

Ф. Тублейников



ЗЕМЛЯ
и
МАЯТНИК

Детгиз • 1957

ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

Ф. Тублейников

ЗЕМЛЯ
и
МАЯТНИК

*Государственное Издательство
Детской Литературы
Министерства
Просвещения РСФСР*

Москва 1957



*Научный редактор
заслуженный деятель науки
профессор В. Ф. Бончковский*

Рисунки

*А. Катковского, А. Петрова и
Л. Харашкевича*

Оформление

Н. Шишловского



ЗЕМЛЯ — ФИЗИЧЕСКОЕ ТЕЛО

Как грандиозна Земля!

На суше стоят громадные густые леса, расстилаются обширные степи и пустыни. Между материками лежат широкие моря и безбрежные океаны.

С развитием сообщений между далекими странами стало возможным составить ясное представление о размерах Земли.

Как ни быстроходны океанские пароходы, но и им понадобилось бы больше месяца, чтобы обойти вокруг Земли, не останавливаясь и не сворачивая с прямого пути. Даже на реактивном самолете нельзя было бы облететь Землю скорее чем за сорок часов.

Долгие годы жизни затрачивали путешественники на открытие новых стран. Еще и теперь есть такие «уголки», где не ступала нога исследователя.

Но весь этот огромный мир, в котором проходит наша жизнь, — только поверхность вращающейся планеты Земли, плавно движущейся вокруг Солнца.

Вот бы увидеть ее «со стороны», издалека, например из окна межпланетного корабля!

Пока это еще недоступно человеку. Но посмотрите повнимательнее на плывущую в пространстве Луну, и вы легко унесетесь мысленно далеко от земной поверхности.

Нетрудно вообразить, что вы находитесь на Луне и видите на черном небе среди ярко горящих звезд светлый диск Земли. Его диаметр был бы почти в четыре раза больше лунного, который мы видим с земной поверхности.

Быть может, сквозь оболочку земной атмосферы вам удалось бы различить на поверхности земного шара материки и океаны.

В таком случае вы обязательно заметили бы и вращение Земли.

Представив себе хотя бы мысленно эту картину, вы не удивитесь, что Земля в целом, как и любое тело природы, может иметь физические свойства.

Подобно бильярдному шару, земной шар должен сопротивляться силам, изменяющим его форму. Вращаясь, он должен подражать движению волчка, пущенного забавляющимся мальчиком на гладком полу.

Легко, конечно, познакомиться со свойствами бильярдного шара. Стоит уронить его на твердую доску, чтобы увидеть, как он подпрыгнет. Это — проявление его упругости.

Сжимая шар под прессом между двумя стальными плитами, можно измерить его сопротивление изменению формы, то есть твердость. Подвергая бильярдный шар различным лабораторным испытаниям, можно узнать и другие его физические свойства.

Но определить свойства земного шара очень трудно. Это удалось сделать только в последние два века.

Как выяснили ученые, земной шар также подвергается в «лаборатории» природы различным испытаниям. Так, например, он притягивается Луной и Солнцем. Действуя на каждую частицу Земли, приливообразующие силы влияют и на форму Земли. На фигуру Земли действует и ее собственное вращение. Возникают центробежные силы, перемещающие ее частицы.

Но как заметить действие этих сил на Землю? Как измерить сопротивление им земного шара, то есть определить его твердость?

Это можно сделать, только наблюдая на земной поверхности некоторые явления с помощью очень чувствительных приборов.

Приборы, позволяющие делать такие наблюдения, чрезвычайно остроумны.

В истории науки есть много примеров, когда с по-

мощью простейших приборов и инструментов были сделаны замечательные открытия.

Вспомните только, как два выпуклых стекла позволили в десятки и сотни раз «приблизить» далекие планеты.

С помощью зрительной трубы, в концы которой вставлены такие стекла, астрономы открыли спутников планеты Юпитер, замечательные кольца Сатурна, фазы планеты Венеры и лунные горы.

С помощью еще более простого прибора — треугольной стеклянной призмы — ученые разложили белый свет на семь видимых цветов. А изучение спектра привело к открытию химического состава Солнца и звезд.

Не сложен и прибор, позволивший изучать свойства Земли. Это обыкновенный маятник (отвес).

Главнейшее из свойств Земли — притяжение ею тел. Как оказалось, оно неодинаково на земной поверхности. С помощью маятника изучают, как меняется тяжесть на земной поверхности в зависимости от близости к полюсу или экватору.

Отвес позволяет заметить и изменение формы Земли под действием притяжения ее Луной и Солнцем.

Когда Земля и Луна меняют свое положение относительно друг друга, отвес неприметно отклоняется от вертикали. Следуя за движением Луны, конец отвеса чертит замысловатую микроскопическую фигуру.

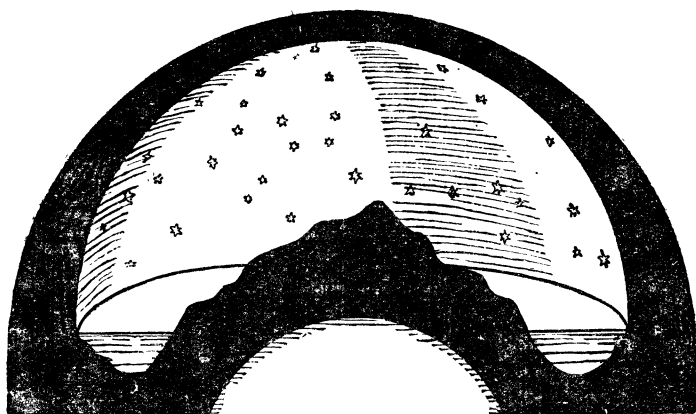
По движению отвеса ученые сумели установить, насколько Земля сопротивляется изменению ее формы.

Даже загадку внутреннего состояния Земли удалось разрешить, наблюдая с помощью маятника колебания почвы во время далеких землетрясений, приходящие на сейсмическую станцию через земные глубины.

Идея изучения свойств Земли как физического тела могла возникнуть только после того, как было открыто, что Земля — шар, изолированный в мировом пространстве.

ОТКРЫТИЕ ИЗОЛИРОВАННОСТИ ЗЕМЛИ В ПРОСТРАНСТВЕ

В древности люди считали Землю плоскостью, на которую опирается небесный свод. Это представление возникло из непосредственного зрительного впечатления. Оно было тесно связано с понятием об абсолютном «верхе» и



Такой представляли себе Землю древние народы. Небесный свод опирается краями на плоскую земную поверхность. Суша со всех сторон окружена водами океана, а внутри Земли — пустота.

«ниже», вполне согласовавшимся со взглядами рабовладельческого общества древнего мира.

Земля казалась фундаментом Вселенной.

Однако при этом было нелегко понять, как происходит суточное движение светил.

Звезды в северной части неба в течение суток описывают круги с центром, лежащим недалеко от Полярной звезды. В южной части неба они восходят, движутся по дуге круга и заходят. При этом положение звезд относительно друг друга остается неизменным.

Такое же движение совершают в течение суток Луна и Солнце.

Если бы Земля была плоскостью, покрытой сверху небесным сводом, как могли бы светила неба ежедневно восходить, проходить по небу и закатываться, а затем снова восходить на востоке?

Правда, для Солнца и Луны можно было придумать подземные «коридоры», по которым они будто бы возвращаются после заката снова на восточную сторону неба. Но как объяснить повторяющееся восхождение звезд?

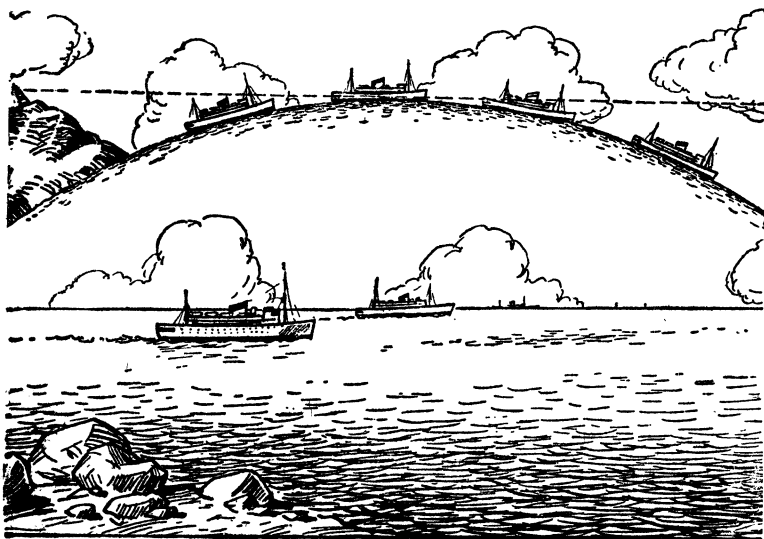
Считая Землю неподвижной, древние ученые пришли к заключению, что Земля изолирована в пространстве, а

небесная сфера вращается вокруг нее. Поэтому все светила после заката обходят Землю «снизу». Так объяснили древние ученые восход и заход Солнца, Луны и звезд.

Какую же форму имеет изолированная в пространстве Земля? Об этом можно было судить по некоторым наблюдениям на ее поверхности.

Греческие ученые знали, что моряки, плававшие до самых Геркулесовых Столбов (так греки называли две горы у Гибралтарского пролива, на европейском и африканском берегах), везде видели одну и ту же картину: огромный круг горизонта, к которому спускаются края небесного свода. Но нигде они не могли достигнуть края, где небо сходится с Землей.

Мореходы скоро убедились, что поверхность Земли не плоская, как это кажется на первый взгляд. Приближаясь к гористому берегу, они видели, как показываются сперва верхушки гор, а потом уж и подошва их. Когда же корабль удалялся от берега, то сперва скрывалась подошва горы, а потом ее вершина.



Вследствие кривизны земной поверхности удаляющийся корабль постепенно скрывается за линией горизонта.

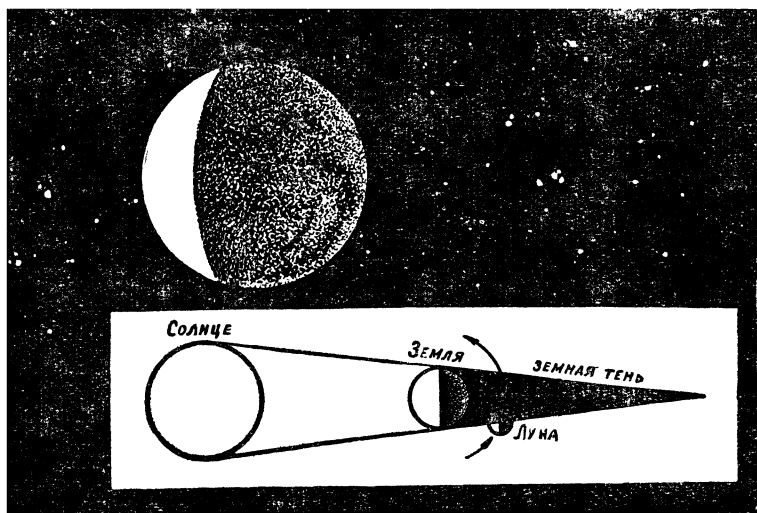


Схема лунного затмения.

Такое явление может быть только на выпуклой поверхности. На плоскости гора при удалении от нее казалась бы все меньше, но была бы видна вся — от подошвы до вершины.

Плавая на юг, в Египет, греческие моряки видели также, как в южной части неба показываются неизвестные в Греции звезды. Эти звезды снова скрывались под горизонтом во время обратного переезда на север, в Грецию.

Это, конечно, происходило потому, что при передвижении по поверхности Земли на юг из-за выпуклости земной поверхности появлялись те звезды, которые ранее скрывались за ней.

Какую же форму должна иметь Земля, чтобы на ней человек везде видел себя на выпуклой поверхности, в центре круга? Конечно, только форму шара.

Другим доказательством шарообразности Земли служит форма края ее тени.

Во время полнолуния Земля находится между Солнцем и Луной. Тень от Земли так длинна, что Луна иногда попадает в нее. Тогда на светлом диске полной Луны виден круглый край надвигающейся на нее тени.

Такую тень может отбрасывать только круглое тело.

С развитием физики и астрономии возникла мысль, что Земля в целом может иметь физические свойства, как любое тело природы.

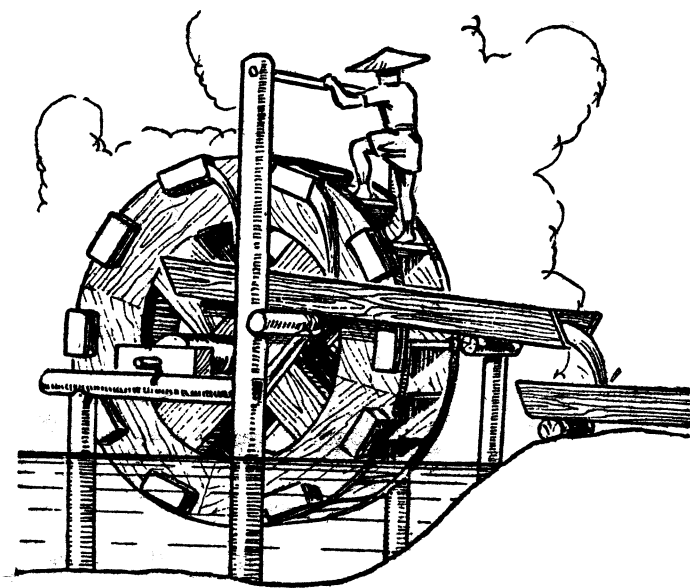
Проверить эту мысль удалось, когда ученые познакомились с маятником.

В наше время маятник всем известен. Каждый из нас видел, как он отбивает секунды в стенных часах. Это металлический стержень с тяжелой чечевицей на конце.

Но в древности и в средние века этот замечательный и простой прибор не был известен. Можно без преувеличения сказать, что маятник был «открыт» учеными.

ПОЧЕМУ МАЯТНИК ДОЛГО ОСТАВАЛСЯ НЕИЗВЕСТНЫМ

Научные открытия всегда делались в тесной связи с требованиями практической жизни. И маятник не был исключением из этого правила



Переступая по ступенькам на ободе большого колеса, человек медленно вращал его. Черпаки, укрепленные на колесе, забирали воду из реки и выливали ее в желоб.

С давних пор чувствовалась большая надобность в точных часах. Но механики долго не знали, каким способом регулировать ход колесных часов.

Только в XVII веке в качестве регулятора для часов был применен маятник, хотя люди с древних времен пользовались различными приборами и машинами.

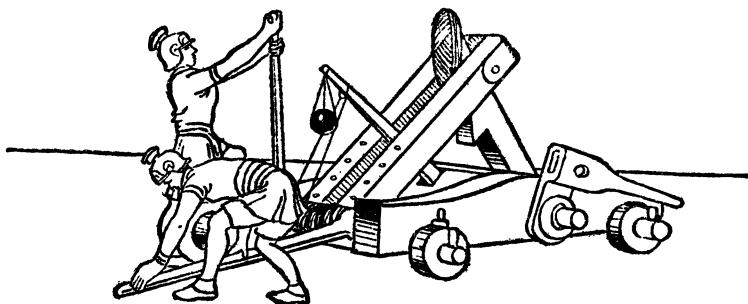
В древности все машины приводились в действие не паровыми двигателями, а только силой животных или людей.

Переступая, например, по ступенькам на ободу большого колеса, человек медленно вращал его. Черпаки один за другим погружались в воду и выливали ее в желоб водопровода.

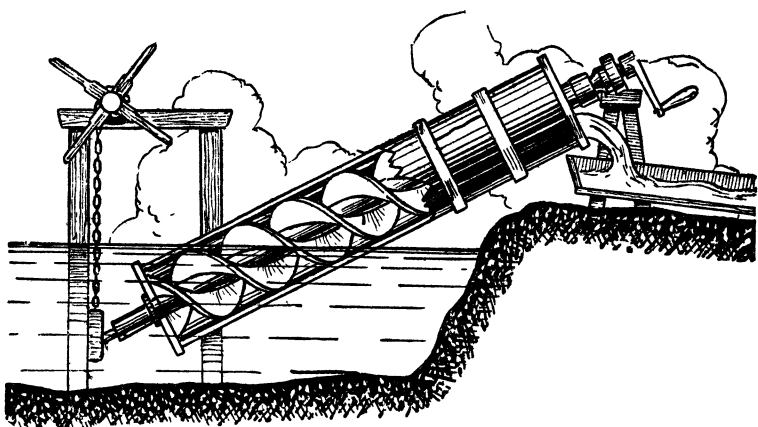
Машины служили также для выигрыша в силе при работе упряжных животных и рабов. Без них не могли быть построены ни египетские пирамиды, сложенные из огромных отесанных каменных глыб, ни прославившиеся своей архитектурой греческие храмы.

У древних греков и римлян было немало и военных машин. Например, катапульты, заменявшие тогда пушки, метали стрелы и копья силой раскручивающихся пучков жил, а баллисты бросали крупные камни или бревна с железными наконечниками.

Во время осады римлянами Сиракуз знаменитый греческий математик III века до новой эры Архимед построил много машин для защиты своего родного города. С их помощью он, по рассказам современников, захватывал, приподнимал и опрокидывал римские корабли, приближавшиеся к стенам города.



Военная машина древних римлян (онагр), при помощи которой они метали в неприятеля каменные ядра.



Винт Архимеда, служащий для поднятия воды.

Машины того времени, нередко очень сложные, состояли из рычагов, блоков, ворот и зубчатых колес.

Известный в древности греческий изобретатель Герон, живший на сотню лет позднее Архимеда, придумал много остроумных приборов. Он устроил, например, впервые сифон, опоражнивающий до дна сосуд с водой. Это изогнутая трубка, более короткое колено которой опущено в сосуд. Если потянуть воду ртом через другой конец, то она поднимается в трубку и вытекает через длинное колено.

Машины Архимеда и приборы Герона были основаны только на законах равновесия тел. Наука о равновесии тел, или статика, была прекрасно разработана греческими математиками и инженерами.

Изучением же движений они не занимались. Поэтому маятник и остался им неизвестен.

Конечно, колебания подвешенных тел не могли остаться незамеченными древними учеными и инженерами.

На парусных кораблях в большом ходу были тяжелые блоки, свешивавшиеся с мачт на канатах. Их раскачивал морской ветер, и матросы видели колебания блоков на канатах.

При сооружении высоких зданий строители поднимали на веревках разные тяжести, слегка покачивавшиеся во

время подъема. Инженеры, строившие здания, могли наблюдать колебания этих тяжестей. Но, не занимаясь опытным изучением движения тел, греческие механики не знали законов их колебаний.

В рабовладельческом античном обществе не развивалась опытная наука. Опыты, связанные обычно с ремеслами, не пользовались вниманием древних ученых.

Правящие классы презирали всякий физический труд, а также и опыты, производство которых требовало этого труда. Достойными ученых считались только логические выводы из аксиом.

Так, например, древние ученые утверждали, что небесные тела могут двигаться лишь равномерно по кругу, так как такое движение «совершенно» и единственно достойно «совершенных» небесных тел.

Но все-таки ученые древней Греции заложили основы науки о природе. Они не только наблюдали, но измеряли и вели расчеты, чтобы найти законы, управляющие явлениями природы.

Если бы ничто не помешало дальнейшему развитию греческой науки, она могла бы перейти к опытному исследованию природы. Только гибель античного мира под ударами революционных движений среди рабов и нашествий варварских племен остановила ее развитие.

Даже то немногое, что было известно грекам о природе, уже в первые века новой эры стало забываться.

Христианство, пришедшее на смену язычеству, было враждебно «языческой» науке о природе и искусству. Для ученых настали тяжелые времена.

В 390 году христиане-фанатики под предводительством епископа Феофила разгромили в Александрии библиотеку. Через полвека после этого известная женщина-астроном Гипатия была убита там же на улице толпой.

Пышно расцвело богословие, заглушая сохранившиеся еще ростки естествознания. Лишь немногие интересовались астрономией и физикой, изучение которых не поощрялось правителями Византии и Рима.

Наконец в 529 году византийский император Юстиниан окончательно закрыл афинские философские школы, что было концом греческой науки. Последние семь греческих мудрецов отправились искать приюта в Персию.

В VII—VIII веках арабы захватили обширные страны в Северной Африке, Средней Азии и даже в Европе.

Разрушив античный мир, арабские вожди-халифы позднее стали, однако, покровителями наук и искусств. Они привлекали в Багдад, а затем в Дамаск архитекторов, художников и ученых.

В эти столицы арабских владений стекались ученые: греки, сирийцы, евреи и персы. Под покровительством халифов они переводили на арабский язык и размножали в многочисленных списках сочинения греческих философов и астрономов, извлеченные из случайно сохранившихся библиотек.

Подлинники некоторых из этих сочинений остались неизвестными европейским ученым, которые познакомились с ними по арабским переводам.

Астрономия, химия и медицина успешно развивались в X—XV веках и в Средней Азии.

Узбекский ученый Улугбек обладал лучшими в мире астрономическими инструментами. Он составил новые планетные таблицы, превосходившие по точности все имевшиеся тогда астрономические таблицы.

Наряду с астрономией, медициной и математикой распространились тогда и ложные «науки» — алхимия, астрология и даже магия, то есть «колдовство».

Но в физике ученые того времени не сделали новых открытий. В этой области знания они ограничились изучением работ древних греков.

В Западной Европе до XIII века наука не развивалась.

Любознательные люди опасливо знакомились с творениями древних ученых, которые церковь считала «языческими» и «еретическими».

Не только простые горожане, но и правители-феодалы были большей частью совершенно невежественны. Простой люд и женщины не обучались грамоте.

Дочь русского князя Ярослава Мудрого — Анна, вышедшая замуж за французского короля, была едва ли не единственной грамотной женщиной во всей Европе.

Пышно расцвели в Европе и занесенные с Востока лженауки — алхимия, астрология и магия.

Правда, в поисках рецепта превращения свинца и ртути в золото алхимики накопили знания о химических реакциях, которые пригодились впоследствии химикам. А предсказывание судьбы вождей и королей по располо-



Лаборатория алхимика.

жению звезд и планет, которым занимались астрологи, способствовало развитию астрономических наблюдений. Но алхимия и астрология немало задержали развитие точных наук о природе.

Первый европейский университет был основан в Италии только в конце XI века. Он должен был готовить ученых юристов для защиты прав горожан от посягательства на них феодалов.

Как в этом университете, так и в основанных позднее преподавалось богословие, изучались творения «отцов» церкви и философия, служившая, однако, лишь целям богословия.

Из древних наук лишь в конце XIII века было разрешено преподавать учение греческого философа Аристотеля.

Однако этому ученому уже было известно, например, что Земля — шар, а это противоречило библейскому взгляду на строение мира. Поэтому сочинения Аристотеля были снабжены различными комментариями, приводящими его учение в согласие с библией.

Средневековая схоластика, то есть университетская наука того времени, была шагом назад по сравнению с наукой античного времени.

В феодальном обществе средневековой Европы, как и в рабовладельческом античном мире, труд и ремёсла также не пользовались уважением. Профессора, преподававшие в университетах, отрицали необходимость опытов и наблюдений для познания окружающего мира, считая экспериментальный метод недостойным ученого.

ОТКРЫТИЕ МАЯТНИКА ГАЛИЛЕЕМ

Но с XIII века в общественной жизни Европы начался заметный прогресс.

Были построены стекольные заводы, производившие венецианские зеркала. Вошли в употребление очки, для которых потребовалось производство оптических стекол.

Моряки стали пользоваться компасом, появились порох и бумага, а в 1440 году было изобретено книгопечатание.

Возможность печатать книги вместо переписывания способствовала быстрому распространению знаний.

Уже в XIII веке стали раздаваться голоса, призывавшие к опытному изучению явлений природы. Один из провозвестников этого метода оставил яркий след в истории науки.

Это был англичанин Роджер Бэкон.

В те времена источником всех знаний о природе были сочинения Аристотеля и греческого астронома Птолемея. Авторитет этих ученых считался непререкаемым.

Бэкон не соглашался основывать познание природы только на авторитете древних ученых. Он указывал на необходимость опытов и наблюдений.

Этот глашатай новой науки предсказывал, что будут построены суда, идущие без гребцов, колесницы, движущиеся без лошадей; летательные машины, которыми будет управлять человек.

Правда, техника того времени не могла решить эти задачи. Но даже постановка их свидетельствовала о вере Бэкона в торжество опытной науки.

Появление таких идей указывало на сдвиг в умственной жизни средневековой Европы. Вслед за Роджером Бэконом стали раздаваться голоса и других передовых людей, призывавших стать на путь опытного изучения природы.

Во второй половине XV века таким глашатаем новой науки был знаменитый итальянский художник Леонардо да Винчи.

Леонардо был известен не только как художник, но и как прекрасный инженер. Когда в окрестностях Милана осушали болота, он руководил проведением каналов. На нем лежала и забота о снабжении этого города водой.

Встречаясь во дворце миланского герцога с профессорами университета, Леонардо часто вступал с ними в споры. Он доказывал, что нужно самим наблюдать явления природы и делать опыты, а не искать объяснения их в книгах греческих философов.

Остроумные насмешки Леонардо над схоластами были широко известны и оказывали большое влияние на современников.

Профессора-схоласты считали Леонардо невежественным человеком, потому что он в спорах с ними ссылался не на тексты из сочинений Аристотеля, а на собственные наблюдения.

Найденные через сто лет после смерти Леонардо его записные книжки доказали, что он был замечательным наблюдателем и исследователем природы.

На страницах этих книжек среди беглых заметок и зарисовок художника найдены описания сделанных им опытов и математические расчеты, в которых он далеко опередил свое время. Так, например, Леонардо уже пришел к выводу, что скорость падающего тела нарастает пропорционально времени.

Окончательно же раскрыть законы падения тел удалось только итальянскому ученому Галилею. Он же, еще будучи студентом Пизанского университета, открыл в 1583 году и маятник.

Находясь в соборе, Галилей обратил внимание на легкое покачивание церковных люстр, подвешенных на длинных цепях к потолку здания. В то время как другие студенты внимательно слушали церковную службу, Галилей занимался наблюдением над покачиванием люстр.

Как бы сравнить продолжительность колебания этих маятников? Вот вопрос, заинтересовавший юного исследователя.

У Галилея не было карманных часов, но он остроумно вышел из этого затруднения: стал измерять время размаха люстр ударами собственного пульса.

Считая удары пульса в течение каждого размаха люстры, Галилей скоро заметил удивительное явление: когда колебания люстры затихали, то есть размахи становились короче, продолжительность их не менялась.

Это наблюдение навело Галилея на мысль, что колебаниями маятника можно измерять время.

Возвратившись домой, Галилей принялся за исследование открытого им явления природы.

Правда, он был только бедным студентом и не располагал средствами для сложных опытов. Но для изучения законов колебания маятника не нужны дорогие приборы.

Простой маятник — это маленький тяжелый шарик на тонкой нити.

Если бы шарик простого маятника превратился в тяжелую материальную точку, то мы имели бы математический маятник, длина которого — расстояние от точки подвеса до материальной точки.

Длиной простого маятника нужно считать расстояние от подвеса до центра тяжести шарика, так как он совершает колебания почти точно в тот же период, как математический маятник такой же длины.

Поэтому именно простой маятник удобен для изучения законов его колебаний, а не тот — физический — маятник, который всем хорошо известен по стенным часам.

Чтобы изучать законы колебаний маятника, Галилею достаточно было привязать к куску крепкого тонкого шнура гирьку или свинцовую пулю.

Отведенная в сторону и отпущенная, гирька должна падать вертикально. Но нить отклоняет ее и направляет по дуге круга.

Гирька движется под действием тяжести по дуге круга, подобно тому как скатывается тяжелый шарик по наклонной плоскости. В момент, когда она достигает самой нижней точки своего пути, нить маятника становится вертикальной. Теперь тяжесть уже не заставляет гирьку двигаться. Но гирька не останавливается. В этот момент скорость ее движения достигает наибольшей величины. Гирька продолжает движение, теперь уже поднимаясь по дуге круга.

На первой половине пути сила тяжести ускоряла движение гирьки как падающего тела. Теперь же она замедляла ее движение как тела, подброшенного вверх.

По окончании одного размаха движение гирьки происходит в обратном порядке.

У молодого исследователя сразу же возник вопрос: как влияют на продолжительность или период размаха маятника его длина и вес?

Удлиняя нить маятника, нетрудно установить, что колебания его замедляются.

Если длина маятника была в четыре раза больше, период его размаха становился в два раза продолжительнее. При укорачивании же маятника и период его колебаний делается в том же отношении короче.

Когда Галилей попробовал узнать влияние веса маятника на период колебаний, результат наблюдения оказался неожиданным: свинцовая пуля и легкая пробка на нитях равной длины колебались одинаково.

Вес маятника, как оказалось, вовсе не влияет на период его колебаний. Этот опыт, как мы увидим далее, был очень важен для изучения свободного падения тел. Ведь движение маятника, как и падение тела, вызывается силой тяжести. Значит, по колебаниям маятника можно судить и о свободном падении тел.

Открытие Галилеем маятника было важным событием в истории науки.

Вот что писал об этом один из его учеников: «Благодаря остроте своего ума он изобрел простейший и верный способ измерения времени с помощью маятника, никем прежде него не усмотренный. Для сего воспользовался случайным наблюдением качаний люстры, когда находился в Пизанском соборе, сделал точный опыт, убедился в равной продолжительности колебаний, и ему тогда же пришла мысль приспособить маятник в медицине для измерения биения пульса, к удивлению и восторгу врачей...»

Но не только врачи были обрадованы открытием маятника. Астрономы также очень нуждались в точнейших часах.

В то время потребность в точных часах была уже очень велика. Открытие маятника сильно заинтересовало современников Галилея.

Ученые и лучшие мастера-часовщики просиживали ночи над изобретением маятниковых часов.

Помощь маятника в измерении времени была первой услугой, оказанной этим несложным прибором науке.

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ

С древнейших времен охотники, рыбаки и земледельцы определяли время по высоте Солнца. Так делают нередко они и теперь. Но еще древние вавилоняне не удовлетворялись таким способом определения времени «на глаз». Они стали устанавливать столбики-гномоны, чтобы по их тени судить о высоте Солнца.

Утренняя длинная тень от столбика указывала на самый ранний час дня. Наиболее короткая — на полдень. День делился на двенадцать часов. Стрелкой часов была тень гномона.

От вавилонян эту идею заимствовали греки. Но они уже устраивали настоящие солнечные часы.

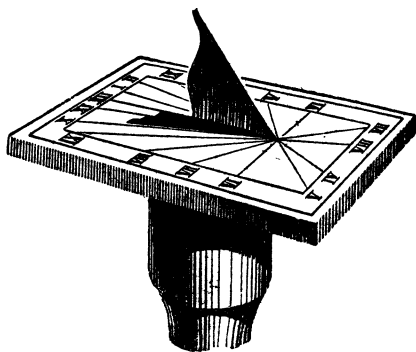
Греческий философ Анаксимандр, живший в VI веке до новой эры, значительно усовершенствовал их. Он установил на металлическом круге короткий пруттик. Тень пруттика служила стрелкой его солнечных часов. Конец ее двигался по дуге, указывая время.

После Анаксимандра греками было придумано много различных солнечных часов. У одних тень столбика падала на вертикальную стену, у других — на поверхность шара, конуса или цилиндра.

Эта тень, служившая стрелкой солнечных часов, по мере движения по небу Солнца перемещалась, указывая концом деления на циферблате.

Солнечные часы, однако, годились только для того места, где были изготовлены. При переезде на север или на юг их показания становились неверными. И устанавливались они вне жилых помещений или общественных зданий.

Но как измерить короткий промежуток времени врачу, слушающему больного?



Солнечные часы, усовершенствованные греческими астрономами. Тень от вертикально установленной пластинки, падая на циферблат, указывает часы дня.

Чем руководствоваться оратору, выступающему на каком-либо собрании, чтобы не утомить слушателей?

Наконец, бывает, что Солнце надолго скрывается за облаками, и тогда вовсе нельзя определить время по солнечным часам.

Поэтому с давних пор мысль человека была направлена и на другие способы измерения времени.

Например, можно было воспользоваться для измерения времени количеством воды, вытекающей по каплям из одного сосуда в другой.

Такие водяные часы были у древних вавилонян и египтян. Греки же еще более усовершенствовали их.

Вода, капавшая из верхнего сосуда водяных часов, поднимала уровень ее в нижнем сосуде, где плавал поплавочек. На поплавке обычно стояла человеческая фигурка с тонкой тростью в руке. По мере поднятия уровня воды в нижнем сосуде конец трости передвигался по цилиндрическому циферблату, указывая время.

Но каковы бы ни были часы, они должны были давать солнечное время.

Чтобы «поставить» водяные часы по Солнцу, открывали кран верхнего сосуда в тот момент, когда восходящее Солнце только касалось верхним краем горизонта.

Когда же оно, передвинувшись на ширину диска, касалось горизонта нижним краем, количество вытекшей воды определяло «шаг» Солнца. Трость фигурки отмечала его на циферблате.

Тридцать солнечных «шагов» составляли один час.

Так размечался циферблат водяных часов по движению Солнца.

Но, как мы знаем, суточное движение Солнца — это отражение вращения Земли. Значит, какими бы часами ни измерялось время, оно измеряется все-таки скоростью вращения Земли.

Водяные часы не получили особенно широкого распространения в Европе. Часто они были скорее предметом роскоши, чем инструментом для измерения времени.

В XIII веке были изобретены и колесные часы, приводившиеся в движение тяжестью опускающейся гири. Так как по мере опускания гири движется все быстрее, то для равномерности хода нужно было регулирующее устройство. Был придуман так называемый билянец — особое зуб-

чатое колесо, которое при повороте задерживалось на мгновение то одной, то другой лопаткой, укрепленной на оси билиянца. Часы подобного устройства были, например, на обсерватории известного датского астронома Тихо Браге.

Понятно, что такие часы «с тормозом» не могли быть очень точными, хотя ими пользовались в средние века некоторые астрономы.

Наконец в конце XV века уже были изобретены пружинные часы. Механизм их приводился в движение не тяжестью гири, а упругостью закрученной пружины.

Все эти остроумно устроенные приборы имели один общий недостаток — отсутствие хорошего регулятора хода.

С открытием маятника такой регулятор был найден.

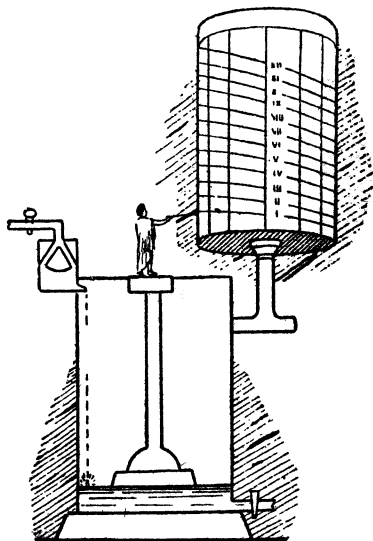
Точными часами интересовались не только астрономы и физики, но и мореплаватели. Имея хорошие часы, они могли бы определять географическую долготу по затмениям спутников Юпитера.

Эти затмения происходят почти каждую ночь. В астрономических таблицах расписано вперед время их наступления для тех мест, которые лежат на избранном для этой цели меридиане.

В нашей стране таким меридианом служит тот, который проходит через Пулковскую обсерваторию.

Как известно, полдень — это момент прохождения Солнца через плоскость меридиана.

Например, когда в Свердловске (на Урале) полдень, то в Москве до полудня остается еще около 1 часа 30 минут. Зато в Новосибирске в этот момент уже около 13 часов 20 минут.



Водяные часы

На судне, совершающем далекое плавание, полдень определяется наблюдением прохождения Солнца через меридиан. По результатам же этих наблюдений находится поправка к показаниям судовых часов.

По мере движения судна к востоку или западу вводится путем наблюдения высоты Солнца новая поправка. Вместо этого для определения географической долготы можно наблюдать, когда по местному времени происходит затмение того или иного спутника Юпитера. Затем смотрят по таблицам, когда оно должно было произойти на меридиане, принятом за первый. По разнице времени легко высчитать, на каком расстоянии к востоку или западу (в градусах географической долготы) находится судно от первого меридиана.

В 1636 году Галилей вел переговоры с правительством Голландии о применении этого способа на кораблях, плававших в ее колонии. Но преклонный возраст и слепота помешали самому Галилею построить часы с маятником. Он поручил сконструировать часы своему сыну. Однако и тот, не успев решить эту задачу, умер.

Сохранился лишь рисунок изобретенных Галилеем часов с маятником. Он был помещен в одном из изданий сочинений Галилея.

А самые часы вместе с другими вещами были проданы после смерти сына Галилея и потеряны для науки.

Теперь кажется, что построить часы с маятником — несложная задача. Но прошло немало времени, пока она была решена.

И что особенно удивительно — первые маятниковые часы были построены в 1657 году не мастерами-часовщиками, а голландским ученым Гюйгенсом.

Гюйгенс правильно понял, что маятник должен лишь регулировать ход часов, а не приводить их в движение. Поэтому он приспособил маятник к известным уже тогда колесным часам.

Колеса этих часов вращались тяжестью гири, которая спускалась на цепочке, навитой на вал. На валу было насажено зубчатое колесо, приводившее в движение систему других колес. Стрелка, насаженная на ось одного из этих колес, вращалась на циферблате и показывала время.

Однако, как мы упоминали, опускавшаяся гиря ускоряла свое движение. Нужно было регулировать ход этих

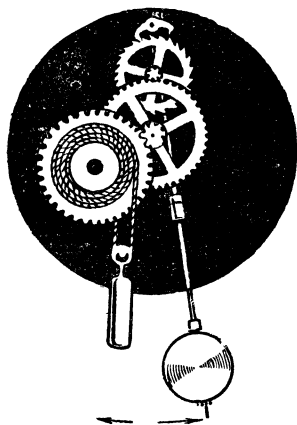
часов. Таким регулятором в часах Гюйгенса и был маятник.

При каждом размахе маятник с помощью простого приспособления на мгновение останавливал гирию. Вместе с тем он сам получал толчок, не позволявший затухать его колебаниям.

Опускающаяся гирия в течение каждого размаха проходила одинаковый по длине путь. Поэтому и стрелка часов передвигалась с одного деления на другое через равные промежутки времени.

Так с помощью маятника была блестяще разрешена задача измерения времени.

Применение маятника в часах общеизвестно. Но ученым — исследователям свойств Земли — он оказал множество и других услуг, о которых пойдет речь дальше.



Регулирующий механизм маятниковых часов. Гирия опускается в течение каждого размаха маятника на одно и то же расстояние.

МАЯТНИК И ПАДЕНИЕ ТЕЛ

Падение тел издавна привлекало к себе внимание ученых и инженеров.

Все видели, что сброшенный с горы обломок скалы стремительно летит вниз. Как камень, падает подстреленная в воздухе птица. Даже легкое птичье перо, унесенное ветром, все-таки где-нибудь опускается на землю.

Но никто из древних ученых не исследовал законов свободного падения тел. Когда же в XIII—XIV веках появились первые пушки, ученые столкнулись с этим вопросом.

Нужно было научиться рассчитывать полет бомб и составлять таблицы для артиллеристов. Позднее, в 30-х годах XVI века, было выяснено, что исследование свободного падения тел должно играть очень важную роль для этих расчетов.

Ведь на летящую бомбу действует сила тяжести. Она изгибает ее прямолинейный полет, и бомба падает.

Занявшись баллистикой, то есть наукой о движении артиллерийских снарядов, Галилей понял значение силы тяжести для определения траектории их полета.

До начала XVI века ученые предполагали, будто вылетевшее из пушки ядро летит по прямой линии в направлении выстрела. Изгибается же его путь к земле будто только незадолго до падения.

Однако все таблицы для артиллеристов, составлявшиеся на основании этого предположения, не оправдывались.

Только в 30-х годах XVI века впервые была высказана идея, что падение ядра на землю начинается в то мгновение, как только оно вышло из дула пушки. Эта мысль тогда не встретила сочувствия среди ученых.

Но Галилей был убежден в правильности этой мысли. Поэтому ему было очень важно знать, по какому закону падают тела на землю.

Галилей стал заниматься исследованием свободного падения тел, сбрасывая тяжелые предметы с высоты.

В то время все ученые считали, что тяжелое тело падает быстрее легкого. Этот вывод, очевидно, был основан на примитивном сравнении падения камня и листа, сорванного ветром с дерева.

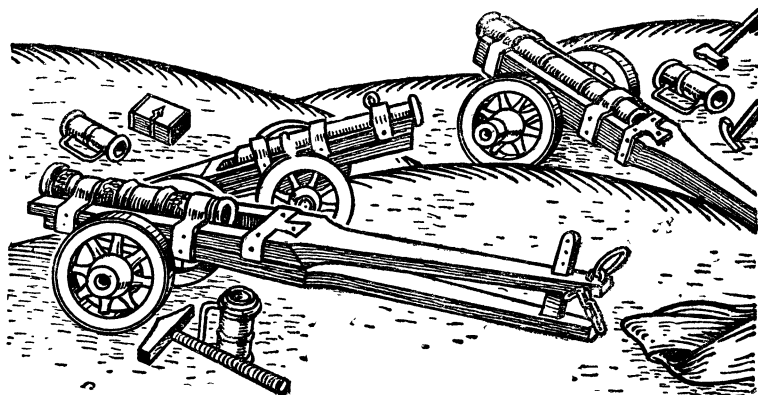
Впрочем, средневековые схоласты держались этого мнения только потому, что так думал Аристотель. Их ученость заключалась именно в знании сочинений этого философа, а не законов природы.

Если Аристотель сказал, будто тяжелые тела падают быстрее легких, то ничто уже не могло убедить схоластов в противном.

Совсем иначе относился к этому Галилей, убежденный, что к познанию природы ведут только опыты и наблюдения ее явлений. Еще будучи студентом, он постоянно спорил об этом с товарищами-студентами, слепо верившими своим профессорам. За это он уже тогда получил прозвище «спорщика».

Галилей чисто логически доказывал, что не вес тела определяет скорость свободного падения.

Если тяжелое тело падает быстрее легкого, говорил он, то с какой же скоростью должны падать оба тела, связанные вместе? Ведь легкое тело должно замедлять падение



Полевые орудия (XVI век).

тяжелого. Между тем связанные тела должны падать быстрее тяжелого, так как оба вместе они тяжелее его.

Вот какое противоречие заключалось в утверждении Аристотеля о влиянии веса на скорость свободного падения тел!

Не довольствуясь этим указанием на никем не замеченное противоречие, Галилей стал производить опыты. Ему было ясно, что падающий легкий предмет задерживается сопротивлением воздуха. А тяжелый камень легко преодолевает его. В этом и заключается причина отставания падающего легкого тела от тяжелого.

Став профессором университета в Пизе, Галилей занялся баллистикой и начал свои опыты и наблюдения над падением тел.

В Пизе есть известная наклонная башня, с вершины которой удобно сбрасывать разные тяжести и наблюдать их падение. Галилей воспользовался этой башней для своих опытов.

На верхней площадке башни лежало много бомб различного калибра.

Галилей стал сталкивать одновременно бомбы разного веса. Наблюдая за их падением, он убедился, что большая и маленькая бомбы падают одновременно.

Галилей пригласил и других профессоров университета посмотреть на его опыты.

Но эти «ученые» не желали верить даже собственным глазам. Они придумывали всевозможные возражения, лишь бы не отказаться от привычного им представления о падении тел.

Так, например, схоласты воспользовались тем, что в скорости падения больших и малых ядер была незначительная разница вследствие сопротивления воздуха: малое ядро чуть-чуть запаздывало по сравнению с большим. Они казуистически утверждали, что эта разница зависит именно от разной скорости падения тел в зависимости от их веса. Если бы сбрасывать ядра с высоты нескольких сотен футов, говорили схоласты, то большое ядро значительно опередило бы маленькое.

Видя невозможность убедить их опытами с падающими телами, Галилей обратился к маятнику.

Мы уже знаем, как колеблется маятник под действием тяжести. Его движение по дуге круга вниз должно управляться теми же законами, как и свободное падение тел.

Галилей был убежден в этом.

Значит, если бы тяжелое тело падало быстрее легкого, то и тяжелый маятник колебался бы чаще легкого, то есть период его колебаний был бы короче. Между тем маятники разного веса при равной длине колеблются с одинаковой скоростью.

На это и указал Галилей, открывший, что период колебаний не зависит от веса маятника.

Как ни убедительны были доводы Галилея, закоснелые в средневековых предрассудках профессора освистали его. Ему пришлось даже оставить кафедру ранее договорного срока.

Позднее учение Галилея о движении падающих тел было признано всеми. В наше время оно доказано множеством опытов и наблюдений.

Правда, мы знаем, что камень падает быстрее, чем легкое птичье перо. Но виновато в этой задержке только сопротивление воздуха, а не малый вес пера.

Сопротивление воздуха, конечно, гораздо больше действует на легкое перо, чем на тяжелый камень. Поэтому и получается разная скорость падения.

Если же искусственно устранить сопротивление воздуха, то все тела падают одновременно.

Это доказывает известный школьный опыт.

В наглухо закрытую стеклянную трубку помещают пу-

лю и птичье перо. При переворачивании ее пуля падает очень быстро, а перо опускается плавно.

Но стоит выкачать из трубки воздух, как картина резко меняется: птичье перо и пуля падают на дно трубки одновременно.

Однако каждому из нас, пожалуй, может показаться непонятным, почему же все-таки пуля и птичье перо падают с одинаковой скоростью. Ведь на перо действует гораздо меньшая сила тяжести, чем на пулю. Казалось бы, что большая сила должна бы сообщить пуле и большую скорость. Между тем опыт не оправдывает такого предположения.

Чтобы понять это явление, нужно познакомиться с открытым Галилеем новым для того времени свойством тел — инерцией.

До Галилея ученые имели некоторое представление об инерции тел. Они знали, что тело не может перейти из состояния покоя в движение без действия на него какой-нибудь силы.

Брошенный человеком камень летит потому, что размахнувшаяся рука сообщила ему свое движение.

Ядро вылетает из пушки под давлением расширяющихся горячих газов, образующихся в стволе после взрыва пороха.

При этом и камень и ядро приобретают ускорение, обратно пропорциональное их массе.

Например, попробовав сдвинуть с места нагруженный железнодорожный вагон, мы увидели бы, что нашей силы недостаточно. Но сопротивление вагона зависит не от его веса, потому что сила тяжести действует по вертикальному направлению, а мы толкаем его по горизонтали.

Это сопротивление вызывается трением.

Если бы не трение, можно было бы сообщить вагону некоторое ускорение. Однако вследствие большой массы вагона это ускорение было бы очень невелико.

Птичье перо можно просто сдуть со стола — так ничтожно оказываемое им сопротивление. А попробовав сбить щелчком пулю, можно чувствительно ушибить палец.

Это было известно и до Галилея. Но тогда никто из ученых не понимал, что движущееся тело также обладает инерцией, то есть сопротивляется изменению как скорости, так и направления движения.

Между тем мы на каждом шагу сталкиваемся с этим явлением.

Вот маневрирующий паровоз толкнул стоящий на пути вагон и остановился. Вагон начинает катиться, хотя паровоз уже и не прикасается к нему. Он катится до тех пор, пока его мало-помалу не остановят сопротивление воздуха и трение колес.

Если бы мы попробовали замедлить движение катящегося вагона, наших сил не хватило бы для этого.

Но, может быть, мы могли бы ускорить движение вагона, толкая его в том же направлении?

Нет. Катящийся вагон сопротивлялся бы изменению его скорости, как неподвижный вагон сопротивляется приведению его в движение.

Вот это свойство тел — инерция движения — и не было известно до Галилея. А не зная его, нельзя понять и законов свободного падения тел.

Теперь, познакомившись с этим свойством, возвратимся к опыту с падающими пулей и птичьим пером в трубке, из которой выкачан воздух.

Птичье перо и пуля находились в покое. В перевернутой трубке они начинают падать.

На перо действует меньшая сила тяжести, но и сопротивление инерции пера также меньше. Сила тяжести пули во много раз больше, зато во столько же раз больше и сопротивление ее инерции.

Во все время падения разная сила тяжести, ускоряющая падение этих тел, встречает и разное сопротивление.

Вот почему птичье перо и пуля при отсутствии сопротивления воздуха падают с одинаковой скоростью.

Открытие инерции объяснило и ускорение падения тел.

Падающее тело все время находится под действием силы тяжести. По инерции оно сохраняет скорость, приобретенную в конце каждого мгновения.

В каждое следующее мгновение к этой скорости добавляется новая, сообщаемая телу продолжающимся действием тяжести.

Вот почему тело падает не с равномерной скоростью, а ускоренно, то есть все быстрее и быстрее, что было известно еще Аристотелю.

Галилей предположил, что увеличение скорости свободно падающего тела в течение каждой секунды, или его ускорение, одинаково. Обозначим это ускорение буквой g .

Путь, пройденный падающим телом, можно определить, если узнать среднюю скорость свободного падения. В начальный момент тело неподвижно, а в конце времени t его скорость равна gt . Поэтому средняя скорость $\frac{0 + gt}{2} = \frac{gt}{2}$, а пройденное расстояние $\frac{gt}{2} \cdot t = \frac{gt^2}{2}$.

Зная расстояние, пройденное свободно падающим телом, и время, легко вычислить ускорение свободного падения.

Как же поставить такой опыт?

Предположим, что мы наблюдаем, как пуля падает вдоль кирпичной стены.

Если бы было возможно сосчитать, сколько кирпичей минует она в течение первой секунды, потом сколько в течение второй и т. д., легко было бы определить и ускорение падающей пули. Но глаз не может уследить за ней.

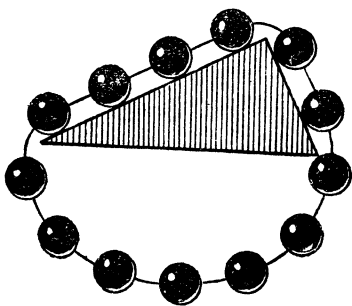
Чтобы наблюдать ускорение свободного падения, нужно искусственно замедлить движение падающего тела. Это можно сделать с помощью наклонной плоскости.

Свойства наклонной плоскости уже были известны некоторым ученым того времени. Так, например, голландский физик Стевин опубликовал трактат «Начала статики», на заглавном листе которого было изображено равновесие цепи из одинаковых шаров на наклонной плоскости.

Очевидно, что четыре шара на длинной наклонной плоскости не могут перетянуть два шара на короткой. В противном случае вся цепь пришла бы в вечное движение, что невозможно.

Отсюда Стевин сделал вывод, что сила, скатывающая шар по наклонной плоскости, во столько раз меньше его веса, во сколько высота наклонной плоскости короче ее длины.

Хотя Галилею не было известно сочинение Стевина, но он тоже знал это свойство наклонной пло-



Опыт Стевина. Четыре шара на пологой наклонной плоскости испытывают действие такой же силы, направленной параллельно этой плоскости, как два шара на крутой наклонной плоскости.

скости. Этим свойством Галилей и воспользовался, чтобы изучить законы свободного падения тел, наблюдая более медленное скатывание шаров по наклонной плоскости.

Вот как поставил он эти опыты.

Устанавливалась с небольшим наклоном длинная доска с желобом посередине. Дно желоба было очень гладкое.

Пуская по желобу бронзовые шарики, Галилей наблюдал, как изменялась скорость их движения.

Можно ли, однако, по скатыванию шариков в наклонном желобе судить о свободном падении тел?

Галилей был убежден, что можно.

Шарики скатываются под действием тяжести. Они движутся свободно, но только медленнее, чем падающее тело. Поэтому Галилей был прав. Скатывание по желобу и свободное падение подчиняются одним и тем же законам.

«Пустив шар, — писал Галилей, — по длине, равной четверти длины желоба, я нашел, что время пробега в точности равно половине времени для прохождения целого желоба...», то есть пройденное расстояние возрастает пропорционально квадрату времени.

Следовательно, расстояние, пройденное свободно падающим телом, увеличивается пропорционально квадрату времени: в течение двух секунд свободно падающее тело пройдет в четыре раза большее расстояние, чем в течение одной секунды, в течение трех секунд — в девять раз больше, и т. д. Опыт со скатыванием шарика по наклонной плоскости подтвердил закон свободного падения тел.

Галилей хотел из этого опыта определить и ускорение свободного падения. Он не знал, что вращение шарика очень усложняет эту задачу, которая могла быть решена только после открытия законов вращения тел.

Вот если бы можно было осуществить опыт скольжения тела без трения по наклонной плоскости, то эта задача не представила бы затруднений.

Положим, что тело, скользящее по наклонной плоскости, прошло длину ее l за t секунд. Значит, $l = \frac{at^2}{2}$, где a — ускорение скольжения.

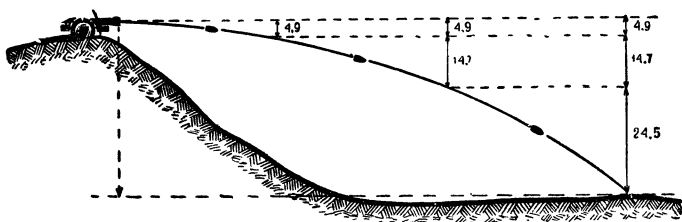
Из закона наклонной плоскости следует, что сила, действующая вдоль нее, во столько раз меньше силы тяжести, во сколько высота ее h меньше длины. Ускорение же

пропорционально силе. Поэтому ускорение свободного падения во столько раз больше величины a , во сколько длина наклонной плоскости больше ее высоты, то есть

$$g = a \frac{l}{h}.$$

Галилею не удалось определить ускорение свободного падения. Эта задача была решена позднее другими учеными. Найдено, что скорость падения в каждую секунду увеличивается на 9,8 метра по сравнению с предыдущей.

Таково ускорение свободно падающих тел.



Несмотря на движение в горизонтальном направлении, ядро падает, подчиняясь законам свободного падения, как любое тело, сброшенное с высоты.

Открытие закона свободного падения позволило понять, как летит ядро, выброшенное из пушки.

Положим, что пушка стоит на холме высотой 44 метра и направлена горизонтально. Вылетающее из нее ядро начинает падать с момента выхода из ствола. Пролетев в течение первой секунды, скажем, 1500 метров, ядро одновременно снизится на 4,9 метра. По истечении второй секунды оно снизится еще на 14,7 метра, а в течение третьей секунды — еще на 24,5 метра.

В течение трех секунд ядро пролетит 4500 метров, снизившись в то же время до уровня равнины (на $4,9 + 14,7 + 24,5 = 44,1$ метра), то есть упадет на землю.

Так были изучены законы падения тел. Но причина тяжести, заставляющей их падать, оставалась неизвестной.

«ПАДЕНИЕ» ЛУНЫ

Почему все тела падают на землю? Этот вопрос занимал еще древних ученых.

Видя, что все тела на земной поверхности падают вниз, они решили, что и во Вселенной есть «верх» и «низ». Поэтому-то тела и падают.

Но почему же сама Земля не падает в мировом пространстве?

Чтобы ответить на этот вопрос, им пришлось потратить немало труда и остроумия.

Даже в более позднее время, в I веке до новой эры, римский ученый и поэт Лукреций Кар писал в своей известной научной поэме «О природе вещей»:

...Чтобы Земля в середине покоилась мира,
Мало-помалу легчать, уменьшаясь в собственном весе,
Следует ей и иметь естество под собою другое,
Испокон веку в одно сплоченное целое тесно
С мира частями воздушными, где она в жизнь воплотилась.
Вот почему и не в тягость Земля и не давит на воздух.

Правда, за три века до него греческие ученые уже считали, что все тела падают не «вниз», а к «центру» Вселенной. В этом центре, по их мнению, находится и Земля, которая поэтому и не падает в мировом пространстве.

Так постепенно становилось все яснее, что причина падения тел — влияние на них Земли.

Но этого было мало, чтобы понять, что такое сила тяжести. Необходимо было открыть проявление тяготения также между космическими телами. А это стало возможно только после того, как польский ученый Николай Коперник «сдвинул» Землю из центра Вселенной и «заставил» ее двигаться вокруг Солнца.

До Коперника астрономы все видимые ими движения космических тел принимали за действительные.

Наблюдатели видели, что Солнце передвигается по кругу среди звезд, переходя из одного созвездия в другое. И они заключали, что Солнце ходит вокруг Земли.

Подобно Солнцу, среди неподвижных звезд перемещаются и планеты. Путь Солнца — круг, по которому оно движется равномерно изо дня в день с запада на восток. Планета же по временам останавливается и начинает пя-

титься в обратном направлении. Затем она снова, с еще большей скоростью, чем ранее, возобновляет движение на восток, образуя «петлю».

Астрономы древности и это сложное движение принимали за действительное.

Но как объяснить его с помощью круговых движений, единственно достойных «совершенных» небесных тел?

Для этого была придумана сложнейшая геометрическая схема: планета будто бы движется по кругу, центр которого обращается вокруг Земли.

Такова была система мира греческого астронома Клавдия Птолемея, господствовавшая в науке до середины XVI века.

Но уже в древности возникла идея, что эта система — самообман: быть может, сама Земля движется в пространстве и кажущиеся движения внеземных тел мы принимаем за действительные. Ведь кажется же человеку, сидящему в лодке, увлекаемой течением реки, будто лодка неподвижна, а мимо плывут берега.

В древности астрономы отвергли эту идею, но в XVI веке к ней вернулся польский ученый Николай Коперник. Он решил «обернуть» механизм Вселенной.

Не проще ли объяснить сложные пути планет, если считать, что Земля описывает круговой путь вокруг Солнца?

Ведь в этом случае круговой путь Земли «отразится» в виде «петли», будто бы описываемой внешней планетой, внутри орбиты которой лежит путь Земли.

Размышляя над объяснением запутанных планетных путей, Коперник убедился, что сложность их зависит от сочетания действительных движений планет с кажущимися, которые могут происходить от движения самой Земли. Он утверждал, что годичное перемещение Солнца среди звезд является «отражением» собственного движения Земли вокруг него. «То, что нам представляется как движение Солнца, — писал он, — происходит не от его движения, а от движения Земли, вместе с которой мы обращаемся вокруг Солнца, как любая другая планета».

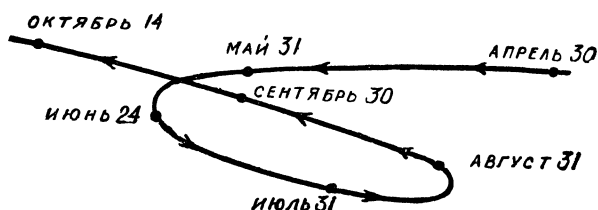
Система Птолемея была чисто геометрической схемой, хотя и позволяла предвычислять положение планет среди звезд.

Коперник же открыл действительное строение мира. Его предположение о движении Земли вокруг Солнца объясняло и другие явления.

Например, планеты Марс и Юпитер бывают значительно более яркими во время противостояния с Солнцем, то есть когда они находятся прямо на противоположной от него стороне неба.

Если Земля обращается вокруг Солнца, то это явление вполне понятно: во время противостояния с Солнцем эти планеты ближе к Земле, чем в других положениях, а потому и более ярки. При обращении же вокруг Земли они всегда оставались бы на одинаковом расстоянии от нее и яркость их не менялась бы.

Над разработкой своей системы мира Коперник работал всю жизнь. Он изложил ее в книге «Об обращении небесных сфер», которую долго не решался опубликовать,



Путь планеты Марс среди звезд на небесной сфере.

чтобы не навлечь на себя преследования католической церкви.

Но система мира Коперника не осталась тайной. С ней познакомились его друзья. Ученые сообщали о ней друг другу в письмах. Наконец один молодой астроном даже написал и издал небольшую книжку с общепонятным изложением системы Коперника.

Тогда, поддержанный друзьями, Коперник решился издать свой труд. Его книга вышла в свет в 1543 году.

Коперник еще успел получить ее; это было незадолго до его смерти.

Книга Коперника была настоящим откровением для ученых. Она заключала в себе ответ тем из них, которые думали, будто человек не может познать движения небесных светил и ему доступно знание движений лишь в «подлунном» мире, то есть на Земле.

Поместив в центре мира Солнце, Коперник объяснил очень просто непонятные ранее движения планет и дал правильную картину строения солнечной системы. Но представление Коперника о Вселенной не отличалось от того, какое было у его современников.

Раздвинуть «стены» мира удалось Галилею.

В 1610 году весь культурный мир был взволнован удивительной вестью: профессор университета в Падуе Галилео Галилей устроил трубу, в которую можно было увидеть на небе неизвестные до сих пор звезды и спутники планет.

И он не только не скрывал своего изобретения, но и охотно разрешал всем посмотреть в зрительную трубу на небо.

Знатные синьоры, папские кардиналы, студенты и моряки приходили к Галилею и восхищались чудесами небес, видимыми в его трубу. К нему стекались многочисленные толпы слушателей, и Галилею приходилось по нескольку раз говорить об одном и том же.

За изобретение зрительной трубы Галилей взялся, услышав, что какой-то голландец устроил прибор, с помощью которого можно видеть далекие предметы так, как будто бы они приблизились к наблюдателю.

И вот Галилей начал подбирать комбинации оптических стекол. Скоро ему удалось сделать зрительную трубу из двух стекол, которая действительно как бы приближала далекие предметы.

Построив зрительную трубу, Галилей поспешил направить ее на небо, не думая о выгодах, которые могло бы принести это изобретение.

«Перечислять, какие именно и сколь значительные преимущества доставляет такой инструмент в делах сухопутных и морских, — писал Галилей, — является совершенно излишним, но я, оставив в стороне земное, обратился к наблюдениям неба».

И направленная на небо зрительная труба далеко раздвинула пределы мира.

Галилей торопился оповестить весь мир о сделанных им открытиях, издав свой знаменитый «Звездный вестник».

Он рассказывал в нем о горах, впадинах и возвышенностях на поверхности Луны, которая всегда была загадкой для наблюдателей древности, боявшихся считать небесное тело не светящимся и не гладким.

Галилей утверждал, что Луна — такое же темное тело, как и Земля, и светит только отраженным солнечным светом, а Земля — такое же «небесное» тело, как и Луна, и также светится на небе других планет.

«Когда Луна, — говорил Галилей, — находится близко к соединению с Солнцем, то с нее видно почти полностью то полушарие Земли, которое ярко освещено его лучами, и на Луне видима освещенная Земля, так же как видима с Земли освещенная Луна».

«Звездный вестник» раскрывал тайну светящегося Млечного Пути, который некоторые древние ученые считали местом «спайки» хрустальных небесных сфер. Он повествовал о бесчисленных звездочках, не видимых невооруженным глазом, скопления которых сливаются в светлые пятна Млечного Пути.

Наконец, он сообщал изумительную весть о новом мире планет — Юпитере, окруженном обращающимися вокруг него спутниками.

Указывая на Юпитер со спутниками, Галилей утверждал, что и Земля может увлекать Луну в своем обращении вокруг Солнца, чего не хотели признать противники системы Коперника.

«Мы имеем уже не одну, — говорил Галилей об этом, — а целых четыре планеты, движущиеся вокруг Юпитера, подобно тому как Луна движется вокруг Земли, и в то же время описывающие вместе с Юпитером в течение двенадцатилетнего периода большую орбиту вокруг Солнца».

Но какая сила удерживает на орбитах планеты? На этот вопрос тогда никто не пытался еще ответить.

В 1609 году немецкий астроном Иоганн Кеплер открыл, что планеты движутся по эллипсам, а не по кругам.

Эллипс может начертить каждый. Нужно только прикрепить концы нитки булавками к бумаге (нитка должна быть длиннее расстояния между булавками) и, натянув ее карандашом, чертить.

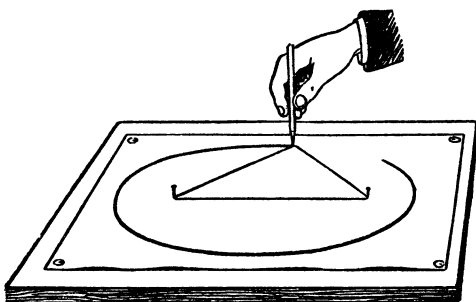
Получится эллипс.

Прочертив прямую линию через следы, оставленные булавками в бумаге, получим его длинную ось. Перпендикуляр к длинной оси, проведенный через середину ее, будет короткой осью. Точки, в которых были воткнуты в бумагу булавки, — фокусы эллипса.

Солнце, как доказал Кеплер, находится в одном из фо-

кусов эллиптической планетной орбиты. Двигаясь по орбите, планета то немного приближается к нему, то удаляется от него. Но площадь, описываемая в равные времена радиусом, соединяющим планету с Солнцем, не изменяется.

Наконец, Кеплер вывел из своих наблюдений, что квадраты периодов обращения планет относятся, как кубы их средних расстояний от Солнца.



Этот способ построения эллипса основан на том, что сумма расстояний от любой его точки до фокусов — величина постоянная.

Однако причина движения планет именно по таким законам оставалась тайной. Можно было предполагать, что эти законы зависели от того, как меняется сила, движущая планеты, в зависимости от расстояния их от Солнца.

Кеплер предполагал, что планеты движутся под действием силы, направленной по орбите. Он думал, что эта сила исходит от Солнца и уменьшается по мере увеличения расстояния от него.

Но эта гипотеза оказалась совершенно бесплодной: она не дала возможности вывести из нее законы движения планет.

После открытия Галилеем закона инерции не было никакой надобности придумывать силы, «подталкивающие» планеты на их орбитах. По инерции планеты должны веч-

но сохранять прямолинейное движение и не нуждаются в подталкивании.

Нужно было только объяснить, почему планеты искривляют свой путь и обращаются вокруг Солнца, а не уносятся от него в мировое пространство.

Казалось бы, естественно было предположить, что планеты тяготеют к Солнцу и движутся вокруг него. Ведь с тяготением тел к Земле ученые были знакомы. Но эта мысль долго не приходила никому в голову.

Ведь только в «подлунном» мире тела подвержены тяжести. А выше — мир невесомых небесных тел. Так учил Аристотель. Эта философия господствовала в феодальном мире. Ее поддерживала и церковь.

Астрономы и физики XVI—XVII веков также не были свободны от влияния этих идей, что надолго задержало открытие всемирного тяготения. Но в середине XVII века создались благоприятные условия для этого открытия.

Галилей сформулировал закон инерции и изучил свободное падение тел. Он даже попытался применять земную механику к объяснению движений небесных тел, хотя и неудачно. Так, например, Галилей сравнивал Землю и Луну с двумя грузами на стержне маятника, подвешенного к Солнцу.

Так как Луна обращается вокруг Земли, то и расстояние ее от Солнца бывает то больше, то меньше. Значит, этот гигантский «маятник» становится то короче, то длиннее.

С изменением же его длины должна меняться и скорость колебаний. Во время полнолуний длина «маятника» наибольшая. Поэтому, как предполагал Галилей, во время полнолуний Земля должна двигаться по орбите медленней, чем во время новолуний.

Приливы и отливы в океанах он объяснял раскачиванием водных масс на движущейся Земле, подобным тому, как вода колеблется в чашке, которую двигают взад и вперед по столу.

Конечно, все эти объяснения неверны. Чтобы понять движение планет, нужно было открыть закон тяготения, удерживающего их на орбитах. Нужно было создать механику свободно движущегося тела под действием центральной силы.

В 70-х годах XVII века английский ученый Гук близко подошел к открытию всемирного тяготения.

Он утверждал, что «все небесные тела производят притяжения к их центрам, притягивая не только свои части, как мы это наблюдаем на Земле, но и другие небесные тела, находящиеся в сфере их действия».

Этим притяжением тел друг к другу Гук объяснял движение планет вокруг Солнца. Планета движется в пространстве прямолинейно, но притяжение Солнца отклоняет ее и заставляет двигаться по эллипсу.

Гук думал, что «притягивающие силы действуют тем больше, чем ближе тело, на которое они действуют, к центру притяжения».

Как писал академик С. И. Вавилов, «если связать в одно все предположения и мысли Гука о движении планет и тяготении, высказанные им в течение почти двадцати лет, то мы встретим почти все главные выводы «Начал» Ньютона, только высказанные в неуверенной и мало доказательной форме. Не решая задачи, Гук нашел ее ответ».

Но этот ученый не был математиком. Он не мог вывести из своих предположений законы движения планет и таким образом доказать, что притяжение Солнцем планет действительно существует.

Только его современник, английский физик и математик Исаак Ньютон, сумел доказать, что планеты удерживаются на орбитах тяготением к Солнцу и что сила тяжести — тяготение тел к центру Земли.

Чтобы вывести законы движения планет, нужно было знать, как меняется сила тяготения при изменении расстояния.

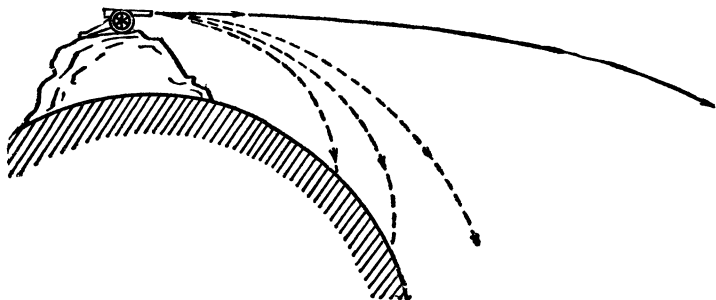
Здесь перед исследователями открывалось широкое поле для догадок.

Ньютон предположил, что сила тяготения изменяется подобно тому, как и освещение предмета при приближении или удалении от источника света: если расстояние станет в три раза больше, сила тяготения уменьшится в девять раз, и наоборот.

Сделав такое предположение, он вывел законы, управляющие обращением планет вокруг Солнца и Луны вокруг Земли.

Существование всемирного тяготения было доказано. Но что за сила — всемирное тяготение? Не проявляет ли она себя на Земле?

И на этот вопрос ответил Ньютон, связав в одной и той



По мере увеличения скорости ядро все дальше отлетает от места выстрела и наконец покидает Землю.

же математической формуле не только движение планет, но и падение камня на земной поверхности.

Ньютон решил эту задачу в возрасте двадцати четырех лет, когда жил некоторое время в деревне, уехав из Кембриджа, где свирепствовала опасная эпидемия. Имея там много свободного времени, он размышлял о явлении тяжести.

На уровне моря и на вершинах высочайших гор — везде тела падают вследствие тяжести.

«Так, может быть, явление тяжести простирается до самой Луны?» — подумал Ньютон и принялся за проверку своего предположения.

Если это так, то движение Луны можно сравнить с полетом ядра, выброшенного выстрелом из пушки.

Мы видим, как ядро, выброшенное горизонтально, летит по кривой траектории, склоняясь под действием силы тяжести к земной поверхности.

Чем больше скорость ядра, тем его траектория становится все более плавной и ядро пролетает все дальше.

Можно найти скорость, при которой ядро вовсе не упадет на Землю, обращаясь вокруг нее по круговой орбите: если бы ядро двигалось с такой скоростью, то ускорение центростремительной силы, удерживающей его на круговой орбите, равнялось бы ускорению силы тяжести на земной поверхности. Легко рассчитать по формуле Гюйгенса, что ядро должно двигаться со скоростью около 7,9 километра в секунду (считая, конечно, что воздух не оказывал бы сопротивления).

Значит, ядро летело бы, не приближаясь к земной поверхности, огибая Землю. Если бы не было сопротивления воздуха, то оно стало бы вечно обращаться вокруг Земли, удерживаемое силой тяжести на своей орбите.

Не удерживается ли и Луна, подобно этому ядру, силой тяжести, которая не позволяет ей удалиться по прямой линии в мировое пространство?

Вот что решил проверить Ньютон.

Для этого нужно было вычислить, как велика сила тяжести на расстоянии Луны от Земли.

Мы уже знаем, как меняется притяжение между телами в зависимости от расстояния. Луна в шестьдесят раз дальше от центра Земли, чем тело на земной поверхности. Следовательно, сила тяжести на расстоянии Луны должна быть в три тысячи шестьсот раз слабее, чем на Земле.

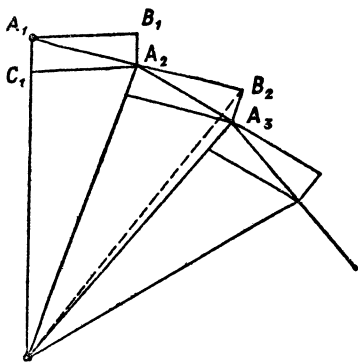
Ньютон вычислил отклонение Луны от прямолинейного пути к Земле, удерживающее ее на круговом пути, исходя из периода обращения Луны и размеров ее орбиты. Оно оказалось ровно в три тысячи шестьсот раз меньше отклонения от горизонтального направления ядра, выброшенного из пушки на земной поверхности.

Но ядро отклоняется от прямолинейного пути силой тяжести, а Луна — всемирным тяготением.

Действие тяжести на расстоянии Луны оказалось одинаковым с действием всемирного тяготения. Значит, сила тяжести и всемирное тяготение — одна и та же сила.

Итак, движение Луны по почти круговой орбите — комбинация, или, как говорят механики, сложение двух движений: прямолинейного в пространстве по инерции и падения на Землю под действием тяготения.

В течение весьма малого промежутка времени Луна движется по диагонали параллелограмма, построен-



Сложение движений Луны: одного, происходящего вследствие инерции (направленного по касательной к ее орбите), другого — под влиянием тяготения к Земле. В результате этих двух движений Луна движется почти по круговой орбите.

ного на скоростях движения ее по инерции и к центру Земли (см. рисунок на стр. 41).

Если бы Земля не притягивала Луну, то Луна из точки A_1 передвинулась бы в точку B_1 . Но вследствие тяготения к Земле она одновременно пройдет расстояние A_1C_1 . В результате Луна переместится в A_2 .

В следующий промежуток времени Луна передвинулась бы по инерции в B_2 , но тяготение к Земле отклоняет ее. Поэтому Луна перемещается по диагонали параллелограмма в A_3 .

Значит, Луна движется по криволинейной орбите вокруг Земли.

Сила тяготения привязывает Луну к Земле, как резиновый шнурок — гирьку к руке.

Если бы разорвался шнурок, то гирька полетела бы по касательной к описываемому ею кругу, а не по радиусу.

То же произошло бы и с Луной, если бы вдруг прекратилось притяжение ее Землей.

НЕОЖИДАННОЕ ОТКРЫТИЕ

Никто не думал, что сила тяжести может меняться на земной поверхности. Ученые были уверены, что длина секундного маятника везде должна быть одинакова, так как не видели причины, почему она могла бы меняться.

В середине XVII века появилась даже мысль, не принять ли секундный маятник за единицу длины. В те времена не было еще общепринятой теперь метрической системы мер. Единицей меры служили во Франции линии, в Англии — футы, ярды и другие меры, в зависимости от того, что измерялось.

Такое разнообразие мер длины очень затрудняло ученых: постоянно приходилось переводить одни меры в другие.

Если же принять длину секундного маятника за единицу измерений, то в каждой стране она была бы одинакова. Такой единицей в настоящее время служит метр.

Однако неожиданно было сделано открытие, что и длина секундного маятника — непостоянная величина на земной поверхности.

Вот как случилось это.

В 1672 году Парижская Академия наук послала астро-

нома Рише в экваториальную зону Южной Америки для наблюдений. Уезжая, астроном взял с собой хорошие часы с маятником, которые очень правильно шли в Париже.

Малоизвестный до того времени, Рише был настоящим ученым и исследователем законов природы.

По приезде в Кайенну он был поражен прежде всего не богатством незнакомой ему тропической природы, не нравами и обычаями новой страны, а... неожиданным отставанием хорошо выверенных в Париже маятниковых часов.

У астронома есть вернейшие часы — звездное небо. Наблюдая суточный путь звезды, астроном измеряет по своим часам промежуток времени между двумя ее кульминациями (то есть между моментами прохождения ее через плоскость меридиана). Если по его часам прошло ровно двадцать четыре часа, значит, они идут верно. Так узнает он, правилен ли ход часов.

Этим способом Рише и определил, что его маятниковые часы отстают на две с половиной минуты в сутки.

Но если часы отстают, значит, их маятник колеблется медленней, чем нужно. Чтобы пользоваться привезенными часами, пришлось немного его укоротить...

Рише был послан для наблюдения планеты Марс. Это было важное поручение. Оно говорило об уважении академиков к искусству Рише в астрономических измерениях.

Рише должен был определять видимое положение Марса относительно звезд в Кайенне. То же самое одновременно делали астрономы в Париже.

Сопоставляя эти наблюдения, можно было определить расстояние, на котором находился в то время Марс от Земли.

Рише провел в Кайенне два года. Он тщательно производил необходимые измерения, вводил поправки, вычислял. Но, несмотря на занятость, он не забывал проверять свои часы по движению звезд. В течение двух лет ход часов вполне согласовывался с их суточным круговращением.

Когда Рише возвратился в Париж, он заметил, что теперь его часы стали уходить вперед.

На этот раз он должен был уже удлинить их маятник ровно настолько, насколько укоротил его в Кайенне. Тогда часы опять стали ходить правильно.

Занятый обработкой своих наблюдений в Кайенне,

Рише не забывал, однако, случая с часами. Он понимал, что ему посчастливилось сделать важное открытие.

Астрономические измерения в Кайенне были произведены очень точно. За них академики выразили Рише вполне заслуженную благодарность. Они были уверены, что и в дальнейшем он будет полезным членом академии. Но как удивились бы академики, если бы узнали, чем были заняты мысли Рише!

Этот скромный ученый, известный только своим трудолюбием и точностью в работе, задумал удивить ученый мир новым открытием.

Никто не ожидал этого от Рише. Да, может быть, не все академики и обрадовались бы этому открытию: и без того в науке накопилось уже много неразрешенных вопросов.

Между тем Рише размышлял над разгадкой открытого им явления.

Зная, какое впечатление произведет его открытие на академиков, Рише не торопился сообщать о нем. Он решил собственными силами справиться с объяснением сделанного им наблюдения.

Впрочем, состояние механики в то время уже позволяло без особого труда понять причину поведения маятника в Кайенне.

Она заключалась в ослаблении силы тяжести на экваторе по сравнению с другими местами. А ослабление силы тяжести, как это мы сейчас увидим, влияло на продолжительность колебания маятника.

Упомянутый ранее Христиан Гюйгенс доказал, что если ускорение свободно падающего тела уменьшилось бы в девять раз, то продолжительность размаха маятника увеличилась бы в три раза, и наоборот: при увеличении ускорения в четыре раза продолжительность размаха уменьшилась бы в два раза.

Следовательно, замедление колебаний маятника в Кайенне можно было с уверенностью объяснить ослаблением силы тяжести, от которой зависит ускорение свободного падения.

Но мало сказать, что изменяется сила тяжести: нужно еще объяснить, почему это происходит.

Рише стал делать различные предположения.

Не изменяется ли тяжесть вследствие вращения Земли? Ведь каждое тело на земной поверхности участвует во

вращении Земли. Оно проходит в течение двадцати четырех часов круговой путь, подобно гирьке, вращаемой на шнурке вокруг руки.

Если вращаемая гирька привязана на длинной резинке, то она вследствие стремления двигаться по инерции будет растягивать ее. Чем больше скорость движения гирьки, тем сильнее она растягивает резинку, стремясь оторваться.

Каждое тело на земной поверхности «привязано» к ней силой тяжести. Вращаясь вокруг земной оси, оно стремится оторваться от земной поверхности, что ослабляет силу тяжести.

На полюсах нет этого явления, потому что там тело не совершает кругового пути вокруг земной оси. Зато на экваторе каждое тело движется вместе с земной поверхностью со скоростью 464 метра в секунду вокруг земной оси, находящейся от него на расстоянии 6378 километров. При такой скорости развивается центробежная сила, равная $\frac{1}{289}$ силы тяжести на полюсе.

Если бы скорость вращения Земли увеличилась вдвое, то центробежная сила стала бы в четыре раза больше.

А что, если бы Земля стала вращаться в семнадцать раз быстрее?

Ведь тогда сила тяжести на экваторе уменьшилась бы в 17^2 , то есть в 289 раз (в действительности даже больше, так как изменялась бы и фигура Земли, вытягиваясь в плоскости экватора).

Если теперь тело теряет на экваторе $\frac{1}{289}$ часть веса, то тогда оно вовсе не имело бы веса. В этом случае двигатель самолета должен был бы преодолевать только его инерцию, а не тяжесть. Поднявшись на любую высоту, можно было бы выключить двигатель, и самолет остался бы в воздухе. Зато, чтобы спуститься на земную поверхность, нужно было бы прибегнуть к двигателю, направив с помощью руля путь полета к Земле.

Тело, находящееся в Париже, движется медленней вокруг земной оси, чем в Кайенне. Поэтому, перевезенное из Парижа в Кайенну, оно станет немного легче, хотя масса его и не изменилась. Значит, сила тяжести на единицу массы будет меньше, а потому уменьшится и ускорение силы тяжести.

Когда Рише перевез свои часы в Кайенну, то есть почти к экватору, их маятник вследствие ослабления силы

тяжести стал колебаться медленней и часы начали отставать.

Так объяснил Рише открытое им явление, с чем, однако, не соглашались другие ученые.

Французские академики были очень недовольны. Злополучный наблюдатель лишился их благоволения, и они больше ни разу не привлекали его к работам академии.

Но если можно было забыть о Рише, то этого нельзя было сделать с его открытием.

СЖАТИЕ ЗЕМЛИ

Наблюдение Рише было описано им самим в большом сочинении, вышедшем в свет в 1679 году. Оно стало известно широкому кругу ученых.

Начались споры о причине изменения скорости колебаний маятника при приближении к экватору.

Утверждалось, например, что стержень маятника удлинится вследствие тропической жары. Но даже часовые мастера знали, как мало влияет изменение температуры на ход маятниковых часов.

Придумывались и другие, еще менее вероятные объяснения.

Но только Ньютон правильно понял причину отставания парижских часов в Кайенне и положил конец этим спорам. Он объяснил открытое Рише явление ослаблением силы тяжести вследствие вращения и сжатия Земли, которое тогда еще не было известно другим ученым.

Влияние вращения Земли не мог бы отрицать ни один механик. О нем мы уже говорили.

Но как может повлиять на скорость колебаний маятника сжатие Земли? И откуда видно, что она сжата?

В ученом мире поднялась буря протеста против этого нового объяснения. Но возражавшие не были механиками.

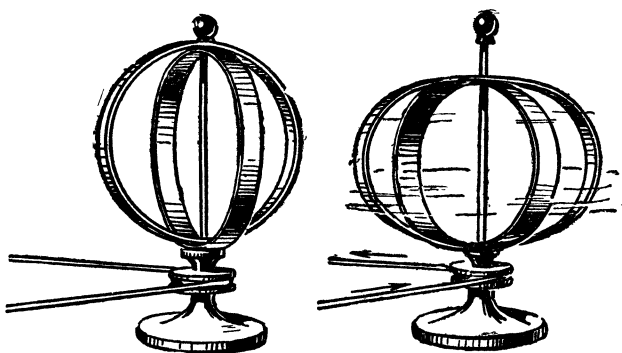
Ньютон неопровержимо доказал, что вследствие вращения сама Земля должна была сплюснуться у полюсов.

Это утверждение можно проверить и на опыте, быстро вращая на центробежной машине стальной обруч вокруг одного из его диаметров: обруч слегка сожмется вдоль оси вращения и примет овальную форму.

Еще более поразителен опыт, осуществленный в XIX веке.

Поместим в смесь воды со спиртом немного оливкового масла. Масло немедленно примет форму шарика, потому что его частицы, не смешиваясь со спиртом, вследствие молекулярного притяжения друг к другу расположатся симметрично вокруг их общего центра тяжести.

Кроме того, частицы верхнего слоя, находясь под действием сил поверхностного натяжения, образуют пленку, подобную тонкой резиновой оболочке.



Так сжимаются стальные гибкие обручи, вращаемые на центробежной машине вокруг одного из их диаметров.

Если ввести внутрь масляного шарика легкую вертушку и привести шарик во вращение, то он сожмется вдоль оси вертушки, приняв форму, похожую на мандарин.

Подобное же явление должно было произойти вследствие вращения Земли, которая, как думал Ньютон, некогда была жидкой.

Во времена Ньютона, однако, описанный опыт еще не был известен. Этот ученый пришел к выводу о сжатии Земли на основании лишь теоретических соображений. Но Ньютон не удовлетворился утверждением, что Земля сплюснута у полюсов. Он хотел также определить и величину сжатия. Для этого он прибег к воображаемому опыту.

Этим способом ученые часто пользуются и в наше время.

Представим себе, говорил Ньютон, что в Земле прорыт канал, проходящий от полюса до центра Земли, а затем поворачивающий под прямым углом и выходящий на экваторе.

Оба колена канала можно считать сообщающимися сосудами, в которых жидкость должна стоять на одном уровне.

На каком же уровне стояла бы вода, если бы она наполняла этот канал в Земле?

Конечно, если бы Земля не вращалась, то в обоих коленах вода стояла бы на одном уровне.

Не так обстоит дело на вращающейся Земле.

Как мы видели, вследствие вращения Земли вес воды на экваторе уменьшается на $\frac{1}{289}$ в самой верхней части выходящего туда колена.

С глубиной, то есть с приближением к центру Земли, влияние вращения ослабляется. Но все-таки на любой глубине в колене, выходящем на экваторе, частица воды будет легче, чем в колене, выходящем на полюсе.

Значит, оба колена этого канала можно сравнить с сообщающимися сосудами, из которых в одном — вода, а в другом — более легкая жидкость, например масло.

Как столб масла будет выше уравнивающего его столба воды, так и уровень воды в колене, выходящем на экваторе, должен быть выше, чем в выходящем на полюсе. Поэтому часть воды из второго колена перейдет в первое.

Ньютон вычислил, что разница высоты водяных столбов в обоих коленах должна быть равна $\frac{1}{230}$ столба в экваториальном колене.

Что же произошло бы с вращающейся Землей, если бы она была жидкой?

В этом случае частицы ее вели бы себя так же, как вода в коленах канала. Значит, в зоне экватора уровень жидкой Земли стал бы выше, чем в полярных зонах. Земля приплюснулась бы у полюсов, сжавшись вдоль оси вращения, и вытянулась вдоль экватора.

Так что же? Вероятно, ученые ошибались, считая Землю шаром?

Нет, они совершенно правы. Не забудьте, что до XVI века многие люди считали Землю просто плоскостью или верхней гранью куба.

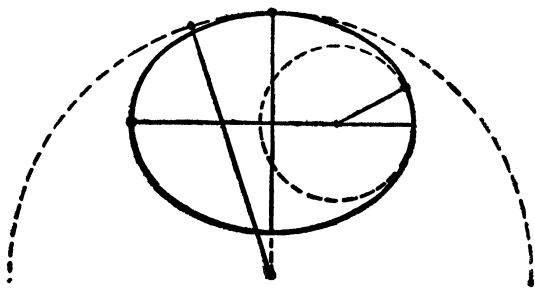
Установив, что Земля — шар, ученые сделали огром-

ный шаг вперед. В «первом приближении», как выражаются математики, Земля действительно шар.

Но при точных измерениях можно убедиться, что она немного отличается от него. На это и указал Ньютон, открывший сжатие Земли, не выходя из кабинета.

С какой же геометрической фигурой сходна Земля?

Эту фигуру ученые называют сжатым эллипсоидом.



Пунктирные круги показывают кривизну земной поверхности в зонах полюсов и экватора. Эллипсоид (сплошная линия) имеет для ясности сильно преувеличенное сжатие по сравнению с Землей.

Она может быть получена путем вращения эллипса, подобно тому как шар получается вращением круга.

Вращая эллипс около короткой оси, получим сжатый эллипсоид. Такую фигуру и имеет Земля. Её полярный радиус короче экваториального.

Кривизна земных меридианов не везде одинакова: близ полюсов она меньше, у экватора — больше.

Если принимать Землю за шар, то в зависимости от положения измеряемой дуги меридиана получится разная величина Земли.

Вычисляя длину окружности Земли по градусу меридиана близ полюса, мы найдем бóльшую величину, чем при вычислении по градусу близ экватора.

Как уже сказано, Ньютон определил сплюснутость Земли по разности высоты водяных столбов в воображаемых каналах. По его вычислению, она равна $\frac{1}{230}$ экваториального радиуса. В действительности же, о чем мы скажем далее, она немного меньше этой величины.

Неужели же Ньютон ошибся в своем расчете?

Нет. В вычислениях Ньютона редко удавалось найти ошибку. Но Ньютон для упрощения задачи принимал, что воображаемый жидкий шар, изображавший при его расчетах Землю, на всех глубинах имел одинаковую плотность. В самом же деле плотность Земли изменяется с глубиной.

Позднее, когда ученые приняли в расчет это изменение плотности Земли, они нашли более точную величину ее сжатия.

Как же влияет на силу тяжести сжатие Земли?

На этот вопрос ответить нетрудно: на полюсе тело ближе к центру Земли, чем на экваторе. А чем ближе тело, находящееся на поверхности Земли, к ее центру, тем притяжение больше.

Если Земля не правильный шар, а сжатый эллипсоид, то при перемещении по земной поверхности меняется расстояние от ее центра. Поэтому при приближении к экватору сила тяжести уменьшается, так как тело удаляется от центра Земли.

Но сочинение, в котором Ньютон опубликовал свое открытие, было очень трудным для чтения и слабо распространялось. В этой работе Ньютон применил хотя и наглядный, но довольно-таки сложный геометрический метод доказательств.

На континенте Европы закон всемирного тяготения в течение нескольких десятков лет не пользовался вниманием ученых. Не признавали этот закон и французские академики, хотя позднее именно Франция дала ряд замечательных ученых-ньютонианцев.

Этот эпизод — один из удивительнейших фактов в истории науки: учеными отвергалась теория, на основе которой построена современная небесная механика.

Уже в 1730 году, то есть через сорок три года после опубликования открытия Ньютона, Парижская Академия наук присудила премию за сочинение, в котором движение планет по эллипсам объяснялось воображаемыми вихрями в мировом пространстве.

Поэтому мнение Ньютона о сжатии Земли вызвало длительный спор с французскими учеными. Парижские академики стали искать всевозможные доказательства того, будто Земля не сжата, а... вытянута вдоль оси.

Для этого им казались пригодными старые, неточные

измерения земного меридиана, из которых они произвольно выбрали лишь некоторые.

Пользуясь ими, они старались убедить ученый мир, будто чем дальше от экватора, тем кривизна земной поверхности становится круче, то есть, что Земля вытянута вдоль оси.

Один врач даже издал брошюру, в которой доказывал, что Земля по форме похожа на яйцо. А доказательство этой нелепой идеи он видел в том, что, по господствовавшему тогда мнению, яйцо будто бы начало всего живого на Земле.

В те времена еще находились люди, для которых и эта смехотворная мысль была убедительной.

Чтобы разрешить спор, Парижская Академия наук послала две экспедиции: одну — в Лапландию, другую — в экваториальную зону Южной Америки. Ученые должны были измерить градус меридиана в этих зонах.

Два года понадобилось экспедиции в Лапландии, чтобы произвести эту работу, хотя там не встретилось никаких препятствий. Не так легко было другой экспедиции, отправившейся в Южную Америку. Ее участникам пришлось преодолеть немало трудностей. Их жизнь нередко подвергалась опасности. Только через семь лет удалось получить результаты работ этой экспедиции.

И что же?

Ньютон оказался прав: градус меридиана в полярной зоне немного длиннее, чем близ экватора.

Следовательно, Земля — сжатый эллипсоид, а не вытянутый вдоль оси.

После изложенного в этой главе понятно, что на поверхности Земли — сжатого эллипсоида — сила тяжести меняется в зависимости от географической широты места наблюдения.

ПОВЕДЕНИЕ МАЯТНИКА НА ЗЕМЛЕ

После открытия сжатия Земли ученые очень заинтересовались изменением силы тяжести при переезде к северу или к югу.

Изменение силы тяжести, как указывал великий русский ученый М. В. Ломоносов, можно было бы измерять и взвешиванием тел на пружинных весах.

Упругость пружины при переезде не меняется. Значит, такие весы могли бы показать и изменение силы тяжести. Но для этого они должны быть чрезвычайно чувствительны и точны. Такие приборы — гравиметры — удалось построить только в самое последнее время.

Иное дело — маятниковые часы.

Сравнивая ход таких часов в разных местах земной поверхности, можно видеть, насколько медленнее или быстрее колеблется их маятник.

Скорость колебаний маятника зависит от силы тяжести. Значит, по их периоду можно судить и об изменении силы тяжести.

А период колебаний секундного маятника определяют по точным часам, считая, сколько размахов сделает он, например, в течение минуты.

Маятник — незаменимый прибор в этих случаях. Ничтожнейшая разница периода его колебаний постепенно накапливается. Когда маятник сделает несколько сот колебаний, ее нельзя не заметить.

По периоду же колебаний, пользуясь формулой Гюйгенса, легко вычислить и силу тяжести.

Это свойство маятника облегчало определение силы тяжести на земной поверхности: стоило проехать вдоль меридиана — и можно было изучить изменение тяжести.

Однако дело все-таки не так просто.

Маятники, с которыми работали ученые, не были простыми, то есть материальной точкой на тонкой нити. Физический маятник — металлический стержень с грузом на конце.

Что же считать его длиной?

Конечно, длину простого маятника, совершающего колебания в тот же период. Это так называемая приведенная длина маятника.

Но как ее найти?

Для этого нужно определить у маятника точку, обладающую таким свойством: если в ней сосредоточить всю массу маятника, то период колебаний его не изменится.

Эта точка находится на расстоянии приведенной длины от точки подвеса.

Для определения ее служит так называемый оборотный маятник. У него две призмы, ребра которых могут служить для подвеса, и два груза.

Грузы можно передвигать вдоль стержня маятника.

Наблюдатель стремится найти такое положение для грузов, при котором период колебаний не зависит от того, какая из призм служит подвесом.

Когда это достигнуто, то расстояние между ребрами призм и есть приведенная длина маятника.

Вот как трудно определить длину физического маятника, служащего для наблюдений!

Немало и других затруднений при определении силы тяжести с помощью физического маятника.

На этот прибор действуют и температура, и изменение давления атмосферы, и сопротивление воздуха его колебаниям, и трение в точке подвеса. Учитывая все эти вредные влияния, приходится вводить многочисленные поправки.

Самые наблюдения желательно производить в погребе или подвале, чтобы ослабить все эти влияния. Они возможны только на суше, а не на морских судах.

Так сложны наблюдения при исследовании изменения силы тяжести.

Поэтому до конца XVIII века было сделано не более двадцати таких измерений.

Но на помощь физикам пришли математики. Им удалось теоретически исследовать, как должна меняться сила тяжести на вращающемся сжатом эллипсоиде.

Они вывели простую формулу для вычисления силы тяжести в любом пункте земной поверхности, зная только его географическую широту.

При выводе формулы руководились двумя соображениями: во-первых, чем ближе к экватору, тем больше центробежная сила, действующая на земной поверхности; во-вторых, чем ближе к экватору, тем тело дальше от центра Земли.

Чтобы пользоваться формулой, выведенной математиками, нужно раз навсегда путем наблюдений с помощью маятника определить силу тяжести в двух точках, лежащих на разной географической широте.

После этого можно, не предпринимая никаких путешествий, вычислять силу тяжести в любом месте по географической широте.

Значит, по этой формуле можно было вычислить силу тяжести и на полюсе, куда никак не удавалось проникнуть исследователям.

Только советские ученые совершили этот подвиг и пре-

вели на Северном полюсе несколько месяцев, живя в палатке на льду Северного Ледовитого океана.

Ученые могли убедиться, что непосредственное измерение силы тяжести на полюсе дает ту же величину, как и вычисление ее по формуле.

Этим не ограничилось теоретическое исследование Земли.

Математикам удалось без измерений меридиана, с пером в руках вычислить сжатие Земли. Их формула, выражающая сжатие Земли, очень проста. В нее входят только сила тяжести на полюсе и экваторе и центробежная сила на экваторе.

По этой формуле можно легко определить сжатие Земли.

В XVIII веке для определения сжатия Земли предпринимались длительные, иногда опасные путешествия. Производились дорогие, очень кропотливые градусные измерения, ученые-исследователи рисковали жизнью.

А по формуле математиков сжатие Земли можно вычислить в течение нескольких минут.

В конце прошлого века русский астроном А. А. Иванов задал себе вопрос, симметрична ли Земля, то есть представляет ли Северное полушарие как бы зеркальное отражение Южного.

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно было бы отправить экспедицию для измерения градуса меридиана в Южное полушарие, потом сравнить результаты с таким же измерением в Северном полушарии.

Как видите, это огромная работа, требующая большой затраты средств, времени и сил.

Но А. А. Иванов решил задачу, как математик, проще. Он вывел формулу, по которой должна меняться сила тяжести, если Земля несимметрична.

Чтобы воспользоваться этой формулой, нужно было только иметь результаты измерений силы тяжести с помощью маятника в Северном и Южном полушариях.

К тому времени уже накопилось немало таких измерений силы тяжести в обоих полушариях. Собрав их, А. А. Иванов с помощью своей формулы доказал, что Земля симметрична.

Значит, под одинаковой географической широтой сила тяжести в обоих полушариях одинакова. Одинакова она также и на полюсах. Прямое измерение показывает, что

на полюсе сила тяжести на $\frac{1}{190}$ больше, чем на экваторе. Но, как мы видели, центробежной силой объясняется уменьшение силы тяжести на экваторе только на $\frac{1}{289}$ по сравнению с полюсом. Большее фактическое ослабление силы тяжести вызывается тем, что частицы на экваторе дальше отстоят от центра Земли, чем на полюсе. Поэтому отвешенные на полюсе с помощью пружинных весов 190 граммов песку весили бы на экваторе только 189 граммов.

ИСТИННАЯ ФОРМА ЗЕМЛИ

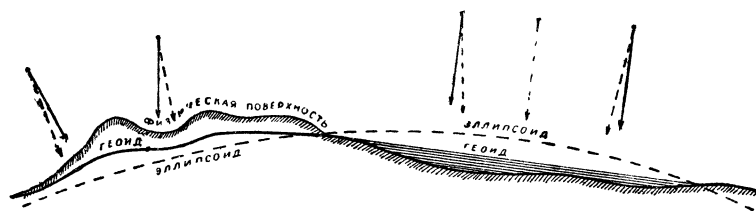
Мы видели, что представление о шарообразности Земли было лишь «первым приближением» при изучении ее формы.

Дальнейшие изыскания показали, что Земля не вполне правильный шар, а приплюснутый у полюсов.

«Второе приближение» в изучении формы Земли — сжатый эллипсоид.

Конечно, физическая поверхность Земли лишь немного отличается от эллипсоида. Горные хребты, глубокие долины, возвышенности плоскогорий незначительно искажают земную поверхность.

Если бы на глобусе диаметром в 1 метр изобразить в соответствующем масштабе высочайшие горные хребты, их было бы трудно различить. Самые высокие из них оказались бы только шероховатостями на гладкой поверхности глобуса.



Пунктирная линия — поверхность эллипсоида. Сплошная линия — геоид, поверхность которого совпадает с уровнем невозмущенного океана. Пунктирные стрелки — перпендикуляры к эллипсоиду. Сплошные стрелки — перпендикуляры к геоиду. (Рисунок из «Курса геофизики» П. Н. Тверского.)

Поэтому при съемках местности для составления географических карт геодезисты обычно принимают Землю за эллипсоид. К его поверхности они и относят результаты съемки. Затем, пользуясь различными способами, «разворачивают» поверхность эллипсоида на плоскую карту.

Но точные исследования с помощью маятника (отвеса) позволили установить так называемую уровенную поверхность, которую и принимают теперь при расчетах за земную поверхность.

Что же подразумевают ученые под «истинной» поверхностью Земли? Представление о ней требует некоторого усилия воображения.

Представим себе, что на материках прорыта сеть каналов, соединяющих океаны и моря. Каналы должны быть такой глубины, чтобы они наполнились водой.

Уровень воды в этих воображаемых каналах и на всем пространстве океанов и представляет собой уровенную поверхность Земли.

Тело, ограниченное этой поверхностью, существующей лишь на пространстве океанов и воображаемой на суше, называли геоидом.

Слово «геоид» буквально значит «тело, имеющее форму Земли».

Это — просто условное название.

В отличие от земного эллипсоида, геоид не представляет правильной геометрической фигуры.

Считая Землю сжатым эллипсоидом, всю ее поверхность можно получить, вращая вокруг земной оси один из меридианов. Следовательно, вопрос определения формы Земли сводится к измерению кривизны во всех частях лишь одного из меридианов.

Уровенная поверхность Земли немного отличается от поверхности сжатого эллипсоида.

Поверхность геоида нельзя получить вращением вокруг земной оси какого-нибудь из меридианов. Ее приходится определять на каждом участке земной поверхности отдельно.

Эти участки не должны быть особенно обширны — только по 2000—5000 квадратных километров каждый.

Как же определить положение поверхности геоида?

Вспомним, что поверхность геоида представляет собой уровень воды в воображаемых каналах. Значит, она должна быть перпендикулярна к физическому отвесу, то есть

направлению нити, на которой подвешен небольшой груз.

Теоретически же можно найти в каждом месте и направление перпендикуляра к поверхности земного эллипсоида. Сравнивая его с физическим отвесом, определяют, насколько поверхность геоида не совпадает с эллипсоидом.

Так нашли «третье приближение» к истинной форме Земли — поверхность геоида.

В нашей стране ведется огромная работа по определению положения поверхности геоида. Еще в 1932 году советское правительство постановило начать это исследование земной поверхности на всей территории нашего государства. С тех пор советские ученые неустанно, из года в год ведут наблюдения.

Скоро эта работа будет закончена.

По этим наблюдениям советские геофизики очень точно вычисляют положение поверхности геоида на всем пространстве нашей страны.

МАЯТНИК И ЛУНА

Мы уже видели, как отзывчив маятник на малейшее изменение силы земной тяжести.

С помощью этого прибора можно наблюдать влияние возникающих на Земле центробежных сил и сжатия Земли на тяжесть тел.

Но маятник не только «земной» прибор. На него влияет также притяжение Луны и Солнца.

Еще в XVIII веке великий русский ученый М. В. Ломоносов указывал на возможность с помощью маятника (отвеса) заметить на земной поверхности «космические силы».

Если бы можно было иметь отвес длиной 120 километров, он отклонился бы под влиянием притяжения Луны почти на сантиметр от направления силы тяжести. По мере движения Луны по небу конец отвеса все время менял бы свое положение.

Жаль, что такой отвес невозможно устроить! Каждый мог бы тогда наблюдать, как перо на конце отвеса чертит замысловатую кривую на лежащем под ним листе бумаги. Проследив в течение нескольких дней за движением отве-

са, мы убедились бы, что оно связано с видимым перемещением по небу Луны.

Но маятники, которыми могут располагать ученые, по своей длине в тысячи раз короче воображаемого отвеса. Их длина измеряется только метрами. Поэтому фактические отклонения также в тысячи раз меньше.

Маятник длиной 10 метров отклоняется притяжением Луны так мало, что описываемую его концом фигуру можно было бы рассмотреть только в сильный микроскоп.

Но математики могут путем вычислений очень точно определить вид этой микроскопической фигуры.

Для этого им достаточно только знать, под какой географической широтой находится отвес и каково положение Луны на ее орбите.

Необходимо прежде всего, конечно, вычислить, какова сила притяжения Луной отвеса, находящегося на земной поверхности.

Определить величину этой силы нетрудно, зная, что Луна находится на расстоянии шестидесяти радиусов земного шара от его центра, а масса Луны в восемьдесят два раза меньше массы Земли.

Представим себе, что маятник находился бы на расстоянии одного земного радиуса от центра Луны. Он притягивался бы Луной с силой, равной $\frac{1}{82}$ его тяжести на Земле.

С какой же силой притягивала бы Луна маятник, висящий на земной поверхности в ближайшей к ней точке? Расчет несложен.

Ближайшая к Луне точка земной поверхности находится от нее на расстоянии пятидесяти девяти радиусов земного шара. Поэтому подвешенный в ней маятник притягивается Луной в 59^2 раз слабее, чем находящийся на расстоянии одного земного радиуса от центра Луны.

Подобным же образом находим и силу притяжения Луной маятника в самой далекой от нее точке, которая находится на расстоянии шестидесяти одного земного радиуса. Она в 61^2 раз слабее притяжения Луной маятника, находящегося на расстоянии одного земного радиуса от центра Луны.

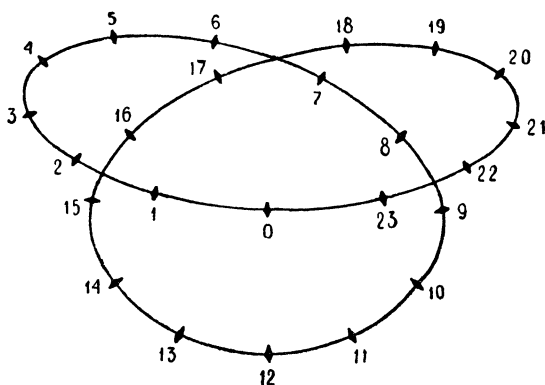
Значит, маятник на обращенном к Луне полушарии Земли притягивается к ней немного сильнее, чем на противоположном.

Кроме лунного притяжения, на маятник действует и

другая сила. Чтобы понять происхождение ее, нужно поближе познакомиться с вопросом об обращении Луны вокруг Земли.

Мы говорим, что Луна обращается вокруг Земли под действием ее притяжения. Но ведь и на Землю действует притяжение Луны.

Поэтому в действительности Луна и Земля обращаются вокруг их общего центра тяжести в течение 27,3 суток.



Кривая линия, описываемая концом маятника под действием притяжения Луны. Цифрами обозначены часы суток, в которые конец отвеса находился в этих точках.

Это движение происходит так, как будто оба тела прикреплены по концам жесткого прямого стержня.

Общий центр тяжести Земли и Луны находится между ними на прямой линии, соединяющей эти два тела на расстоянии приблизительно 4700 километров от центра Земли.

Вследствие этого вращения Земли каждая частица ее стремится удалиться от Луны, как будто на нее действует «центробежная» сила.

Маятник (отвес) на земной поверхности притягивается Луной, а оттягивается в противоположную сторону «центробежной» силой.

На обращенном к Луне полушарии Земли «центробежная» сила меньше лунного притяжения. Поэтому избыток лунного притяжения отклоняет маятник в сторону Луны.

На другом полушарии, наоборот, «центробежная» сила превосходит лунное притяжение. Там маятник отклоняется в противоположную сторону.

Положение отвеса относительно Луны постоянно меняется, потому что Земля вращается вокруг оси, а Луна движется по своей орбите.

Вследствие вращения Земли отвес перемещается с полушария, обращенного к Луне, на противоположное, а затем обратно.

Конец отвеса, постепенно меняющего направление в пространстве, чертит фигуру. Вид фигуры зависит от положения Луны на орбите и географической широты, под которой находится отвес, или маятник.

Если маятник находится на экваторе, а Луна — на пересечении своей орбиты с небесным экватором, то кривая имеет вид эллипса. Но когда наблюдение с маятником производится под средними широтами, а Луна находится в какой-нибудь другой точке своей орбиты, то кривая имеет вид замысловатой пегли.

Так как Луна непрерывно движется по орбите, то непрерывно меняется и вид фигуры, описываемой концом отвеса.

Все эти движения отвеса и описываемые им фигуры можно получить путем математического расчета.

Но делались попытки наблюдать их и на опыте.

Еще в прошлом веке один из ученых придумал для такого опыта очень чувствительный маятник.

Этот маятник находился в подвале, далеко от проезжих дорог, куда не проникали сотрясения почвы от движения.

Чтобы на него не действовали колебания температуры, вся установка была помещена в камеру с двойными стенками. Между стенками циркулировала вода, имевшая постоянную температуру.

Зеркальце, прикрепленное к маятнику, при ничтожнейшем отклонении его поворачивалось. Отбрасывавшийся зеркальцем зайчик заметно передвигался по экрану.

В камеру никто не входил. Наблюдения передвижения светлого пятна велись с помощью зрительной трубы.

Эта установка отличалась необычайной чувствительностью. Если наблюдатель в нескольких метрах от отвеса переступал с ноги на ногу, то светлое пятно «зайчика» передвигалось по экрану.

Но, несмотря на такую чувствительность, открыть движения маятника, вызываемые притяжением Луны, с помощью этого прибора не удалось.

Попытка заметить это явление была, однако, осуществлена позднее другими учеными.

Такими исследованиями занимался в 1913 году русский астроном и геофизик А. Я. Орлов. Он производил их на обсерватории в Юрьеве (ныне Тарту), в Томске и позднее в Полтаве.

Влияние лунного притяжения наблюдалось с помощью так называемого горизонтального маятника.

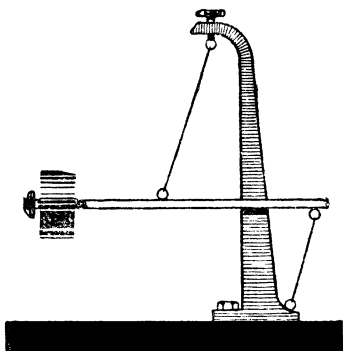
Такой маятник — горизонтальный легкий стержень с грузом на конце. Он не прикреплен жестко к вертикальной стойке штатива. Висячем горизонтальном положении стержень поддерживается двумя нитями: одна прикреплена к его середине и верхнему концу стойки, другая — к свободному концу стержня и к нижней части стойки. Подвешенный таким способом стержень чрезвычайно чувствителен к отклонению отвесной линии. Он и позволил заметить влияние лунного притяжения на земной поверхности.

Отклонения маятника под влиянием Луны сами по себе представляют замечательное явление природы. Открытие их чрезвычайно интересно как доказательство существования лунного притяжения на земной поверхности.

Но, кроме того, наблюдения над поведением маятника, как мы увидим дальше, дают возможность судить и о внутреннем состоянии самой Земли.

«ТВЕРДЫЙ» ПРИЛИВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Отклонение маятника Луной позволило заметить удивительное явление — «твердый» прилив в земной коре. Он вполне подобен морскому приливу, то есть поднятию уровня океана под влиянием притяжения Луны.



Способ подвеса горизонтального маятника.

Давно известно, что в океане два раза в сутки поднимается волна прилива. Жители океанского побережья знали, что во время отлива можно пройти далеко от берега по обнажившемуся морскому дну. Но через несколько часов отступившие воды океана снова заливают берег.

Это наступление моря и называют волной прилива.

С древнейших времен замечена и связь прилива с движением Луны.

Вот что писал о приливах римский географ начала новой эры Страбон: «...когда Луна выше восточного горизонта на величину одного знака зодиака, то есть на 30 градусов, море начинает течь и захватывает видимую часть суши, пока Луна не достигнет меридиана. Когда она пройдет через меридиан, море поворачивает постепенно к отливу, пока Луна не достигнет высоты одного знака над западным горизонтом. Тогда море остается без движения... Луна движется под Землей, пока не опустится под горизонт на один знак зодиака. Тогда море снова наступает вперед, пока Луна не достигнет того же меридиана под Землей...»

Так ясно представлял себе древний римский географ связь наступления прилива с суточным движением Луны.

Но объяснить это явление удалось не скоро.

Даже Галилей имел странное представление о причине приливов и отливов. Как было упомянуто, он считал, будто они подобны колыханию воды в тарелке, передвигаемой по столу. В этом Галилей ошибочно видел одно из доказательств движения Земли. Хотя его предположение с механической точки зрения не вызывает возражений, но движение вод, связанное с изменением относительного направления вращения Земли и движения ее по орбите, имеет второстепенное значение.

Только Ньютон, открыв закон всемирного тяготения, нашел путь к разгадке влияния Луны на приливы.

Мы уже видели, как движется маятник (отвес) под влиянием избытка то лунного притяжения, то «центробежной» силы.

Этот избыток назван приливообразующей силой. На обращенном к Луне земном полушарии эта сила направлена к Луне, на противоположном полушарии — в обратную сторону.

Действуя на частицы воды, приливообразующая сила

поднимает в океане бугры прилива: — один прямо под Луной, другой — в противоположной точке земной поверхности.

Вслед за видимым движением Луны перемещаются и бугры прилива.

Не нужно, однако, думать, будто бы они «кажутся» вслед за Луной; вода бугра не движется за ней: прямо под Луной она поднимается, а рядом, откуда только что переместился бугор, опускается.

Движение бугра по поверхности океана так же обманчиво, как и расхождение волн от упавшего в воду камня. При расхождении этих волн частицы воды только поднимаются и опускаются.

В открытом океане невозможно заметить поднятие бугра прилива: судно, как поплавок, поднимается вместе с водой, и нет предмета, относительно которого поднимался бы уровень воды.

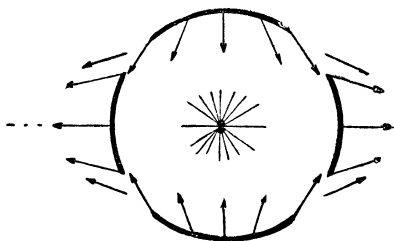
Другое дело, когда, перемещаясь вслед за Луной, водяной бугор приближается к берегу. У высокого берега можно наблюдать подъем уровня воды, у низкого вода надвигается на плоский берег.

Как же действуют приливообразующие силы на самое тело Земли?

Мы знаем, что Земля — твердое тело. Но чтобы представить себе влияние на нее приливообразующих сил, посмотрим, как действовали бы они на жидкую Землю, покрытую тонкой корой.

В мощной верхней толще жидкой Земли они поднимали бы бугор прилива под Луной и в противоположном полушарии. Жидкая Земля немного вытягивалась бы в направлении Луны. Даже если бы она была покрыта твердой корой, то и кора не помешала бы ей менять форму. Под влиянием поднимающегося внутри прилива твердая кора изгибалась бы, и Земля немного меняла бы свою форму, подобно мыльному пузырю.

Находясь на поверхности Земли, мы не замечали бы



Направление приливообразующих сил, поднимающих бугор прилива под Луной и на диаметрально противоположной стороне Земли (показано стрелками).

этого плавного колебания земной коры, как не замечают люди на судне бугра прилива в открытом океане.

Обитатели Земли даже не подозревали бы, что их дома и сооружения ежедневно то поднимаются, то опускаются в зависимости от движения Луны.

Нельзя было бы заметить плавного движения земной коры, покрывающей поверхность жидкой Земли, и по положению отвеса: он всегда оставался бы перпендикулярным по отношению к земной поверхности, а конец его — неподвижным.

Но, как мы видели, в действительности конец отвеса в течение суток вычерчивает сложную фигуру. Это значит, что земная кора не поддается приливообразующим силам. Отвес же отклоняется больше и потому движется относительно земной поверхности. Движение маятника под влиянием этих сил было бы еще заметнее, если бы земная кора вовсе не поддавалась им.

Ученые вычислили, насколько отклонялся бы маятник в этом случае. В действительности же отклонение его, наблюдаемое с помощью горизонтального маятника, меньше.

Разность теоретического и фактического отклонения дает возможность судить, насколько сама земная кора поддается приливообразующим силам.

По наблюдениям астронома А. Я. Орлова над отклонением отвеса, о которых мы уже говорили, вычислено и влияние приливообразующих сил на твердую земную кору.

Земная кора «коробится», поднимаясь на 20—25 сантиметров прямо под Луной и на противоположной стороне земной поверхности.

«Твердый» прилив отражается и на высоте морских приливов. Ведь высоту поднятия уровня океана мы измеряем относительно его берегов. Но если и сам берег поднимается, то кажущееся поднятие уровня океана уменьшается настолько, насколько поднимается берег.

Наблюдение прилива в земной коре позволяет также судить о твердости Земли в целом.

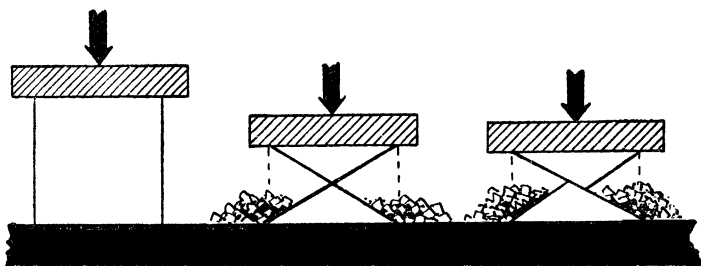
МАЯТНИК И ТВЕРДОСТЬ ЗЕМЛИ

Как ни велико сопротивление твердой земной коры, но маятник позволил наблюдать ее прогиб под тяжестью надвигающейся массы воды морского прилива.

На плоский берег во время прилива давят многие миллионы тонн воды. Земная кора должна прогибаться подобно переброшенной через ручей доске, по которой идет человек.

Плоский берег становится чуть-чуть наклонным в сторону моря.

Хотя ничтожный наклон берега и не может быть замечен человеком, стоящим на берегу, но маятник отзывается на него: по изменению положения маятника можно



Разрушение гранитного кубика под влиянием одностороннего давления, показанного стрелкой.

судить о наклоне берега под давлением накатывающейся волны прилива.

Когда кончится прилив и массы воды снова отхлынут, земная кора выпрямится. Тогда и маятник снова примет прежнее положение.

Чем дальше от берега, тем, конечно, менее заметно это явление.

Периодические изменения наклона берега, то есть прогибы земной коры под тяжестью волны прилива, удалось наблюдать с помощью чувствительного маятника.

По этим прогибам можно судить о прочности земной коры точно так, как оценивают надежность моста по тяжести выдерживаемого им груза.

Но ученые поставили перед собой еще более трудную задачу: они хотели определить твердость всей Земли в целом как физического тела.

Чтобы судить о прочности Земли в целом, нужно сравнить ее с твердостью какого-нибудь другого небольшого тела, например стального ядра.

Всем понятно, когда говорят, что сталь очень тверда. Это значит, что ее трудно чем-нибудь царапать или обрабатывать резцом на токарном станке.

Твердость стали, как и каждого тела, зависит от силы сцепления между ее частицами — молекулами: частицы твердого тела сопротивляются удалению их друг от друга, что происходит при обработке резцом.

Но не с этим свойством твердых тел сравнивают ученые твердость Земли. Не о твердости горных пород, слагающих земную кору, говорят они, а о твердости Земли в целом.

Физики под твердостью тела подразумевают и другое свойство — сопротивление его изменению формы.

Каждое твердое тело, в отличие от жидкости, сохраняет свою форму; жидкость же принимает форму сосуда, в который она налита.

Твердое тело, например гранитный кубик, не только сохраняет форму, но упорно сопротивляется изменению ее. Попробуйте положить его между плитами пресса и сдавить: он не разрушится даже в том случае, если давление достигнет нескольких сот килограммов на квадратный сантиметр. Только когда давление увеличится до тысячи килограммов на квадратный сантиметр, кубик начнет разрушаться: сперва у него вывалятся бока, а уж потом он превратится в порошок.

Еще большее сопротивление оказал бы стальной цилиндр. Только под огромным давлением он сперва стал бы похож на бочоночек, а затем сплющился бы в лепешку.

Так сопротивляются твердые тела одностороннему сжатию, изменяющему их форму.

Это свойство тел физики и называют твердостью. Оно зависит от сопротивления частиц тела сдвигу относительно друг друга.

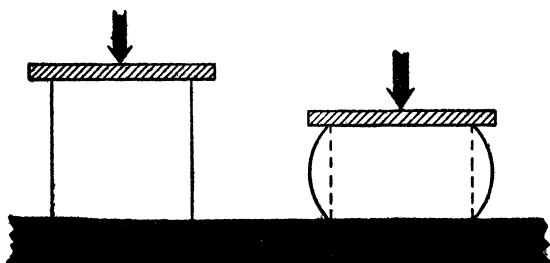
Говоря о твердости Земли в целом, подразумевают именно ее сопротивление изменению формы под влиянием на нее внешних сил.

Но ведь Земля не подвергается давлению прессом, как гранитный кубик. Может быть, бесполезно поэтому и говорить об этом ее свойстве?

Нет, на Землю тоже действуют силы, стремящиеся изменить ее форму. Земля также оказывает им сопротивление, подобно сжимаемому под прессом стальному ядру.

Ведь мы видели, что в земной коре поднимается «твердый» прилив. Бугор прилива возникает как прямо под Луной, так и на противоположной стороне. Земля меняет форму, чуть-чуть вытягиваясь в направлении Луны. Ее диаметр, направленный к Луне, удлиняется при этом на 40—50 сантиметров.

Изменение формы Земли невелико, потому что она нелегко поддается действующим на нее силам. Это сопротивление и есть твердость Земли в целом



Стальной кубик под действием одностороннего давления (показано стрелкой) принимает форму бочонка.

Как бы мы поступили, чтобы определить изменение формы стального шара, сжимаемого под прессом?

Для этого нужно было бы определить при помощи какого-либо прибора изменение кривизны его поверхности.

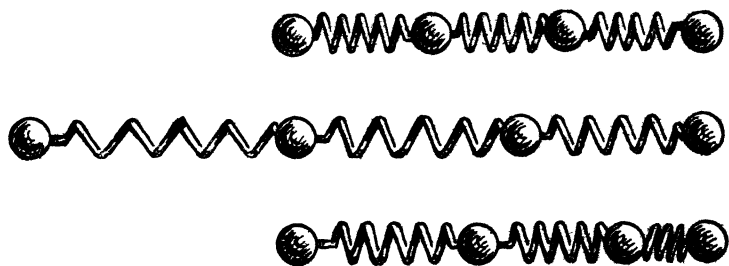
Но поверхность Земли под влиянием «твердого» прилива меняется незначительно, а изменение ее формы слишком кратковременно для определения его с помощью градусных измерений.

Нужен другой метод.

Это возможно сделать, наблюдая изменение направления отвеса, немедленно отзывающегося на изменение кривизны земной поверхности.

Можно теоретически вычислить, каким был бы прилив в земной коре, если бы Земля не сопротивлялась вовсе изменению ее формы.

Прилив, определенный путем наблюдений, оказался в три раза меньше вычисленного.



Между молекулами твердого тела действуют силы притяжения и отталкивания. Они сопротивляются как сближению, так и удалению молекул друг от друга. Для наглядности эти силы изображены в виде спиральных пружин.

Сравнивая наблюдаемый «твердый» прилив с вычисленным, ученые сделали заключение о сопротивлении Земли изменению формы.

Оказывается, Земля сопротивляется изменению ее формы больше, чем, например, стальное ядро.

Бугор «твердого» прилива, как мы говорили, следует за движением Луны почти без опоздания, то есть бугор «твердого» прилива находится прямо под Луной.

Как только изменяются направление и величина сил, действующих на частицы Земли, земная кора немедленно же изменяет форму. Это значит, что Земля ведет себя в этом случае как очень упругое тело.

Сравнивая Землю со стальным ядром, не нужно забывать, однако, о разнице между ними.

В стальном ядре частицы удерживаются от сдвига силами сцепления между молекулами. Но форма и целостность такого огромного тела, как Земля, зависят не от сил сцепления между ее частицами.

Если бы в мировом пространстве было тело величиной с Землю, но цилиндрической или призматической формы, сила сцепления между его частицами не сохранила бы этой формы. На это указывал в начале нынешнего века русский ученый И. Д. Лукашевич, а в наше время — советский физик В. К. Аркадьев.

Наблюдая в телескоп это воображаемое тело, мы увидели бы, как более удаленные части этого тела обрушились к его центру тяжести. Оно превратилось бы в ог-

ромную грудю обломков. Под действием тяготения к центру тяжести обломки расположились бы симметрично вокруг него, образовав шар.

Это единственно возможная форма для крупного космического тела. Поэтому все большие планеты и имеют шарообразную фигуру.

Только мелкие астероиды, рой которых движется вокруг Солнца между Марсом и Юпитером, могут иметь неправильную форму.

Земля сопротивляется изменению ее формы не потому что между ее частицами действуют силы сцепления, как у стального ядра. Ее частицы сопротивляются сдвигу под действием тяготения к центру, которое создает огромное давление внутри Земли. Это давление прижимает частицы Земли во много раз сильнее, чем могло бы удерживать их друг возле друга сцепление. Оно изменяет свойства горных пород внутри Земли, сильно уплотняя их и увеличивая упругие свойства, характеризующие твердость тел.

КАКОВА ЗЕМЛЯ ВНУТРИ

Даже на дне океана давление воды огромно. На самой большой глубине его, в океанических впадинах, на каждый квадратный сантиметр давит столб воды высотой 10 километров. Вес этого столба 1000 килограммов.

Как же определить давление внутри Земли? Можно ли сравнивать его с давлением воды на дне океана?

Оказывается, можно: в глубинах Земли давление также измеряется весом столба лежащих выше горных пород.

На первый взгляд это не совсем понятно.

Ведь земная кора, как кажется, облекает Землю, подобно твердой скорлупе ореха. Ее тяжесть не должна бы давить, как не давит свод, поддерживающий тяжесть стены.

Однако земная кора не образует свода.

Тут мы опять встречаемся с фактом, что молекулярные связи не играют большой роли в строении планет.

Прочность земной коры нельзя сравнивать со скорлупой ореха: скорлупа относительно гораздо прочнее земной коры.

Удержала ли бы земная кора гору Арарат, если бы под корой была пустота?

Этот вопрос задал себе И. Д. Лукашевич.

Он сделал простой расчет, и оказалось, что гора проломила бы земную кору и провалилась.

Даже и без нагрузки земная кора могла бы удержаться, подобно висячему мосту, над пустотой только в том случае, если пролет был бы не длиннее 2 километров. При большем пролете висящий участок земной коры провалился бы под действием собственной тяжести.

Значит, земная кора не сферический свод, который держится сам собой. Каждый «кирпич» этого свода, поперечным сечением в 4 квадратных километра, опустился бы вниз, если бы не лежал на подстилающих его горных породах. Поэтому он давит всей тяжестью на горные породы внутри Земли.

Не образуют сводов и глубже лежащие части Земли (до очень значительной глубины).

Чем глубже, тем давление больше. Оно измеряется весом столба горных пород точно так же, как в океане — весом столба воды.

Но горные породы в два с половиной — три раза тяжелее воды. Столб горных пород высотой 10 метров давит на квадратный сантиметр с силой 2,5—3 килограммов.

На глубине 1000 километров давление достигает 300 000 килограммов на квадратный сантиметр. В центральной же части земного шара оно еще в десять раз больше.

И температура в глубинах Земли очень высока.

Давно известно, что с глубиной она регулярно повышается. В глубоких шахтах так жарко, что становится очень трудно работать.

Достигнув глубины 2000—2500 метров, приходится покидать шахты из-за жары, как бы ни была богата залежь.

Нефть, поднимающаяся с глубины около 3000 метров, так нагревает трубы, что к ним даже на поверхности нельзя прикоснуться голой рукой.

Можно предполагать, что и глубже температура горных пород поднимается, хотя не так быстро, как в верхних слоях земной коры.

Ученые считают, что в глубоких недрах Земли температура горных пород не менее 1000—1500 градусов.

При такой температуре и огромном давлении горные породы приобретают незнакомые нам свойства.

Было бы трудно даже представить себе, каковы внут-

ри Земли горные породы, не подвергнув их подобным давлениям.

К счастью, однако, и на земной поверхности некоторые тела наводят на мысль, какие свойства приобретают под давлением горные породы.

Есть ряд тел, по свойствам сходных и с твердыми и с жидкими телами. Таковы, например, асфальт, сургуч, стекло.

Никто не назовет холодный асфальт или сургуч, а тем более стекло жидкостью.

Действительно, они имеют свойства обычных твердых тел.

Асфальтовый или сургучный шарик, упав с небольшой высоты, подпрыгнет. Из асфальта можно сделать камертон, который при осторожном ударе издает звук.

Слегка сгибаемая стеклянная пластинка снова выпрямляется, словно стальная пружина.

Значит, эти тела тверды, то есть их частицы сопротивляются сдвигу.

Однако под действием небольших, но очень длительное время действующих сил асфальт, сургуч и стекло проявляют способность к «течению».

Наиболее пластичен из них асфальт.

Куски асфальта с течением времени под действием собственной тяжести расплываются. Отбитые молотком остроугольные осколки твердого асфальта, сложенные в вазу, заполняют ее, подобно жидкости, и образуют горизонтальную поверхность.

Они даже могут вытекать через отверстие воронки твердой струйкой, образуя под ней натеки. Но «струйка» асфальта, вытекающего из отверстия воронки, ломается, как любое хрупкое твердое тело.

Таковыми же свойствами, проявляющимися под небольшим давлением или при некотором повышении температуры, обладает и сургуч.

В чем же причина этих свойств сургуча и асфальта?

Она заключается в молекулярном строении этих тел.

У всех твердых — кристаллических — тел частицы (атомы и молекулы) расположены в определенном порядке. Они образуют так называемую «пространственную решетку».

На это указывал еще М. В. Ломоносов, а в прошлом

веке учение о кристаллическом строении тел развил знаменитый русский ученый Е. С. Федоров.

Например, у каменной соли атомы расположены в вершинах воображаемых кубов. Они не прикасаются друг к другу, а удерживаются на своих местах силами молекулярных связей. Действие этих сил можно сравнить со спиральными пружинками: «пружинки» сопротивляются как удалению частиц друг от друга, так и сближению их.

Однако при нагревании тела до более или менее высокой температуры они уже не могут удержать частицы на своих местах: кристаллическая «решетка» разрушается, и частицы беспорядочно смешиваются. Тогда тело плавится, то есть становится жидким.

У асфальта, сургуча и стекла в твердом состоянии частицы смешаны, как у жидкостей, не образуя «пространственной решетки». Поэтому асфальт, сургуч и стекло называют «твердыми» жидкостями.

Твердые жидкости отличаются от обыкновенных только большей вязкостью. Вязкость мешает им растекаться, подобно воде или маслу. Но продолжительное действие даже незначительных сил, например собственной тяжести, заставляет асфальт течь.

Сургуч и стекло обладают еще большей вязкостью. С повышением температуры их вязкость уменьшается. Поэтому нагретая, но еще совершенно твердая стеклянная пластинка приобретает свойство пластичности.

Положим длинную стеклянную пластинку концами на две опоры и слегка нажмем пальцем на нее — пластинка согнется, но как только уберем палец — снова выпрямится.

Значит, она упруга, как твердое тело.

Однако если пластинка нагрета, то, оставаясь твердой по отношению к кратковременным силам, она пластична, когда на нее действуют длительные небольшие силы.

Нагретая пластинка, упав на каменный пол, разбивается на мелкие осколки. Но, положенная на опоры, под небольшой нагрузкой она медленно прогибается и остается согнутой, как будто она из воска.

Под давлением и кристаллические тела проявляют пластичность. Впервые это свойство было замечено у льда. Лед, как почти все твердые тела, состоит из кристалликов. Но под небольшим давлением в деревянных формах он дает их слепок, как пластичное тело.

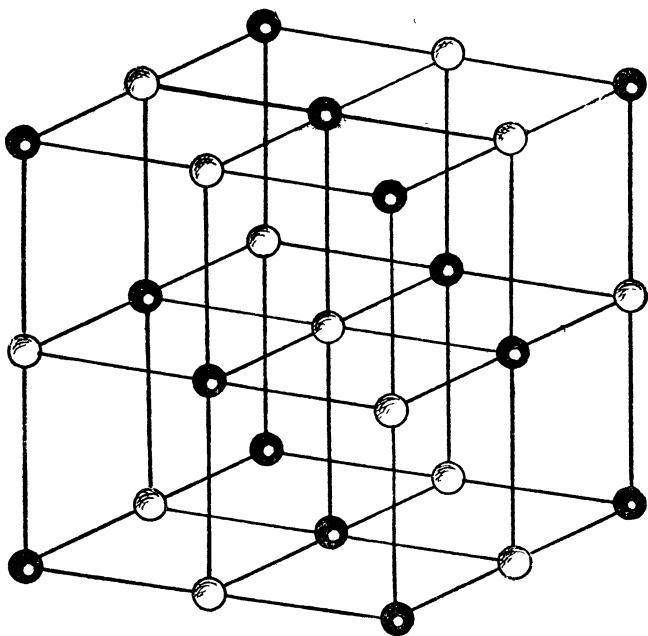


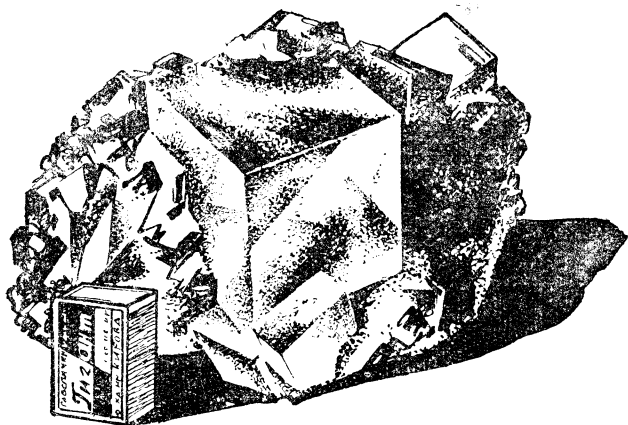
Схема расположения атомов натрия (белые кружки) и хлора (черные кружки) в кубическом кристалле каменной соли.

Пластичностью льда объясняется «течение» ледников, которые, словно реки, спускаются по дну высокогорных долин.

Под большим давлением пластичность проявляют и другие кристаллические тела. Например, мрамор, сжимаемый в стальных коробках, дает такой же слепок их внутренней формы, как и лед.

Это явление объясняется тем, что под большим давлением кристаллическая «решетка» разрушается и частицы тела приобретают подвижность. Они могут перемещаться, не удерживаемые молекулярными связями, подобно частицам воды.

Твердое тело под большим всесторонним давлением и становится твердой жидкостью. Поэтому оно и заполняет форму, давая слепок ее, подобно воску или глиняному тесту.



Кубический кристалл флюорита, или плавикового шпата. Для масштаба на переднем плане изображена спичечная коробка.

Под огромным давлением внутри Земли исчезает разница между «твердым» и «мягким» или даже расплавленным, «жидким» телом.

Даже в лаборатории, при доступном нам давлении, мягкий парафин проникает в сталь, а мягкая глиняная лепешка, сжимаемая между плитами гидравлического прессы, вдавливаются в твердую сталь. Тем более стирается грань между «твердыми» и «жидкими» телами в глубинах Земли, где давление в десятки раз больше.

Этим и объясняются «противоречивые» свойства Земли в целом, о которых мы скажем дальше.

«ПРОТИВОРЕЧИВЫЕ» СВОЙСТВА ЗЕМЛИ

Земля сопротивляется силе лунного притяжения, изменяющей ее форму, как тело более твердое, чем сталь.

Бугор «твердого» прилива периодически поднимается и опускается, перемещаясь вслед за движением Луны.

Сила, поднимающая «твердый» прилив, действует на каждую частицу вращающейся Земли недолго.

В зависимости от изменения относительного положения земной частицы и Луны эта сила то увеличивается, то уменьшается. Она действует то в одном, то в другом направлении.

По отношению к таким силам Земля ведет себя как твердое и упругое тело.

Но на каждую частицу Земли действуют и другие силы, не меняющие ни своей величины, ни направления: например, притяжение к центру Земли и центробежная сила, возникающая от вращения земного шара.

Притяжение к центру массы Земли заставляет все частицы располагаться симметрично вокруг него.

Земля — твердое тело. Быть может, она никогда и не была жидкой, как это предполагал Ньютон.

Но современные ученые утверждают, что под огромным давлением внутри Земли ее частицы способны перемещаться, подобно частицам жидкости. Поэтому в твердой Земле под действием постоянной силы притяжения к центру тяжести частицы должны располагаться так, чтобы она приняла шарообразную форму. Следовательно, в этом случае твердая Земля ведет себя как пластичное тело.

Так же на частицы Земли действуют и постоянные центробежные силы.

В твердой Земле, как если бы она была жидкой, частицы перемещаются так, что она сплюснулась у полюсов и вытянулась в плоскости экватора.

По отношению и к этим силам Земля — пластичное тело. Ее свойства зависят от характера действующих на нее сил.

Вещество, из которого состоит внутри Земля, — такая же твердая жидкость, как асфальт, сургуч или стекло. Но перемещение частиц в такой среде встречает большое препятствие из-за ее вязкости.

Вязкость неодинакова у разных жидкостей.

Частицы воды перемещаются почти без задержки. Это легко видеть, мешая ложкой чай в стакане. Но попробуйте помешать жидкий мед или густое растительное масло — в них вязкость уже заметна: она препятствует ложке двигаться в этих жидкостях.

Как же велика вязкость твердых жидкостей?

Вязкость твердых жидкостей еще недостаточно изучена. Известно, правда, что с повышением температуры она уменьшается, а с увеличением давления увеличивается.

Однако вязкость не только асфальта, но и значительно более твердого сургуча очень мала по сравнению с вяз-

костью пластичных горных пород внутри Земли. Вязкость, которую должны преодолеть перемещающиеся частицы Земли, во много раз больше вязкости твердого сургуча.

Если бы Земля состояла из твердого сургуча, то она гораздо скорее сплюснулась бы у полюсов, чем это могло бы произойти с земным шаром, сложенным из горных пород.

Изменение формы твердой, но пластичной Земли под действием центробежных сил потребовало большого периода времени.

В этом отличие пластичных изменений формы Земли от упругих, которые происходят без замедления, как, например, поднятие бугра «твердого» прилива.

Если бы Земля стала вращаться медленней, то центробежные силы, действующие на ее частицы, уменьшились бы.

Частицы вод океанов сразу же переместились бы дальше от экватора, и на материки хлынула бы огромная волна.

Под земной корой началось бы перемещение пластичного вещества Земли от экватора к полюсу. Оно происходило бы чрезвычайно медленно вследствие его вязкости. Земная кора, лежащая на подкоровом слое, испытала бы разного рода деформации, то есть изгибы, разломы и смятие в складки. Она оказалась бы слишком сплюсненной для новой скорости ее вращения и стала бы, хотя и чрезвычайно медленно, «выпрямляться». Но, к счастью для человечества, такая катастрофа ему не угрожает: Земля лишь незаметно изменяет скорость вращения вокруг оси.

Пластичность вещества внутри Земли объясняет возможность медленного поднятия и опускания материков.

Давно замечено, например, что Скандинавский полуостров все выше поднимается над уровнем моря.

В фьордах Норвегии можно видеть железные кольца для причала морских судов на высоте до десяти и более метров над уровнем воды. Конечно, они были вбиты средневековыми норманнами на уровне моря. Но берег все поднимался, и теперь эти кольца находятся высоко над водой.

Чтобы убедиться в продолжающемся поднятии берега, шведский ученый XVIII века Цельзий делал зарубки на

прибрежных скалах. Через несколько десятков лет стало очевидно, что берег поднимался на 1,27 сантиметра в год.

В то же время берег Голландии все время опускается. Чтобы предохранить свои луга и поля от затопления морем, трудолюбивый голландский народ должен все выше поднимать плотины по берегу Северного моря.

Значит, пластичная внутри Земля уступает постоянному давлению массивных глыб материков. Одни из этих глыб медленно оседают, а другие «всплывают».

Каково же строение Земли, имеющей такие свойства?

Это удалось узнать, наблюдая прохождение через тело Земли волн далеких землетрясений.

МАЯТНИК И СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Земная кора и более глубокие части Земли находятся в напряженном состоянии, и то в одном, то в другом месте Земли происходят мгновенные сдвиги, сопровождающиеся образованием трещин.

Сильно вздрагивает Земля. Толчок иногда бывает так силен, что обрушиваются скалы, разрушаются здания.

Это катастрофические землетрясения.

От центров землетрясений распространяются во все стороны колебания: одни идут по поверхности Земли, другие — через ее глубины.

Удар землетрясения происходит на глубине нескольких десятков, а иногда и сотен километров. Прямо над местом подземного удара ощущается толчок, направленный вверх.

Во время землетрясения в 1797 году в Риобамба люди и лежавшие на земле предметы подбрасывались высоко вверх.

Чем дальше от центра землетрясения, тем удары становятся наклоннее и наконец переходят в горизонтальные толчки.

Землетрясение — стихийное бедствие. Его невозможно предотвратить. Но нельзя ли предвидеть заранее землетрясение и принять меры к спасению людей и домашних животных?

Эта мысль издавна занимала ученых.

В нашей стране над этой задачей работают ученые-геофизики на специальных геофизических станциях.

Землетрясение — толчок, происходящий от сдвига в земной коре или под ней в процессе формирования горных хребтов.

За несколько дней до сдвига пласты начинают изгибаться, их наклон по отношению к горизонту меняется. И это явление можно заметить с помощью горизонтально-го маятника.

Такие наблюдения и производились В. Ф. Бончковским начиная с 1937 года. Они были начаты им в Алма-Ате и продолжены в других районах Средней Азии.

На наклон пластов, кроме горообразовательных процессов, влияют изменения температуры, атмосферного давления и другие явления природы.

Чтобы ослабить все эти влияния, приборы для измерения наклона помещают в глубоких штольнях. Но и при этой предосторожности в наблюдения приходится вводить много поправок.

Там, где землетрясения часты, ученые издавна пытались установить наблюдения над ними.

В каком направлении происходят колебания почвы? Откуда они приходят? Какова их амплитуда, или размах?

Все эти вопросы интересовали строителей больших зданий в местах, подверженных землетрясениям. Имея эти сведения, они могли бы возводить здания, которые выдерживали бы толчки землетрясений.

Нужен был автоматический прибор — сейсмограф, — который не требовал бы управления и сам регистрировал подземные толчки. Его удалось построить, используя также свойства маятника.

Наблюдая за длинным простым маятником во время ощутимого землетрясения, мы заметили бы, что он колеблется. Но это — обманчивое впечатление. В действительности груз маятника по инерции остается в покое. Сдвигается же из стороны в сторону почва.

Если снабдить конец маятника пером, то на движущейся под ним бумажной ленте он записал бы колебания почвы.

Однако вертикальный маятник не пригоден для применения в сейсмографе: под влиянием колебаний почвы он и сам начинает раскачиваться. А это явление, конечно, искажает картину сдвигов почвы.

Чтобы маятник не раскачивался, его период собствен-

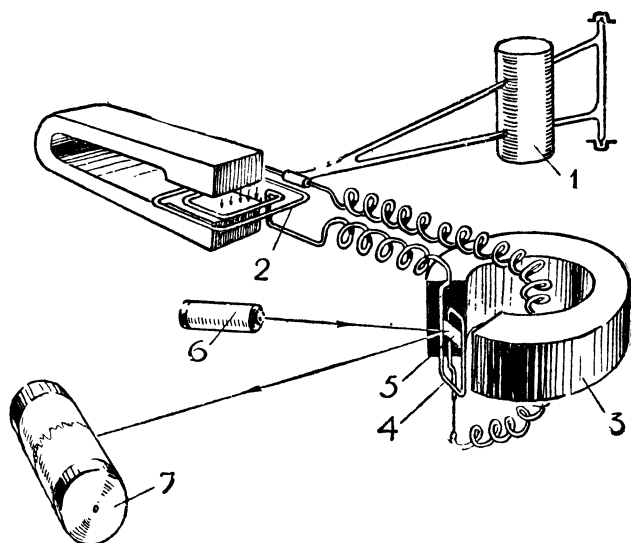


Схема гальванометрического метода регистрации колебаний почвы:
 1 — маятник сейсмографа; 2 — индукционная катушка; 3 — магнит
 зеркального гальванометра; 4 — катушка гальванометра; 5 — зер-
 кальце, скрепленное с катушкой гальванометра; 6 — источник света;
 7 — барабан регистрирующего аппарата.

ных качаний должен быть очень длинным — в несколько раз длиннее периода колебаний почвы.

Конечно, невозможно брать для этого очень длинные маятники. Гораздо проще взять горизонтальный маятник, какой применяется, например, для измерения лунного притяжения на поверхности Земли.

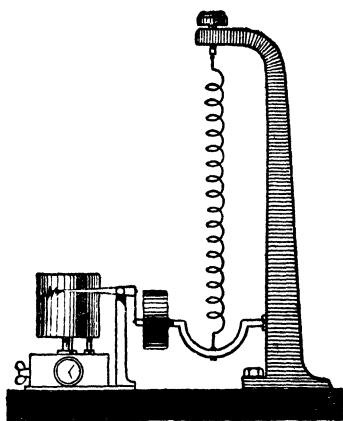
Мы уже знаем, как подвешен этот горизонтальный маятник с помощью двух нитей. Его колебания могут быть такими же медленными, как у вертикального маятника в сотни метров длиной.

А сам он свободно может поместиться в небольшом ящике.

Такой маятник отразит, не раскачиваясь, только сдвиги почвы.

Сейсмограф служит для регистрации не только близких, но и очень далеких землетрясений.

Когда в Земле происходит толчок землетрясения, от него во все стороны расходятся волны колебаний, подоб-



Принцип устройства вертикального сейсмографа.

но лучам света от зажженной лампы. Они распространяются на огромные расстояния, но при этом очень ослабевают.

Колебания, пришедшие в Москву от землетрясения, скажем, в Японии, проявляются сдвигами почвы в десятые или даже сотые доли миллиметра.

Как же заметить такие микроскопические сдвиги? Для этого применяются различные устройства.

Можно усилить показания прибора, например, с помощью легких и длинных рычагов. Соединенное с рыча-

гом перо будет прочерчивать на движущейся закопченной ленте зигзагообразную черту.

Еще чувствительнее оптическая регистрация. При колебаниях маятника слегка поворачивается то в одну, то в другую сторону связанное с ним зеркальце. Эти повороты ничтожны по величине. Но отражающийся от зеркальца «зайчик» заметно передвигается по светочувствительной движущейся ленте. Он запечатлевает свой путь в виде непрерывной волнистой или зигзагообразной линии — сейсмограммы.

Наиболее совершенные сейсмографы в начале нынешнего века были построены известным русским ученым-физиком Б. Б. Голицыным. Они позволяли регистрировать колебания, прошедшие через глубины Земли.

В сейсмографе Голицына на конце маятника укреплен коробочка с витками проволоки, находящаяся между полюсами электромагнитов.

При колебаниях маятника в витках проволоки возникает ток, который направляется в чувствительный гальванометр. Отклонения же гальванометра регистрируются с помощью соединенного с ним зеркальца.

Но почва не только сдвигается из стороны в сторону. Она колеблется и по вертикали. Эти колебания улавливаются с помощью особого прибора. Для этого служит

стержень с грузом на конце, подвешенный за середину на спиральной пружине. Другой конец его подвижно укреплен на стойке.

При вертикальном колебании почвы груз по инерции остается в покое, а штатив вместе с почвой движется то вверх, то вниз. Это относительное движение с помощью различных усиливающих устройств записывается на ленте.

Советские ученые и конструкторы построили ряд еще более совершенных приборов, которые по своей чувствительности являются лучшими в мире.

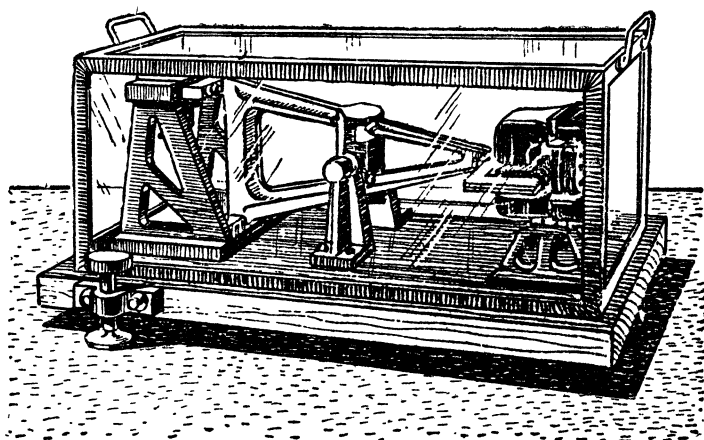
Таковы, например, сейсмографы геофизика Д. П. Кирноса.

В основном они устроены так же, как и сейсмограф Б. Б. Голицына. Но удачное изменение деталей значительно улучшило качество прибора.

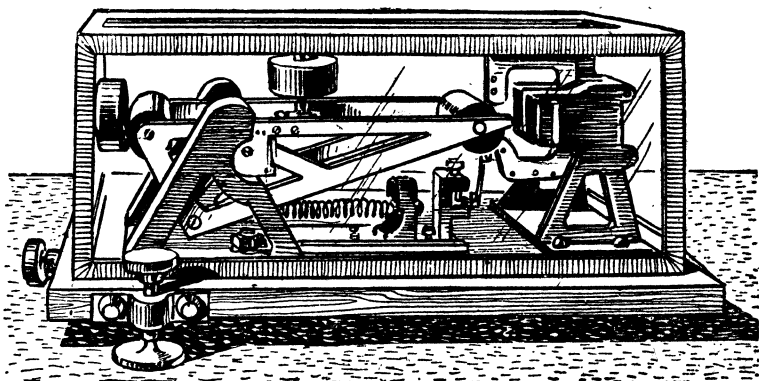
Сейсмограф — недремлющий «телеграфист». Он автоматически записывает сдвиги почвы.

На каждой станции устанавливается по два горизонтальных и по одному вертикальному сейсмографу.

Приборы регистрируют сдвиги в направлениях восток — запад, север — юг и колебания по вертикали.



Горизонтальный сейсмограф Д. П. Кирноса. Рама маятника с обмоткой колеблется в горизонтальной плоскости между полюсами сильного магнита. В обмотке при колебаниях возникает ток, действующий на гальванометр, отклонение стрелки которого позволяет судить о колебаниях почвы.



Вертикальный сейсмограф Д. П. Кирноса.

Задача наблюдений — определить направление, по которому пришли колебания, так называемый сейсмический луч.

Сейсмические лучи, проходя через различные глубины Земли, неоднократно преломляются. Их путь приблизительно представляет собой дугу круга, обращенную выпуклостью к центру Земли.

Для определения направления распространения колебаний, прошедших через большие глубины, очень важно знать, под каким углом выходят сейсмические лучи на поверхность.

Сопоставляя колебания с востока на запад и с севера на юг с колебаниями по вертикали, можно найти направление выхода луча в пространстве.

По углу выхода и расстоянию от центра землетрясения возможно определить и путь, по которому колебания прошли через глубины Земли.

Изучая приход на различные станции одних и тех же волн, ученые сумели вычислить скорость их движения на различной глубине.

Оказывается, что чем глубже, тем быстрее движутся волны колебаний.

Быстрый рост скорости продолжается, как доказывает советский геофизик Е. Ф. Саваренский, лишь до глубины 900—1000 километров. Он зависит от изменения упругих

свойств горных пород под влиянием давления внутри Земли.

На больших глубинах интенсивность роста скорости уменьшается. Но все же до глубины 2900 километров скорость распространения волн растет и достигает на этой глубине уже 13,64 километра в секунду.

Однако на глубине немного более 2900 километров скорость распространения волны сразу, скачком, уменьшается до 8 километров в секунду.

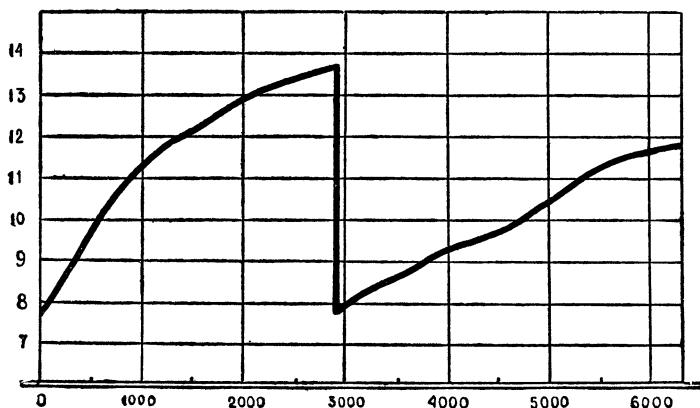
Значит, на этой глубине существует резкая граница между оболочкой Земли толщиной 2900 километров и земным ядром.

Изучая прохождение упругих колебаний через тело Земли, удалось узнать, в каком состоянии находится вещество ее на различных глубинах.

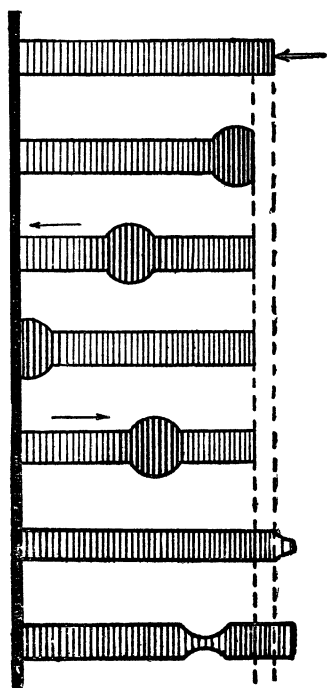
Упругие колебания бывают двух родов: продольные и поперечные.

Продольные колебания можно вызвать, ударив молотком в торец толстого стержня, заделанного одним концом в стену. Они передаются подобно толчку паровоза от вагона к вагону.

В стержне возникнет при этом волна сжатия, и он уко-



Кривая, изображающая скорость распространения сейсмических продольных волн на различной глубине. По горизонтали отложены глубины (в километрах), по вертикали — скорости распространения волн (в километрах в секунду).



Распространение продольных колебаний. Волна сжатия, достигнув стены, отражается и движется в обратном направлении. Дойдя до конца стержня, она переходит в волну расширения.

Но возникают при этом и другие — поперечные — колебания. Они подобны тем, которые происходят, например, в тонком стержне, концы которого заделаны в стены, если по нему ударить возле одного конца молотком.

Частицы металла под действием удара опустятся, и образуется прогиб. Это движение будет передаваться от одних частиц к другим, и прогиб станет перемещаться к другому концу стержня.

Достигнув стены, волна колебаний пойдет обратно, но

ротится. Дойдя до стены, волна отразится и пойдет к свободному концу. Когда она дойдет до конца, стержень удлинится. Возникает волна расширения, которая движется вдоль стержня к стене. Эти волны подобны звуковым.

Звук — быстрое колебательное движение частиц воздуха или другой среды, воспринимаемое ухом. От источника звука расходятся сферические волны. Каждая частица воздуха движется при этом то вперед, то назад по направлению звуковых лучей. В результате вокруг источника звука образуются попеременно сменяющие друг друга слои сгущения и разрежения воздуха.

Такие волны возникают и распространяются как в твердой, так и в жидкой и газообразной среде. Поэтому мы можем, нырнув в воду, слышать звуки голосов, доносящиеся с берега. А далекий топот лошади лучше слышен, если приложить ухо к земле.

От толчка землетрясения также распространяются продольные колебания. О них мы до сих пор и говорили.

сдвиг частиц будет происходить уже в противоположную сторону.

Поперечные колебания возможны только в телах, частицы которых сопротивляются сдвигу. Значит, они могут возникать только в твердых телах.

Скорость распространения этих колебаний приблизительно в полтора раза меньше, чем продольных. На станцию наблюдения приходят от центра далекого землетрясения сперва продольные волны и только через некоторое время — поперечные. Поэтому безошибочно можно видеть, когда пришли именно поперечные волны.

Выход продольных волн с помощью сейсмографов регистрируется по всей земной поверхности, кроме полосы сейсмической «тени», о которой мы скажем дальше.

Но наблюдать прохождение поперечных волн через земное ядро пока еще не удалось. По-видимому, земное ядро не пропускает их, то есть ведет себя как жидкое тело.

С углублением в земное ядро скорость движения сейсмических волн постепенно возрастает. Как открыли недавно советские геофизики, на расстоянии 1300 километров от центра Земли скорость распространения волн снова резко увеличивается.

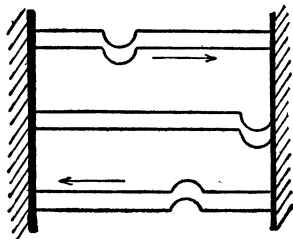
Можно предполагать поэтому, что внутри «жидкого» ядра диаметром 7000 километров находится твердое внутреннее ядро, диаметр которого около 2600 километров.

Но и «жидкое» ядро, не пропускающее поперечных колебаний, конечно, не похоже на знакомые нам жидкости.

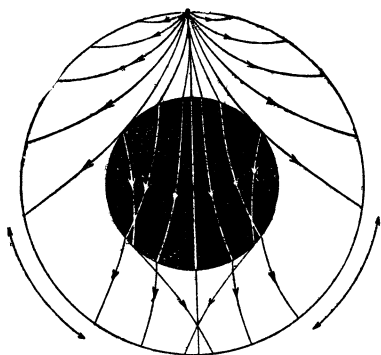
Ядро Земли находится под давлением 2—3 миллионов килограммов на квадратный сантиметр. Под таким огромным давлением жидкость становится чрезвычайно вязкой.

Поэтому «жидкое» ядро Земли, не пропуская поперечных колебаний, в других отношениях очень сходно с твердыми телами.

Проходя через земное ядро, продольные сейсмические лучи



Распространение поперечных колебаний в металлическом пруте. Достигнув стены, колебания меняют направление.



Сейсмические лучи, переходя из одного слоя в другой, преломляются и постепенно загибаются к земной поверхности. Проходя через земное ядро, они преломляются подобно лучам света в стеклянной линзе.

преломляются в нем, подобно тому как лучи света в двояковыпуклой стеклянной линзе. Они концентрируются позади него.

Колебания же, не попадающие на ядро Земли, распространяются по кривым линиям, обращенным выпуклостью к ядру.

Поэтому между выходом лучей, преломленных земным ядром и касающихся его, на земной поверхности лежит полоса, на которой не наблюдается выхода сейсмических волн. Это так называемая сейсмическая тень.

Так, изучая распространение упругих колебаний от центра землетрясения, ученые разгадали строение Земли.

Вот почему основатель русской геофизики, или науки о физических свойствах Земли, Б. Б. Голицын сравнил удар землетрясения с фонарем, который зажигается на мгновение и освещает нам внутренность Земли.

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

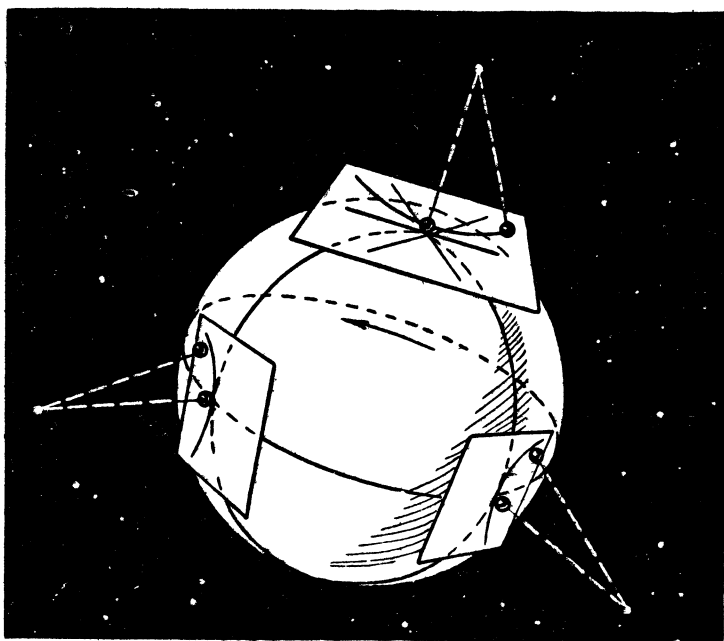
Наблюдая небо в течение ночи, мы видим, что звезды движутся так, будто все небо, точно твердый купол, вращается вокруг невидимой оси. Один конец этой «оси мира» упирается в небо вблизи Полярной звезды, а другой — в противоположную точку Южного полушария небесной сферы.

Древние греческие философы объясняли это явление тем, что звезды прикреплены к внутренней поверхности твердой сферы, которая вращается на мировой оси. И мировую ось они считали не воображаемой, а материальной. Один из римских инженеров даже дал чертеж подпятника наклонной мировой оси.

Правда, некоторые из древних ученых понимали, что

круговращение звезд можно проще объяснить вращением самой Земли. Но состояние физики и механики в то время не позволило им остановиться на этом представлении.

Вот что писал, например, астроном древности Клавдий Птолемей: «Существуют люди, которые утверждают, будто бы ничто не мешает допустить, что небо неподвижно, а Земля вращается около своей оси от запада к востоку и что она делает такой оборот каждые сутки. Правда, говоря о светилах, ничто не мешает для большей простоты допустить это, если принимать в расчет только видимые явления. Но эти люди не сознают, до какой степени смешно такое мнение, если присмотреться ко всему, что совершается вокруг нас в воздухе».



На полюсе Земли плоскость колебаний маятника, сохраняя положение относительно звезд, поворачивается относительно земной поверхности с востока на запад. На экваторе положение плоскости его колебаний не меняется относительно земной поверхности.

Как казалось Птолемею, воздух и летающие птицы должны отставать от вращающейся поверхности Земли.

В течение всего средневековья суточное движение неба объяснялось вращением «хрустальной» небесной сферы с прикрепленными к ней звездами. Только Коперник отверг это примитивное представление о Вселенной.

«Сфера звезд» имеет огромные размеры. Если бы она оборачивалась в течение суток вокруг оси, то скорость движения звезд была бы невообразимо велика.

Если даже согласиться с вращением «сферы звезд», то почему же в нем участвуют и движущиеся по небу между звездами планеты которые не могут быть связаны с этой сферой?

Очевидно, нам только кажется, что все светила вращаются, подобно тому как «идут кругом» дома и деревья в глазах катающегося на карусели.

Вращение Земли прекрасно объяснило суточное движение звезд. Оно выводило из затруднения ученых-астрономов.

Но Коперник еще не мог опровергнуть возражения Птолемея против идеи о вращении Земли.

Это сделал только Галилей, открывший закон инерции тел. Он указал, что поднявшиеся в воздух птицы могут летать, не отставая от вращающейся земной поверхности, как летают мухи в каюте корабля, не отставая от его движения вперед.

Находясь на Земле, мы не ощущаем ее вращения так же, как не чувствуем движения плавно идущего под парусами корабля.

Но было бы неправильным сказать, что мы «не замечаем» вращения Земли: на самом деле мы его замечаем по видимому перемещению внеземных предметов — звезд, подобно тому как по кажущемуся движению видимых из окна вагона телеграфных столбов мы заключаем о ходе поезда.

Но неужели мы никогда не узнали бы о вращении Земли, если бы не видели кажущегося движения внеземных тел? Ведь могло случиться, что Земля была бы окутана сплошным, непроницаемым слоем облаков, как, например, ее соседка — планета Венера.

Как бы тогда мы могли узнать о вращении Земли?

Оказывается, и в этом случае маятник помог бы нам открыть вращение Земли.

Как доказывают опыты, маятник стремится сохранить плоскость своих колебаний.

Сделаем такой опыт.

Станем вращать подставку, на которой подвешен маятник, так, чтобы ось вращения проходила через точку его подвеса.

Это вращение не окажет никакого влияния на направление колебаний маятника. Если он качался в направлении угла комнаты, то и при вращении штатива будет колебаться так же.

Но относительно подставки плоскость его качаний, очевидно, будет поворачиваться.

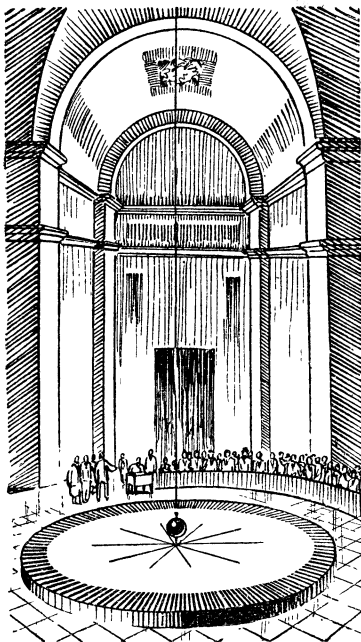
То же происходит и на вращающейся Земле, которая служит «подставкой» для маятника: длинный, тяжелый маятник, продолжающий колебаться в течение нескольких часов, позволяет наблюдать это.

Маятник должен качаться, не меняя направления относительно предметов, не связанных с его «подставкой» — Землей. Но относительно Земли плоскость его поворачивается в направлении, обратном ее вращению.

Если бы можно было наблюдать колебания длинного маятника на полюсе, то мы видели бы замечательное явление: маятник, колеблющийся в направлении какой-либо звезды, следовал бы за ней в течение ее кругового суточного движения над горизонтом.

Наблюдателю же, считающему Землю неподвижной, казалось бы, что плоскость колебаний маятника поворачивается с востока на запад.

Так с помощью маятника неопровержимо доказано, что Земля вращается с запада на восток.



Опыт с маятником, произведенный в Ленинграде, в здании Исаакиевского собора.

Опыт с маятником был повторен в 30-х годах текущего века в Ленинграде, в здании бывшего Исаакиевского собора.

Маятник длиной 98 метров был подвешен к куполу собора. Инерция тяжелого груза этого маятника поддерживала его колебания в течение нескольких часов.

Наблюдатели могли еще раз убедиться, что плоскость колебаний маятника относительно стен собора поворачивается с востока на запад, то есть против вращения Земли.

Был сделан еще в начале прошлого века и другой опыт, позволивший судить о ее вращении. Пробовали сбрасывать с вершины башни маленькие металлические шарики.

Вершина башни при вращении Земли описывает больший круг, чем основание. Значит, линейная скорость вершины так же больше. Падающий с башни металлический шарик сохраняет по инерции свою скорость. Вследствие этого он должен в течение времени падения немного обогнать основание башни. Действительно, шарик падал чуть-чуть восточнее отвеса, спущенного с вершины башни, обгоняя в движении на восток ее основание.

Так на опыте доказано вращение Земли.

Земля вращается не так, как маховик паровой машины: у маховика вал закреплен, а у Земли — свободная воображаемая ось.

Возле закрепленной оси тело может вращаться даже в том случае, если она не проходит через его центр тяжести. Но все-таки и маховику придается симметричная форма, чтобы вал проходил через его центр тяжести: если бы какая-нибудь часть маховика была тяжелее других, то в ней возникла бы большая центробежная сила, которая изгибала бы вал.

Землю лучше сравнить с вращающимся волчком, хотя и у него ось вращения не вполне свободна: один конец ее связан трением с полом.

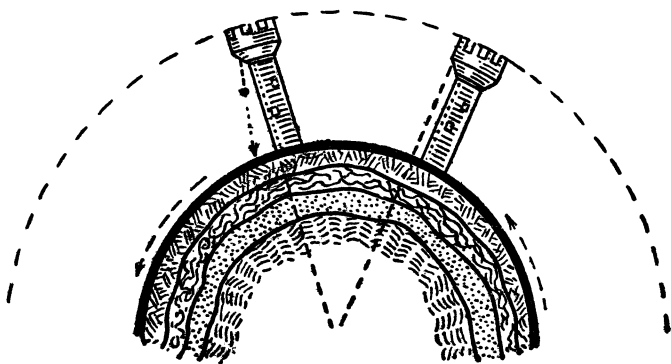
Волчок — симметричное тело относительно своей оси, вокруг которой он вращается.

Если прикрепить к волчку сбоку кусочек свинца, то центр тяжести переместится. Ось волчка уже не будет проходить через его центр тяжести. Запустив такой волчок, мы увидим, что ось его колеблется. Это происходит потому, что теперь волчок вращается не вокруг нее, а во-

круг другой, воображаемой оси, проходящей через новый центр тяжести волчка.

Земля — свободно вращающееся тело. Она может вращаться неопределенно долго только вокруг короткой оси земного эллипсоида. Если же она вращается вокруг оси, не совпадающей с короткой осью эллипсоида, то положение оси вращения будет непрерывно меняться, стремясь приблизиться к ней путем вращательного движения.

Пересечение воображаемой земной оси вращения с поверхностью Земли — точки полюсов. Значит, положение



Шарик, падающий с вершины башни, сохраняя по инерции линейную скорость вращения вокруг земной оси, немного отклоняется от вертикали к востоку. На рисунке это отклонение для наглядности сильно преувеличено.

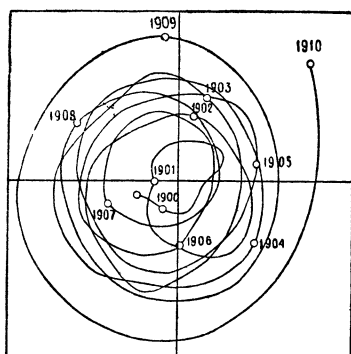
полюсов постоянно меняется, хотя и на небольшую величину.

Это открытие очень огорчило бы географов, если бы перемещения были значительны. Но полюсы «странствуют» в пределах квадрата со стороны не более 20 метров.

Как ни малы эти перемещения, но они вполне реальны.

Точнейшие периодические измерения географической широты некоторых обсерваторий доказали, что она чуть-чуть меняется. Притом, когда по одну сторону от полюса она увеличивается, то по другую настолько же уменьшается.

Это явление, установленное в прошлом веке, — неопро-



Перемещение Северного полюса. Цифрами обозначено положение его в начале года.

вержимое доказательство движения полюсов по земной поверхности.

Не остается неизменной и скорость вращения Земли. Это стало известно, когда обнаружилось кажущееся ускорение движения Луны по ее орбите.

Еще английский астроном Галлей заметил ускорение движения Луны. Он сравнивал наблюдения лунных затмений, сделанные в древности, с теоретически вычисленными сроками и нашел, что Луна с тех пор ускорила свое движение по орбите.

Это кажущееся ускорение движения Луны объяснено теперь замедлением вращения самой Земли. Правда, оно незначительно. Сутки удлиняются только на 0,0005 — 0,0014 секунды за каждые сто лет (по наблюдениям за последние двести пятьдесят лет).

Сутки служат мерой продолжительности лунного обращения. Так как они становятся длиннее, то между двумя новолуниями теперь умещается меньше суток. Поэтому и кажется, будто Луна стала двигаться быстрее.

Как ни незначительно наблюдающееся в течение ста лет удлинение суток, но в течение геологических периодов, длившихся сотни миллионов лет, изменение длины суток стало очень заметным.

Со времени же образования древнейших горных пород, выходящих на поверхность Земли, прошло около двух миллиардов лет. За это время длина суток должна была увеличиться приблизительно на восемь часов.

Если еще недавно изменение скорости вращения Земли можно было заметить по таким косвенным признакам, то в настоящее время для этого имеется и прямой способ. Это «кварцевые» и «атомные» часы, показания которых не зависят от вращения Земли или каких-либо астрономических наблюдений.

Как ранее продолжительность промежутков времени измеряли, сравнивая со скоростью вращения Земли, так

теперь скорость вращения Земли можно измерять по ходу «кварцевых» и «атомных» часов.

В «кварцевых» часах вместо маятника служит кварцевая пластинка, вырезанная соответствующим образом из кристалла. Такая пластинка, включенная в электрическую цепь, совершает колебания, которые могут быть использованы для регулирования хода часов.

Погрешность хода «кварцевых» часов не превышает двух—трех десятитысячных долей секунды в сутки.

Изменения скорости вращения Земли достигают такой величины. Они могут быть замечены при помощи «кварцевых» часов, построенных советскими учеными.

В «атомных» часах роль маятника играют колебания молекул газа, возбуждаемые и поддерживаемые ультразвуковым током.

Не описывая сложное устройство этих часов, скажем только, что ход их регулируется колебаниями молекул аммиака.

Колебания молекул газа обладают неизменной частотой. Они служат более надежным мерилем времени, чем скорость вращения Земли.

Постоянное, или вековое, замедление вращения Земли объясняется действием приливов.

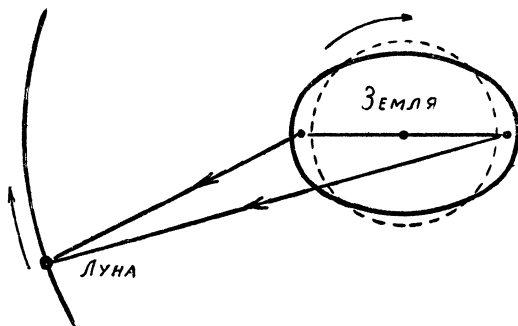
Если бы вода океана не обладала внутренним трением, то бугор прилива поднимался бы прямо под Луной. Но поднятие его вследствие некоторой вязкости воды запаздывает. Поэтому водный бугор выносится вращением Земли вперед.

Луна притягивает к себе бугор прилива, задерживая вращение Земли. Со своей стороны, и бугор притягивает Луну, ускоряя ее движение по орбите.

Двигаясь немного быстрее, Луна, подобно вращаемой на резинке гирьке, чуть-чуть удаляется от Земли.

Так очень медленно увеличиваются сутки и период обращения Луны — месяц. Но сутки удлиняются быстрее, чем месяц. Поэтому в чрезвычайно далеком будущем они сравняются с ним: Земля будет вращаться вокруг оси в такой же период, в какой Луна будет обращаться вокруг нее.

Подобно тому как теперь Луна обращена к Земле одной и той же стороной, тогда будет освещаться Луной только одно полушарие Земли. Луна будет неподвижно стоять в одной и той же точке неба.



Луна притягивает ближайший к ней бугор прилива с большей силой, чем далекий. Поэтому она задерживает вращение Земли. Стрелками показано направление притяжения Луной бугров прилива.

Кроме постоянного замедления вращения Земли, замечены еще скачкообразные изменения скорости вращения: Земля немного то замедляет, то ускоряет свое вращение. Но эти изменения так малы, что заметить их можно только при помощи точнейших наблюдений.

Причина этих случайных изменений скорости вращения Земли еще не выяснена учеными.

КОЛЕБАНИЯ ЗЕМНОЙ ОСИ

Подобно тому как маятник колеблется под действием тяжести, сама Земля совершает колебания под влиянием тяготения к Луне и Солнцу.

Чтобы легче представить себе, что происходит с Землей, вообразим на минуту, что она не вращается. Пусть и Луна не движется по своей орбите и оба тела неподвижно висят в пространстве.

Такое положение невозможно, так как оба тела тяготеют друг к другу. Но это воображаемый опыт, который позволит понять некоторые явления, происходящие в действительности.

Земля не правильный шар, она вытянута в плоскости экватора.

Выделим мысленно в ней шар с радиусом, равным полярной полуоси. Поверхность шара коснется полюсов и отделит вздутие в плоскости экватора. Это вздутие, точно обруч, опоясывает земной шар. Наибольшая толщина его 21,5 километра.

«Обруч» не лежит в плоскости лунной орбиты, а Луна притягивает к себе его ближайшую часть сильнее, чем отдаленную.

Что же должно произойти?

Чтобы легче представить себе это, сделаем из картона плоское кольцо и прикрепим его к вязальной спице так, чтобы она совпала с одним из диаметров кольца. Затем устроим на кольце привесок из свинцовой пломбы и положим концы спицы на подставки.

Под тяжестью пломбы кольцо немедленно же станет вертикально. Если мы его отклоним, оно начнет колебаться.

То же должно происходить и с «обручем» Земли.

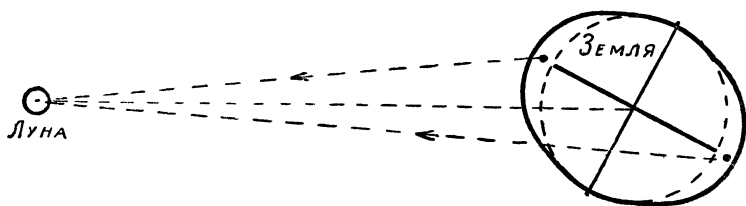
Притяжение Луной будет поворачивать его в плоскость лунной орбиты так же, как земное притяжение влечет кольцо в вертикальную плоскость.

Но ведь «обруч» — только мысленно отделенная часть Земли. Он тесно связан с земным шаром.

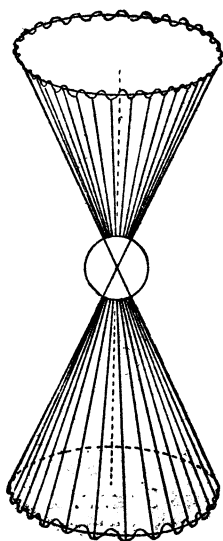
Значит, поворот «обруча» в плоскость лунной орбиты — это поворот всего земного шара и его воображаемой оси вращения.

Достигнув этой плоскости, «привесок» не остановился бы. Подобно маятнику, он по инерции продолжал бы двигаться, пока не удалился бы от плоскости лунной орбиты на прежнее расстояние.

Тогда он начал бы обратное движение.



Луна притягивает ближайшую к ней часть экваториального вздутия Земли с большей силой, чем далекую. Поэтому она стремится повернуть экваториальное вздутие в плоскость своей орбиты.



Движение земной оси вращения в пространстве. Угол наклона ее к плоскости, в которой движется Земля вокруг Солнца, остается неизменным.

Земля, если бы она не вращалась, совершала бы вечно колебания, ничем не отличающиеся от колебаний физического маятника.

Но земной шар вращается.

Поэтому притяжение Луной «обруча» действует так же, как влияет земное притяжение на вращающийся волчок.

Волчок не мог бы служить забавной игрушкой, если бы не обладал замечательным свойством: сохранять в пространстве направление своей оси вращения. При малейшем наклоне он немедленно падал бы на пол. Но это свойство поддерживает его, и он вращается, бегая по полу.

Однако притяжение Землей наклонного волчка не остается без последствий: правда, оно не может повалить его набок, зато заставляет волчок совершать знакомое всем кругообразное движение. Ось волчка движется при этом по поверхности воображаемого конуса с вершиной в точке соприкосновения ее с полом.

То же происходит и с Землей.

Как мы только что говорили, притяжение Луны стремится повернуть ось вращения ее по направлению к плоскости своей орбиты. Однако вращение Земли препятствует этому. Земная ось не меняет своего наклона. Подобно волчку, она лишь описывает поверхность конуса.

Но ведь мысленное продолжение земной оси до пересечения с воображаемой небесной сферой есть ось мира, вокруг которой совершается кажущееся суточное круговращение звезд. А сама точка пересечения — полюс мира.

Так как земная ось описывает в пространстве поверхность конуса, то и полюс мира не остается неподвижным. Он движется по кругу.

В наше время полюс мира близок к Полярной звезде. Через двенадцать тысяч лет он будет находиться возле самой яркой звезды Северного полушария — Веги. А че-

рез двадцать пять тысяч семьсот лет опять возвратится к Полярной звезде.

Это — главнейшее из колебаний Земли. Есть еще другие периодические отклонения ее, а следовательно, и колебательные движения самой Земли. Они гораздо менее значительны и вызываются подобными же причинами.

МАССА И СОСТАВ ЗЕМЛИ

С помощью маятника (отвеса) ученые определили и «вес» Земли, то есть ее массу.

Казалось бы, что проще всего определить массу Земли по ее объему. Известно, что в среднем кубический метр горных пород весит 2,7 тонны. Нетрудно вычислить и объем земного шара по его радиусу.

Но ведь мы не знаем, из чего состоит Земля внутри. В руки ученых не попадают образчики вещества Земли даже с глубины 100—200 километров, а не только 2000 — 3000 километров. Быть может, глубже 100 километров Земля состоит не из таких горных пород, как земная кора, а из гораздо более плотных. Такой вопрос стоял перед учеными XVIII века.

Значит, нужен был другой способ определения массы Земли.

Для решения этой задачи ученые воспользовались свойством тел притягивать друг друга с силой, пропорциональной их массе и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Сила притяжения любого тела Землей — это его вес. Если бы можно было измерить притяжение маленького шарика большой гирей весом, скажем, 10 килограммов, то можно было бы сравнить массу Земли с массой этой гири.

Однако об этом ученые XVIII века даже не мечтали. Сам Ньютон, открывший закон тяготения, был уверен, что никогда не удастся заметить притяжения между телами таких небольших размеров. Поэтому по мысли, поданной Ньютоном, ученые решили попытаться измерить притяжение небольшого тела очень большим, например горой.

Это можно было сделать с помощью отвеса, повешенного вблизи горы. Если гора притянет немного грузик от-



Отклонение отвеса от вертикали или перпендикуляра к поверхности земного эллипсоида притяжением горы. Угол отклонения для наглядности сильно преувеличен.

веса, то отклонение его можно заметить с помощью точных измерений.

Чтобы точнее измерить отклонение отвеса, наблюдение производят в двух пунктах, расположенных симметрично относительно горы. Отклонение отвеса в этом случае происходит в противоположных направлениях, и его легче заметить.

Такой опыт удался. Отклонение отвеса горой было измерено еще в первой половине XVIII века несколькими астрономами.

Нужно было только определить массу горы и расстояние отвеса от ее центра тяжести, чтобы вычислить массу Земли.

Для этого гору обмерили и определили ее объем. Затем взвесили кубический метр горных пород, из которых сложена гора. После этого нелегко было узнать и массу горы, помножив вес кубического метра горных пород на число кубических метров, заключающихся в ее объеме.

Зная массу горы и расстояние до ее центра тяжести, ученые вычислили, с какой силой должна притягивать отвес Земля, если бы она вся состояла из таких же горных пород, как гора.

Оказалось, что в таком случае она притягивала бы отвес гораздо слабее, чем в действительности.

Значит, ее средняя плотность значительно больше, чем плотность горы.

Такой опыт и вычисления несколько раз производились учеными XVIII века. Они тщательно обмеряли гору, чтобы поточнее определить ее объем и вес. Но это задача не из легких. Тут всегда возможны ошибки. Нелегко также найти точно центр тяжести горы и определить расстояние от него до отвеса. Поэтому ученые искали другие способы измерения «веса» Земли.

В конце XVIII века неожиданно для ученого мира удался замечательный опыт: было измерено притяжение маленького свинцового шарика большим шаром, хотя до того времени никто не поверил бы в возможность этого.

Нужен был необычайно чувствительный прибор, чтобы заметить притяжение свинцового шара.

Таким прибором оказались так называемые крутильные весы — особого рода маятник, колеблющийся в горизонтальной плоскости под влиянием сопротивления кручению нити.

Крутильные весы — легкий, тонкий стержень, подвешенный за середину на металлической или кварцевой нити. По концам стержня прикреплены маленькие свинцовые шарики.

Повернутый в горизонтальной плоскости и отпущенный, стержень начинает колебаться, подобно тому как колеблется обыкновенный маятник в вертикальной плоскости.

Период колебания его определяется такой же формулой, как и обыкновенного вертикального маятника. По периоду же колебаний можно вычислить силу сопротивления нити скручиванию.

Этот прибор был предложен физиком Кулоном для измерения притяжения между наэлектризованными или намагниченными телами.

Сопротивление тонкой нити скручиванию очень незначительно. Поэтому, как ни мало притяжение между небольшими телами, но оно способно закрутить тонкую нить.

Наблюдение за притяжением маленького свинцового шара к большому было одним из замечательнейших событий в истории науки.

Большие шары придвигаются к шарикам крутильных весов так, чтобы они находились по разные стороны от коромысла.

Сперва ничего не заметно. Но вот шары и шарики сближаются. Шарики начинают притягиваться к большим шарам. Они закручивают нить. По углу закручивания можно сказать, с какой силой большой шар притягивает маленький.

Остается сравнить притяжение маленького шарика большим шаром и Землей.

Но притяжение любого тела Землей служит причиной его тяжести. Значит, вес маленького шарика и есть сила притяжения его Землей.

Сравнив сопротивление скручиваемой нити с весом маленького шарика, можно узнать, во сколько раз притяжение Земли больше притяжения большого свинцового шара.

При этом, однако, нужно помнить и расстояние, на котором находится шарик от центра большого шара и центра Земли. Ведь и от него зависит сила притяжения.

Сделав все вычисления, ученые нашли, во сколько раз масса Земли больше массы большого свинцового шара. Она равна 6×10^{21} тонн.

Зная массу и объем земного шара, было легко вычислить и среднюю плотность Земли. Она равна 5,52, то есть Земля в 5,52 раза плотнее равного ей по объему водяного шара.

Зная среднюю плотность Земли, можно сделать некоторые предположения о ее составе.

Горные породы земной коры известны. Их средняя плотность не превышает 2,75. Значит, Земля состоит из каких-то горных пород, плотность которых превосходит в два раза плотность горных пород земной коры.

Какие же это горные породы?

По наблюдениям геологов, даже земная кора состоит из слоев различной плотности.

На материках под покровом осадочных пластов глин, песчаников, сланцев, известняков и толщей кристаллических сланцев лежит гранитная кора толщиной около 10 километров.

Под гранитной корой залегает сплошная базальтовая оболочка, простирающаяся до глубины 35 километров. Базальт плотнее горных пород гранитной коры и слоисто-

го покрова Земли. Он богаче их железом, и потому плотность базальтовой оболочки достигает 3,3.

По общепризнанному мнению ученых, под базальтовой корой лежит мощная оливиновая оболочка Земли. В состав ее входит в преобладающем количестве оливин — минерал темно-оливкового или бурого цвета, еще более богатый железом, чем базальт.

Геофизик Е. Ф. Саваренский, как мы уже говорили, установил, что на глубине 900—1000 километров меняется интенсивность увеличения скорости распространения упругих колебаний. Значит, на этой глубине изменяются упругие свойства Земли, зависящие от ее твердости и плотности.

Как думал советский ученый — академик А. Е. Ферсман, резкие изменения упругих свойств Земли происходят вследствие изменения ее состава. Поэтому он предполагал, что на глубине 1200 километров оливиновая оболочка сменяется оболочкой иного состава.

Приняв во внимание исследования Е. Ф. Саваренского и придерживаясь мнения А. Е. Ферсмана о причине изменения упругих свойств Земли, можно предположить, что состав Земли меняется на глубине 900—1000 километров.

Чем же сменяются оливиновые горные породы?

Никаких неоспоримых данных для суждения об этом нет.

Но А. Е. Ферсман и другие ученые делают предположение о составе центральных частей Земли, исходя из того, что Земля, как одно из космических тел, должна иметь исходный с ними состав.

По исследованиям астрофизиков, на Солнце и звездах из всех элементов очень много кислорода, кремния, алюминия, железа, магния, кальция, натрия и калия, то есть тех элементов, из которых состоит земная кора. Те же элементы входят в состав и падающих на Землю из космического пространства метеоритов.

Метеориты бывают каменные и железные. Кроме того, из их числа выделяют железо-каменные, или палласиты, названные так по имени русского академика XVIII века П. С. Палласа.

В каменных метеоритах, сходных с горными породами земной коры, много того же оливково-зеленого или бурого цвета минерала оливина, который образует и горные породы глубоких частей земной коры.

Железо-каменные метеориты представляют собой железную массу, в которую обильно вкраплены кристаллические зерна оливина.

Наконец, железные метеориты — это куски почти чистого металла железа с примесью никеля.

Из всего количества выпадающих на Землю метеоритов, как считал академик А. Е. Ферсман, каменных в четыре раза больше, чем железных.

Очень вероятно, что Земля и на больших глубинах состоит из элементов, широко распространенных в природе.

Но внутри Земли должно быть много тяжелых веществ. Иначе она не имела бы такую большую плотность. А из тяжелых элементов в природе больше всего железа.

Поэтому А. Е. Ферсман и считал, что глубже оливиновой оболочки залегает оболочка, сходная с железо-каменными метеоритами.

Наконец, земное ядро диаметром около 7000 километров состоит, по мнению А. Е. Ферсмана, подобно железным метеоритам, из чистого железа с примесью никеля.

Предположение о богатстве этим металлом внутренних частей Земли вполне естественно вытекает из наблюдаемого широкого распространения его в природе.

Такое предположение позволяет легко объяснить большую среднюю плотность Земли, которая была неопровержимо доказана опытом с крутильными весами еще в XVIII веке.

Правда, некоторые ученые, например геолог В. Н. Лодчиков, считают, что большая плотность Земли глубже земной коры объясняется только увеличивающимся с глубиной давлением.

Но по какому закону изменяется плотность с увеличением давления — это пока еще неизвестно, и все сделанные об этом предположения гадательны.

Несомненно, однако, что плотность Земли с глубиной возрастает, и давление, во всяком случае, играет в этом некоторую роль.

Когда была определена масса Земли, стало возможным вычислить и массу Солнца. Это можно сделать, сравнивая ускорение Земли к Солнцу с ускорением Луны к Земле.

Ускорение Луны к Земле зависит от массы Земли и квадрата расстояния между ними. Ускорение Земли к

Солнцу зависит от массы Солнца и квадрата расстояния между ними.

Эти ускорения можно определить, зная расстояние между Луной и Землей, а также между Землей и Солнцем. Если масса Земли известна, то легко вычислить и массу Солнца: она в триста тридцать тысяч раз больше массы Земли.

Зная же массу Солнца, можно вычислить и массы всех планет, имеющих спутников. Для этого нужно только сравнивать ускорения планет к Солнцу с ускорением спутника к планете.

Средняя плотность Марса оказалась близкой к плотности Земли. Что же касается Юпитера, Сатурна и Нептуна, то их средняя плотность найдена, считая объем этих планет вместе с их мощными атмосферами. Поэтому их средняя плотность по сравнению с Землей очень невелика — от 0,13 до 0,29 плотности Земли.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

„Вести“ из недр земли

Неисчислимы богатства скрыты в недрах земли.

Между слоями глин, сланцев и известняков залегают пласты каменного угля. В них заключены огромные запасы энергии, освобождающейся в топках паровозов и паровых котлов.

Нефть насыщает слои крупнозернистого песка и рыхлого, пронизанного трещинами песчаника. В ней содержатся бензин, керосин, смазочные масла.

Сгорая в двигателях, бензин поднимает под облака самолеты. Тракторы, автомобили, теплоходы движутся энергией, заключенной в нефти.

Залежи железных руд дают возможность бесперебойно снабжать сырьем металлургические заводы.

Рудные жилы служат источником меди. Без этого металла нельзя было бы построить бесчисленные двигатели и генераторы электрического тока, покрыть нашу страну сетью проводов, распределяющих энергию электростанций, осветить города и деревни электрическим светом.

Алюминий, свинец, цинк, ртуть и другие металлы также получают из руд, залегающих в недрах земли.

Много труда и времени затрачивалось геологами на поиски полезных ископаемых.

Но на помощь им пришли геофизики. Они построили чувствительные приборы, на показания которых действуют залежи полезных ископаемых, скрытые в недрах земной коры.

Если в земле находилось бы большое скопление более плотной руды, чем включающие ее горные породы, оно повлияло бы на силу тяжести: в районе залежи сила тяжести стала бы больше, чем она должна быть на этой географической широте. В районе скопления более легких масс, например каменной соли, сила тяжести, наоборот, стала бы меньше нормальной.

Как же изменит нормальную силу тяжести плотный наклонный пласт, скопление тяжелой руды, имеющее форму шара, или подземный соляной купол?

Это так называемая прямая задача. Она легко решается учеными: можно заранее сказать, как такие скопления меняют распределение силы тяжести на земной поверхности.

Но залежи руд влияют не только на силу тяжести.

Иногда в недрах земли встречаются скопления магнитных масс. Таковы, например, залежи магнитного железняка. Они изменяют естественное магнитное поле Земли. Компас в районе таких залежей может, например, северным концом стрелки указывать на восток или юг.

И в этом случае ученые могут легко решить прямую задачу: вычислить, как меняется направление магнитной стрелки в районе такой залежи, имеющей определенную форму.

Присутствие в земной коре залежи более плотной или менее плотной, чем окружающие ее горные породы, изменяет также скорость и направление сейсмических колебаний.

Если произвести в земле взрыв, то от него разойдутся во все стороны упругие колебания, подобно тому как это происходит во время землетрясения.

В однородной среде эти волны распространяются с постоянной скоростью. Но, встречая на пути горные породы иной твердости или плотности, они изменяют свою скорость и направление.

Ученые легко могут определить, как изменится скорость и направление сейсмического луча, встретившего

на пути наклонный пласт или залежь какой-нибудь иной формы. Как видим, прямая задача может быть решена во всех случаях.

Нельзя ли, однако, решить обратную задачу: наблюдая на земной поверхности изменения силы тяжести, распределение земного магнетизма и направление распространения сейсмических волн, определить форму и размеры залежи?

Оказалось, что это при некоторых условиях возможно. Посмотрим, как решают эту задачу геофизики.

Поиски и аномалия силы тяжести

Как мы знаем, сила тяжести на земной поверхности меняется в зависимости от географической широты места. Всегда можно заранее вычислить, какова она в любом пункте земной поверхности.

Но непосредственное наблюдение колебаний маятника доказывает, что в действительности сила тяжести немного отличается от вычисленной.

Если бы Земля состояла из шаровых слоев, плотность каждого из которых была бы равномерна, то мы не наблюдали бы аномалии силы тяжести.

В действительности плотность земной коры неравномерна. Одни части ее состоят из более плотных, другие — из менее плотных горных пород.

Эта разность плотностей влияет на нормальную силу тяжести, вычисленную для поверхности земного эллипсоида в пределах участков земной поверхности площадью в 1000 и более квадратных километров.

Изучение изменения силы тяжести на таких пространствах служит одним из способов определения положения поверхности геоида.

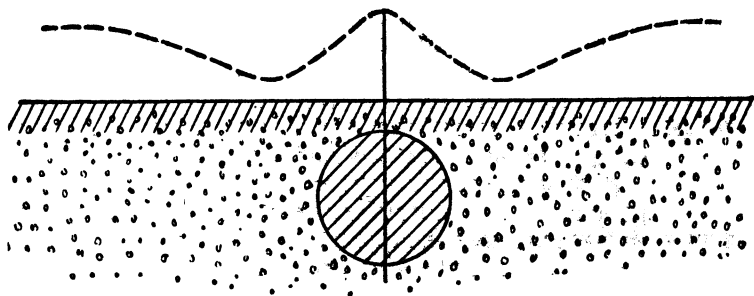
Но иногда изменения силы тяжести наблюдаются в пределах сравнительно небольшой площади. Такие аномалии могут зависеть от залегания в этой местности скоплений металлических руд, каменной соли и других полезных ископаемых.

Предположим, что в земной коре заключено шарообразное скопление тяжелых руд. Плотность их больше, чем окружающих горных пород. Поэтому сила тяжести над этим скоплением больше, чем вдали от него.

Приближаясь издали с чувствительным прибором к месту, под которым залегает скопление тяжелых веществ, мы заметили бы постепенное увеличение силы тяжести. Наибольшей величины она достигла бы над центром скопления. Затем, по мере удаления, она стала бы снова уменьшаться.

Когда прибор находится прямо над ним, эта сила по направлению совпадает с притяжением к центру Земли. Но чем дальше, тем больше она отклоняется от этого направления. Кроме того, она изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния.

Таким образом, легко рассчитать, как будет действовать на маятник шарообразное скопление тяжелых веществ, например с радиусом 70 метров, центр которого лежит на глубине 100 метров. Расчет показывает, что если плотность этого скопления на единицу больше плотности окружающих пород, то ускорение свободного падения над ним увеличится на 0,001 сантиметра за каждую секунду.



Пунктирная линия показывает, как меняется сила тяжести: чем выше линия, тем сила тяжести больше.

Значит, по аномалии силы тяжести в пределах небольших участков земной поверхности можно догадываться о присутствии в земной коре скоплений тяжелых или легких рудных масс.

На поиски этих скоплений геофизики отправляются с неизменным своим спутником — маятником.

Очень точный и чувствительный маятник — прекрасный прибор для поисков тяжелых руд, каменной соли и других полезных ископаемых

Над крупными скоплениями плотных руд колебания маятника ускоряются. Над скоплениями каменной соли, менее плотной, чем окружающие породы, они замедляются.

С помощью маятника легко находят пункты с наибольшей или наименьшей силой тяжести. Эти пункты лежат прямо над тяжелыми или легкими массами.

При удалении от них аномалия силы тяжести ослабевает. Но с помощью маятника не удастся детально проследить, как изменяется при этом сила тяжести. Для таких измерений служит иной прибор — гравитационный вариометр.

Главная часть этого прибора — описанные уже нами крутильные весы. В гравитационном вариометре один из шариков укреплен непосредственно на конце стержня, а другой висит на нити на другом конце стержня.

При приближении к месту, где в земле залегают тяжелые массы, шарик на нити притягивается к ним и стержень закручивает кварцевую нить.

Закручивание нити, на которой подвешен стержень, указывает на присутствие под землей скоплений тяжелых масс.

Этот прибор так чувствителен, что во время наблюдения возле него нельзя даже стоять, так как притяжение тела человека может исказить его показания.

Поэтому за движением коромысла крутильных весов следят по отражению света в маленьком зеркальце, прикрепленном на конце коромысла.

Гравитационный вариометр дает возможность измерять не абсолютную величину силы тяжести, а изменение ее при перемещении от одного пункта наблюдения к другому.

Этот прибор очень полезен, например, при изучении

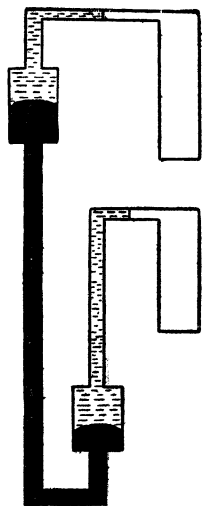


Схема газового гравиметра. Действие прибора основано на изменении разности уровней ртути в сосудах при изменении силы тяжести. Давление ртутного столба уравновешено упругостью воздуха в нижнем сосуде. Передвижение легкой жидкости в горизонтальных коленях указывает на изменение высоты столба ртути.

подземных соляных куполов. Соль менее плотна, чем вмещающие ее породы. Разность притяжений горных пород и соли действует на прибор.

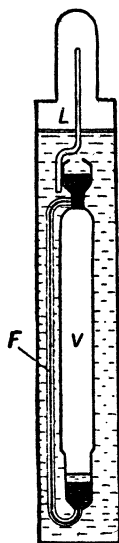


Схема статического гравиметра Нэргарда.

С помощью гравитационного вариометра можно проследить, как меняется сила тяжести над подземными склонами купола.

Изменение силы тяжести можно измерить очень точно и с помощью других приборов — гравиметров.

Первый гравиметр был изобретен еще М. В. Ломоносовым. Он состоял из двух изолированных от атмосферы сообщающихся стеклянных сосудов. В одном из сосудов была ртуть, столб которой поддерживался давлением воздуха, заключенного в другом сосуде. Заполняя часть стеклянной трубки, соединяющей сосуды, ртуть не проникает во второй из них.

Если перенести этот прибор в другое место, где сила тяжести немного больше, то ртуть станет тяжелее. Она сожмет воздух во втором сосуде и немного продвинется в трубке. По передвижению ртути в трубке можно судить об изменении силы тяжести.

Современные газовые гравиметры, конечно, гораздо сложнее, но действие их основано также на изменении веса столба ртути.

Это очень чувствительные приборы.

Один из новейших газовых гравиметров состоит из наполненного газом сосуда V , находящегося под давлением ртутного столба F . Газ давит на поверхность ртути в нижней чашке, поддерживая ртутный столб. Сосуд V и трубка F плавают в парафиновом масле. Глубина погружения сосуда определяется по стержню L .

Положим, что прибор перенесен в другое место, где сила тяжести больше. Став тяжелее, столб ртути немного больше сожмет газ в сосуде V , и часть ртути из верхней чашки перельется в нижнюю.

Так как объем плавающего прибора уменьшился, то весь прибор немного всплывет, и стерженек поднимется выше над уровнем масла.

Советский геофизик М. С. Молоденский сконструировал очень точный пружинный гравиметр. В его приборе

изменение тяжести измеряется сопротивлением тонкой кругообразной пружины.

На конце рычага, подвешенного одним концом к стенке, укреплен груз. Он удерживается в равновесии кругообразной пружиной.

Если в месте наблюдения сила тяжести больше нормальной, то груз немного опустится. Поднимая его вращением винта с помощью добавочной спиральной пружины, можно определить путем точного измерения расстояния между неподвижной пластинкой и пластинкой, связанной с пружиной, насколько увеличилась сила тяжести, действующая на грузик на конце рычажка.

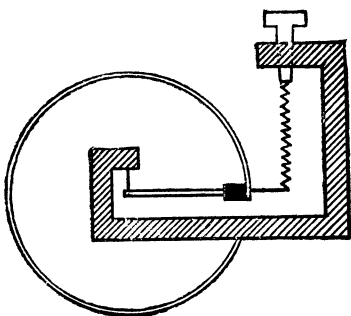
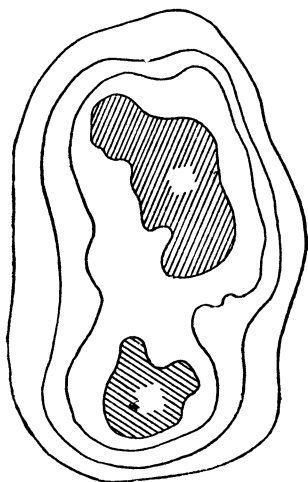


Схема пружинного гравиметра. Действие прибора основано на упругости кольцеобразной пружины, уравнивающей тяжесть грузика на конце подвешенного рычажка. При изменении силы тяжести пружина немного сжимается или разжимается.



Линиями одинаковой силы тяжести оконтуриваются две залежи, покрытые на чертеже штрихами.

Пункты с измеренной этими приборами аномалией силы тяжести наносятся на карту. Они дают возможность провести линии, на которых сила тяжести везде одинакова. Эти изолинии огибают пункты с наибольшей или наименьшей силой тяжести.

Такой план позволяет видеть, как изменяется сила тяжести по различным направлениям.

Гравиметрическая съемка указывает положение каких-то тяжелых или легких масс.

Но какова форма и размеры залежей?

Эту обратную задачу на основании только гравиметрических наблюдений ре-

шить нельзя: разной формы залежи могут одинаково повлиять на распределение силы тяжести.

Для решения обратной задачи нужно сделать то или иное предположение о форме и размерах залежи на основании других данных, например геологических наблюдений.

Геологические наблюдения укажут, можно ли ждать открытия пластовой, гнездовой или жильной залежи. Сделав на основе их предположение о форме и размерах залежи, можно вычислить, как она повлияла бы на величину силы тяжести в разных пунктах района.

Если полученное вычислением распределение силы тяжести совпадает с наблюдаемым, значит, предположение сделано правильно. В противном случае нужно сделать другое и снова произвести проверку.

Когда найдено правильное решение обратной задачи, можно почти безошибочно выбрать место для бурения разведочных скважин.

Подобная разведка велась, например, на железорудных месторождениях Кривого Рога, позволив открыть новые богатые залежи.

Сперва произвели съемку поперек простирания пластов там, где геологический разрез, то есть положение пластов, был известен. Поэтому результаты гравиметрической съемки можно было сопоставить с геологическим разрезом.

Значит, было известно, какую аномалию дают те или иные пласты. А это давало возможность по аномалии в неисследованных районах судить об их геологической структуре.

Действительно, производя гравиметрическую съемку в не исследованных еще местах, удавалось по ней правильно определять геологическую структуру.

Так с помощью дешевых геофизических поисков можно сократить расходы на дорогие геологические разведки.

Поиски полезных ископаемых и магнитные аномалии

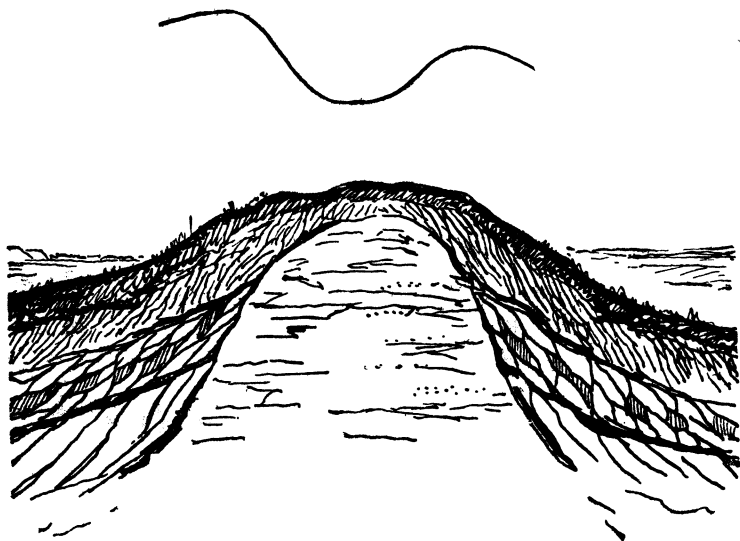
Другой способ геофизических поисков и разведок — магнитная съемка.

Выведенная из равновесия магнитная стрелка колеблется в горизонтальной плоскости по тому же закону, как и маятник. Колебания ее постепенно затухают, и она оста-

навливается, указывая одним концом на север, другим — на юг.

Это свойство магнита было известно китайцам еще в самом начале новой эры.

Китайские богдыханы и простые мореходы всегда брали с собой в дорогу компас. Этот простой прибор позволял не сбиваться с пути и в песчаной пустыне и в открытом море.



На рисунке изображен разрез земной коры через соляной купол. Кривая линия (вверху) показывает, как меняется сила тяжести при перемещении по земной поверхности: чем выше точка кривой линии, тем больше тяжесть.

Старинный китайский компас не походил на современный. Он имел вид маленькой лодочки с фигуркой человека на носу. Стоило пустить эту лодочку в миску с водой, и протянутая рука фигурки указывала на север. Очевидно, в лодочку был вделан магнит.

От китайцев о магните узнали арабы. Их мореходы клали магнит на деревянный крест, плавающий в воде. Так определяли они направление на север.

Знание свойств магнита было заимствовано европей-

цами у арабов. Но европейцы значительно усовершенствовали компас. Они поставили магнитную стрелку на вертикальное острие, что сделало компас гораздо более чувствительным.

Во второй половине XVI века изучением магнетизма занялся врач Гильберт. Этот ученый, как и Галилей, изучал явления природы путем опытов и наблюдений. Заинтересовавшись магнетизмом, он не искал знаний о магнитах в сочинениях древних философов.

Свои опыты с магнитами Гильберт описал в книге, изданной в 1600 году, которая была первой научной книгой о магнетизме.

В те времена знания о магнетизме были очень скудные: было известно только, что железо притягивается полюсами магнитов.

Гильберт выяснил, что не только полюсы магнита, но и другие части его обладают магнитными свойствами, хотя в значительно более слабой степени.

А что, если магнит разделить на два куска? Не получим ли мы два однополюсных магнита?

Гильберт сделал и этот опыт. Оказалось, что на сколько бы кусков ни разделить магнит, получаются двухполюсные магниты.

Этот ученый впервые доказал, что магнит притягивает предметы не только через воздух, но и через железо, лист бумаги или тонкую пластинку слюды.

В то время уже было известно, что стальная полоска приобретает магнитные свойства, если вдоль нее провести несколько раз концом магнита. Гильберт доказал, что она может намагнититься также под влиянием магнетизма Земли. Для этого нужно только, чтобы стальная полоска лежала некоторое время в направлении магнитного меридиана.

И вот Гильберту пришла счастливая мысль, что Земля сама представляет собой огромный магнит.

Чтобы проверить это предположение, он сделал из магнитного железняка шар. Эта модель Земли была двухполюсным магнитом.

Оставалось узнать, как ведет себя на этой модели Земли магнитная стрелка.

Взяв маленький компас, Гильберт поместил его на «экватор» модели Земли. Стрелка компаса указала направление на полюсы. Где бы ни помещал Гильберт ком-

пас, везде, как и на Земле, компас указывал направление на магнитные полюсы.

Подвешивая над поверхностью модели маленькую магнитную стрелку на коротенькой нити, Гильберт доказал, что и она ведет себя так же, как на поверхности Земли: на «экваторе» модели она горизонтальна, в других местах наклонна, а на полюсах перпендикулярна к поверхности модели.

Итак, Земля — огромный магнит.

Магнитные полюсы Земли немного не совпадают с географическими. Поэтому магнитный меридиан везде пересекается с географическим (кроме точек, лежащих на единственном меридиане, проходящем через магнитные и географические полюсы).

Угол между плоскостями магнитного и географического меридианов называется склонением, которое имеет различную величину в разных местах земной поверхности.

Если стрелка подвешена на нити, она наклоняется к плоскости горизонта. В этом случае она направлена прямо к ближайшему магнитному полюсу Земли. Чем ближе она к магнитному полюсу, тем наклон ее круче. На самом полюсе стрелка стоит вертикально.

Угол стрелки с горизонтальной плоскостью называется наклонением.

Зная, как меняется направление и напряжение магнитных сил в зависимости от географической широты и долготы, можно сказать, как будет вести себя магнитная стрелка в любом месте земной поверхности.

Однако в действительности положение стрелки всегда немного отличается от предсказанного: в течение суток и года она немного отклоняется от него то в одну, то в другую сторону.

Но отклонения эти невелики. Магнитная стрелка колеблется около характерного для каждого места среднего положения, зависящего от его географической широты и долготы.

Суточные колебания магнитной стрелки, вероятно, объясняются электрическими токами, возникающими в стратосфере. Правда, эти токи еще не изучены, но возникновение их очень возможно.

Подобным образом могут происходить значительно более слабые годовые изменения земного магнетизма.

Как те, так и другие связаны с образованием приливов в земной атмосфере под влиянием притяжения воздуха Луной и Солнцем, как это доказали многочисленные наблюдения геофизических обсерваторий.

Иногда плавные суточные колебания вдруг сменяются «магнитной бурей». Стрелка прибора начинает быстро и резко колебаться в течение нескольких часов, а иногда даже дней. «Буря» начинается резким скачком магнитной стрелки, которая затем медленно возвращается в нормальное положение.

«Магнитные бури» случаются во время полярных сияний, а также когда на Солнце появляется особенно много пятен.

Но в некоторых местах наблюдаются необычные отклонения — аномалии — от нормального положения магнитной стрелки, которые производятся магнитными массами в земной коре.

Поэтому с помощью магнитного прибора можно с успехом отыскивать залежи некоторых полезных ископаемых.

Влияние магнитных залежей той или иной формы и протяжения на магнитную стрелку, как мы сказали, может быть определено теоретически. Эта прямая задача решена учеными.

Решение обратной задачи, то есть определение формы и размеров залежи по отклонению магнитной стрелки от нормального положения, при соблюдении некоторых условий также возможно. Для этого нужно измерить и определить направление сил, влияющих на нормальное наклонение и склонение магнитной стрелки.

Прибор, которым производят такие измерения, называется магнитометром. Он состоит из «домика» — металлической коробки с магнитной стрелкой, положение которой наблюдают через зрительную трубу.

В каждом пункте наблюдения с помощью особого приспособления измеряют силу, отклоняющую магнитную стрелку от нормального положения.

Точки, в которых определена сила аномалии, наносят на план, соединяя линиями те из них, где эта сила одинакова. Эти изолинии окружают места, где аномалия достигает наибольшей величины.

По этой магнитной карте можно видеть, как изменяет-

ся сила, производящая магнитную аномалию, в любом направлении.

В нашей стране еще в XVIII веке компас был верным помощником при поисках залежей магнитного железняка. Русские горные мастера и «рудознатцы» часто пользовались этим прибором. При его помощи они не раз открывали залежи магнетита на Урале.

Но самое замечательное открытие при помощи магнитной стрелки было сделано уже в XX веке в районе Курска.

Когда, в середине прошлого века, проводили железную дорогу в районе Курска и Белгорода, инженеры намучились с компасом. Этот прибор, всегда помогавший находить верное направление, теперь только сбивал их с толку.

Позднее, во второй половине того же века, в России производилась магнитная съемка. Ею занялись ученые по поручению Русского географического общества.

Они установили, что в районе Курска, Белгорода и Старого Оскола наблюдается удивительная по силе магнитная аномалия, представлявшая неразрешимую загадку в XIX веке.

Изучением этого явления занялся в конце прошлого века московский профессор Лейст.

Сын бедного ревельского ремесленника, Лейст должен был унаследовать занятия своего отца. Но жаждавший знаний юноша решил иначе.

В возрасте, когда оканчивают университет, он сдал экстерном за курс гимназии и поступил в Юрьевский университет (Юрьев — ныне Тарту).

В те времена среди студентов этого университета господствовали нравы средневековья. Большинство студентов из состоятельных классов общества увлекались товарищескими пирушками и дуэлями на шпагах.

Лейст не принимал участия в этих развлечениях. Он усиленно работал в лабораториях и в библиотеке.

По окончании университета с золотой медалью Лейст уехал в Москву. Там он читал лекции в Московском университете и руководил лабораторными занятиями студентов.

В то время магнитная аномалия под Курском была еще неразрешенной загадкой, и Лейст увлекся изучением земного магнетизма. Он подолгу просиживал в подвале

метеорологической обсерватории, где были установлены точнейшие магнитные приборы. А на время летних каникул каждый год уезжал в районы Курска и Белгорода изучать наблюдавшуюся там магнитную аномалию.

С утра до вечера бродил молодой энтузиаст-ученый по лугам, лесным полянам и крестьянским полям с магнитным прибором в деревянном ящике за плечами.

Выбрав удобное место, он устанавливал магнитный прибор и производил измерение силы, отклоняющей стрелку от нормального положения.

Крестьяне косо смотрели на неизвестного им человека с каким-то инструментом. Случалось, что его забирали деревенская полиция и Лейст избавлялся от ареста, показывая «открытые листы» Московского университета.

Из года в год продолжал Лейст свои исследования. В течение десяти лет он успел сделать измерения больше чем в 4500 пунктах, хотя на каждое нужно было затратить несколько часов.

Обработав свои наблюдения, Лейст пришел к выводу, что в районах Курска, Белгорода, Щигров и Старого Оскола под землей проходят хребты магнитного железяка.

Только бурение могло решить, прав ли Лейст.

Нашлась организация, давшая средства для разведочного бурения. По указанию Лейста были заложены две скважины. Однако пробурили по 100—150 метров, а залежей магнитной руды не нашли.

После революции в России возобновились поиски в районе Курска. Гражданская война еще была в полном разгаре, но по распоряжению В. И. Ленина в 1919 году в Курск были отправлены геофизики.

Время для поисков было неблагоприятное. В районах Курска и Щигров нередко слышались пушечная стрельба и треск пулеметов. Приходилось оставлять наблюдения и уходить в ближайшую деревню.

Несмотря на трудности, геофизики вели магнитометрические и гравиметрические наблюдения. По истечении полутора-двух лет, сопоставив данные, полученные обоими методами, удалось правильно указать, где нужно бурить разведочные скважины.

Первая скважина была заложена в районе Щигров. На глубине 155 метров она вошла в крепчайшие горные породы. Долото истиралось, превращаясь в бесполезную трамбовку. Углубление скважины остановилось. Но когда

долото было поднято на поверхность, то оказалось, что оно стало сильнейшим магнитом. Тяжелые гаечные ключи весом по 18—20 килограммов прилипали к нему, как булавки.

Значит, близко магнитная руда.

Чтобы продолжать бурение, установили алмазный разведочный станок. И на глубине 160 метров скважина вошла в залежь магнитного железняка.

В течение десяти лет в районе Курска, Щигров, Старого Оскола и в других местах магнитной аномалии было пробурено более трехсот разведочных скважин. Разведка выяснила, что там действительно под землей проходят полосы мощных залежей кварцитов с большим содержанием магнитного железняка.

По количеству заключающегося железа месторождение Курской магнитной аномалии — величайшее в мире.

Сейсмическая разведка

Этот способ основан на изучении прохождения сейсмических колебаний, искусственно возбуждаемых в толще грунта с помощью взрыва.

Приборы, регистрирующие приход колебаний, — это знакомые уже нам сейсмографы. Но они гораздо более чувствительны, чем применяемые для наблюдения волн землетрясений, так как наблюдаемые смещения почвы при сейсмической разведке обычно не превышают десятитысячных долей миллиметра.

Воспринимаемые ими колебания преобразуются в электрические напряжения, которые передаются на сейсмическую станцию. Эти напряжения искусственно усиливаются и действуют на гальванометры.

При поворотах стрелки гальванометра с прикрепленным к ней зеркальцем отраженный луч света записывает на движущейся фотографической ленте сейсмограмму колебаний почвы.

На одной ленте записываются колебания, передаваемые от пяти — двадцати сейсмографов, что очень облегчает сопоставление сейсмограмм.

Изучая сейсмограммы, можно установить, с какой скоростью проходили волны различные части своего пути, где они преломлялись и где отражались.

Сейсмический луч отражается или преломляется, встретив на своем пути среду с иной плотностью и твердостью, чем та, в которой он распространялся до тех пор. Найти «поверхности раздела» этих сред и является целью сейсмической разведки.

Когда определено положение «поверхностей раздела», то можно сделать вероятное предположение о том, по каким горным породам распространялись колебания.

В целях изучения строения земной коры наблюдаются проходящие в ней преломленные и отраженные волны.

Предположим, что в верхней зоне земной коры залегают два слоя. В верхнем упругие колебания распространяются со скоростью V_1 , а во втором со скоростью V_2 .

Если произвести в точке A сильный взрыв, то в слоях земной коры распространятся упругие колебания.

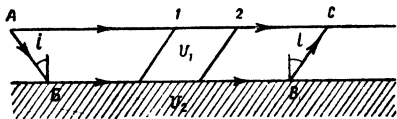
В точку C приходят волны по двум путям. Прямая волна по направлению AC со скоростью V_1 и преломленная по линии $ABBC$, причем AB и BC идут под углом полного внутреннего отражения i .

Для наблюдения прохождения волн устанавливают по линии AC несколько сейсмических станций. Каждая из них будет принимать как прямую, так и преломленную волну. Отмечая момент прихода той и другой волны и зная расстояние AC , можно определить скорости V_1 , V_2 и угол i , а по этим величинам легко вычислить глубину залегания поверхности раздела между двумя слоями.

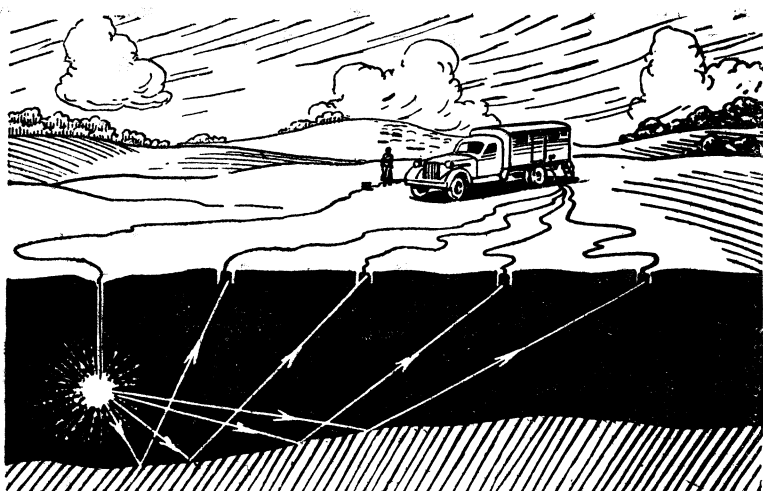
Другой способ определения этой глубины основан на наблюдении отраженных волн.

Положим, что на некоторой глубине залегает отражающий слой. После взрыва некоторые волны отразятся и направятся к земной поверхности. Там они воспринимаются установленными в разных пунктах сейсмографами, передающими свои показания на станцию.

Расстояние каждого прибора от места взрыва известно. Из наблюдений определяют время пробега волны и скорость ее распространения. Зная же эти величины, легко вычислить глубину отражающей поверхности раздела.



Изучение земной коры методом преломленных волн.



Сейсмическая станция. Приборы регистрируют приход отраженных сейсмических волн, распространяющихся от взрыва, произведенного в грунте.

Отметим, что эти наблюдения не дают возможности узнать, какие горные породы залегают на пути прохождения волн. Они только позволяют установить, что на определенной глубине находится поверхность раздела сред с различными физическими свойствами.

Так при помощи сейсмической разведки можно составить «структурную» карту района поисков, на которой будет видно положение складок, сбросов и других нарушений правильного залегания пластов.

В нашей стране сейсмическая разведка применялась, например, для изучения залегания соляных куполов между Каспием и Уралом. Она оказала важную услугу советским геологам в поисках нефти, скопления которой очень часто встречаются в слоях крупнозернистых песков и пластах рыхлых песчаников, вмещающих соляные куполы.

Изучение прохождения искусственно произведенных сейсмических волн позволяет определить толщину земной коры.

Положим, что в точке *О* произведен взрыв сильного заряда. На станцию *С* раньше всего придет прямая волна

по пути OC . Затем приходит волна по пути OKC , отразившаяся от земной поверхности.

Однако было замечено, что между этими моментами прибором регистрируется еще какая-то волна. Очевидно, что это волна, отразившаяся от внутренней поверхности земной коры в точке K_1 .

Так как из наблюдения известно, на сколько времени эта волна опережает волну, отраженную от земной поверхности, то не трудно вычислить толщину земной коры. По этим наблюдениям земная кора имеет толщину около 30—35 километров.

Что же такое «земная кора»?

В прошлом веке думали, будто земной шар внутри расплавлен, а снаружи одет холодной каменной корой. Но и теперь, когда стало известно, что Земля — сплошное твердое тело, выражение «земная кора» не потеряло смысла.

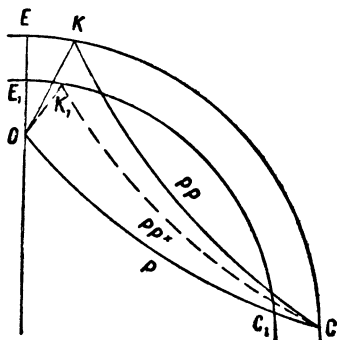
Как показали сейсмические исследования, на глубине 30—35 километров находится поверхность раздела: там резко меняется скорость упругих колебаний.

Значит, слой горных пород до этой глубины отличается по своим упругим свойствам от лежащих глубже. По-

этому земной корой можно называть эту верхнюю зону земного шара, в которой продольные волны распространяются со скоростью от 5,7 до 6,25 километра в секунду.

Но какие горные породы составляют земную кору и какие залегают глубже, об этом можно судить только по геологическим наблюдениям.

Самая верхняя «пленка», покрывающая сушу, состоит из слоистых осадочных горных пород — песчаников, известняков и различных сланцев. Все эти породы образовались на дне древних морей из осадков твердых материалов, приносимых реками, а также из раковин морских



Измерение толщины земной коры сейсмическим методом:
 O — центр возникновения волн;

p — прямые волны; pp — волны, отразившиеся от земной поверхности в K ; pp_1 — волны, отразившиеся от поверхности E_1C_1 в K_1 .

животных. Слои ила и песка на дне морей пропитывались растворами, цементировавшими зерна этих осадков и превративших их в твердые слоистые породы.

Так образовались мощные толщи слоистых горных пород, слагающих складчатые горные хребты.

Под покровом осадочных пород залегают по виду также слоистые кристаллические сланцы. Но их слоистость (сланцеватость) другого происхождения. Она произошла вследствие огромного давления, которым подвергались горные породы на большой глубине, а также при смятии осадочных слоев в складки.

Как доказали опыты, под давлением в несколько тысяч атмосфер расслаивается даже свинец. Такого происхождения и слоистость кристаллических сланцев, образовавшаяся под давлением мощных толщ выше лежащих горных пород.

Таково строение верхней зоны материков.

Под кристаллическими сланцами залегает толща пород типа гранита, которую часто называют гранитной оболочкой Земли.

Эта оболочка залегает под всеми материками и под дном Атлантического океана. Но она не сплошь покрывает весь земной шар. Например, часть дна Тихого океана лишена гранитного покрова. Там (под тонким слоем океанических осадков) обнажается лежащая глубже базальтовая оболочка, состоящая из горных пород типа базальта (темная, тяжелая порода, богатая магнием и железом).

Базальтовая оболочка сплошь покрывает весь земной шар. Вместе с прерывистым гранитным покровом она составляет земную кору.

Под земной корой залегает мощная оливиновая оболочка Земли, простирающаяся до глубины 1200 километров, о которой мы уже упоминали раньше.

Горные породы этой оболочки состоят главным образом из оливина. Оливин — темно-зеленый или бурый минерал, представляющий собой кремнекислую соль магния и железа.

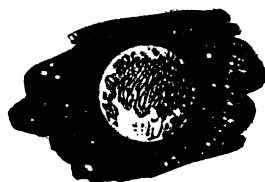
На глубине около 500 километров под влиянием большого давления оливин изменяет свою структуру, чем и объясняется довольно резкое изменение на этой глубине скорости распространения продольных волн с 8,9 до 9,9 километра в секунду.

О составе Земли глубже оливиновой оболочки можно только догадываться. Такие догадки делаются, как уже упоминалось ранее, исходя из состава метеоритов.

Метеориты, падающие на земную поверхность, бывают трех видов — каменные, железо-каменные и железные. Некоторые ученые предполагают, что метеориты — обломки какой-то планеты. В этом случае, конечно, каменные метеориты — обломки верхней оболочки этой планеты, соответствующие оливиновой оболочке Земли.

Естественно предположить, что железо-каменные метеориты — обломки более глубокой зоны разрушившейся планеты, а железные метеориты — обломки ее центрального ядра.

В таком случае, — так полагал академик А. Е. Ферсман, — оболочка Земли между 1200 и 2900 километрами глубины, вероятно, состоит из такого же вещества, как и железо-каменные метеориты (оливин с примесью зерен чистого железа). Ядро же Земли — из чистого железа с большой примесью никеля.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы познакомились с главнейшими свойствами Земли как физического тела. Наблюдать эти свойства непосредственно невозможно. Судить о них приходится только по показаниям маятника и других чувствительных приборов.

Однако рассмотренные нами явления, например изменения формы Земли, не менее реальны, чем увеличение объема нагреваемого металлического шарика, которое также незаметно на глаз.

Геофизика, изучающая свойства Земли, — одна из самых молодых наук о природе. Она могла возникнуть только с развитием физики и астрономии.

Но в настоящее время геофизика, подобно астрофизике, — самостоятельная отрасль знания. Она достигла уже такой степени развития, что с ее выводами должны согласовывать свои гипотезы и теории ученые других отраслей знания.

Изучены уже многие свойства Земли; определена ее средняя плотность, точно измерено сжатие земного эллипсоида, вычислена твердость Земли в целом, установлено, что она представляет собой упруго-вязкое тело, то есть испытывает как упругие, так и вязкие деформации.

Свойства Земли как физического тела не представляют собой чего-то исключительного в природе. Лабораторными исследованиями доказано, что подобными свойствами обладают вообще все твердые тела. Если подвергнуть твердое тело длительному напряжению, не превышающему, однако, предела его прочности, то сперва возникает почти мгновенная упругая деформация, то есть исчезающая после прекращения действия деформирующей силы. Но после некоторого времени, если действие этой

силы продолжается, напряжение «рассасывается» и возникающая при этом упругая деформация постепенно переходит в необратимую.

Это явление объясняется строением твердых тел, состоящих из частиц, удерживаемых в определенном положении относительно друг друга. Как доказывают новейшие исследования с помощью «меченых» атомов, в твердых телах, подобно жидкостям (хотя в гораздо меньшей степени), происходит перемещение частиц, то есть твердые тела обладают некоторой текучестью. Если к твердому телу приложено усилие, действующее достаточно длительное время, то частицы тела успевают переместиться, в нем наблюдается «течение» и упругая деформация переходит в необратимую, то есть в остающееся изменение формы. Такова причина упруго-вязких свойств Земли, поражавших ученых прошлого века.

Немногого, о чем рассказано в этой книге, уже достаточно, чтобы представить себе, как далеко пошло изучение физических свойств Земли в целом. Но перед учеными возникают новые проблемы. Для разрешения их применяются физические и математические знания, все более углубляющие проникновение человека в тайны природы.

В нашей стране созданы особенно благоприятные условия для развития геофизики, и советские ученые уже сделали крупный вклад в науку о Земле.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Земля — физическое тело	3
Открытие изолированности Земли в пространстве	5
Почему маятник долго оставался неизвестным	9
Открытие маятника Галилеем	15
Измерение времени	19
Маятник и падение тел	23
«Падение» Луны	32
Неожиданное открытие	42
Сжатие Земли	46
Поведение маятника на Земле	51
Истинная форма Земли	55
Маятник и Луна	57
«Твердый» прилив в земной коре	61
Маятник и твердость Земли	64
Какова Земля внутри	69
«Противоречивые» свойства Земли	74
Маятник и строение Земли	77
Вращение Земли	86
Колебания земной оси	94
Масса и состав Земли	97
Геофизические поиски полезных ископаемых	103
Заключение	123

Для средней школы

Бублейников
Феофан Дмитриевич
Земля и маятник

Ответственный редактор
М. А. Зубков.

Художественный редактор
Н. Г. Холодовская.

Технический редактор
В. А. Голубева.

Корректоры
А. Б. Стрельник и А. В. Ясиновская

Сдано в набор 2/XI 1956 г. Подписано к печати 30/I 1957 г. Формат 84 × 108¹/₃₂ — 8=6,57 печ. л. (5,86 уч.-изд. л.). Тираж 100 000 экз. Заказ № 1463. Цена 2 р. 75 к. Москва. Детгиз. М. Черкасский пер., 1

Фабрика детской книги Детгиза,
Москва, Сущевский вал, 49.

К ЧИТАТЕЛЯМ

*Отзывы об этой книге издательство
просит присылать по адресу: Москва,
Д-47, ул. Горького, 43, Дом детской
книги.*

**В 1956 ГОДУ В ДЕТГИЗЕ ВЫШЛИ В СВЕТ СЛЕДУЮЩИЕ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ КНИГИ:**

Обручев В. А. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОР И МАТЕРИКОВ. Серия «Школьная библиотека». Автор рассказывает, как образовались материки и горы. Какие бывают горные породы. Почему горы разрушаются.

Гильзин К. ПУТЕШЕСТВИЕ К ДАЛЕКИМ МИРАМ. В книге рассказывается о межпланетных перелетах, их технической возможности и ближайшей задаче астронавтики — создании искусственных спутников Земли.

Голосницкий Л. ЖИЗНЬ НА ДРУГИХ МИРАХ. Серия «Школьная библиотека» Небольшая по объему книжка посвящена новой науке — астробиологии, занимающейся изучением жизни на Марсе и других планетах солнечной системы.

Зигель Ф. ЗАГАДКА МАРСА. Серия «Школьная библиотека». Книга знакомит читателя с природой планеты Марс и новейшими данными о ее загадочных «каналах».

Зигель Ф. ЮНЫЙ АСТРОНОМ. Эта книга написана для тех, кто собственными глазами хочет увидеть удивительный мир небесных тел. В ней рассказано, как сделать самодельные астрономические приборы, как удобнее наблюдать планеты, созвездия и др. небесные явления.

Эти книги Вы можете получить в своей школьной и местной библиотеках.

