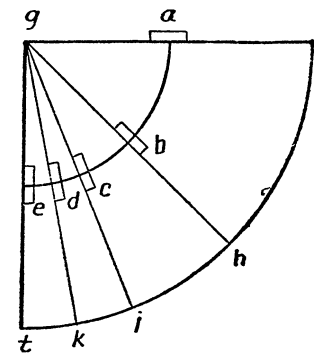


Рис. 233

«О т р е н и и. Плотное тело (la densitá chonfregata), трущееся по плотной плоскости (la densita pianá), помещенной в горизонтальном положении, имеет настолько же тяжелое трение при движении направо, как при движении налево (рис. 234).

«Но если плотное тело будет тереться по направлению к более высокому положению наклонного места, тогда движение

сделается тем более тяжелым по сравнению с вышеупомянутым движением, насколько противоположное движение более легко. Следовательно, настолько растет трудность с одной стороны, насколько она уменьшается с другой (рис. 235).

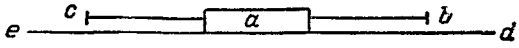


Рис. 234

«Подсчет трений. Вес *n* (рис. 236) отдает от себя сопротивление, равное четверти своей естественной тяжести, *m* сопротивляется восьмой частью своей тяжести, *o* сопротивляется шестнадцатой частью, *p* не сопротивляется, ибо в нем трение уничтожено. Но, чтобы сказать лучше, *n* сопротивляется четвертью своего естественного веса, *m* сопротивляется половиной четверти, *o* сопротивляется четвертью вышеназванной четверти, *p* не сопротивляется ничем, ибо четверть названной четверти уничтожается при движении, производимом от *o* к *p*, которое есть четверть» (E. 78 r. и v.).

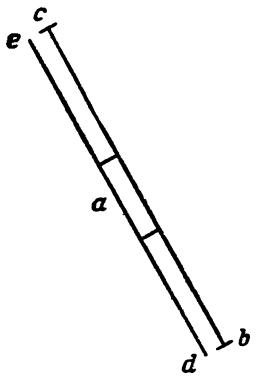


Рис. 235

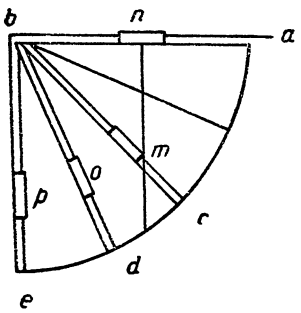


Рис. 236

Содержание всех приведенных отрывков совершенно ясно и не требует особых комментариев. Все они сводятся к констатации того, что если при горизонтальном положении трущихся поверхностей коэффициент трения равен четверти давления

или веса, то при наклоне этих поверхностей коэффициент трения уменьшается, если движение происходит вниз, и увеличивается, если оно происходит вверх. При этом коэффициент уменьшается или увеличивается во столько раз, во сколько угол между горизонтально и наклонно трущимися поверхностями меньше прямого угла. Как уже отмечалось выше, утверждение это, не дающее ничего особенно нового по сравнению с рассуждениями о равновесии на наклонных плоскостях, подобно последнему, подводит Леонардо вплотную к разложению силы тяжести тела, лежащего на наклонной плоскости, на две составляющие — перпендикулярную к наклонной плоскости и параллельную ей; при этом величина первой, определяющей собой трение, уменьшается (или увеличивается) с увеличением наклона.

§ 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последний рассмотренный нами раздел механики Леонардо является, как мы на это неоднократно указывали, наиболее смелым, новым, наиболее перспективным. В нем художник из Винчи своей мускулистой рукой, решительно и почти без оглядки на предшествующую традицию, кует новую науку, непосредственно связанную с техникой и работающую на нее. Именно этой новизной определяется и то, что ряд решений вопросов поражает своей правильностью, в то время как все вместе еще весьма фрагментарно, неуверенно, местами ошибочно.

В области сопротивления материалов Леонардо, несмотря на свою недостаточную математическую вооруженность, вплотную подходит к правильным решениям многих задач, указывая путь дальнейшим работам Галилея. В области деталей машин, давая ряд вполне правильных анализов работы блока и системы блоков — основного технического приспособления своего времени, уже несколько изученного предшествующей наукой, он широко, со свойственной ему практической хваткой, осве-

щает и другие детали: винт, шестерни, оси, хотя окончательных теоретических результатов и не добивается.

Наконец, в области изучения трения он приходит к поистине поразительным результатам, если не вполне точным, то безусловно достаточным для его времени и не превзойденным затем на протяжении столетий. Учение Леонардо о трении, к сожалению, почти не обращавшее на себя до сего времени внимания исследователей, — один из лучших памятников его смелой, истинно революционной научной деятельности.

ИТОГИ

Теперь мы можем попытаться свести воедино, в немногих словах, итоги нашего исследования, хотя мы сознаем всю условность и неизбежный схематизм формулировок, которые мы получим при таком сведении.

Рассмотрение развития механики до времени Леонардо да Винчи показало нам, что основной отличительной чертой этой науки, как и большинства других, на протяжении всей античности и всего феодализма, до XV в., был ее умозрительный характер. Обе ветви, на которые довольно четко распадается механика этого весьма значительного периода, — учение о движении или, условно говоря, динамика и учение о весах или, тоже условно, статика, — почти одинаково отмечены этим характером. Учение о движении дает философское объяснение одного рода явлений природы — явлений, входящих в категорию «местных движений»; учение же о весах дает философское объяснение технических явлений, в первую очередь рычага — основного элемента техники как античности, так и феодализма. Но так как в технике основным моментом является именно движение, то естественно, что в большинстве случаев первая часть механики — динамика — кладется в той или иной мере в основу части — статики. Философский характер всей механики как античности, так и феодализма определяет собой то, что наука эта, хотя в своей второй части рассматривает технические объекты и ставит их даже в центр своего внимания, все же абсолютно лишена технической целеустремленности. Она имеет целью объяснить, вскрыть философскую сущность того или

иного явления из области техники, но не считает для себя возможным опуститься до того, чтобы служить технике, чтобы на базе своих законов обосновать то или иное техническое мероприятие. Она только объясняет технику, но не изменяет ее. Такое взаимоотношение между механикой, наиболее технической из точных наук, и техникой определяется всем социальным строем античной и феодальной формаций, в которых положение господствующего класса — заказчика и потребителя науки — не базируется на производстве. В этих общественных формациях только военная техника может считаться частью фундамента власти,— остальные же отрасли техники предоставлены рабам или ремесленникам-кустарям и не привлекают к себе особого интереса правящих классов. Такое взаимоотношение между механикой и техникой, такой насквозь умозрительный характер первой и насквозь ремесленно-эмпирический характер второй определяют собой основные черты механики до XVI в.: ее абстрактность, ее формальное совершенство, достигающее иногда, например в сочинениях Архимеда или школы Иордана Неморария, большой высоты, и в то же время почти полное отсутствие в ней эксперимента как начальной стадии исследования и проверки на техническом опыте как последней его стадии. А последнее в свою очередь неизбежно вело к тому, что механика эта лишена была критерия для отбора нужных и правильных результатов своих изысканий от результатов ненужных и грубо неправильных. В ряде своих произведений, особенно относящихся ко времени феодализма, она обнаруживает поэтому весьма своеобразную смесь и тех и других.

Только один раз, в эпоху ослабления и распада Римского мирового государства, в творчестве Витрувия и Герона механика делает попытку тесно связаться с техникой, стать базой для ее решительного движения вперед, но попытка эта оказывается заранее обреченной на неудачу. Использовать старую, спекулятивную механику без изменений нельзя, а для переделки ее нехватает сил уже разлагающегося общества.

Однако само собой разумеется, что и вне безнадежной римской попытки механика античности и феодализма, сохраняя

общие основные черты, отнюдь не оставалась неизменной. Наоборот, несмотря на то, что мы недостаточно с ней знакомы, мы должны отметить в ней значительную эволюцию. Ко времени Аристотеля, эпохи формирования основных перипатетических законов движения, которые затем сохранятся в течение девятнадцати веков, механика представляет собой некое единое, гомогенное философское целое — будь это система самого Аристотеля, оказавшая наибольшее влияние на дальнейшее развитие механики, или же враждебная ей система Демокрита, более прогрессивная с нашей точки зрения, но в течение античности и феодализма значительно менее популярная и действенная. С течением времени, по мере развития вызывающего ее к жизни общества, механика постепенно более детально разрабатывает отдельные части своих учений. Внимательно всматриваясь в них, подвергая их детальному и тщательному анализу, она если не окончательно выделяет их из ранее абсолютно единого целого, то подготовляет возможность такого выделения. Эта расчленяющая работа начинается в области статики уже с творчества Архимеда, в области динамики — с греческих и затем арабских комментаторов сочинений Аристотеля.. Особенное же развитие она получает в трудах схоластов Западной Европы. Последние своими, как будто бы совершенно бессмысленными, формально логическими спорами, имевшими целью восстановить в наиболее полном виде учение Стагирита, подготовляют его окончательное крушение, так детально разрабатывая его отдельные части, что они приобретают жизнеспособность и вне создавшей их системы. Отдельные части эти начинают жить особой жизнью и как бы сами просятся на волю из стесняющей их, явно обветшавшей клетки.

Одновременно, обрабатывая отдельные элементы завещанной античностью системы механики, феодальная наука, сначала арабская, а затем и западно-европейская, глубоко изменяет и самые методы обращения с материалом. Наглядные, легко представляемые геометрические методы античных механиков она заменяет значительно более абстрактными, нередко менее формально строгими, но все же достаточно прогрессивными ал-

гебраическими, более соответствующими всему абстрактно-метафизическому и богословскому мировоззрению феодализма.

Рассматривая отдельные части некогда единой системы механики и применяя новые, более абстрактные приемы доказательств, поздняя механика феодализма нередко, как мы уже упоминали, находит весьма ценные результаты. Она подходит вплотную к правильным решениям, но, упорно отворачиваясь от контрольной инстанции опыта, не может отличить и отобрать их от результатов явно неправильных и абсурдных.

Таким образом, к концу XIV в., когда делаются попытки путем внешнего суммирования свести воедино, удержать от распада рассыпающуюся на составные части храмину механики, самое развитие механики подводит нас к какому-то порогу, настоятельно требует радикальной реформы, даже, можно сказать, революции.

Как, в каком направлении происходит эта революция и к каким результатам она приводит (а это и представляет для нас наибольший интерес), не может быть объяснено внутренним развитием механики, вся структура которой определяется создающим ее и потребляющим обществом. Она находит себе вполне адэкватное объяснение только в тех глубоких социальных сдвигах, которые происходят в Европе вообще и в Италии в частности в XIV—XV вв., в радикальном изменении того социального заказа, который определил все основное направление науки, все ее основные черты.

Социальные сдвиги, определившие собой и вызвавшие к жизни то движение, которое обычно называется итальянским Возрождением, определили собой и принципиально новый социальный заказ науке вообще и механике в особенности. Впервые выдвинув к социальной, экономической, политической власти в передовых итальянских городах буржуазные элементы, гегемония которых была, как никогда, связана с производством, с быстро и радикально развивающейся техникой, Возрождение, естественно, передало занятие механикой в руки новых людей, техников-практиков, впервые появляющихся на исторической арене и начинающих играть на ней значительную роль. Люди

эти, не получившие в подавляющем большинстве своем сколько-нибудь серьезного научного образования, не обремененные традициями враждебной им университетской, схоластической науки, с самого начала своей деятельности почувствовали необходимость сначала записать, фиксировать, кодифицировать своды своих приемов и рецептов, а потом и насытить их наукой, чтобы не отстать от требующей непрерывного развития техники и подвести под эти приемы и рецепты твердую теоретическую базу. Эта база, не изменяясь при всех изменениях строящейся на ней техники, должна была быстро и безошибочно давать нужные ответы на вопросы, этой техникой ставящиеся.

Совершенно естественно, что наука, в частности механика, растущая в эту эпоху непосредственно и органически из недр техники, должна была носить характер, радикальнейшим образом отличный от науки античности и феодализма, выросшей из недр философии, хотя и захватывавшей нередко технические объекты. Эта новая наука, наиболее яркое свое выражение нашедшая в научно-технических трактатах техника-дилетанта Альберти, по своему формальному уровню стоит значительно ниже механики поздне-схоластической, например механики школы Иордана Неморария. Рассуждения ее нередко глубоко наивны и беспомощны, какая бы то ни была логическая строгость в них отсутствует. Но при всем том эта новая, только рождающаяся механика заключает в себе колоссальные творческие возможности и силы. Будучи рождена техникой и для техники, она дополняет логические и математические рассуждения трезвым, реалистическим, внимательным рассматриванием изучаемых ею технических объектов.

Создавая все свои построения с конкретными техническими целями, новая механика в практике приобретает тот критерий, которого нехватало механике античной и средневековой. Путем проверки на техническом опыте она должна и сможет рано или поздно безошибочно определить, какая теория правильна и какая ложна, отсеять в своих построениях нужное от излишнего. Это обстоятельство, несмотря на формальную слабость и беспомощность ее первых шагов, неукоснительно приводит

ее к созданию новой, бесконечно более близкой к объективной действительности, а следовательно более научно ценной системы.

Все отмеченные выше черты новой механики, проявляющиеся в творчестве Альберти и других ученых итальянского XV в., только мельком, как бы случайно и на короткие мгновения обнаруживающиеся перед внимательным взором исследователя, приобретают исключительную ясность и четкость в гигантском и не всегда правильно оцениваемом и понимаемом научном творчестве гениального художника, техника и ученого — Леонардо да Винчи.

Леонардо да Винчи, воспитанный в том же кругу практиков-художников и инженеров, что и все первые итальянские инженеры, самим своим социальным лицом был предназначен к роли реформатора наук, настоятельно требующих радикальной перестройки. Его исключительная, можно сказать гениальная одаренность давала ему возможность осуществить эту реформу, но другие черты его характера и время, в которое он творил, определили собой невозможность довести до конца это грандиозное начинание. Сын богатого нотариуса, принадлежавшего к буржуазно-эксплоататорской верхушке Флоренции, Леонардо затем попадает в цеховую мастерскую, в круг мелкобуржуазный или даже полупролетарский, в круг работников кисти и отвеса. Всю жизнь он занимает какую-то двойственную позицию между двумя социальными пластами, интересы и чаяния которых были только внешне связанными, внутренне же глубоко противоположными. Эта двойственная позиция в значительной мере определила собой общую моральную и творческую характеристику Леонардо. Чувствуя себя чужим в обоих кругах, в которых он вращался, Леонардо приобрел замашки чудака, оригинала, человека, живущего и творящего путем отталкивания от всей предыдущей традиции, человека, страстно стремящегося проявить и утвердить собственную индивидуальность во всем ее своеобразии и во что бы то ни стало, что нередко бывает с людьми, социально не нашедшими себе места. Кровная связанность с правящим классом дала Леонардо ту перспективу, то чувство острых и актуальных запросов современности, то

ощущение неизбежности катастрофы для окружавшего его общества, которые отсутствовали у большинства художников-профессионалов; воспитание же в кругу этих профессионалов дало ему в руки такие технические средства и навыки, которые совершенно отсутствовали у представителей высших классов, даже у лучших из них, вроде Альберти. Наконец, самый жизненный путь, самый процесс развертывания научного творчества Леонардо, идущего от техники к науке, а не наоборот, не связанного при своем формировании традициями научного наследия, а только затем постепенно впитывающего эти традиции там, где они необходимы для создания новой научной картины, также определяет собой его творчество. Таким образом, социальное происхождение, положение и жизненный путь Леонардо как бы предопределили его направление в искусстве и науке; выполнить же ее так блестяще и вместе с тем так безукоризненно он смог благодаря исключительной одаренности своей натуры.

Итак, к моменту расцвета научной деятельности Леонардо механика явно и несомненно подошла к какому-то перелому. Новая социальная и экономическая обстановка властно требовала ее коренного обновления, а в лице художника Леонардо из Винчи явился человек, который мог и должен был попытаться осуществить это обновление. Всеми этими обстоятельствами и определяется полностью, или во всяком случае в основных чертах, система механики Леонардо. Система эта, несомненно существующая, вопреки мнению некоторых исследователей, как некое целое, не является все же целым, сколько-нибудь отлитым или отлившимся в окончательные, стройные формы, как думают другие исследователи. Дошедшая до нас в сотнях разрозненных листов, в тысячах несведенных воедино записей, она имеет единое устремление и подчиняется единому творческому замыслу. Но в то же время она составлена из разнообразных и еще не полностью переплавленных элементов, отдельные части ее различно разработаны и доведены до различной степени совершенства. Вся она является одновременно и цельной и крайне фрагментарной.

В своих отдельных формулировках, выводах и доказательствах в области механики Леонардо нередко вплотную подходит к формулировкам, выводам и доказательствам, вошедшим в науку через десятилетия и больше после ее создания, а иногда и предвосхищает их. Достаточно назвать прообраз закона Ньютона в учении Леонардо о действии и противодействии; правильное определение натяжения нити, укрепленной за два конца; частично правильное определение опорных реакций косо поставленного стержня; исключительно смелую постановку вопросов сопротивления материалов и деталей машин и, наконец, совершенно поражающую в XV в. трактовку проблемы трения, предвосхищающую достижения механики, на два века более зрелой. Эти отдельные, иногда поразительные успехи Леонардо, конечно, были бы сами по себе достаточными для того, чтобы обеспечить своему творцу почетное место в истории науки. Но не они являются наиболее важными и заслуживающими главного внимания в творчестве художника. Наиболее важен в нем самый метод его — новый, революционизирующий науку, круто и решительно поворачивающий ее на новые пути, по которым она идет и по сегодня.

Как ни один из ученых механиков до него, Леонардо пытался в едином гигантском усилии охватить все вопросы из области механики, которые когда бы то ни было ставились этой наукой. Как ни один из них, он тщательно изучал и использовал все дошедшее до него научное наследие, и как ни один из них он сумел не просто пересказать это наследие, а радикально переработать его, переориентировав его на актуальные, настоятельные требования своей эпохи — эпохи глубочайших социальных сдвигов и изменений. В этом гигантском охвате тем и материала и в радикальной новизне подхода к нему заключаются и все сильные и все слабые стороны механики Леонардо. Поняв в процессе творческой технической работы, что без надлежащей теоретической базы техника не может быть решительно сдвинута с места, Леонардо собирает воедино все, что в области технической теории (а таковой является в первую очередь механика) было создано до него. Затем он подвергает проверке всю

массу довольно гетерогенных доказательств и законов при помощи эксперимента, который один только может гарантировать абсолютную правильность этих доказательств и законов, правильность не формально логическую, а истинную, которая дает возможность при помощи полученных формул и законов строить арки и своды, поднимать тяжести, стрелять из пушек.

В процессе этой проверки Леонардо, несомненно, первым из ученых вырабатывает тот экспериментальный метод, который затем ложится в основу всего дальнейшего развития науки. Он, несомненно, первый строит всю свою научную систему с ориентацией на техническую практику, являющуюся последней проверочной инстанцией всякого его научного построения. Такая радикальная переориентация механики, реформирование ее сверху донизу, неизбежно и, можно сказать, стихийно наталкивает Леонардо на постановки новых вопросов, постановки, чуждые всей предшествовавшей механике, и на правильные или почти правильные решения ряда задач, причем ценность и специфичность этих решений еще далеко не ясны самому их творцу. С другой же стороны, эта обширность и радикальность проводимой Леонардо реформы определяет собой и слабые стороны его механики. Почти необозримая обширность ее делает физически невозможным завершение начатой уже в середине жизни гигантской работы. Необходимость же сохранять в каждом отдельном вопросе и в каждой группе вопросов постоянную и тесную связь с опытом, с физической реальностью, с технической практикой, определяет собой формально-математическую ошибочность ряда рассуждений Леонардо, повидимому вообще по природе своей имевшего малую склонность к абстрактно-математическим построениям.

Однако ряд дефектов механики Леонардо — ее фрагментарность и математическое несовершенство — ни в какой мере не умаляет ее общего значения. Несмотря на них, а до некоторой степени именно благодаря им, она является первым созданием новой науки, тесно связавшей свои судьбы с практикой. Эта наука не только объясняет мир, но и делает первую, еще робкую и неуклюжую попытку переделать его. И именно это качество

механики Леонардо да Винчи, флорентийского художника, техника и ученого, гениального чудака и неудачника, поднимает ее выше уровня отдельного, частного, хотя и весьма важного явления,— оно придает ей особую принципиальную значимость и симптоматичность. Механика эта является только одним из проявлений того общего перелома в области науки, отражающего глубокий перелом в социальном строе Европы, который происходит в XV — XVII вв. Подробный анализ ее дает, как нам кажется, возможность заглянуть глубже, чем это делается обычно, в самый механизм создания нового этапа в науке — этапа, из которого вырастает наука, существующая до наших дней.

Приложение

СПИСОК РУКОПИСЕЙ ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЕ, И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

1. Les manuscrits de L. de V. publiés en fac similes phototypiques avec transcriptions littérales, traductions françaises, avant-propos et tables méthodiques — 6 volumes in folio. Paris. Quantin. 1881—1891.

В этом издании опубликованы 12 записных книг Л. д. В., зашифрованных издателем буквами: A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, и три небольших отрывка — два, названных по их бывшему владельцу лорду Ashburnham, — Ash I и Ash II, и третий под № 2038. Под этими обозначениями рукописи, изданные Равессон-Молиеном, и цитируются в нашей работе.

2. Il codice di L. d. V. nella Biblioteca del principe Trivulzio in Milano. Trascritto ed annotato da Luca Béltrami. Milano. Fratelli Dumolard, 1891. Это издание мы цитируем «Тг».

3. Il codice Atlantico di L. d. V. nella Biblioteca Ambrosiana di Milano, riprodotto e pubblicato della Regia Academia dei Lincei... Trascrizione diplomatica e critica di Giovanni Piumati. Milano. 1894—1903. Это издание цитируется «С. А.».

4. Codice sul volo degli uccelli e varie altri materie pubblicati da Teodoro Sobachnikoff. Trascrizione in lingua francese di Carlo Ravaisson Mollien. Paris, Ed. Rouveyre. 1893. Цитируется «С. V. U.».

5. Il codice di Leonardo da Vinci della Biblioteca di Lord Leicester in Holkham Hall. Milano. Coglati. 1909. Цитируется «Leic».

6. Il codice Arundel 263 nel Museo Britannico. P. I—IV. Roma. Danesi. 1924—1930.

Это монументальное, исключительное по роскоши издание составляет выпуск новой серии I manoscritti e i disegni di L. d. V. pubblicati dalla R. Commissione Vinciana. Цитируется «Ar».

7. Il codice Forster I nel «Victoria and Albert Museum» Roma. Danesi. 1930. В том же издании, что «Arund», но в «малой серии». I manoscritti e i disegni... serie minore. Vol. I. Цитируется «Forst I».

8. Для рукописей, еще не изданных полностью, мы пользовались старым, но еще не потерявшим ценности изданием: The literary works of Leonardo da Vinci, complied and edited from the original manuscripts by Y. P. Richter. London. Simpson Low, Marston, Searle and Rivingston. 1883.

Во всех ссылках на рукописи буквы «r» и «v», поставленные после обозначения рукописи, обозначают лицевую (r — recto) или оборотную (v — verso) сторону листа. В листах «Атлантического кодекса» прибавляются еще буквенные обозначения a, b, c и т. д., обозначающие соответствующие части листа.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие. 3

Часть I

МЕХАНИКА

Глава 1. Античность. 13
§ 1. Основы античной механики. 13
§ 2. «Механические проблемы». 33
§ 3. Архимед. 46
§ 4. Римская и позднеэллинистическая механика. 60
§ 5. Заключение. 83

Глава 2. Феодализм. 86
§ 1. Переходный период. 86
§ 2. Механика у арабов. 95
§ 3. Конкретная механика и трактаты Иордана Неморария 113
4. Критика перипатетических основ механики. 165
§ 5 Заключение 184

Часть II

ВОЗРОЖДЕНИЕ

Глава 1. Общество 191
§ 1. Социально-экономическая обстановка. 191
§ 2. Политическая обстановка. 203

Глава 2. Техника и техники 215
§ 1. Техника. 215
§ 2. Инженеры. 230

Глава 3. Наука 241
§ 1. Техническая литература. 241
§ 2. Механика. 268

Глава 4. Заключение. 303

Часть III

ЛЕОНАРДО да ВИНЧИ

Глава 1. Флоренция. 307
§ 1. Формирование. 307
§ 2. Юность. 341

Глава 2. Милан. 355
§ 1. Начала. 355
§ 2. Расцвет. 375

Глава 3. Скитания 392
§ 1. Начало конца. 392
§ 2. Умирание. 404

Глава 4. Заключение. 417

Часть IV

МЕХАНИКА ЛЕОНАРДО да ВИНЧИ

Глава 1. Механика как целое 421
§ 1. Трактат о механике. 421
§ 2. Методология и методика. 430
§ 3. Построение. 443

Глава 2. Движение, вес и сила. 446
§ 1. Сущность движения, движение естественное. 446
§ 2. Инерция и равенство действия и противодействия . . . 484
§ 3. Сила и приобретаемое движение. 498
§ 4. Удар. 525
§ 5. Заключение. 564

Глава 3. Вес и рычаг. 568
§ 1. Теория рычага. 568
§ 2. Весомый рычаг. 599
§ 3. Коленчатые весы и потенциальное плечо. 617

§ 4. Приложения закона рычага — равновесие на наклонной плоскости 631
§ 5. Приложения закона рычага — нить, укрепленная за два конца 648
§ 6. Приложения закона рычага — наклонный стержень . . 696
§ 7. Заключение. 716

Глава 4. Сопротивление материалов, детали машин, трение . . 720
§ 1. Сопротивление материалов. 720
§ 2. Детали машин. 749
§ 3. Трение. 786
§ 4. Заключение. 799

Итоги. 800
Приложение. Список рукописей Леонардо да Винчи, использованных в настоящей работе, и их обозначений. 810

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

*

Редактор проф. *В. И. Поликовский*
Технический редактор *Н. П. Аузан*
Корректор *Н.Н. Морозов*
Переплет, титул и заставки художника
И. Ф. Рерберга

*

РИСО АН СССР № 2729. А—09306. Тип. заказ № 2808. Подписано к печати 28/VIII 1947 г. Формат бум. 60×92¹/₁₆. Печ. л. 51+14 вклеек. Уч.-издат. 47. Тираж 3000.

Цена в переплете 42 руб.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР
Москва, Шубинский пер., д. 10