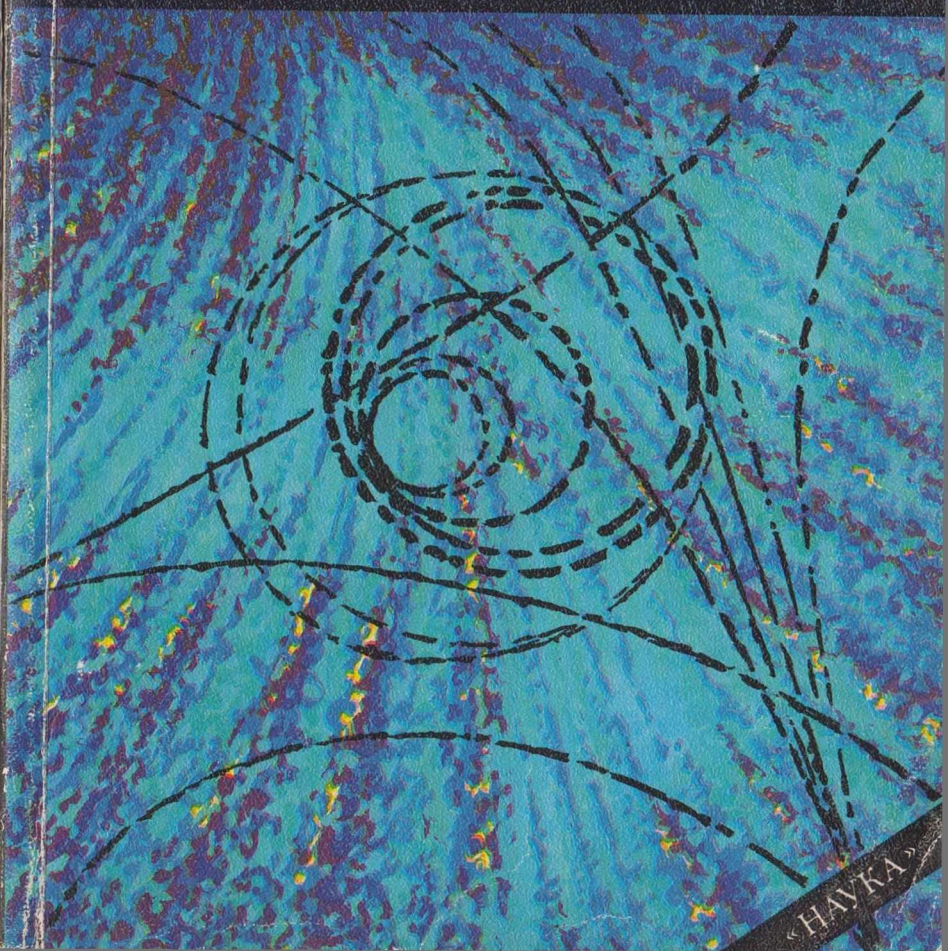




Общество и личность

А.И. Панченко

ФИЛОСОФИЯ ФИЗИКА МИКРОМИР



«НАУКА»

А. И. Панченко

**ФИЛОСОФИЯ,
ФИЗИКА,
МИКРОМИР**

Ответственный редактор
академик Н. Н. МОИСЕЕВ



МОСКВА «НАУКА»
1988

ББК 15.56
П 12

Рецензент:

доктор философских наук М. И. ПАНОВ

Панченко А. И.

П 12 Философия, физика, микромир/Отв. ред. академик Н. Н. Моисеев.— М.: Наука, 1988.— 192 с.— (Серия «Общество и личность»)
ISBN 5-02-008025-X

Крупнейший современный физик Р. Фейнман заявил однажды, что «квантовую механику никто не понимает». Тем не менее квантовые теории лежат в основе значительной части новейшей технологии. Использование этой технологии в небывалой степени повышает роль субъективного фактора, активизация которого предполагает отчетливое понимание законов природы и собственных целей и возможностей человека в их единстве. В книге рассматривается ряд фундаментальных проблем физики микромира, показывается, что такое понимание достигается лишь в тесном взаимодействии философии и физики.

Для всех интересующихся мировоззренческими, методологическими и социокультурными аспектами развития научного знания.

П 0302020100-244 3-88 НП
054(02)-88

ББК 15.56

Научно-популярное издание

Панченко Александр Иванович

ФИЛОСОФИЯ, ФИЗИКА, МИКРОМИР

Утверждено к печати редколлегией
серии научно-популярных изданий Академии наук СССР

Редактор издательства С. Н. Лебедев

Художник Б. К. Шаповалов

Художественный редактор И. Д. Богачев

Технические редакторы Е. Ф. Альберт, М. В. Абаджян

Корректоры В. А. Алёшкина, Т. П. Вдов

ИБ № 38227

Сдано в набор 27.05.88. Подписано к печати 18.07.88. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр. отт. 10,5. Уч-изд. л. 11,1. Тираж 19 800 экз. Тип. зак. 1655. Цена 45 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука», 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90. 2-я типография издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

ISBN 5-02-008025-X

© Издательство «Наука», 1988

Предисловие

Настоящая книга посвящена теме единства и многообразия мира. Кажется очевидным, что мир многообразен в своих проявлениях, предметах, свойствах, отношениях. Но вот вопрос: есть ли в этом многообразии какое-либо единство? И далее, есть ли единство между философией и физикой? Что их связывает с объективной реальностью, существующей независимо от них, т. е. с материей, в особенности с реальностью микромира?

Суть проблемы единства мира можно попытаться понять как уяснение единства человека и Вселенной, частью которой он является. Вселенная, как это стало ясно уже давно, не сводится только к земным сферам, в которых человек обитает, есть в ней еще и «сферы небесные», символизирующие открытия астрономии, астрофизики и космологии. Ньютон установил единство земного и звездного миров, открыв свой знаменитый закон всемирного тяготения. В XX в. это единство было вновь нарушено. Эйнштейн в своей общей теории относительности далеко отделил земные превращения от катаклизмов космической (небесной) Вселенной. Далее на свет появилась квантовая физика. Ее реальность скрывается в глубине материи, в частности и «внутри» человека, но она не менее самостоятельна, чем необъятная даже для богатого воображения расширяющаяся физическая Вселенная космологии. Оказалось, что и эта «маленькая» Вселенная таит в себе не меньше неожиданностей и многообразия, чем та, в которой мы живем и частями которой являемся. Реальность микромира, конечно, не нова в том отношении, что она давно теоретически (умозрительно) предполагалась человеком (вспомним хотя бы о Демокрите). Но она нова для нас в том многозначительном смысле, что только в XX столетии человек столкнулся с ней практически.

Сегодня уже нередко даже дошкольникам известно, как пользоваться радиоприемником или телевизором. В средней школе изучаются основные положения атомной физики и теории относительности. И вместе с тем,

посмотря на эти и иные факты подобного рода, известный современный американский физик Р. Фейнман имел все основания заявить, что «квантовой механики никто не понимает»¹. Об отношении этой теории, сегодня широко используемой на практике, к объективной реальности вели длительный спор крупнейшие современные физики А. Эйнштейн и Н. Бор. Этот спор продолжается их последователями и сегодня. Он касается понимания реальности микрообъектов, характера законов их движения, пространства и времени в квантовом мире, взаимоотношений человека с этим миром. При этом в этом споре приводятся не только специальные физические аргументы, но и используются общие философские представления, которые одновременно и помогают осмысливать и понимать (часто — неоднозначно) суть новых достижений физики, и сами обогащаются за счет «тока» новых знаний².

Вопросы понимания микромира интенсивно разрабатываются в современной специальной, исследовательской философско-методологической и физической литературе. В настоящей же работе предпринимается попытка представить полученные в этой области результаты в доступной, научно-популярной форме. В ней рассматриваются такие темы и вопросы: 1) механизмы взаимосвязи философии и физики; 2) широкая тема физической реальности; 3) характер законов движения микрообъектов; 4) проблемы пространства и времени в микромире; 5) проблемы квантовой логики; 6) соотношение классических и квантовых физических представлений.

Таким образом, изложение касается широкого круга различных проблем. В чем-то оно может показаться не очень простым, в чем-то, напротив, тривиальным, а в чем-то, возможно, и спорным, дискуссионным. И все же автор надеется, что в целом ему удалось провести одну и ту же идею — *мир един, а единство его обусловлено диалектической взаимосвязью человека и Вселенной, частью которой он является.*

Автор хотел бы отметить, что эта книга основана на его предыдущих работах. Однако своим возникновением в немалой мере она обязана и идеям его учителя — Э. М. Чудинова, и творческим контактам в разное время с такими философами, как И. С. Алексеев, Т. Е. Васильева, Б. Я. Пахомов, Н. И. Степанов и многие другие.

Глава 1. О взаимосвязи философии и физики

Философия и физика как органичные элементы культуры. Сегодня как-то стало принято противопоставлять, с одной стороны, конкретные науки (и прежде всего, наверное, физику), а с другой стороны, философию. Это противопоставление вызвано разными причинами. Вот примеры такого противопоставления.

С одной стороны, физика нередко воспринимается многими ее представителями, и тем более неспециалистами, ощущающими ее влияние в повседневной жизни, как занятие, приносящее человеку конкретную пользу, — ведь вся окружающая нас техносфера (заводы, транспорт, связь, бытовые приборы и т. д.) возникла благодаря знанию физических законов и их материальному воплощению в промышленном производстве. И этим же людям, с другой стороны, философия порой кажется «витанием в заоблачных сферах» абстракций, далеких от реальной жизни. С одной стороны, физика, особенно в наши дни, стремительно развивается. С другой стороны, о философии (и общественных науках) этого сказать нельзя, а если говорить о нашей стране, то сегодня к тому же приходится признать, что в определенном смысле философия в течение некоторого времени даже находилась «в застое». Далее, с одной стороны, технические приложения физики оказываются не только благом для человечества, но и внушают ему сегодня самый настоящий ужас (ввиду быстрого совершенствования средств массового уничтожения, усложнения производственной деятельности, ухудшения качества окружающей среды). С другой же стороны, философия уже со времен К. Маркса забила тревогу по поводу превращения человеческого существа в придаток порожденной им самим, но все же остающейся бездушной и безжизненной машины технизированного промышленного производства.

Затем, с одной стороны, физику, как таковую, не интересует человеческий, духовный мир, она занимается объяснением неживой природы. С другой стороны, фило-

софия ставит в центр своего внимания именно человека, рассуждает о смысле жизни, пытается понять сущность явлений и поэтому представляется гуманитарным, а то и гуманистическим занятием. Но не хватит ли противопоставлений?

Известно, что физики, а они ведь тоже являются прежде всего людьми, далеко не всегда, исследуя неживую природу, теряют из виду гуманистическую направленность своих исследований. А. Эйнштейн, рекомендовавший президенту США Ф. Д. Рузвельту в срочном порядке реализовать проект изготовления атомной бомбы в период второй мировой войны, после поражения фашистской Германии и создания водородной бомбы присоединился к философу Б. Расселу в Манифесте, в котором было заявлено теперь уже об угрозе для жизни человечества термоядерного оружия. В этом Манифесте Рассела — Эйнштейна (1955 г.) была поставлена проблема — «очевидная, ужасная и неизбежная. Покончим ли мы с человеческой расой или человечество откажется от войны?»¹.

Вместе с тем и философы, имена которых вошли в историю культуры, нередко занимались тем, что вполне можно отнести к сферам физики. Это, например, Демокрит и Эпикур, Рене Декарт и Иммануил Кант. Конечно, столь универсальных в своих занятиях личностей, как Демокрит или Декарт, сегодня трудно пайти, но ведь и теперь философам полезно приобрести опыт какого-либо конкретного занятия (в области истории или политэкономии, права или психологии, логики или лингвистики, литературы или математики, физики или биологии). А потому и сегодня вполне справедливо представление о том, что ни философская мысль не может игнорировать достижения физики, ни физика не может противопоставлять себя философии. В конечном счете цель у них одна — понять и объяснить мир, частью которого является человек.

Истории культуры как развивающегося совокупного результата человеческого бытия во Вселенной известно множество «ростков», которые, появляясь в виде спекулятивных (вроде бы весьма удаленных от повседневной реальности) догадок и предположений, с течением (иногда очень немалого) времени постепенно превращались в плодоносящие «деревья» строго научных, практически обоснованных теорий, имеющих прямой выход в человеческую реальность и серьезно ее изменяющих. По-види-

тому, здесь нет более яркого примера, чем история атомизма. «Росток» этот появился еще в V в. до н. э. в Древней Греции и был «посажен» Левкиппом и Демокритом, которые выдвинули предположение об атомном устройстве всей Вселенной (кроме атомов, признавалось еще существование пустоты). Их атомизм все же был не чем иным, как чисто умозрительной гипотезой, ибо никто в Древней Греции (в том числе и сами Левкипп и Демокрит) никаких атомов нигде воочию не наблюдал. Реальность атомов в смысле их наблюдаемости как конкретных вещей оставалась открытым вопросом вплоть до начала XX столетия, т. е. на протяжении примерно 2,5 тыс. лет. Лишь в опытах французского физико-химика Ж. Б. Перрена, касавшихся изучения броуновского движения (1908 г.), она нашла более или менее непосредственное подтверждение, но лишь тогда, когда физики открыли еще меньшие, чем атом, частицы, стало возможным наблюдать атомы (например, с помощью электронного микроскопа).

И все это время, начиная с античности и вплоть до сегодняшнего дня, атомизм стимулировал развитие многих и многих наук — от химии и физики до логики и психологии. В связи с этим будет уместно привести слова известного современного американского ученого-физика Р. Фейнмана, который следующим образом оценил атомную гипотезу: «Если бы в результате какой-либо мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались уничтоженными и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это — *атомная гипотеза* (можете называть ее не гипотезой, а фактом, но это ничего не меняет): *все тела состоят из атомов — маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому*. В одной этой фразе... содержится невероятное количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немножко воображения и чуть соображения»². (Конечно, Р. Фейнман дает здесь хотя и популярное, по современное, не тождественное буквально догадке Демокрита понимание сути атомизма, по это обстоятельство дела не меняет.)

Таким образом, атомная гипотеза (со временем все более и более превращавшаяся в реальный факт) являет-

ся как бы одним из центров, вокруг которых кристаллизуется человеческая духовная и материальная деятельность. Но, конечно, не только атомизм имеет столь важное значение. Не менее ярким «ростком», появившимся, правда, уже на «стебле» атомной гипотезы, оказалось предположение о «свободе воли», о случайных движениях атомов, выдвинутое еще Эпикуром (IV—III вв. до н. э.). Различиям атомизма Демокрита и атомизма Эпикура посвятил свою докторскую диссертацию К. Маркс, и это не случайно. Проблема «свободы воли» имеет значение для физики и теперь — конечно, не в буквальном понимании этого выражения, а в плане осмысления места возможности, случайности, неопределенности в современной физической картине мира. Квантовая физика, преодолевая по мере накопления новых фактов, появляющихся в процессе ее развития, классические теоретические представления, резко выступила, в частности, против принципа однозначного детерминизма, который еще со времен Демокрита распространялся и на социальную жизнь, ибо воспринимался как непреложный закон, предопределяющий всё и вся. В классический период своего развития физика, по существу, абсолютизировала этот принцип, найдя для него точное математическое выражение. Но новый, «неклассический» этап развития физики был связан с критикой этого принципа и заменой его более широким, диалектическим пониманием причинности, что поначалу было воспринято многими исследователями как опровержение всякой закономерности, а то и как доказательство «свободы воли» чуть ли не на уровне электрона. Правда, потом пришло понимание того, что необходимость и случайность, закономерность и ее проявления, возможность и действительность, детерминизм и «свобода воли» — все это вещи соотносительные (а не относительные, как это иногда утверждается в научной литературе и поныне). А затем, по существу совсем недавно, не только в физике микромира, но и в физике обычной, макроскопической, появились данные, которые подтвердили, что мы живем в мире самоорганизации, из которого нельзя устранить ни необходимость, ни случайность, ни действительность, ни возможность, ни определенность, ни неопределенность, ни порядок, ни хаос. Недаром в последние годы большой резонанс получили идеи бельгийского физико-химика И. Пригожина. (Можно, конечно, оспаривать то, что эти идеи впервые были выдвинуты именно в Бельгии. Есть доказательства того, что прин-

ципы самоорганизации начали разрабатываться ранее в нашей стране³.)

И, если потрудиться, подобных «ростков» в истории культуры можно найти очень много. Поэтому нам и представляется, что в принципе очень трудно отделить физику (или какую-то другую специальную науку) от философии или философию от физики (или какой-то другой специальной области занятий человека) — трудно и по практическим, и по теоретическим основаниям. Сложившееся же противостояние, хотя оно и встречается сегодня довольно часто, является на самом деле искусственным противопоставлением и потому вряд ли благотворно.

Превращение философских проблем в конкретно-научные и наоборот. Уже на примере атомизма мы можем наблюдать, как философские гипотезы, имеющие мировоззренческий статус, т. е. претендующие на объяснение устройства Вселенной, превращаются со временем в «деревья» более конкретных предположений и исследований в различных специальных областях человеческой деятельности. Так, гипотезу Демокрита совершенствовал уже Эпикур. В XII в. н. э. арабский мыслитель Аверроэс (Ибн Рошд) вновь обращается к этой гипотезе и пытается ее развить. При этом он вводит «минимальные натуральные единицы», которые качественно различаются для разных субстанций (веществ) и имеют для них неодинаковый размер. Это, наверное, в какой-то степени могло сказаться на развитии тех представлений, которые мы сегодня называем химическими, а в те времена относились к области алхимии. Во всяком случае, представление о «минимальной натуральной единице» является прообразом понятия «химический элемент». В новое время Ньютон пошел в развитии атомной идеи еще дальше, введя понятие силы, благодаря которой из атомов строятся вещественные образования. Он попытался внедрить эту идею даже в оптику, но эта его попытка оказалась преждевременной (можно сказать, метафизической, философской — это ведь только теперь мы знаем, что свет способен проявлять наряду с волновыми и корпускулярные, т. е. атомистические, свойства). Сильно двинули вперед атомизм химии, разработав понятие «элемент». Химия, а затем и физика совершили сильный прорыв в XIX в. для испытания и подтверждения атомной гипотезы. Этот прорыв оказался просто трагическим для некоторых ученых. Так, Л. Больцман покончил с

жизнью из-за неприятия учеными его новых идей. В то же самое время известный австрийский ученый Э. Мах, использовавший представления об атоме в психологии, отрицал физическую реальность атомов⁴ и не мог никак предполагать, что современное овладение этой реальностью содержит в себе и серьезную угрозу самому существованию человечества, что мы знаем из примеров Хиросимы, Нагасаки, Чернобыля.

Пример с атомизмом, конечно, не единственный. Известно, что философы давно уже спорили о конечности или бесконечности Вселенной. С ходом развития человеческой культуры этот вопрос все больше и больше переводился в конкретно-научную плоскость. Такова уж, наверно, общая тенденция развития культуры — от идей, рождающихся из обыденных наблюдений, догадок и ассоциаций, к точным, количественным формулировкам, поддающимся строгим экспериментальным проверкам и материальному воплощению. Сегодня вопрос о конечности или бесконечности Вселенной решается не одной только фантазией, не одними только гипотетическими рассуждениями, но и с учетом измерений скорости разбегания галактик, плотности вещества во Вселенной, массы нейтрино и т. п. (Естественно, и сам этот вопрос усложнился: мы теперь отличаем бесконечность от безграничности, а метрическую бесконечность от качественной неисчерпаемости.)

Есть, однако, и иного рода умозрительные идеи — идеи, развиваемые «по линии Платона». Эти идеи, так сказать, «вызывающе» ведут себя по отношению к реальному миру: первичной реальностью становятся они сами, а все остальное, в том числе и материальный мир, оказывается как бы их отражением. Нужно ли относиться к ним отрицательно — ведь мы вообще не можем познать мир, не прибегая к идеям? Очевидно, нужно, когда такие спекулятивно-умозрительные идеи превращаются в господствующее мировоззрение и доводятся до абсурда, как, например, в гегелевской философской системе. В ней вся Вселенная выводится из бытия Абсолютного Духа, т. е. в действительности из спекуляций (в высшей степени абстрактных размышлений) самого Гегеля.

Гегель утверждал принцип тождества бытия и мышления, как бы не замечая того, что бытие, о котором он писал, есть абстракция бытия человека, включающего в себя, естественно, и его мышление. Именно поэтому ис-

торически и практически оправданны и действительны борьба «линии Демокрита» против «линии Платона».

Таким образом, возможны разного рода философские гипотезы и идеи. Есть такие, которые превращаются в конкретно-научные и подтверждаются практикой. Но есть и такие, которые так и остаются умозрительными. Различие их выясняется, конечно, не сразу, а с течением времени. Так, гипотеза Демокрита на практике доказала свой научный характер, а платоновская гипотеза идеальных форм так и осталась умозрительной, спекулятивной. В этой связи можно заметить, что Демокрит выдвинул свою гипотезу не совсем безосновательно. Она могла быть подкреплена данными наблюдений: стирание ступеней зданий при хождении по ним, выветривание горных пород, развеивание дыма в воздухе, причудливость движения туч и т. п.

Выше мы рассмотрели примеры того, каким образом некоторые умозрительные философские гипотезы могут превращаться в конкретно-научные, обретают точное количественное выражение, математическую форму, находят широкие практические подтверждения и технические воплощения. Такие примеры говорят не только об эвристической роли и практическом значении философии для конкретных наук, но и о единстве, взаимосвязи философии и конкретных наук. И если такая взаимосвязь реально существует, можно допустить, что не только философские гипотезы превращаются в конкретно-научные, но и конкретно-научные открытия, в свою очередь, могут порождать широкие философские обобщения и гипотезы. И это допущение не безосновательно. Его можно проиллюстрировать многочисленными примерами из современной научной практики. Так, наблюдая сегодня такой специальный эффект, как «красное смещение» галактик (точнее, уменьшение частоты излучаемого ими света), ученые делают далеко идущий космологический вывод о разбегании галактик и расширении Вселенной. Наблюдая превращения «элементарных» частиц, они заключают о том, что все эти частицы «состоят» из кварков (и при этом пытаются обосновать, почему эти самые кварки, атомы второй половины XX столетия, нельзя наблюдать в принципе в качестве самостоятельных, индивидуализированных объектов). Одни ученые, обнаруживая сходства в поведении животных и человека, рассуждают о «генах культуры». Другие, осмысливая прогресс электронной техники, выдвигают гипотезу «искусственного

интеллекта», говорят о «машинных языках». Третьи, размышляя о росте коммуникаций в современном мире, предполагают, что эта тенденция приведет к формированию некоего «общепланетарного разума». Сегодня многие убеждены в «самоорганизации» материи. И т. д. и т. п. А вот и еще последний и, действительно, прекрасный пример. Разве не философско-мировоззренческой является мысль М. С. Горбачева о единстве человеческого мира на планете при всем том, что это единство противоречиво определяется многообразием различных человеческих (зачастую противоположных) интересов? ⁵ Эта глубокая мысль подобна гипотезе Демокрита, а родилась она из осмысления множества конкретных фактов современной социальной реальности, которые приобрели глобальное, общечеловеческое значение. Правда, в отличие от демокритовской гипотезы она обещает найти конкретные практические воплощения уже в наши дни.

Об основаниях науки. К. Маркс писал, что, «в отличие от других архитекторов, наука не только рисует воздушные замки, но и возводит отдельные жилые этажи здания, прежде чем заложить его фундамент» ⁶. Наука динамична, она следует текущим требованиям жизни, а подчас и формирует ее запросы, но в конце концов возникает вопрос: что же лежит в основании ее динамизма? Вопрос этот лежит не только в области теории, но и имеет вполне определенный практический смысл.

Отвечая на этот вопрос, следует указать на то, что научный разум является по необходимости ограниченным, в то время как динамизм практики всегда опережает основополагающие размышления. Процесс становления нового обычно не планируется, он, как правило, непредсказуем во всех своих аспектах и результатах, иначе новое вообще не могло бы возникнуть: все заранее запланированное предопределено, но наши планы, как известно, далеко не всегда выполняются. Получается, что новое знание, действительно, не имеет «старых» оснований, однако эту мысль не следует воспринимать слишком буквально.

Развитие знания подвержено влиянию традиций, и даже тогда, когда старые традиции рушатся, в новом знании сохраняются некоторые их элементы, которые не только не противоречат открытиям, но и помогают им рождаться. Эти наиболее устойчивые элементы и относятся к основаниям науки. Таких элементов не так уж и много.

К ним можно отнести в первую очередь философские категории и принципы. Каким бы ни было новое знание, оно всегда выражается через небольшое число исходных понятий и принципов. Среди таких понятий — понятия вещи, свойства, и отношения, качества и количества, процесса, движения, состояния, пространства, времени, реальности, возможности и действительности, случайности и необходимости и еще немногие. Среди таких принципов — принципы единства и многообразия, тождества и различия, части и целого, сохранения и изменения, принципы причинности и развития (и еще некоторые).

Еще Кант утверждал, что подобные понятия (категории) и принципы даны человеку априори. Но Канта часто критиковали именно за априоризм. И действительно, если категории и связывающие их принципы понимать в их содержании как неизменные, раз и навсегда заданные, то это будет неверная точка зрения. Однако априоризм категорий (кантовских, в частности) можно обосновать тем, что они суть родовые человеческие понятия, поскольку человек — это не абстрактный субъект, а вполне конкретное существо (даже если говорить не об отдельном индивиде, а обо всем человечестве) во Вселенной, отличающееся уникальной спецификой. Категории эти родились в его практике, в его взаимодействии с самим собой и с окружающей Вселенной, которая, несомненно, богаче того, что мы вкладываем в содержание понятия «человек».* Человек выработал эти категории и общие философские принципы именно в «коэволюционном» (термин акад. Н. Н. Моисеева) процессе взаимодействия с самим собой (в рамках человеческого общества) и с окружающей Вселенной (конечно, эта Вселенная в первом приближении ограничивается местом проживания человека, т. е. Землей).

Примечание. Существует привлекательная философская традиция, подчеркивающая специфичность человеческого существа, заключающуюся в его духовности. Что такое «духовность» и вытекающий из нее гуманизм — об этом философы спорили много. Но в любом случае эта черта отличает человека от неодушевленного мира, а также от остального мира живого, в котором он возник. Данная традиция может признавать, как и у Канта, необходимость некоторых незыблемых правил общечеловеческого поведения (моральный кодекс). Однако хороша эта традиция до тех пор, пока ей не приходится иметь дело с окружающим человека миром (который яв-

ляется, по ее определению, бездуховным). Когда же ей приходится сталкиваться с ним, ее моральные принципы рушатся в силу того, что на первый план выдвигаются обычные проблемы физического выживания. Отсюда следует, что гуманизм «чистой духовности», должен, так сказать, «знать свое место», т. е. он должен учитывать, что человек — это не просто «человек мыслящий», а порождение Вселенной, частью которой он является вместе со своим обиталищем (планетой Земля) ⁷.

Надо сказать, что столь широкие основания науки, как философские категории и принципы, не суть ее единственные основания. Поскольку научная деятельность является человеческим мероприятием, на нее распространяются и правила именно человеческого общежития. Поскольку наука далеко не однородна в предмете исследования, чувствуются в ней и дисциплинарные основы. Поскольку наука открывает новое, в ней появляются и новые основания, идущие от объективной реальности.

Например, в науке принято доверять результатам, которые данный ученый сам не получил, но получили другие ученые, даже если последние придерживаются иных политических позиций или других религиозных взглядов. Это значит, что коммуникация в науке основана на доверии. Но, конечно, доверие это само обосновано тем, что наука взаимодействует с объективной реальностью. Поэтому принцип объективности истины оказывается для науки не только познавательным, но и моральным основанием, не зависящим от политической или религиозной приверженности ученого, от его национальности или пола. Далее, дисциплинарные традиции проявляют себя в совокупности довольно устойчивых, но специфических понятий и принципов (которые не следует смешивать с философскими категориями и принципами). Например, в физике такими устойчивыми, но специфическими понятиями являются понятия частицы (корпускулы) и волны (поля), а устойчивым принципом — закон сохранения энергии. Вместе с тем, хотя эти понятия и принцип не являются философскими, они не могут быть содержательно сформулированы без обращения к философским категориям и основоположениям. Так, закон сохранения энергии имеет родовой смысл в принципе сохранения субстанции.

И наконец, в революционные периоды развития научного знания рождаются новые основания, которые поначалу даже и не осознаются в таком своем качестве. На-

пример, в 1900 г. М. Планк выдвинул гипотезу квантования физического действия (физической величины, равной произведению импульса на длину). Благодаря этой гипотезе, собственно, и родилась новая, квантовая физика. Однако сам Планк долгое время не принимал свою гипотезу всерьез и многократно предпринимал попытки избавиться в теориях микромира от квантования. Оказалось же, что планковское квантование объективно является фундаментом физики микромира. И здесь можно сказать, что физическая наука о микромире началась не только с «воздушных замков», хотя их построением сопровождался весь процесс ее становления.

Об основаниях физики. Выше уже обращалось внимание на то обстоятельство, что основания науки неоднородны, иерархичны и что у всех наук существуют некоторые общие (философские) основания. Теперь посмотрим, что конкретно понимают под основаниями науки те специалисты, которые занимаются именно ими. Обратимся за примерами к физике.

В 1970 г. начал издаваться международный журнал, который называется «Foundations of physics» («Основания физики»). На его обложке значится, что журнал посвящен исследованиям «понятийного базиса и фундаментальных теорий в современной физике, биофизике и космологии». Согласно замыслу редакторов-основателей (а ими были американские физики Г. Маргенау и В. Юрграу), журнал предназначается для публикаций материалов, в которых анализируется «логическая, методологическая и общеполитическая база физических теорий и процедур». По их мнению, именно «дефекты» в основаниях науки являются «общими причинами», тормозящими ее развитие. Поэтому главными задачами исследований в области оснований физики должны быть объяснение основополагающих идей, вскрытие и устранение противоречий, таящихся в них, установление плодотворных контактов между физикой и смежными с ней науками (космологией, биологией, химией). Более конкретно, к числу первоочередных тем исследований в области оснований физики были отнесены следующие: 1) историческая и логическая проблема доказательства эквивалентности матричной и волновой формулировок квантовой механики; 2) проблемы измерения в физике микромира и в теории относительности; 3) суть принципа наблюдаемости; 4) роль вариационных принципов; 5) проблемы пространства и времени; 6) аксиоматизация физики; 7) про-

блемы создания единой физической теории; 8) анализ понятий корпускулы и волны; 9) выяснение роли топологических методов математики в физике.

Конечно, приведенные формулировки тем явно говорят о специфическом характере этих исследований, определяемом предметными ограничениями, но тем не менее вполне можно понять, что за этими формулировками скрываются достаточно широкие проблемы истории развития физических понятий, значения экспериментальной деятельности и математических методов в физике, проблемы единства и многообразия, взаимосвязи физики с другими естественными науками и с философией (когда речь заходит об анализе понятий корпускулы и волны, пространства и времени и т. д.).

Теперь обратимся еще к одному примеру из области оснований физики — к взглядам современного западного исследователя М. Бунге. В его книге «Философия физики» справедливо утверждается, что «любой физик, пытающийся уяснить смысл своей собственной работы, обязательно сталкивается с философией, хотя и не всегда осознает это»⁸. Столкновение с философией позволяет выдвигать новые идеи, соотносить их с действительностью, осознать, что физика является членом большой семьи человеческих занятий. Какие же проблемы относит М. Бунге к области оснований физики? Их целый спектр: 1) как далеко мы можем идти в общековариантной (не зависящей от координат, т. е. пространства и времени) формулировке физических теорий; 2) как связаны свойства пространства и времени с физическими законами; 3) можно ли связать направление времени с необратимыми процессами и определить первое через последние; 4) эквивалентно ли время пространственному измерению; 5) существуют ли пределы пространственно-временной локализации; 6) каков референт квантовомеханической теории — индивидуальные микросистемы, статистические ансамбли или же пары «ансамбль+прибор»; 7) каковы онтологический статус и гносеологические функции понятия вероятности; 8) что такое квантовомеханическая неопределенность; 9) сводится ли случайность к необходимости; 10) выводится ли квантовая теория из какой-либо классической статистической теории; 11) требует ли квантовая механика некоей новой логики; 12) каков теоретический статус принципа соответствия; 13) следует ли постулировать принципы симметрии и относятся ли они к физическим системам; 14) возможна ли

независимая от наблюдателя формулировка квантовых теорий; 15) выводятся ли механика сплошных сред и термодинамика из механики материальной точки; 16) как соотносятся между собой различные теории современной физики; 17) состоит ли квантовомеханическое объяснение в сведении макроуровня к микроуровню; 18) каков математический статус физической величины и как она соотносится с константой, масштабным множителем и т. д.; 19) какие алгебры лежат в основе оперирования размерностями и единицами измерения; 20) как соотносятся между собой единицы и стандарты, каков их онтологический статус.

Все эти проблемы, действительно, очень важны, сложны и интересны. Со многими из них мы будем иметь дело на протяжении этой книги. Но здесь нам хотелось бы подчеркнуть, что решение всех этих проблем в значительной мере зависит от разделяемых философских позиций, от философского подхода. В чем специфика подхода М. Бунге, который называет себя «научным материалистом» (у него есть даже книга под заглавием «Научный материализм»)?

Бунге ограничивает направление своих исследований в области оснований физики (да и вообще в философии) поисками языка, который бы был почти таким же точным, как язык математики и формальной логики. У него получается, что философский анализ есть нечто вроде анализа математического. «Все, что имеет силу для чистой математики, — пишет он, — верно и в отношении аксиоматики для любого ее применения от физики — через социальные науки — до философии»⁹.

Конечно, может быть, и верно, что математическую аксиоматику можно приложить к философскому анализу, однако вряд ли верно то, что философский анализ целиком и полностью сводится к аксиоматизации, которая предполагает лишь формальные отношения между исходными понятиями.

Бунге тем не менее стремится решить перечисленные выше проблемы оснований физики при помощи своего формально-логического и семантического анализа. Посмотрим, например, как он решает центральную для оснований квантовой физики проблему физической реальности. Эта проблема подменена у него более узким вопросом № 6 о референтах квантовомеханической теории. Имеет к ней отношение и вопрос № 14, если под «референтом» понимать «наблюдателя».

Доказывая объективность квантовомеханических понятий, в частности понятия волновой функции, Бунге обращается к теории, к уравнению Шрёдингера и рассматривает их чисто формально. Формально это уравнение связывает пространственные и временную переменные при помощи оператора общей энергии какой-либо квантовомеханической системы (этот оператор называют гамильтонианом). Все символы, входящие в уравнение, обозначают какие-либо физические свойства. Среди них нет ни одного, пишет Бунге, который бы обозначал свойства субъекта, «наблюдателя». Все они относятся к объекту, так называемому «квантопу». Поэтому, делает он вывод, субъективистская интерпретация квантовой механики, и в частности уравнения Шрёдингера, несостоятельна.

Однако вопрос об интерпретации квантовой механики не решается столь просто. Например, анализируя уравнение Шрёдингера, приходится спрашивать, к чему именно относятся пространственные и временная координаты. Действительно ли к «квантопу», т. е. квантовому объекту, так сказать, «в себе», или же к проекциям его свойств на пространственно-временную плоскость субъекта, в которой размещены приборы экспериментатора? Как мы увидим далее, в главе о пространстве и времени микромира, верно, скорее, последнее. А это означает, что, интерпретируя квантовую механику, мы не можем избежать рассмотрения субъектно-объектного отношения, т. е. содержательного аспекта интерпретации. Бунге же, ограничиваясь формальным подходом, полагает, что математические схемы физики получают полную и самодостаточную интерпретацию уже в рамках одного синтаксического и семантического анализа. Он даже заявляет, что квантовая механика не имеет никакого эмпирического содержания.

Очевидно, что такая позиция игнорирует роль практики как источника теоретического знания и уж тем более как составляющей самого объекта познания. На этом пути, чего доброго, можно ликвидировать и теорию познания.

Об основаниях квантовой физики. Кратко формулируя проблематику, которая будет рассматриваться в дальнейшем, следует обратить внимание на то, что центральным вопросом квантовой физики (как и любой другой специальной науки), точнее, вопросом ее философской интерпретации, является вопрос о природе и специфике той реальности, которую она исследует. Отвечая на него,

можно, конечно, просто постулировать объективный статус квантовофизического знания. Но это было бы только уходом от решения проблемы, отказом участвовать в жарких спорах, которые развертываются в области оснований квантовой физики. Ответ на вопрос о природе и специфике квантовофизического знания не является тривиальным — хотя бы уже потому, что на него дается очень много разных ответов.

В отличие от классической физики квантовая физика исследует такие фрагменты реальности, которые недоступны непосредственному восприятию и отражение которых в теоретической форме опосредовано классическими физическими представлениями и методами. Это реальное опосредование приводит к мнению, что ряд определенностей объектов квантовофизического исследования обнаруживает зависимость от условий и средств познания, относительность к «системе отсчета» практической и теоретической деятельности, внешней по отношению к объекту исследования. В связи с этим встают новые для методологии физики вопросы о природе физической реальности и о той роли, которую играют в получении знания о физическом объекте, во-первых, сам этот объект и, во-вторых, теоретическая и практическая деятельность субъекта (теоретика, экспериментатора, физика, математика, философа). Как соотносятся реальность квантовой физики и объективная реальность, каково соотношение между аподиктичностью (достоверностью, логической необходимостью, неопровержимостью) и гипотетичностью (предположительностью, возможным характером, субъективностью) квантовофизического знания, присутствуют ли в нем элементы фантазии и как они соотносятся с объективным отражением материальной реальности, как соотносятся конкретно сущность и явление, теория и опыт в структуре квантовофизического знания, влияют ли деятельность человека и условия познания на результат познания, каково значение классических физических представлений для формирования концепций о «квантонах» — все это вопросы, имеющие самое непосредственное отношение к исследованию такого основополагающего понятия, как «реальность».

Следующим важнейшим вопросом оснований квантовой физики является вопрос о способе существования квантовофизической реальности и путях объяснения этого существования. Известно, например, что классические физические теории, питавшие своими достижениями ме-

ханистическое мировоззрение, признавали главенствующей формой детерминизма жесткую, однозначную (лапласовскую) причинно-следственную связь. Такая форма детерминизма наделялась онтологическим (бытийным) статусом, а ее теоретические реконструкции служили главными способами причинного объяснения, определяли основные теоретико-физические формы выражения законов объективной реальности. И хотя уже классическая статистическая физика поставила под сомнение единственность и универсальность лапласовской формы причинного объяснения, равно как онтологическую привилегированность категории необходимости по сравнению с категорией случайности, в физике лишь квантовые ее теории решительно потребовали пересмотра онтологических представлений о способе существования физически реальных объектов и соответственно о способах их причинного объяснения. С достижениями квантовой физики связаны обогащение содержания категории причинности с учетом представлений об объективной возможности (вероятности), теоретическое и практическое обоснование диалектических соотношений действительности и возможности, необходимости и случайности, определенности и неопределенности.

Такие обогащение и обоснование значительно усовершенствовали физическую картину мира.

В самом деле, диалектический материализм утверждает, что материя не просто движется, но находится в непрестанном развитии и самообновлении (принцип развития материи). Но если законы, по которым осуществляется самодвижение материи, носят жестко детерминистический характер, если в мире царит одна лишь необходимость, то тогда для развития и обновления в принципе не остается места. К счастью, мы знаем, что это не так. Поэтому очень важно, что в теоретико-физические схемы на законных правах вводятся, помимо понятия необходимости, также понятия случайности и возможности. Такие схемы отображают мир гораздо полнее, в них заложены предпосылки для отражения процессов развития и самообновления материи. И тогда с точки зрения конкретного обоснования философского принципа развития материи можно считать заслугой квантовой физики то, что она ввела в научный оборот понятия случайности, возможности, неопределенности в их диалектической (соотносительной) связи с понятиями необходимости, действительности, определенности.

Следующим философским положением, имеющим большое значение для оснований квантовой физики, является утверждение, что материя движется в пространстве и времени, что пространство и время являются формами существования самодвижущейся материи. Проблематика анализа этого основания такова: существуют ли пространство и время в микромире? какова (если они существуют) их специфика, их топологическая и метрическая структуры? как эта специфика отражается в квантовых теориях? вносят ли эти теории что-либо нового в понимание философских категорий пространства и времени? каково значение классических физических представлений о пространстве и времени для квантовофизического знания? как соотносятся между собой эмпирические (опытные) данные о пространстве и времени и теоретические их модели?

Еще одной темой философского анализа оснований физики, важной в особенности для физики квантовой, является тема логики. Нужно отметить, что эта тема не была злободневной ни в классической физике XVII—XIX вв., ни в современной теории относительности. Хотя логика, естественно, является основанием любого рассуждения, использование ее в физике очень долго не осмысливалось с практической стороны, а рефлексия над ее законами и ее основаниями обычно относилась к области собственно логических исследований или же исследований по основаниям математики. Какое отношение может иметь логика к физике, если первая занимается формами мышления, а вторая — конкретными, содержательными вещами, существующими независимо от мышления? Такая постановка вопроса, вообще говоря, должна вызывать подозрение с точки зрения диалектики, а именно диалектики формального и содержательного (форма и содержание соотносительны!). И это подозрение только усилилось, когда ученые обратились к анализу логики квантовофизических высказываний. Математический анализ этой логики показал, что в сфере квантовофизических высказываний и рассуждений трудно удовлетворить ряду обычных, классических логических законов — таких, например, как законы ассоциативности и дистрибутивности или даже закон исключенного третьего. В этой связи возникли сомнения в достаточности аристотелевской (т. е. классической) логики как логического средства отражения специфики квантовофизической реальности. Стало складываться мнение, что «пропасть» между формальным

и содержательным не так уж и велика, что логика рассуждений имеет под собой эмпирическую (практическую) основу и что она может даже выполнять объяснительные функции. Так ли это? Мы постараемся ответить на этот вопрос в специальной главе.

Наконец, для оснований квантовой физики очень важен анализ соотношения классических и квантовых физических представлений. Как оценить значение классической физики для физики квантовой? Можно ли первую рассматривать в качестве основания второй? На мой взгляд, можно и нужно, ибо любое новое знание возникает не на пустом месте, для развития знания характерен принцип преемственности. Конечно, новый, в особенности революционный, этап в развитии знания связан с отрицанием старого, его преодолением. Однако диалектическое отрицание означает не формально-логическую несовместимость (либо «да», либо «нет»), но содержательный пересмотр сложившихся представлений, в ходе которого эти представления сохраняются, как говорил Гегель, в «снятом» виде, т. е. учитываются в их практически обоснованном содержании. Тогда оказывается, что классическая физика служит не просто исторической предпосылкой появления и развития физики квантовой, но и естественной «системой отсчета», на фоне которой мы оцениваем значимость новых достижений физики, их реальный вклад в научную картину мира и в научную методологию. Здесь может быть позволительным следующее сравнение.

Нет никаких сомнений в том, что математическое открытие неевклидовых геометрий, а затем и их физическое обоснование в теории относительности было выдающимся, революционным шагом в развитии научного знания. Благодаря ему мы поняли, что структура Вселенной гораздо богаче структуры нашего небольшого земного мира. И тем не менее живем-то мы на Земле, пространство и время которой имеют евклидову структуру. А новая же теория (теория относительности) вовсе этому не противоречит, причем важно и то, что ее неевклидовы конструкции могут быть интерпретированы в рамках модели земной геометрии.

Завершая эту главу, обозначим вкратце те средства диалектики, которыми мы будем пользоваться при анализе перечисленных выше оснований квантовой физики, т. е. ее концепций реальности, причинности, движения, пространства и времени, логики, а также и классических

физических представлений (как одного из оснований квантовой физики). Этими средствами являются прежде всего диалектические соотношения между объектом и субъектом познания, теорией и опытом, сущностью и явлением, содержанием и формой, действительностью и возможностью, необходимостью и случайностью и др. Все они в своей совокупности позволяют дать философскую интерпретацию развития квантовофизического знания в общем контексте развития физики, нарисовать, так сказать, «философский портрет» этого знания.

Глава 2. Реальность как научное понятие

Реальность, объективная реальность, физическая реальность. Понятие реальности употребляется в обыденных рассуждениях, в конкретных науках и в философии и неодинаково, и неоднозначно. Казалось бы, смысл этого понятия довольно прозрачен. Он проистекает из противопоставления реального иллюзорному. Реально то, что существует независимо от меня, от моего сознания. Однако, чтобы заключить о реальности чего бы то ни было, я должен быть уверен, что это нечто действительно существует независимо не только от меня, но и от убеждений других людей. В противном случае реальным может оказаться и то, что служит предметом иллюзий, слухов или домыслов (ведь слухи зачастую не зависят от меня).

Очень часто моя уверенность в реальном существовании чего-либо определяется моим знанием. И если я чего-то не знаю о мире, у меня может и не возникнуть соответствующей уверенности. Разве что я буду доверять мнению других, прежде всего ученых, мнение которых не принято уподоблять слухам. В этом случае получается, что реальность как-то зависит от знаний, пусть научных, но все же являющихся человеческим достоянием. Вместе с тем у меня есть уверенность, что реальное не должно зависеть просто от моих знаний и от моей уверенности.

Иногда бывает и так, что нечто, в чем я был уверен как в реальном, по мере приобретения новых знаний теряет этот свой статус и даже превращается в иллюзию. Скажем, еще в прошлом веке люди были уверены, что все многообразие растительного и животного миров сотворено богом. Такая уверенность, на которой основана доктрина креационизма (сотворения мира богом), оказалась в значительной мере подорванной эволюционной теорией Ч. Дарвина, показавшей естественное происхождение животных видов и тем самым подорвавшей реальность креационистских представлений на этот счет.

Вопрос о реальности многих известных или только предполагаемых сегодня людьми вещей осложняется еще и тем, что эти многие вещи не даны человеку непосредст-

венно, т. е. через его чувства. Так, о свойствах и законах Вселенной или же элементарных частиц мы знаем не непосредственно, а через посредство физических теорий и сложных технологических устройств (хотя последствия реальности атомной и ядерной физики человек испытал уже непосредственно чувственно). Кроме того, и для Вселенной, и для элементарных частиц ученые придумали множество разных теорий, которые часто предлагают различные (если не противоположные) представления о своих предметах исследования. И если отождествлять всякий раз такие представления с тем, о чем в них идет речь, получится, что реальность — это даже не двуликий Янус, а хамелеон. В зависимости от состояния развития теории или от специфики теории реальность оказывается каждый раз иной. Более того, она по-разному проявляет себя и в зависимости от устройства наших приборов, экспериментальных установок. Например, электрон, как известно, ведет себя то как частица, то как волна, если мы подберем соответствующие средства для его экспериментального исследования. Но если реальность тождественна содержанию теории или способу ее экспериментального исследования, то выходит, что она не существует сама по себе? Этот логичный вывод трудно согласовать с интуитивным пониманием реальности.

Не будучи в состоянии сразу решить вопрос о реальности, обратимся за ответом на него к философии, которая, концентрируя исторический опыт человечества, должна помочь разобраться и в этом вопросе. Однако и здесь мы не найдем какого-то единственного общепринятого ответа.

Философы издавна бились над решением проблемы реальности. Так, во времена античности Платон связывал реальность с идеальной — вечной, неизменной и совершенной — формой, считая текущие, изменчивые материальные явления, доступные наблюдению и чувствам человека, лишь «тенью» этих форм. В эпоху средневековья Фома Аквинский различал три смысла реального: реальность божественную, реальность материальную и реальность идеальную, или реальность общих понятий, отражающих в сознании человека независимое от него бытие. Позднее Р. Декарт доказывал самостоятельность двух видов реальности — реальности материальной, или протяженной субстанции, и реальности духовной, идеальной, или субстанции мыслящей. После Декарта И. Кант также пытался противопоставлять две реальности: независимую

от человека и непознаваемую им реальность поуменов, или вещей-в-себе (либо, можно сказать, сущность), и познаваемую и зависящую от человека реальность вещей-для-нас, реальность явлений (феноменов). Еще позднее Гегель признавал существование многих превращенных форм реальности, среди которых исходной является реальность мирового разума, навязывающего свои законы всем прочим формам реальности, в том числе и материальному, чувственно воспринимаемому, теоретически осмысливаемому и практически преобразуемому миру природы. Мировой разум, или Абсолютный Дух, Гегель характеризовал следующими словами: «Происхождение духа из природы не должно быть понимаемо так, будто природа есть нечто абсолютно непосредственное, первое, изначально полагающее, тогда как дух, напротив, есть нечто ею положенное, скорее, наоборот, природа полагается духом, а дух есть абсолютно первое»¹. Наконец, в субъективно-идеалистических философских течениях первичной реальностью оказывается реальность опытных данных, ощущений, восприятий, отдельных человеческих идей.

Уже из сказанного выше можно заметить, что философы, когда они говорят о первичной, истинной реальности и о нереальном или производно реальном, далеко не всегда имеют в виду противопоставление по какой-либо одной категориальной паре признаков реального и нереального (ощущение или идея, материя или сознание, форма или содержание, атрибут или субстанция как носитель атрибутов, или свойств, и т. д.). Например, Платон противопоставляет форму содержанию (или субстанции), Декарт признает одинаково реальными две субстанции, Кант противопоставляет объективную реальность (как не зависящую от познания) реальности, данной в познании, и т. д. Для естественноисторического материализма, т. е., по определению В. И. Ленина, «стихийного, неосознаваемого, неоформленного, философски-бессознательного убеждения подавляющего большинства естествоиспытателей»², все реальное объективно. Тем самым оно существует вне и независимо от сознания, познаваемо им, т. е. отражается сознанием человека в формулируемых им понятиях и законах науки.

В диалектическом материализме под исходной реальностью обычно понимается «объективная реальность». Это, конечно, не значит, что диалектические материалисты отрицают существование иных видов реальности, на-

пример реальности ощущений, восприятий и идей. Просто они считают, что объективная реальность является первичной, порождающей все иные виды и формы реальности. Категория объективной реальности, данной «человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них»³, или «материя» («материя» — это категория, понятие, а не сама объективная реальность), является исходной категорией в диалектическом материализме.

Заметим здесь, кстати, что основные философские направления можно классифицировать и исходя из того, какой именно философский категориальный аппарат они используют, принимают за исходный. Так, субъективно-идеалистические направления в целом исходят из категорий, которые пытаются выразить прежде всего черты индивидуального сознания человека — его чувства, ощущения, восприятия, идеи, переживания, личный опыт. Объективный идеализм абстрагируется от личностных характеристик и делает исходной базой своих философских систем черты, присущие чаще всего общественному сознанию или абстракциям специфического, элитарного ума (например, математического). Так называемые реалисты делают ставку на общее в многообразии явлений, т. е. на их законы, а номиналисты, напротив, доказывают, что реально лишь единичное, индивидуальное, явление, в то время как общее является изобретением человеческого рассудка. Дуализм признает два самостоятельных начала — материальное и идеальное, а материалисты, как правило, кладут в основу своих систем прежде всего категорию материи. Известно, что материализм, как и идеализм, исторически имел и сегодня имеет множество различных форм. Ныне в ряде стран Запада получил распространение так называемый «редуктивный» материализм, т. е. такое направление материалистической философии, которое стремится представить идеальное как некий вид материального, хотя и сложно организованного, а ведь еще В. И. Ленин относил подобные попытки сведения идеального к материальному к проявлениям «вульгарного» материализма, поскольку они принижали активную, самостоятельную роль человеческого сознания.

В диалектическом материализме материя противопоставляется сознанию и сознание не сводится к материи. Вместе с тем диалектический материализм настаивает, что противопоставление материи и сознания ограничено лишь рамками «основного гносеологического вопроса»

(В. И. Ленин), т. е. вопроса о том, что считать первичным в развитии мира и его познании, а что — вторичным. Схема здесь очень простая: исходная материальная реальность в своем саморазвитии порождает сознание, т. е. психику, ощущения, восприятия, волю, эмоции и представления, которые все являются свойствами живого мира (для разных представителей живого мира — в различной степени). Эта схема подтверждается многими научными данными и, в свою очередь, служит мощным эвристическим средством для получения нового знания. Поэтому в диалектическом материализме особо отмечается, что категория материи, обозначающая объективную реальность, имеет огромное методологическое и мировоззренческое значение для науки.

Но как уже, по-видимому, становится ясным из изложенного, эта категория не является исчерпывающей для представления всех видов и форм реальности. В том числе недостаточна она и для раскрытия тех форм реальности, которые изучает физика. Поэтому на стыке физики и философии, в области оснований физики, возникло понятие физической реальности, представляющее собой одну из центральных методологических и мировоззренческих категорий физики. Это понятие имеет объективный статус, т. е. физическая реальность принадлежит единому миру, Вселенной. Однако, будучи одновременно отражением и реконструкцией этого мира (в физическом познании и практике), оно не совпадает с категорией материи, а служит ее конкретизацией применительно к сфере физических исследований.

Характеризуя специфику понятия физической реальности, нужно учитывать общие черты человеческого познания. На некоторые из них указывали в своих трудах основоположники диалектического материализма.

Первая черта заключается в том, что познание включает в себя практику. С этой точки зрения весьма существенно, что поначалу нерасчлененная, как бы противопоставленная сознанию объективная реальность становится объектом познания при чувственном, эмпирическом, практическом ее освоении человеком. Как писал К. Маркс, «спор о действительности или недействительности (т. е. реальности или нереальности, истинности или ложности.— А. П.) мышления, изолирующегося от практики, есть чисто *схоластический* вопрос»⁴.

Вторая черта заключается в том, что познавательный образ объективной реальности представляет собой не

просто её вполне однозначное отражение в сознании, не включает в себя элементы фантазии и заблуждения «Подход ума (человека) к отдельной вещи, снятие слепа (=понятия) с нее,— отмечал В. И. Ленин,— *н е е с т ь* простой, непосредственный, зеркально-мертвый акт а сложный, раздвоенный, зигзагообразный, *включающий в себя* возможность отлета фантазии от жизни... Ибо и в самом простом обобщении, в элементарнейшей общей идее («стол» вообще) *е с т ь* известный кусочек фантазии»⁵.

Философско-методологический анализ реальности в физике должен учитывать эти два общепознавательных момента, т. е. ту важнейшую роль, которую играют в формировании ее содержания теоретико-конструктивная и практически-экспериментальная деятельность человека как субъекта познания. Физическая реальность формируется, конечно, объективной реальностью как ее отражение или часть, изучаемая физикой, но она представляет собой вовсе не объективную, нечеловеченную, реальность, а когнитивный, материально-идеальный объект, в содержание которого свой вклад вносят три инстанции: объективная реальность, практика экспериментов и теоретико-конструктивная деятельность. Две последние инстанции следует отнести к человеческому фактору физической реальности. Таким образом, физическая реальность в отличие от объективной реальности включает в себя и черты человеческой деятельности (материальной и идеальной).

Реальность в классической и в квантовой физике. Классическую физическую точку зрения на реальность можно сформулировать, например, следующими словами: «Если нечто воздействует на наше сознание так, что эффект воздействия воспроизводится одинаково в одних и тех же условиях, а контролируемое изменение условий сопровождается контролируемым, т. е. предсказуемым и устойчивым, изменением эффекта, то это нечто — реально». При этом ни попытки изменить средства экспериментального исследования, ни попытки использовать иные теоретические способы рассмотрения предмета не оказывают на последний никакого воздействия — разве что они позволяют выявить полнее и точнее все многообразие его характеристик.

В квантовой физике, однако, выдержать такую точку зрения на реальность оказалось невозможным. Здесь выявилось, что могут существовать вроде бы тождественные

объекты, характеристики которых, однако, не воспроизводят себя одинаково в равных условиях существования этих объектов. Выяснилось, что определенные свойства объектов проявляются лишь в определенных экспериментальных ситуациях, и неизвестно, существуют ли они сами по себе. Последнее обстоятельство дало повод утверждать, что такие свойства не столько присущи объектам самим по себе, сколько порождаются измерительными приборами. Выяснение этого нанесло сильный удар по классическому физическому пониманию реальности.

Говоря более конкретно, благодаря квантовой физике стало ясно, что реальность таких традиционных физических понятий, как частица и волна, положение и импульс (и другие), относительна к условиям наблюдения, определяемым экспериментальной обстановкой. Квантовые объекты обнаруживают свойства, отвечающие этим понятиям, лишь в специфических измерительных ситуациях; эти свойства существуют у объектов не сами по себе, а как бы только в потенции. При этом различные классы специфических измерений оказываются даже несовместимыми, как, например, в случае измерений положения и импульса электрона. Из-за этого физики отказываются говорить о координате (или импульсе) квантового объекта вне контекста измерения, т. е. на не зависящем от него бытийном уровне. Более того, оказывается, что ряд, казалось бы, простых с классической точки зрения комбинаций свойств, например, x y p_z , т. е. произведения ширины, высоты объекта и его импульса в длину, невозможно даже и измерить.

Далее, квантовая физика открыла новый тип физической реальности, не имеющий аналога в классической физике. Это — реальность диспозиций, т. е. реальность не актуально присущих, всегда имеющих место свойств объектов, а реальность предрасположенностей их поведения. Такую реальность называют объективными (или потенциальными) возможностями квантовых объектов. Квантовые объекты обладают физическими свойствами, которые мы считаем внутренне присущими классическим физическим объектам, не актуально, а лишь в возможности, потенциально. Такие возможности превращаются в действительность, наблюдаются в экспериментах лишь во взаимодействиях с приборами, которые как бы выфильтровывают у квантовых объектов искомые приборами свойства. При этом, однако, правила актуализации таких возможностей определяются неклассическими фи-

зическими законами. Для классических физических объектов таких правил просто нет, так как для них не имеет смысла само понятие актуализации — свойства классических физических объектов всегда актуальны, т. е. постоянно имеются у них в наличии.

Указанный новый тип физической реальности находит определения в понятиях амплитуды вероятности, виртуальных частиц и состояний, квантового перехода и т. п. характеристиках, которые не являются непосредственно наблюдаемыми (или даже вообще не наблюдаемы) и неизменно воспроизводимыми на опыте. (Заметим, впрочем, что ненаблюдаемые физические свойства и объекты вводились и классической физикой. Это, например, абсолютные пространство и время, эфир, теплород.)

Указанные отличия квантовофизической реальности от реальности классической физики заставляют исследователей пересмотреть сложившиеся в классической физике представления о способе существования традиционных физических свойств и величин и в связи с этим саму природу и структуру физической реальности. Ведь, согласно классическим физическим традициям, физически реальными естественно считать такие величины или свойства, которые могут быть определено приписаны объектам при всех возможных условиях их наблюдения и осмысления. Но оказывается, что величины микромира могут быть разделены на три группы: 1) удовлетворяющие традиционному пониманию физически реального (например, электрический заряд, барионное число); 2) приближенные, феноменологические характеристики микрообъектов (типа странности или изотопического спина) и 3) величины, являющиеся, так сказать, макроскопическими «следами» микрореальности (масса, энергия, импульс, координаты, компоненты спина). Выясняется, что структура квантовофизической реальности воспроизводится при помощи по крайней мере двух типов понятий — «непосредственных наблюдаемых», или случайных, величин (величин, существующих у квантовых объектов «самих по себе» лишь в потенции) и «квантовых чисел», определяющих спектр допустимых значений для первых. При этом понятия первого типа ближе уровню явления, описывают внешне проявляющиеся характеристики микрообъектов, а понятия второго типа относятся, скорее, к так называемым теоретическим понятиям, выражающим сущность.

Обзор точек зрения на реальность в квантовой физике. В научной литературе как по вопросам физики, так и по проблемам философии представлены различные точки зрения на природу квантовофизической реальности. Мы рассмотрим здесь только некоторые из них, являющиеся, на наш взгляд, наиболее распространенными и обсуждаемыми.

Один из основоположников квантовой физики — Н. Бор подчеркивал самостоятельную роль «квантового явления» и тот фундаментальный, по его мнению, факт, что поведение атомных объектов нельзя резко отграничивать от их взаимодействий с классическими измерительными приборами: именно неразделимостью указанных поведения и взаимодействия определяется необходимость введения в методологию физики такого понятия, как «квантовое явление». Другой основатель квантовой физики — В. Гейзенберг говорил о потенциальных возможностях в поведении квантовых объектов как присущих им независимо от экспериментальных условий их исследования. Согласно Дж. фон Нейману, исследовавшему математический аппарат квантовой механики, в квантовофизическом познании необходимо учитывать специфическую роль сознания наблюдателя, ибо волновая функция (основная теоретическая конструкция квантовых теорий) описывает не непосредственно квантовый объект, а состояние нашего знания о нем, которое, естественно, может изменяться при взаимодействиях микрообъектов с приборами. Для Ю. Вигнера наблюдение (и более того — сознание!) порождает (как у Р. Декарта) уникальное субстанциальное изменение в состоянии наблюдаемого микрообъекта, что свидетельствует как о реальности воздействия сознания на физические объекты (материю), так и о возможности физического описания явлений живой природы, в том числе психических. Советский физик Ю. М. Ломсадзе, следуя отчасти Дж. фон Нейману, считает, что квантовомеханическое состояние (представляемое волновой функцией), хотя и не является объективной характеристикой микрообъекта, все же дает наблюдателю информацию о его (микрообъекта) объективных характеристиках.

В 1947 г. известный советский ученый акад. М. А. Марков в статье «О природе физического знания», анализируя соотношение классической и квантовой физики, писал: «Под физической реальностью понимается та форма реальности, в которой реальность проявляется в

макроприборе». «Физическая реальность квантовой теории,— разъяснял он далее,— не дается простым созерцанием, она включает в себя момент активной человеческой деятельности, когда с помощью макроприбора проектируется реальность микромира на макромир — в сферу непосредственно познавательной деятельности макроскопического существа»⁶. В этом определении подчеркиваются активная, преобразующая роль субъекта познания, причем в аспекте его операциональной, экспериментальной деятельности, и непосредственный макроскопический (человеческий) характер такой деятельности.

Тщательное исследование специфики квантовофизической реальности, ее отличий от реальности классической физики было проведено также в трудах В. А. Фока. Он писал, что квантовая физика вынуждает отказаться от таких познавательных абстракций классической физики, как признание абсолютного характера физических процессов (в смысле их независимости от условий наблюдения) и предположение о возможности сколь угодно детального (а в пределе — исчерпывающе точного и всестороннего) их описания. Вместо таких жестких идеализаций она заставляет физиков принять представление об относительности свойств квантовых объектов к средствам наблюдения (представление, обобщающее введенное ранее теорией относительности понятие относительности к системе отсчета), использовать понятия вероятности и потенциальной возможности⁷.

Разрабатывая концепцию физической реальности далее, советские ученые, специализирующиеся в области философских проблем естествознания, при общем признании объективности квантовофизического знания приходили к различным выводам относительно природы этой объективности. Так, в работах И. С. Алексеева подчеркивается, что «действительностью... выступающей в качестве содержания научного знания, должен быть не только мир объектов-вещей, но и мир нашей практической (в науке — экспериментальной) деятельности с ними»⁸. Поэтому, заключает этот исследователь, «потенциальные возможности» суть опредмеченные (представленные в форме объекта) характеристики возможных экспериментов. В противовес данной точке зрения Б. Я. Пахомов полагает, что в вопросе о природе квантовофизической реальности следует различать две вещи — способ познания этой реальности и результат такого познания. «Способ познания,— пишет он,— конечно, всегда есть дея-

тельность субъекта. Здесь мы не можем обойтись без средств познания, без приборов, и об отсутствии субъекта не может быть и речи. Когда мы говорим о результате,— конечно, полученном субъектом,— результат этот имеет объективное значение, его можно потом применить к условиям, когда нет ни человека, ни приборов»⁹. В свете этого, считает автор, фоковское понятие «относительности к средствам наблюдения» необходимо заменить более объективным понятием «относительности к виду взаимодействия».

Приведенные две точки зрения на природу физической реальности представляются как бы противоположными границами спектра существующих на этот счет точек зрения в советской философско-методологической литературе. Их анонимно называют соответственно деятельностной и онтологической интерпретациями квантовофизической реальности. Обе эти точки зрения отстаивают объективность квантовофизического знания, однако радикально противоположными способами. Деятельностный подход исходит из объективности самой человеческой практики, а онтологический — из объективности объекта познания и практики.

Хотя оба подхода развиваются в общем контексте материалистической диалектики, все же в рамках этого контекста лежащие в их основе философские позиции сильно различаются. Онтологический подход подчеркивает в большей мере первичность объекта познания, противопоставляя ему субъекта как реальность вторичную, а деятельностный подход акцентирует значение именно активности субъекта. Другими словами, в основе этих подходов лежат разные философские абстракции. Онтологический подход укладывается в рамки широкой гносеологической позиции, которую принято называть реализмом. Реализм утверждает, что объект познания ни в своем существовании, ни в своих свойствах не зависит от субъекта и его средств познания. Что же касается деятельностного подхода, то он ориентируется прежде всего на практику субъекта, которая подчас формирует и сам объект.

Надо отметить, что онтологический и деятельностный подходы в советской литературе имеют параллели (а может быть, и корни) со взглядами на природу физической реальности, которых придерживались соответственно А. Эйнштейн и Н. Бор. Так, А. Эйнштейн полагал, что «элементы» физической реальности, по опре-

делению, не должны зависеть от экспериментальной ситуации. В экспериментах реальность не формируется, не «творится», а только обнаруживается так, как она есть «сама по себе». (Правда, Эйнштейн «творил» свою реальность в теории.) В свою очередь, Н. Бор полагал, что «квантовое явление» как физическая реальность формируется в неразрывной целостности поведения атомных объектов и их взаимодействия с измерительными приборами.

Указанные выше два подхода не являются сами по себе исчерпывающими в понимании физической реальности. Действительно, квантовофизическое знание отражает объективную реальность, которая существует независимо от этого знания. И в той мере, в которой оно схватывает независимые от субъекта ее черты, оно обосновывает реалистическую концепцию реальности. Однако квантовофизическое знание (как и вообще любое знание) имеет всегда человеческое измерение, оно есть знание не обезличенное, не сверхчеловеческое, но знание, определенное взаимодействием субъекта как относительно самостоятельного субстрата природы, специфического существа с его окружением, элементы которого мы и представляем обычно как объекты познания. И поскольку научное знание есть результат такого взаимодействия, оно неизбежно несет в себе его черты. Отсюда и вытекает обоснование деятельностного подхода в трактовке реальности.

Надо подчеркнуть, однако, что в рамках деятельностного подхода сама деятельность рассматривается часто как практическая, материальная, экспериментальная. Но человеческая деятельность не сводится целиком только к такой ее форме. Особенно ясно это можно представить себе, обратившись к физике, которая делится на экспериментальную и теоретическую. Если в экспериментах субъект познания действительно производит материальные операции с объектами познания, то теоретик работает вовсе не с материальными объектами, а с идеальными, мысленными реконструкциями объективной реальности и практики. Для него непосредственной реальностью является вовсе не объективная реальность и не материальная деятельность экспериментатора, а реальность символическая, идеальная, представленная осмыслением теоретических конструкций, в частности формул. Теоретические представления при этом как бы накладываются на объективную реальность, с которой непосредственно

имеет дело экспериментатор, а также и на его практику. В результате мы получаем в качестве физической реальности образование, которое имеет двуединую — материально-идеальную — природу. В формировании этого образования существенную роль играют, как это отмечалось выше, три фактора — фактор объективной реальности и два человеческих фактора, т. е. материальная экспериментальная практика и идеальная теоретико-конструктивная деятельность.

Сопоставление разных точек зрения на физическую реальность позволяет выделить в них не только различия, но и общие моменты. Это, во-первых, подчеркивание отличий объективной и физической реальностей. Это, во-вторых, попытки связать понятие физической реальности именно с методологической и мировоззренческой проблематикой физики. Это, в-третьих, важный акцент на том, что физическая реальность конструируется активной, преобразующей деятельностью субъекта либо на уровне эксперимента, либо теоретически, либо, что точнее всего, в результате совокупной материально-идеальной практики человека.

Концепция реальности Э. М. Чудинова. Наша концепция физической реальности вырастает из критического осмысления не только точек зрения на нее Б. Я. Пахомова и И. С. Алексеева, но и точки зрения Э. М. Чудинова (учеником которого является автор этой книги). Э. М. Чудинов подчеркивал значение конструктивной деятельности мышления для формирования содержания физической реальности, указывая на относительность этого содержания в смысле его зависимости от содержания той или иной физической теории.

И в самом деле, признавая несомненную связь физической реальности и с объективной реальностью (Б. Я. Пахомов), и с экспериментальной практической деятельностью субъекта познания (И. С. Алексеев), нельзя не учитывать также и роль теоретической деятельности в формировании содержания физической реальности как двуединого по своей природе — материально-идеального — объекта. Акцент на роли теоретической деятельности привел Э. М. Чудинова к пониманию физической реальности как «теоретизированного мира», как совокупности «теоретизированных» объектов. Сам Э. М. Чудинов пришел к такой концепции, отталкиваясь от анализа некоторых взглядов А. Эйнштейна на природу физического познания.

В свое время А. Эйнштейн, обсуждая различие между объективной и физической реальностями, писал: «При анализе физической теории необходимо учитывать различие между объективной реальностью, которая не зависит ни от какой теории, и теми физическими понятиями, с которыми оперирует теория. Эти понятия вводятся в качестве элементов, которые должны соответствовать объективной реальности, и с помощью этих понятий мы и представляем себе эту реальность»¹⁰. Рассматривая различия между «чистыми идеями» и «чувственными восприятиями», он приходил к следующему заключению: «... „реальность“ в физике следует считать своего рода программой. Ничто не заставляет нас придерживаться этой программы априори. По-видимому, никому не придет в голову отказаться от этой программы, если речь пойдет о „макроскопических“ явлениях... Но „макроскопический“ и „микроскопический“ аспекты настолько тесно переплетены между собой, что вряд ли стоит отказываться от этой программы и при рассмотрении одних лишь „микроскопических“ явлений... Защищаемая точка зрения отличается от точки зрения Канта лишь тем, что мы не считаем „категории“ неизменяемыми (обусловленными природой мышления), а считаем их свободными (в логическом смысле) соглашениями»¹¹. Таким образом, Эйнштейн отмечает, что он понимает реальность как «программу» и что на это его понимание определенное влияние оказал И. Кант. Что же привлекло Эйнштейна в кантовской теории познания?

Кант отвергал точку зрения, что чувственные восприятия (созерцания) сами по себе или понятия рассудка сами по себе могут воссоздавать объект познания, приводить к знанию о нем. «Созерцания и понятия суть начала всякого нашего познания,— писал он,— так что ни понятия без соответствующего им некоторым образом созерцания, ни созерцание без понятий не могут дать знание... Ни одну из этих способностей нельзя предпочесть другой. Без чувственности ни один предмет не был бы нам дан, а без рассудка ни один нельзя было бы мыслить. Мысли без содержания пусты, созерцания без понятий слепы... Только из соединения их может возникнуть знание»¹².

Эта мысль, коренящаяся в кантовской гносеологии, глубоко диалектична. В свое время она означала целую революцию в теории познания, поскольку подчеркнула активность, творческий характер деятельности челове-

ского сознания. (Правда, сам Кант истолковал свое открытие в духе априоризма — априорности форм чувственного созерцания, или пространства и времени, и форм мыслительной деятельности, т. е. логических категорий.) Эйнштейн нашел в позиции Канта подтверждение своего убеждения о том, что реальность является не объектом пассивного созерцания, а «программой», объектом, возникающим в результате активной, творческой работы ума. объектом, понятия о котором являются «свободным творением разума». При этом, говоря о «свободном творении разума», о том, что категории разума следует считать «соглашениями», Эйнштейн не отождествлял эту свободу со своего рода гносеологическим анархизмом, волюнтаризмом, конвенционализмом или какими-либо другими формами субъективного идеализма. Свобода теоретического конструирования ограничивается, по его мнению, соответствием теоретических предсказаний опытным данным, внутренней непротиворечивостью теоретических систем, их согласованностью с установленными, хорошо подтвержденными теоретическими знаниями, методологическими принципами наблюдаемости, соответствия, простоты и т. д. (Все эти регулятивные принципы Эйнштейн эффективно использовал в своей научной деятельности. Например, принцип соответствия, который он считал «внеэмпирическим» критерием истинности теории, он последовательно применял при построении общей теории относительности, требуя от последней того, чтобы ее выводы согласовывались с хорошо подтвержденными предсказаниями ньютоновской гравитационной теории. Последовательное использование принципа наблюдаемости при создании специальной теории относительности побудило Эйнштейна отказаться от концепции эфира, несмотря на то что эта концепция была общепринятой в физике.) Говоря о свободе теоретического конструирования знания из эмпирического материала, Эйнштейн подчеркивал: «Но свобода выбора здесь все-таки особого рода. Она не похожа на свободу пишущего роман, а скорее похожа на свободу человека, обязанного решать хорошо составленный кроссворд. Он, собственно говоря, может предложить любое слово в качестве решения, но только одно слово действительно решает кроссворд во всех его частях»¹³. Это означает, что теоретическое познание, во-первых, должно соответствовать реальности, а во-вторых, носит системный характер, т. е. что свобода конструирования ограничена, с одной стороны,

объективной реальностью, а с другой — человеческой «программой». (Это значит вместе с тем, что картина физической реальности детерминистична, однозначна — она подобна кроссворду.)

Э. М. Чудинов развил эйнштейновскую концепцию физической реальности, представив эту реальность в качестве «теоретизированного мира». Он считал, что понятие физической реальности характеризует объективно-реальный мир не сам по себе, но в том его виде, как он «просматривается» через призму понятий физической теории. «Термин „физическая“ в контексте „физическая реальность“, — подчеркивал он, — указывает на зависимость представления структуры объективной реальности от некоторой физической теории»; физическая реальность представляет собой «теоретизированный мир», совокупность понятий, которые моделируют структуру существующего вне и независимо от человеческого сознания реального мира¹⁴.

Вместе с тем, писал Э. М. Чудинов, понятие физической реальности нельзя отождествлять просто с понятием модели. Обычно модель предполагает соотнесение с заранее известным оригиналом, а физическая реальность, хотя и носит моделирующий характер, воспроизводит в форме теоретических объектов и математических структур не всегда еще известную сущность явлений: сущность физических явлений не может быть выявлена вне контекста теоретических закономерностей, она не дана нам заранее, как некий прообраз, с которого мы могли бы снимать копии и с которым мы могли бы сравнивать существующие теоретические закономерности и образы.

Некоторые обобщения. Хотя физическая реальность включает в себя отражение объективно-реального мира сквозь призму понятий той или иной физической теории, представляется все же, что она шире по содержанию, чем просто «теоретизированный мир» объектов той или иной отдельно взятой теории. Как уже говорилось, источниками физической реальности являются не только теории и объективная реальность, но и экспериментальная, практическая деятельность субъекта познания. Но дело не только в этом.

Во-первых, существует очень много разных физических теорий. В этой связи возникает следующий вопрос: что же, столько же должно быть и физических реальностей? Более того, в современной физике существуют подмножества так называемых эквивалентных, или конкури-

рующих, теорий, которые одинаково хорошо предсказывают, но по-разному объясняют один и тот же круг физических явлений. Примерами здесь могут служить, скажем, эйнштейновская теория гравитации и ее многочисленные конкуренты, специальная теория относительности и лоренцева теория эфира, матричная, волновая и фейнмановская формулировки квантовой механики и т. д.

Во-вторых, если рассмотреть совокупность различных по содержанию теорий, скажем специальную и общую теории относительности и варианты единой теории поля, разработанные Эйнштейном, то среди них можно обнаружить нечто общее, что сам Эйнштейн называл «теоретико-полевой программой». Более того, исходные представления этой программы содержатся не только в теории относительности или эйнштейновских вариантах единой теории поля. Их можно найти в электромагнитной теории Максвелла, квантовой теории поля, геометродинамике Уилера.

Все это позволяет предположить, что физическая реальность возникает, в частности, как результат практики построения и развития различных физических теорий. В этом смысле понятие о ней близко понятиям научно-исследовательской программы (на которое и ориентировался А. Эйнштейн), физической картины мира, стиля физического мышления, онтологии и методологии физики. Во всяком случае, все это — понятия одного ряда. Специфика физической реальности определяется как фундаментальными онтологическими характеристиками того фрагмента объективной реальности, которому она должна соответствовать, так и методологической программой и мировоззренческими установками того или иного отдельно взятого ученого. Таким образом, физическая реальность как категория методологии и мировоззрения физиков сочетает в себе единство объективных и субъективных аспектов, объективно-реальных (неочеловеченных) и человеческих (которые тоже объективно-реальны) факторов.

Пренебрежение субъективным ее аспектом, т. е. той ролью, которую играет в формировании физической реальности активная конструирующая теоретическая и практическая деятельность субъекта познания, приводит к наивному реализму или же к объективному идеализму, платонизму — в зависимости от того, отождествляем ли мы наблюдаемую реальность с объективной реальностью или же, напротив, считаем объективной реальностью реальность ненаблюдаемых мысленных форм. Так, наив-

по-реалистическим является отождествление восхода и захода Солнца с его движением вокруг якобы неподвижной Земли, а платонистским — мировоззрение современного физика В. Гейзенберга, который приписывал математическим структурам статус первичной реальности, утверждая, что современная физика движется от Демокрита к Платону ¹⁵.

С другой стороны, отрицание объективного аспекта концепции физической реальности в пользу субъективного ее аспекта ведет к субъективному идеализму, что можно наблюдать, например, у Э. Маха, который не желал признавать реальность атомов.

Но даже признание существенной гносеологической роли всех факторов (объективно-реального и субъективного, человеческого) в формировании содержания физической реальности еще не гарантирует от субъективизма. Например, голландский ученый П. Й. Зварт, анализируя философскую проблематику времени, справедливо пишет, что любое наше фундаментальное понятие (категория) имеет два корня — в разуме и в природе. И если эти корни разделить механически, то можно прийти к выводу, что время, пространство, причинность и т. д. суть физические объекты, которые могут быть восприняты непосредственно. Однако, считает Зварт, физического времени не существует, так как это было бы «время без субъекта», тогда как время «состоит только в восприятии последовательности событий». Временные отношения, по Зварту, вообще нельзя свести к какой-либо объективной реальности, ибо «понятие времени было развито во взаимодействии с нашим окружением одновременно с применением первого к последнему. Физическая реальность пропитана психологическим временем, а психологическое время нельзя изъять из физической реальности, не разрушая эту реальность» ¹⁶.

С точки зрения, которая развивается здесь, объективность физической реальности вовсе не означает отрицания наличия в ней субъективных компонентов, субъективных форм выражения объективной реальности. Объективное и субъективное вообще должны быть соотносены и представляются как существующие друг без друга только в некоторой абстракции. Под объективностью человеческого знания понимается то, что такое знание не противоречит внешней ему объективной реальности, определяется ею. Но из процесса отражения и освоения человеком «внеположенной» ему объективной

реальности нельзя устранить самого субъекта. Против этого возражал еще К. Маркс в своих «Тезисах о Фейербахе».

Субъективное и объективное не являются двумя различными и самостоятельными субстанциональными компонентами мира, из которых мир механически складывается. Мир един в принципе — ему принадлежит и объективное и субъективное. Другое дело, что человек является некоторой автономной частью единого мира и, выделяя себя из целого, он противопоставляет себя миру. Возможно, он имеет на это противопоставление некоторые «права». Но эти «права» в конечном счете порождены саморазвивающейся материей¹⁷. Субъективное и объективное — это лишь человеческие реальности, аспекты его существования. Объективность означает верное отражение мира, а субъективность — конструктивный, преобразующий характер отражения. Лучше всего эту связь объективного и субъективного выразил В. И. Ленин, который писал в «Философских тетрадах» следующее: «Логические понятия субъективны, пока остаются «абстрактными», в своей абстрактной форме, но в то же время выражают и вещи в себе. Природа *и* конкретна *и* абстрактна, *и* явление *и* суть, *и* мгновение *и* отношение. Человеческие понятия субъективны в своей абстрактности, оторванности, но объективны в целом, в процессе, в итоге, в тенденции, в источнике»¹⁸.

В связи с соотношением физической реальности с объективной реальностью нужно подчеркнуть, что если теоретико-конструктивная деятельность ученого вносит свой вклад и в форму, и в содержание физической реальности, то материально-практическая (в частности, экспериментальная) его деятельность формирует условия для объективно-реального проявления тех или иных свойств такого вклада. Например, теоретик может представлять физическую реальность квантового мира как состоящую из частиц или волн, однако объективно-реальное подтверждение этих представлений человека о мире в самом мире достигается только на опыте. Физический эксперимент, осуществляющий связь теоретического осмысления природы с самой природой, поэтому властно вторгается в процесс формирования объектов физической реальности. Так, именно соответствующий эксперимент указал на неадекватность наивно-реалистического отождествления физической реальности (в классической физике) с реальностью объективной¹⁹.

Структура физической реальности. В отличие от «математической реальности», т. е. реальности чисто идеального характера, физическую реальность можно представить как обьективированное содержание не только семантической (т. е. внутрилингвистической), но и практической, эмпирической интерпретации логико-математического аппарата физической теории. В этом содержании можно выделить классы эквивалентных (но не обязательно тождественных) по тем или иным признакам объектов²⁰. Такие классы возникают в результате абстракции от несущественных в рамках теории или для эксперимента признаков объектов и изоморфного отождествления последних по существенным признакам. В каждом из классов помещается определенный специфический тип объектов, свойств и отношений физической реальности. Представители данного типа суть как бы стандартные детали, производимые на «конвейере» принятых теорией абстракции, или, иными словами, элементарные объекты, свойства и отношения теории. Примерами их могут служить материальные точки, гармонические осцилляторы, силовые линии, кванты полей и т. д.

Множество подобных объектов возникает, когда, образно говоря, в процессе исследования обьективного мира на него «набрасывается» «сеть» понятий, которая «вылавливает» в нем все то, что крупнее ее «ячеек». Форма и размеры «ячеек» этой «сети» определяются общим уровнем развития теоретического знания и практики (техники эксперимента).

Следует отметить, что в первую очередь эта «сеть» формируется нашим категориальным аппаратом, который обладает определенной устойчивостью и передается от поколения к поколению. Философы уже давно пытаются определить этот категориальный аппарат. Систему категорий разрабатывал еще Аристотель, много усилий ее выявлению и обоснованию посвятили Кант и Гегель. Кант, отмечая устойчивость ряда категорий и принципов рассудка (категорий субстанции, пространства, времени, принципа причинности), приходил к выводу об их априорности, врожденности человеку. Если рассматривать человека с эволюционно-биологической точки зрения, как родовое существо, то это кажется верным. Однако это перестает быть верным, если учесть социальную специфику сущности человека, развитие его культуры, в том числе и категориального аппарата, в процессе практики и познания. Но все же категориальную обусловленность

теоретических конструкций физики мы не можем не учитывать.

Н. Бор выражал это обстоятельство следующими словами: «Речь, а тем самым непосредственно и мышление суть способности, которые — в противоположность другим телесным способностям — развиваются не в отдельном индивидуе, а между индивидами. Мы учимся говорить только от других людей. Язык — это в известной степени сетка, натянутая между людьми, и мы висим в ней со своим мышлением, со своей способностью познания»²¹. К этому можно добавить, что сознание и такая его характеристика, как речь, сформировались не просто в процессе общения (разговора, беседы) но и в процессе общественного труда, в процессе становления и развертывания практики. Это значит, что наши понятия, и понятия физики в том числе, имеют под собой практические основания. Такой вывод подтверждают, в частности, исследования Ж. Пиаже и его сотрудников формирования понятийного мышления у детей, многочисленные логические исследования структуры физических теорий и их утверждений, тесно связанных с формулировкой результатов наблюдений и измерений. Об этом говорит, естественно, и само существование экспериментальной физики.

В физической теории объекты, их свойства или отношения отождествляются тогда, когда эксперименты не в состоянии различить индивидуальные признаки этих объектов, свойств или отношений. Например, в квантовой физике считаются тождественными электроны, фотоны, другие элементарные частицы. Физики объясняют это их (частиц) фактической неразличимостью, определяемой уровнем развития практики эксперимента. Тем самым они подчеркивают, что эксперимент играет существенную роль в формировании абстракций теории, а поэтому и самой физической реальности. Это подтверждает тезис о том, что познающий субъект на любой стадии познания не может видеть мир иным, нежели в той его форме, в которой он представлен в общественной практике, что человек, как писал В. И. Ленин, «идет к объективной истине *ч е р е з* „практику“...»²².

Итак, физическая реальность формируется отчасти благодаря теории, которая способна опережать, предвосхищать практику, а отчасти в процессе экспериментальной деятельности, которая способна создавать и такие объекты, которые не существуют в окружающей челове-

ка природе (например, на ускорителях). При этом теоретическое конструирование объектов физической реальности контролируется практикой физического эксперимента и технических приложений физики в промышленности. Нужно иметь в виду, что не всем понятиям теории, не всем их отношениям, т. е. не всем объектам физической реальности, отвечают объективные прообразы в реальном мире. Ведь в рамках теории имеются и такие понятия и отношения, введение которых обусловлено внутренними потребностями функционирования математического аппарата теории либо которые заимствованы из других областей (не только физического) знания по аналогии или в силу общих традиций, а то и вводятся поначалу метафорически. Поэтому относительно концептуальной «сети» теории имеет смысл различать материальные и идеальные элементы (объекты и отношения между ними). Материальные элементы существуют в действительности (точнее, имеют объективно-реальные прообразы), а идеальные суть идеальные. С современной точки зрения примерами последних могут служить теплород, флогистон, светоносный эфир либо математические понятия вроде мнимой единицы или градиентного (калибровочного) преобразования. Ясно, что идеальные элементы неоднородны по своей онтологии. Так, флогистон или теплород в свое время считались материальными элементами, содержательными физическими объектами, однако впоследствии были устранены из структуры физической реальности, ибо использование понятий о них приводило к физически бессмысленным предсказаниям и экспериментально не обнаруживаемым следствиям. Что же касается мнимой единицы или градиентного преобразования, то эти математические объект и операция материальным статусом вообще не наделяются, выполняя в структуре теории вспомогательные функции для отражения свойств и отношений материальных объектов.

Разделение материальных и идеальных элементов указывается применительно к теории и возможностям эксперимента и изменяется в ходе развития физического знания. В процессе расширения наших знаний о физической реальности, уточнения ее понятий некоторые (по предположению) материальные элементы способны приобретать черты идеальных или даже в конце концов преобразовываться в них. В особенности это характерно для процесса смены одной фундаментальной теории другой такой теорией, генерирующей новую физическую реаль-

ность, устраняющего из структуры объектов старой идеальные элементы. Пример подобной эволюции материальных элементов в идеальные дает развитие представлений о таком «транстеоретическом» объекте физической реальности, как пространственно-временной континуум, если мы проследим изменение представлений о пространстве и времени от ньютоновской механики к релятивистским теориям и затем к теориям квантовым. Вместе с тем и некоторые идеальные элементы способны в ходе развития физики становиться материальными, как это произошло, например, с концепциями случайности и возможности, приобретшими в современной, квантовой физике объективные основания, реальные прообразы.

В разработке математических структур физических теорий сегодня очень широко применяются алгебраические методы и понятия. Это связано в первую очередь с успехами приложения теории групп и принципов симметрии в самых различных областях физики — физике твердого тела, квантовой механике, теории элементарных частиц и др. Эвристические функции принципов симметрии реализуются при опоре на принцип тождественности частиц. Например, такие конструкции физики твердого тела, как фонон, магнон, ротон, внося новые структурные образования, стимулировали значительный прогресс этой дисциплины (как это происходит и в современной космологии, где используются понятия «черных дыр», «белых дыр», «фридмонов» и пр.). Модели, используемые в физике твердого тела (и не только в ней), основаны на представлениях о «резервуарах» частиц. Мощным средством исчерпания таких «резервуаров» служит метод вторичного квантования, тесно связанный с принципом тождественности частиц. Но надо помнить, что все эти частицы — и наше изобретение.

Надо отметить, что исчерпание их «резервуаров» опирается не на механистическое применение принципа атомизма, а на синтез атомистических идей с принципами симметрии и инвариантности, на основе которого строятся модельные представления, определяющие характеристики и природу все более мелких физических деталей той или иной физической ситуации. Физический объект предстает уже не как заданный механистическими традициями атомизма (в рамках которых он понимается как некая непротяженная материальная точка) и не как всеобъемлющее непрерывное целое, заполняющее собой все пространство (в рамках континуальной онтологической

схемы физики), но как определенный помологически, т. е. законами физики и ее принципами симметрии. (Здесь уместно напомнить о дираковском предсказании позитрона, исходя из соображений симметрии. Таким же образом были предсказаны и многие другие элементарные частицы.)

Исчерпание «резервуаров» частиц происходит путем учета все новых членов иерархии физических взаимодействий. Такой учет сказывается на отношениях эквивалентности, которые структурируют физическую реальность. Он приводит к выявлению более тонких эффектов, нежели те, которые предсказываются без такого учета. Например, в процессах, связанных с колебаниями кристаллической решетки, разложение функции потенциальной энергии в ряд по степеням смещения атома из положения равновесия вводит в рассмотрение многофононные процессы: при этом квадратичный член разложения ответствен за неупругое рассеяние частиц на узлах решетки, члены третьего порядка малости — за ангармонические эффекты (расширение твердых тел при нагревании).

Итак, дискретные алгебраические методы, находящие применение в русле развития атомистической концепции и принципов симметрии, являются весьма эффективным конструктивным средством обогащения содержания физической реальности. Однако не менее сильным таким средством оказываются геометрические образы. Геометрическая интуиция, дает возможность как бы «наблюдать» суть явлений. Например, создание электронной теории для различных металлов оказалось возможным благодаря широкому использованию геометрических образов (таких, как «гауссова кривизна», «экстремальное сечение», «опорная плоскость»). Столь же широко геометрические образы и интуиция привлекаются в биофизике, термодинамике, астрофизике, космологии. Например, как утверждает Н. В. Мицкевич, «переход через особую «точку» сверхпространства (т. е. смена топологии) — сугубо квантовый процесс», но «на малых расстояниях сколь угодно сильные флуктуации метрики ведут к обилию соседних вселенных с «мелкими» топологическими ручками (которые можно сравнить с ручками чайников или гимнастических гирь.— А. П.), так что все время будут осуществляться переходы из одного мелкомасштабного многосвязанного состояния в другое — «кипение» топологической пены. Таков, согласно идеям Уилера, геометрический фон физического вакуума»²³.

С содержательной точки зрения физическая реальность квантовых объектов отличается тем, что в ее структуру органично включено физическое взаимодействие. Это ведет к изменению взглядов на элементарный объект физической теории: в современных квантовых теориях он наделяется богатством внутренней, динамической структуры. Этому служат понятия виртуальных состояний и частиц. В модели адронов лишается смысла понятие свободных кварков, партонов как субчастиц, составляющих адроны (подобно тому как было лишено физического смысла понятие орбиты электрона в атоме): адрон является собой нечто цельное, неделимое на самостоятельно существующие части, проявляющее свои свойства во взаимодействиях. При этом носителями взаимодействия оказываются элементы целого — кварки и глюоны, т. е. происходит субстанциализация взаимодействий. Физическая реальность мира квантовых объектов проявляет себя прежде всего как реальность квантовых процессов. В своем описании она характеризуется совместным применением понятий корпускулы и волны, прерывности и непрерывности, части и целого, элемента и системы, определенности и неопределенности, возможности и действительности, случайности и необходимости.

Суммируя сказанное выше, можно теперь сказать, что физическая реальность — это многоуровневая, иерархическая материально-идеальная структура, образование с онтологическими уровнями различной степени общности. Так сказать, высший и наиболее абстрактный ее онтологический слой образуется фундаментальными структурами, общими для всех или для большей совокупности физических теорий. Взятая в этом аспекте (и соответственно в аспекте таких общих методологических программ, как атомистическая или континуальная, теоретико-полевая), физическая реальность выходит за рамки представления о ней как о «теоретизированном мире», за рамки конструкций той или иной отдельной физической теории. Более низкий, но зато и более содержательный ее уровень образуют структуры принципов инвариантности и симметрии, выделяющих иерархию фундаментальных физических взаимодействий (с современной точки зрения гравитационные, электрослабые и сильные взаимодействия — это не что иное, как виды физической реальности) и качественно различные классы физических объектов (тяжелые и легкие элементарные частицы, адроны и лептоны, бозоны и фермионы, кварки и глюоны и пр.).

Далее следует уровень, соответствующий фундаментальной (например, квантовомеханической) физической теории, на котором собственно и возникает «теоретизированный мир». Наконец, еще более мелкие ее детали вскрываются на уровне прикладных физических теорий и конкретных физических моделей (таких, как механика сплошных сред, гидродинамика, теория когерентного излучения, модели сверхпроводимости и сверхтекучести, квантовые модели магнетизма и т. д. и т. п.). Взаимосвязи между всеми этими уровнями постигаются при помощи правил логического вывода, семантической интерпретации, конвенций, при помощи конструктивной синтетической и аналитической деятельности мышления. Соотнесение различных уровней физической реальности с объективно-реальным миром осуществляется в ходе развертывания практики физического эксперимента и посредством материального воплощения теоретических законов в технических устройствах, приборах и средствах производства.

Глава 3. Реальность и наблюдаемость

Две философские традиции. В истории философии и науки сложились в свое время две противоборствующие традиции в утверждении реальности чего-либо, оказавшие влияние и на методологию физики. Условно их можно назвать рационалистической и эмпирицистской (соответственно от латинского слова *rationalis*, что значит «разумный», и от греческого *empeiria*, что значит «опыт»). Первая традиция признавала подлинно реальными идеальные объекты, являющиеся, так сказать, совершенными конструкциями разума (числа, геометрические фигуры, абстрактные, но ясные и убедительные идеи), последняя — объекты, данные человеку непосредственно в чувственно воспринимаемой форме.

Если не обращаться непосредственно к античной культуре, мудрые представители которой различали истинное (или умопостигаемое) знание и мнение (обыденные представления), то можно будет сказать, что одним из самых ярких выразителей рационалистической традиции был известный французский математик, физик и философ Р. Декарт, живший в XVII в. Декарт выдвинул знаменитый тезис «*cogito ergo sum*» («мыслю — следовательно, существую»).

Для Декарта «наиреальнейшей реальностью» было «мыслящее существование», т. е. «Я», ибо невозможно ведь сомневаться в своем собственном существовании, раз оно осмысливается и сознается. С точки зрения картезианской метафизики (т. е. философии) подлинной истинностью и потому реальностью обладают самоочевидные (интуитивно ясные, отчетливые, аксиоматические) сущности. «Под интуицией,— писал Декарт,— я разумею не веру в шаткое свидетельство чувств и не обманчивое суждение беспорядочного воображения, но понятие ясного и внимательного ума, настолько простое и отчетливое, что оно не оставляет никакого сомнения в том, что мы мыслим, или, что одно и то же, прочное понятие ясного и внимательного ума, порождаемое лишь естественным светом разума и благодаря своей простоте более

достоверное, чем сама дедукция... Так, например, всякий может интуитивно постичь умом, что он существует, что он мыслит, что треугольник ограничивается только тремя линиями, что шар имеет только одну поверхность...»¹

Эмпирицистский подход к реальности вырос из философской доктрины так называемого номинализма. Номинализм сформировался в средние века и утверждал подлинную реальность, первичность для конкретных, чувственно воспринимаемых вещей, а общие понятия признавал только в качестве имен для единичных предметов. (В противоположность ему средневековый реализм, с которым коррелирует рационалистическая традиция, признавал объективную реальность общих понятий — универсалий, как существующих якобы независимо от отдельных вещей). И подобно упомянутому выше тезису Декарта, выражавшему суть рационалистической традиции, наиболее ярким выражением эмпирицистского подхода является тезис английского мыслителя Дж. Беркли «esse est percipi» («существовать — значит быть воспринимаемым»). «Обладают ли другие люди такой чудесной способностью образовывать отвлеченные идеи, — писал Беркли, — о том, они сами могут всего лучше сказать; что до меня касается, то я должен сознаться, что я действительно нахожу в себе способность воображать или представлять себе идеи единичных, воспринятых мною вещей и разнообразно сочетать и делить их... идея человека, которую я составляю, должна быть идеей белого, или черного, или краснокожего, прямого или согбенного, высокого или среднего роста человека. Я не в состоянии каким бы то ни было усилием мысли образовать вышеописанную отвлеченную идею. Точно так же для меня невозможно составить отвлеченную идею движения, отличную от движущегося тела... Простая и неученая масса людей никогда не притязает на отвлеченные понятия. Говорят, что они трудны и не могут быть достигнуты без усилий и изучения; отсюда можем разумно заключить, что если они существуют, то их можно найти только у ученых»².

Переплетение двух традиций в физике. Противоборство двух этих философских традиций нашло свое отражение и в сфере физического познания, которая тоже ведь является сферой человеческой деятельности. Кризисный момент в борьбе этих традиций в физике наступил на грани двух веков — XIX и XX, когда физическое познание столкнулось в своем развитии с новыми фактами и

идеями, приведшими к созданию неклассических теорий — теории относительности и квантовой механики. Кризис наступил потому, что эти новые теории, в отличие от всех предшествующих, проникли в такие сферы объективной реальности, которые не могут восприниматься человеческими чувствами непосредственно или даже с помощью приборов. Методология физического познания в это время очень рельефно показывала различия двух упомянутых традиций в оценке реального.

Глашателем рационализма в физике выступил А. Эйнштейн, который высказал следующее убеждение: «Теория лишь решает, что именно можно наблюдать». Это убеждение совершенно отчетливо подчеркивает приоритет рационального мышления перед наблюдениями, чувствами. Но все же не следует думать, что оно возвращает нас к типично картезианской мысли. Эйнштейн не отвергал и требование наблюдаемости прообразов теоретических конструкций, считая эксперимент критерием истины теории. Он подчеркивал, что наблюдаемость сама по себе недостаточна для понимания всей той совокупности явлений, которая стала доступна современной физике на теоретическом уровне. «Если мы хотим утверждать, что мы что-то наблюдаем,— отмечал Эйнштейн,— нам необходимо знать, как функционирует природа на всем длинном пути от наблюдаемого явления до фиксации его результатов в нашем сознании. Мы должны, по крайней мере практически, знать законы природы. Лишь теория, т. е. знание законов природы, позволяет нам по ощущению судить о лежащих в его основе явлениях»³.

Эти замечания были сделаны Эйнштейном при обсуждении им и В. Гейзенбергом проблем квантовой физики, методология которой поначалу казалась скорее эмпирицистской, нежели рационалистической. Как бы там ни было, но Эйнштейн справедливо считал, что опытный (эмпирический) материал сам по себе еще не образует всего знания об объекте; такое знание возникает лишь в теоретическом осмыслении этого материала. И он ставил акцент на том, что только в процессе такого осмысления появляется ясность относительно того, какие величины реальны, т. е. могут наблюдаться.

Если мы посмотрим на здание современной физики, то увидим, что, к какой бы области этой науки мы ни обратились, везде обнаруживается множество модельных теоретических представлений и мысленных экспериментов, через которые и осуществляется проникновение в

суть явлений, связь сущности (общего и необходимого) с явлением (единичным и случайным), реальности с наблюдаемостью. Ведь именно такие модели, с одной стороны, опираясь на общие законы и физические принципы, воплощают в себе теоретическое знание и признаки сущности, а с другой стороны, учитывая конкретные особенности физической ситуации, указывают путь к явлениям, к экспериментальной проверке гипотетических элементов конкретизации.

Экспериментальная деятельность, а также технические воплощения теоретического знания служат для физики практическим средством связи ее идеальных конструкций с объективной реальностью. И связь эта в современной физике, как правило, весьма и весьма опосредованная. Сначала на основе общих теоретических законов и учета специфики исследуемой физической ситуации строится теоретическая модель последней. Далее эта модель связывается с идеальной схемой эксперимента, т. е. его теоретическим проектом. Затем последний воплощается в материальных приборах, которые через свои материальные операции, взаимодействия с искусственно отобранными объектами природы, осуществляют, наконец, материальную связь физической реальности с реальностью объективной.

Специфика квантовофизической реальности заключается в том, что эта реальность неоднородна, многослойна. Во-первых, в ней имеется слой реальности ненаблюдаемых непосредственно объектов (элементарные частицы и их компоненты) и законов (например, принципы симметрии). Во-вторых, здесь имеется реальность эффектов, которые порождаются такими объектами и регулируются их законами в изучаемой среде. В-третьих, существует и реальность непосредственно наблюдаемых (или наблюдаемых при помощи приборов) явлений. Например, невидимая элементарная частица (первый слой реальности), пролетая через пузырьковую камеру, ионизирует молекулы ее рабочего вещества (второй слой реальности), что проявляется в наблюдаемых треках пузырьков (третий слой реальности). Взаимосвязь между этими слоями реальности не может быть истолкована в рамках привычных нам чувственных образов или просто теоретических спекуляций.

Является ли такая многослойность реальности следствием некоей якобы неверной, неадекватной методологии физики? Надо признать, что на заре новой физики мно-

гие ученые, в особенности сторонники методологии позитивизма, именно так и думали. Например, Э. Мах полагал, что теоретическое знание само по себе не имеет объективной истинности, его задача сводится к тому, чтобы упорядочивать данные опыта наподобие того, что делается, скажем, при обработке результатов экспериментов и измерений средствами математической статистики. П. Бриджмен и Л. Бриллюэн были весьма неудовлетворены значительным отрывом теоретических структур современной физики от ее опытных оснований. В особенности предметом их неудовлетворения служила общая теория относительности (ОТО). На первый взгляд, эта неудовлетворенность была вполне обоснованна. Ведь, на ранних этапах своего развития ОТО и в самом деле не находила никаких практических приложений, а, кроме того, в отличие от других фундаментальных физических теорий она имела очень мало независимых (от других теорий) опытных подтверждений (это были смещение перигелия орбиты Меркурия, отклонение световых лучей вблизи Солнца, красное смещение), которые к тому же объясняются и альтернативными ОТО теориями гравитации. Однако, как это становится ясным в наши дни, позиции Маха, Бриджмена и Бриллюэна все же не являются оправданными. Ведь сегодня ОТО в значительной мере способствует развитию астрофизики и космологии, помогая им открывать и объяснять все новые и новые физически реальные (хотя, возможно, и не всегда объективно реальные) явления и объекты. Сегодня подтверждаются самые неожиданные ее следствия. Все больше выясняется связь этой теории с квантовой теорией на уровне изучения астрофизических и космологических объектов. Эта связь как раз и является подтверждением теоретической и практической эффективности ее концепций и моделей. ОТО и основанная на ней релятивистская космология значительно расширили наши представления об устройстве Вселенной и составляющих ее объектов (которые, еще, возможно, подвергнутся практическому освоению), открыв вместе с тем новые сферы для приложения квантовофизических знаний.

Анализируя связь реальности с наблюдаемостью, мы неизбежно сталкиваемся со следующим гносеологическим противоречием. С одной стороны, именно с помощью общих физических законов достигается понимание отдельных данных наблюдений и экспериментов, с другой — физическая реальность как материально-идеальное обра-

зование, воспроизводящее сущность отдельных явлений, не может восприниматься столь же непосредственно, как воспринимаются, к примеру, стол, стулья, жилые массивы, мерцание звезд, отклонения стрелок приборов, показания осциллографов, треск счетчика Гейгера и т. п. С одной стороны, для физиков реально прежде всего то, что наблюдаемо, измеримо, с другой — под физической реальностью понимается и определенный «теоретизированный» мир, мир ненаблюдаемых непосредственно процессов, отражаемых в теоретических конструкциях. Таким образом, теоретическое, реальное (как сущность) и эмпирическое, наблюдаемое (как явление) находятся как бы на различных полюсах познавательного процесса, как бы разделены между собой определенной онтологической и гносеологической «пропастью».

Квантовая физика подкрепляет это убеждение тем, что она использует несводимые друг к другу бытийные характеристики объектов. С одной стороны, она использует такие обычные физические понятия, как положение, импульс, масса частицы, характеризующие диспозиции квантовых объектов, т. е. такие их свойства, которые, по мнению физиков, не существуют сами по себе, а проявляются лишь в процессе экспериментальной деятельности, практической активности исследователя. С другой стороны, квантовому миру присущи и такие черты (физические константы — заряд электрона, постоянная Планка и др.), которые не зависят от условий эксперимента и, по-видимому, от теории. Наконец, так сказать, с третьей стороны, квантовая теория вводит ряд понятий, значимость которых связана именно с этой теорией и которым трудно сопоставить какие-либо привычные физические прообразы (например, понятие волновой функции).

Возникающая здесь ситуация имеет диалектический характер. По сути дела, она является следствием диалектически заданного противоречия между сущностью и явлением. А такого рода противоречия преодолеваются, как известно, в движении, развитии познания. Хотя сущность явлений и ненаблюдаема сама по себе, не воспринимается чувствами, она не существует вне явлений, реализуется именно в явлениях. И хотя явления воспринимаются непосредственно (или с помощью технических средств), понять их реальность можно, лишь обращаясь к теоретическим конструкциям.

В современной физике наблюдаемость связывается не просто с чувственным восприятием, а с приборными из-

мерениями. Конечно, техническая оснащенность нашей чувственности значительно расширяет ее возможности. Однако что мы измеряем? Конечно, не пространственно-временной континуум (это ведь идеальная конструкция, а не материальный объект). Как измерить Вселенную или хотя бы (!) фотон? Как измерить всемирное тяготение, «движение» волновой функции согласно уравнению Шрёдингера? В общем физики измеряют, конечно, не сами законы и уравнения, не сам континуум, не саму Вселенную, не волновую функцию, а какие-то конкретные проявления, свойства, характеристики объектов и систем, которые описываются при помощи этих конструкций. Обычно измерение результируется в наблюдаемых совпадениях положений стрелок приборов с делениями шкалы, в биениях осциллограмм, в подсчете слышимых импульсов тока и т. п. Затем уже на этом основании при помощи теоретических средств (уравнений и законов) делаются выводы о сущности и существовании теоретически осмысливаемых объектов реальности и истинности законов физики. Таким образом, в физике заключения о сущности явлений и реальном статусе референтов весьма общих и абстрактных теоретических понятий выводятся тогда, когда достигается физическая связь между приборами (физиком-экспериментатором) и объективной реальностью. Эта связь и есть физическая реальность. Идеальные конструкции последней, т. е. теории, направляют экспериментальный поиск, практику. Если они не могут быть подтверждены (и реализованы на практике), то это будет служить доказательством отсутствия у них объективно-реальных прообразов. Соответствующие таким конструкциям идеальные элементы не могут тогда рассматриваться в качестве элементов сущности явлений. Например, идеальной сущностью оказался в свое время лоренцевский эфир. Хотя лоренцевская теория объясняла ряд экспериментов (в том числе и эксперимент Майкельсона — Морли), составивших, как принято считать, опытную основу специальной теории относительности (СТО), она делала это за счет особых дополнительных гипотез искусственного характера (гипотезы сокращения, обосновываемой теорией «молекулярных сил»), а концепция эфира не нашла эмпирического подтверждения в силу неуловимости ее предмета.

Вопрос об объективной реальности теоретических конструкций в форме требования использовать в теории только такие конструкции, которые могут быть практиче-

ски обоснованы, всплыл в методологии физики в начале XX в. Хотя, конечно, это требование присутствовало и в классический период развития физики, особое внимание ученые обратили на него именно на этапах становления физики современной. В значительной мере этому способствовали критическая позиция Э. Маха по отношению к ньютоновской концепции пространства и времени и создание СТО.

Что такое принцип наблюдаемости? Известно, что Эйнштейн при построении СТО использовал принцип наблюдаемости. Он применил его, с одной стороны, в его ограничительной, негативной функции для устранения из сферы основных теоретических конструкций физики понятия о ненаблюдаемом светоносном эфире, а с другой — в позитивной, конструктивной функции при анализе пространственно-временных понятий, прежде всего понятия одновременности пространственно разделенных событий.

Принцип наблюдаемости сыграл большую роль и в становлении квантовой теории. Так, развитие теории атома от модели Бора — Зоммерфельда к квантовой механике показало, что в рамках первой модели вводились хотя и образно представимые, но, по существу, ненаблюдаемые конструкции орбит электронов, движущихся вокруг ядра, подобно планетам, движущимся вокруг Солнца. Но почему они были ненаблюдаемыми, если их так легко представить себе, изобразить на бумаге? Дело в том, что приписывание реальности таким конструкциям в мире объектов атомной теории приводило к противоречиям с опытом. Если электроны движутся вокруг ядра по орбитам, то, согласно законам электродинамики, они должны излучать электромагнитные волны, которые должны отнимать у электронов энергию. В результате скорость вращения электронов по орбитам должна уменьшаться и в конце концов электроны должны просто упасть на ядро. Однако это рассуждение противоречило опыту, ибо вопреки ему доказывало нестабильность существования атомов. Опыт говорил, что наблюдаются вовсе не стационарные орбиты электронов, а так называемые квантовые скачки, дискретные переходы между такими орбитами. В дальнейшем модель Бора — Зоммерфельда показала свою непригодность для описания сложных атомных систем. И Гейзенберг в своем построении матричного варианта квантовой механики отказался от конструкции орбитального движения электронов. Позднее он, используя мысленный эксперимент с микроскопом, по-

казал, что характеристики орбитального движения квантовых объектов (т. е. точные значения одновременно и скорости, и положения квантового объекта на орбите) определить нельзя. Отказавшись в своей механике от таких классических понятий, как радиус орбиты и частота обращения по ней электрона вокруг ядра, он ввел взамен их в качестве исходных понятия наблюдаемых на опыте частот (энергии) спектральных линий излучающих микроскопических систем и частот (интенсивностей) переходов между энергетическими уровнями.

Характеризуя роль принципа наблюдаемости в становлении современной физики, М. Борн писал в 1955 г.: «Современная физика достигла своих крупнейших успехов в немалой степени с помощью применения методологического принципа, согласно которому понятия, относящиеся к различиям за пределами возможного опыта, не имеют физического смысла и должны быть элиминированы»⁴.

Нужно отметить, что эта характеристика принципа наблюдаемости Борном, хотя вроде бы и естественна, на самом деле является очень жесткой. Ведь для человеческого опыта не существует раз и навсегда установленных границ. Опыт нельзя искусственно ограничивать материальными действиями, он включает в себя органично и духовную деятельность, а сфера возможного опыта расширяется не только за счет материальных (технологически воплощенных в приборах и физических действиях человека) средств, но и за счет интеллектуальной деятельности человека, не только за счет эксперимента, но и за счет теории. Борн же отвергал реальность и таких теоретических конструкций, которые являются условиями (пусть недостаточными) расширения сферы возможного опыта. Так, вслед за А. Пуанкаре он подверг критике математическую (теоретико-множественную) модель континуума, как не отвечающую сути идеи физической непрерывности, причем в этой критике он опирался на свою трактовку принципа наблюдаемости. Ведь нельзя же в самом деле, считал Борн, эмпирически воспроизвести все знаки разложения в десятичную дробь, скажем, числа π . Такие математические величины никогда не могут быть материально определены с неограниченной точностью. И потому, скорее всего, подходящим средством описания таких не вполне точных уже по самой своей природе материальных физических величин при помощи действительных чисел является понятие вероятности. По-

нятие же точки континуума операционально неопределимо, ненаблюдаемо, и потому каждому точно определенному значению физической (надо бы говорить, материальной) величины следует приписать некоторую плотность вероятности, как это имеет место в квантовой механике, когда речь заходит о предсказании результатов измерений несовместных свойств частиц, например их положений и импульсов⁵.

Борновская трактовка принципа наблюдаемости требует, по сути дела, переформулировки всей физики в вероятностном плане, хотя в огромном множестве физических ситуаций в этом нет никакой необходимости. И в силу своей излишней жесткости борновский принцип наблюдаемости ограничивает эвристический потенциал теоретико-физических построений. Но какой же должна быть адекватная формулировка принципа наблюдаемости, которая бы позволила реализовать этот потенциал в максимальной мере? Оказывается, что ответ на этот вопрос зависит от ряда обстоятельств, определяемых контекстом исследования.

Надо отметить, что из теории физики известно большое количество самых различных — от очень широких до очень узких — формулировок принципа наблюдаемости. Его исследования показывают, что содержание и формы применения этого принципа в научной практике исторически изменчивы и зависят от более общих методологических и мировоззренческих (т. е. фактически философских) позиций, от контекста рассматриваемой теории или класса теорий. Конечно, для всех трактовок принципа наблюдаемости можно попытаться выделить некую общую основу. Она заключается просто в том, что принцип наблюдаемости выражает требование связи теории с опытом. Однако вполне очевидно, что эта основа слишком уж обща и неконкретна. К тому же она может быть приемлема для самых различных философских позиций.

К методологической сути принципа наблюдаемости можно подобраться, обратившись к диалектическому пониманию отношения сущности и явления. С точки зрения такого понимания можно сказать следующее: сущность (воспроизводимая общими теоретическими законами физики) должна проявляться в конкретных единичных явлениях, эмпирических данных, наблюдениях и экспериментах; за явлениями (которые либо открываются неожиданно, либо, что все чаще случается сегодня, предсказываются на основе накопленного, подтвержденного либо

нового, потенциального, гипотетического теоретического знания) должна скрываться общая и необходимая сущность. При этом сущность физических явлений, воспроизводимая теоретическими законами физики, является сама по себе ненаблюдаемой (нельзя же наблюдать непосредственно закон всемирного тяготения, уравнения Максвелла, уравнение Шрёдингера). Однако, если она обладает объективным статусом, она должна проявляться в виде наблюдаемых, измеримых на опыте и в эксперименте эффектов.

Эффективность эвристических функций принципа наблюдаемости зависит от вкладываемого в него содержания, от степени категоричности методологического требования, которое с ним связывается. Как слишком низкая степень этой категоричности, или, иными словами, высокая степень общности содержания принципа наблюдаемости, так и слишком высокая степень категоричности, или, по-другому, узость, высокая конкретность его содержания, приводят к снижению эффективности эвристических возможностей принципа наблюдаемости. отождествление сути данного принципа с одной из двух радикальных — очень широкой или же, напротив, очень узкой — его интерпретаций может послужить основанием для отрицания всяких эвристических возможностей этого принципа.

В самом деле, М. А. Марков в цитировавшейся уже статье 1947 г. «О природе физического знания» подверг принцип наблюдаемости довольно суровой критике. Он писал, что этот принцип, представленный в форме утверждения: «В теорию должны входить только принципиально наблюдаемые величины», содержит «существенный порок неоднозначности: какие величины считать принципиально наблюдаемыми?» Если считать, что ответ на этот вопрос должен дать эксперимент, то принцип становится тривиальным утверждением. Если же речь идет о величинах, принципиально наблюдаемых в мысленных экспериментах, т. е. с точки зрения данной теории, то принцип в иных словах вскрывает лишь непротиворечивость данной теории или отсутствие в ней «лишних» элементов. Но в теориях всегда существует «хлам» ненаблюдаемых понятий, несмотря на требование некоторых их создателей, чтобы в теории входили только наблюдаемые величины. Без этого «хлама», справедливо подчеркивал М. А. Марков, наука просто перестала бы развиваться. Его нельзя отменить неким декретом, а выбрасывается он тогда, когда становится практически ненужным.

Требование, чтобы в теорию входили лишь наблюдаемые величины, представляется М. А. Маркову излишне жестким. Такому требованию можно подчинить только конечные результаты теории, с ним можно связать использование физической теорией начальных данных, но вовсе не промежуточные логические этапы на пути к ее конечным результатам. «Во всяком случае,— писал М. А. Марков,— имеется опасность, что в такой жесткой формулировке принцип является таким же произвольным ограничением, как и классическое требование наглядных представлений, и столь же антинаучным»⁶. Например, весьма вероятно, что развитие современной физики было бы существенно задержано, если бы, уступая требованию принципа наблюдаемости, в свое время отвергли теорию Дирака, поскольку она вводила представление о ненаблюдаемом тогда положительно заряженном электроны (позитроне).

Эти последние высказывания М. А. Маркова вполне справедливы, поскольку речь идет о «жесткой» формулировке принципа, но, опираясь на них, автор приходит затем к отрицанию эвристической силы принципа наблюдаемости вообще (несмотря на, несомненно известные ему конструктивные применения этого принципа при построении СТО и квантовой механики): «...принцип наблюдаемости в его несомненной части вряд ли содержит больше, чем тривиальное утверждение, что теория должна соответствовать эксперименту»⁷.

Однако требование соответствия теории опыту — это все же более общее требование, нежели принцип наблюдаемости. Оно ведь охватывает и такие методологические неблагоприятные и неплодотворные ситуации, когда соответствие теории опыту достигается, например, за счет подгонки теории к опыту путем введения искусственных, дополнительных гипотез (гипотез *ad hoc*). Подобный путь развития теории (например, объяснение релятивистских эффектов за счет введения Лоренцем и Фитцджеральдом гипотезы сокращения) идет как раз вразрез с требованием принципа наблюдаемости, хотя он также требует, чтобы теория соответствовала опыту.

Представляется, что явное отрицание эвристических функций принципа наблюдаемости связано прежде всего с упомянутым выше отождествлением его конкретного содержания с содержанием одной из двух его полярно-радикальных формулировок. Конечно же, когда содержание этого принципа тождественно тривиальному общему

требованию соответствия или даже просто связи теории с опытом, этот принцип вряд ли способен выявить свои конструктивные возможности. Но если его содержание приравнивается содержанию утверждения, что «все объекты физической теории должны быть наблюдаемыми», то и в этом случае эвристический потенциал этого принципа теряется, ибо он превращается в узко эмпирицистскую догму, сдерживающую научное развитие. М. А. Марков справедливо это подчеркнул.

Примерами последней трактовки принципа наблюдаемости могут служить методологические концепции позитивистски настроенных западных физиков. Ведь именно в такой, узкоэмпирицистской форме принимал принцип наблюдаемости П. Бриджмен, критиковавший методологические и принципиальные основы теории гравитации А. Эйнштейна. По существу, абсолютизируя этот принцип в указанной формулировке, возводя его в таком виде в ранг универсального и главнейшего требования методологии физики, Бриджмен пришел к субъективистской (операционалистской) трактовке природы физического знания. Субъективистский характер методологической концепции Бриджмена ясен уже из того отстаивавшегося им требования, чтобы все физические понятия обретали свое содержание только в контексте конкретных операциональных определений. Но ведь при этом можно дать бесчисленное множество операциональных определений, скажем, понятия длины, поскольку можно предложить в принципе бесчисленное множество измерительных процедур для определения этой физической величины, и все эти определения будут различными, ибо различны измерительные средства и ситуации. Например, длину можно определять разными линейками, акустическими, электромагнитными приборами и т. д. В подобной методологической концепции природы физического знания теряется уже не только объективность последнего, но даже его интересобъективность. Вместе с тем неправомерность бриджменовской критики оснований ОТО становится очевидной в наши дни с учетом новейших достижений астрофизики и релятивистской космологии. «Общая теория относительности, которая всегда считалась примером чисто абстрактных, умозрительных построений, основанных на очень далеких экстраполяциях, богатых неоднозначными вариантами,— пишет в этой связи М. А. Марков,— постепенно становится наукой, где эксперимент начинает играть существенную роль в ограничении вариантов. Так,

уже экспериментальные обнаружения эффекта красного смещения и реликтового фотонного излучения сильно сужают множество возможных сценариев происхождения и эволюции нашей Вселенной»⁸. Не является ли такое «ограничение вариантов» в теоретическом моделировании Вселенной одним из проявлений конструктивного эвристического характера принципа наблюдаемости в современной физике?

Итак, конструктивное применение принципа наблюдаемости возможно в пределах каких-то иных его формулировок, нежели те, которые сводятся лишь к указанным выше двум полярно-радикальным формулировкам. Пожалуй, сейчас общепризнано, по крайней мере в современной советской научной литературе, что эвристическая мощь принципа наблюдаемости как одной из конкретизаций общей диалектики сущности и явления сказывается в следующих условиях. Во-первых, этот принцип требует эмпирической интерпретации не для всех, а только для части понятий физической теории, таких понятий, которым должны отвечать объективно-реальные прообразы в природе. Во-вторых, он должен использоваться не как единственное универсальное методологическое основание построения или интерпретации физической теории или понятия, а наряду, в совокупности, в системном единстве с другими важнейшими методологическими требованиями, прежде всего совместно с принципами соответствия, простоты, непротиворечивости. Здесь нужно учитывать, что заключения о наличии объективно-реальных прообразов теоретических понятий и законов ограничиваются, с одной стороны, концептуальными рамками теории и, с другой стороны, сферой эмпирического подтверждения теоретических выводов, из них вытекающих. Это и есть требование принципиальной наблюдаемости подобных прообразов в их системном единстве, определяемом и самой реальностью, и теорией, да и самой материальной деятельностью людей. Принцип наблюдаемости может даже превратиться в один из фундаментальных принципов той или иной теории. Он может рассматриваться наряду с другими методологическими и мировоззренческими принципами физики как один из критериев физической реальности.

Вопрос о наблюдаемости или ненаблюдаемости объективно-реальных прообразов тех или иных теоретических конструкций физики решается не тотчас же при построении какой-либо физической теории. Иногда случается так, что долгое время считавшееся объективно-ре-

альным оказывается в действительности ненаблюдаемым (как это случилось с флогистоном, теплородом, классическим светоносным эфиром). В свою очередь, нечто, считавшееся ненаблюдаемым, выполняющим лишь вспомогательную, логическую функцию организации теоретического знания, с развитием познания и практики может неожиданно приобрести фундаментальный статус объективно-реального, обнаруживая наблюдаемые эффекты своего существования. Здесь можно напомнить, что именно такова судьба понятия физического атома, которое Э. Мах, казалось бы, вопреки всякому здравому смыслу считал понятием ненаблюдаемым, хотя и допускал его использование в физике в качестве методологического средства.

Возможно, этот последний пример покажется и не очень типичным, поскольку маховская концепция ненаблюдаемого атома как вспомогательного интеллектуального средства познания просуществовала очень недолго: атом был экспериментально исследован уже при жизни Маха. Однако история физики дает и другие примеры на этот счет. Один из них представляется весьма важным и с точки зрения перспектив развития современной физики, и для понимания эвристических возможностей принципа наблюдаемости в его более или менее конкретной формулировке. О нем и пойдет теперь речь.

Современная трактовка принципа наблюдаемости. Известно, что классическая электродинамическая теория Максвелла ввела понятие электромагнитных потенциалов, послужившее для определения понятий напряженностей электрического и магнитного полей. Напряженности поля давно уже считаются его объективно-реальными свойствами, но электромагнитные потенциалы до середины нашего века рассматривались как идеальные, вспомогательные конструкции. И по сути дела, если бы к электромагнитным потенциалам попытались вдруг применить принцип наблюдаемости в качестве критерия их реальности, то, имея в виду, что им не отвечает никакая реальность, понятие о них пришлось бы выбросить из теории как некий «хлам» (если воспользоваться терминологией М. А. Маркова). Но этого не случилось. Более того, не так уж давно благодаря развитию квантовой физики выяснилось, что электромагнитные потенциалы вполне реальны и ведут к наблюдаемым следствиям. В 1956 г. американские физики Ааронов и Бом предложили следующую схему опыта по дифракции электронов

на экране с двумя щелями. Если сразу за этими щелями и между ними поместить миниатюрный соленоид и подключить к нему электрический ток, то, предсказали они, несмотря на отсутствие магнитного поля вне соленоида, в области, где движутся электроны, проследовавшие через щели, волновая функция электронов испытает действие векторного потенциала и произойдет сдвиг интерференционной картины, возникающей из-за дифракции. Этот предсказанный Аароновым и Бомом эффект был подтвержден в реальном эксперименте. Таким образом, выяснилось, что электромагнитные потенциалы вполне реальны, ибо имеют экспериментально фиксируемые эффекты. Это, впрочем, и неудивительно, ибо в квантовой электродинамике в качестве фундаментальных, исходных понятий в теоретическое построение с самого начала вошли именно эти потенциалы, а вовсе не напряженности электрического и магнитного полей. Удивительно лишь то, что реальность и наблюдаемость потенциалов были выявлены уже после создания самой электродинамики.

История эта имеет логическое продолжение, влекущее за собой важные методологические обобщения. Известно — и уже из классической теории, — что электромагнитные потенциалы можно подвергнуть градиентному, или, как его теперь называют все чаще, калибровочному, преобразованию. Калибровка потенциалов оказывается необходимой для упрощения записи уравнений поля, скажем, путем использования условия Лоренца, эквивалентного утверждению о поперечной поляризации электромагнитного излучения. Калибровочные преобразования обладают рядом замечательных свойств⁹. Они связаны с нулевой массой фотона, с сохранением электрического заряда, но главное — они не приводят к каким-либо наблюдаемым последствиям. Иными словами, они сохраняют наблюдаемые свойства подвергнутых их действию физических величин: то, что проявляется в наблюдениях, остается инвариантным при калибровочных преобразованиях. Наблюдаемые в квантовой (да и в классической) электродинамике эффекты и величины инвариантны относительно калибровочных преобразований, производимых в теории. Отсюда следует важное обобщение: физически реальные величины должны подчиняться законам, инвариантным относительно калибровочных преобразований; реальность и инвариантность оказываются взаимосвязанными понятиями. Тогда суть конкретизированного указанным образом принципа наб-

людаемости в физике полей состоит в утверждении, что теории полей должны быть калибровочно-инвариантными.

Требование инвариантности относительно калибровочных преобразований приводит к необходимости существования векторных калибровочных полей, обмен квантами которых обуславливает взаимодействие частиц. Примерами калибровочных полей являются: в электродинамике — электромагнитное поле, в теории слабого взаимодействия — поле тяжелых векторных бозонов, в квантовой хромодинамике — поле глюонов, переносящих взаимодействия между кварками. Новейшие теории слабого, сильного и объединенных взаимодействий с самого начала строятся по образцу электродинамики. Одним из основных методологических требований, предъявляемых к процедурам их построения, является требование калибровочной инвариантности, или, иными словами, конкретизированное требование принципа наблюдаемости.

По-видимому, калибровочная инвариантность не является единственной или достаточной конкретизацией принципа наблюдаемости в физике. Имеет смысл выявлять и анализировать и иные его конкретизации — хотя бы уже потому, что не все физические теории являются калибровочно-инвариантными, а те из них, которые являются таковыми, требуют дополнения новыми принципами, скажем принципом спонтанного нарушения симметрии. Однако изложенное выше подкрепляет уверенность в эвристических возможностях принципа наблюдаемости, когда он используется в качестве средства построения новой физической теории.

Данный принцип может быть использован также для интерпретации фундаментальных физических понятий, отбора методологически предпочтительных интерпретаций или даже предпочтительных вариантов среди конкурирующих теорий. Обратимся в этой связи к проблеме интерпретации редукции волновой функции. Реальна эта редукция или нет?

В истории квантовой механики было предложено множество различных интерпретаций редукции волновой функции, сопровождающей измерительный процесс, в котором осуществляется актуализация потенциальных свойств квантовых объектов, их переход из возможности в действительность. Редукция связывалась и с «неконтролируемым» воздействием макроприбора на микрообъект, и с изменением информации наблюдателя, и с термодинамической неустойчивостью, изгонялась прочь в кон-

цепции целостности «квантового явления» и т. д. и т. п. Видный современный американский физик Ю. Вигнер, обсуждая процесс редукции волновой функции при квантовомеханических измерениях, высказал мнение, будто за этот процесс ответственно взаимодействие сознания наблюдателя с прибором; редукция происходит в сознании наблюдателя, и этот процесс не описывается современными физическими теориями, поскольку среди их исходных понятий нет понятия «наблюдение», отражающего взаимодействие материи и сознания. Однако, считает Вигнер, будущая радикальная модификация физики, прежде всего квантовой, может привести к тому, что предметом ее исследования и описания окажутся уже не только явления неживой природы, но и живые системы и свойства последних, в том числе и психические, т. е. физика будет описывать уже не только собственно (или традиционно) физическое, но и то, что до сих пор служило предметом психологии и даже эпистемологии (теории познания), т. е. отношение субъекта и объекта познания.

Вигнеровская интерпретация редукции волновой функции и измерительного процесса, да и будущего квантовой физики в целом, могла бы быть отвергнута уже по философским соображениям, ибо она носит явный дуалистический характер, т. е. признает существование материи и сознания как двух самостоятельных субстанций. Но она не может быть принята еще и потому, что противоречит принципу наблюдаемости в его центральном требовании связи сущности и явления. К тому же следует особо указать на то, что эта интерпретация была подвергнута экспериментальному испытанию и не нашла подтверждений.

Реальность и наблюдаемость кварков. В заключение рассмотрим активно обсуждаемый сейчас вопрос о реальности и наблюдаемости кварков — субэлементарных частиц, из которых, как это предполагает современная физическая мысль, «построены» адроны, т. е. то, что не так уж давно считалось элементарными частицами (протоны, нейтроны и т. д.). То, что кварки существуют в сознании физиков как вполне определенные теоретико-физические объекты, конечно, еще не означает автоматически ни их наблюдаемости, ни их объективной реальности. Кварки не удалось пока обнаружить в экспериментах в качестве индивидуализированных объектов. Более того, существуют достаточно веские основания для того, чтобы предполагать, что они вообще не могут наблюдаться как

таковые, т. е. в изолированном состоянии. В этой связи, например, современный английский исследователь М. Редхид заключает, что физика высоких энергий разрушает традиционную физическую методологию, основывающуюся еще со времен Г. Галилея на возможности изолированного рассмотрения и изучения объектов и их свойств в физическом эксперименте.

Но можно ли кваркам придавать некий «экзистенциальный» статус (т. е. статус существования) в качестве объектов физической реальности?

Вопрос о реальности кварков (подобно вопросу о реальности любых изолированных прообразов теоретических конструкций) должен решаться положительно или отрицательно в зависимости от того, как обстоит дело с проявлениями ими специфических для них материальных свойств. Что касается квантовохронодинамической теории в целом, одним из центральных объектов которой являются кварки, то здесь с кварками все в порядке. Эта теория и объясняет известные свойства адронов, и предсказывает новые частицы и их состояния, опираясь на кварковую их модель. Что же касается самих кварков как таковых, выступающих в роли независимых объектов вне теории, то пока их не удастся выделить как самостоятельный материальный предмет экспериментального исследования. Может быть, тогда следует просто отказаться от поисков именно такой их реальности? Либо, возможно, следует пересмотреть то понимание реальности, которое жестко связано с экспериментальной индивидуализацией объекта? Если все же эксперимент (пусть будущий) способен создавать условия для проявления свойств индивидуализированных объектов, то в таком случае надо учесть, что кваркам приписываются определенные специфические физические свойства, отличающие их от других индивидуализированных объектов физики и которые следует попытаться выявить на опыте. Таким специфическим свойством кварков является дробность их электрических зарядов. Измеримость этого свойства была бы решающим подтверждением объективной реальности кварков. Но пока физики считают кварковую конструкцию адронов (в реальности которых нет сомнения) лишь теоретической моделью.

Но все же если мы учтем, что объективная реальность и физическая реальность — это не одно и то же, то мы можем не сомневаться в реальности кварков. Хотя кварки и ненаблюдаемы непосредственно как индивидуа-

лизированные объекты, они являются объектами, реальными физически. Кто знает, может быть, их будущее подобно настоящему электромагнитных потенциалов, которые превратились сегодня из просто теоретических конструкций в понятия, имеющие объективно-реальные прообразы.

Итак, концепция реальности (и наблюдаемости) претерпела в ходе развития физики известную эволюцию. Во времена Ньютона, когда теоретическая физика делала еще только первые свои шаги, только начинала становиться на собственные ноги, когда физические теории еще не были столь развитыми, как в наши дни, вопрос о реальности объектов теории зачастую решался в духе противопоставления теории и опыта, субъекта и объекта, сознания и материи. Иногда это было простое постулирование реальности очевидных для ума истин, а иногда — убеждение, что любые теоретические (и гипотетические) сущности суть химеры и иллюзии. Беркли, например, считал дифференциальное исчисление, изобретенное Ньютоном (и независимо от него Лейбницем), «химерой», «происками дьявола», а Ньютон был убежден в реальности абсолютных пространства и времени в силу их очевидности. Эмпирик Беркли не был ученым-естествоиспытателем, и потому его позицию здесь можно не брать в расчет. Но что касается подхода к пространству и времени у Ньютона, то он не удовлетворял уже его современника, философа Лейбница, а позже — через два века — подвергся и критике физиков — как эмпирика Э. Маха, так и рационалиста А. Эйнштейна. Эйнштейн, пересмотрев сложившиеся в физике после Ньютона пространственно-временные представления, предложил новое решение проблемы реальности теоретических конструкций физики. Оно было тесно связано с мысленным экспериментом, теоретическим моделированием сущности явлений. Вместе с тем в современной физике было отвергнуто и отождествление реального с наблюдаемым. В ходе развития квантовой физики концепция наблюдаемости подверглась дальнейшему совершенствованию. С одной стороны, здесь пришлось отказаться от, казалось бы, самоочевидных представлений об абсолютности пространственно-временных и импульсно-энергетических характеристик объектов физической реальности, с другой стороны, на статус объектов физической реальности стали претендовать «дикийвинные», «сумасшедшие» сущности вроде «потенциальных возможностей», виртуальных частиц, кварков.

Несмотря на радикальную новизну современных физических представлений, растущую их абстрактность и теоретичность, концепция реальности объектов физики не размывалась вслед за ростом этой абстрактности, но подвергалась строгому анализу и совершенствованию. Отказ от самоочевидности, традиционной наглядности и чувственной определенности как неперменных гносеологических характеристик физически реального не подорвал концепцию реального в самой ее основе, но, напротив, поставил ее на более твердую почву. Сегодня заключения о реальности объектов теории выносятся с учетом требований связи теории и опыта, объективного и субъективного, материального и идеального. Тенденция теоретизации физического знания и тенденция совершенствования критериев реальности не противоречат, а идут навстречу друг другу, в чем, в частности, состоит один из моментов диалектического по своей природе развития физики.

Итак, как мы попытались здесь показать, сама реальность объектов физики сегодня не связывается исключительно либо с их интуитивной самоочевидностью, либо с непосредственной чувственной определенностью, либо с привычной наглядностью их мысленного, образного воспроизведения. Все это, конечно, имеет значение, но реальность в физике многослойна и неоднородна. Есть реальность непосредственно наблюдаемого, есть реальность ненаблюдаемых объектов и есть реальность, связывающая эти две сферы. Есть реальность объектов эксперимента, но есть и реальность мысленных, теоретических конструкций. Однако все эти сферы не существуют по отдельности, независимо друг от друга. Так, ненаблюдаемые конструкции объектов и процессов могут считаться физически реальными, если они в своих следствиях в конечном счете приводят к чувственно воспринимаемым эффектам, что проверяется, естественно, на практике. Но при этом нужно учитывать, что в силу неоднородности физической реальности, системности теоретического знания и опосредованности его связей с опытом не от всех объектов теории и не от всех уровней физической реальности можно требовать их непосредственной или даже опосредованной наблюдаемости. В структуре физической реальности всегда встречаются идеальные элементы, которые либо необходимы для удовлетворения внутренних потребностей логической организации теории, либо еще ждут своего превращения в элементы материальные, либо в конечном счете могут быть отвергнуты.

Глава 4. Причинность, состояние, вероятность

Принцип причинности и философская категория состояния. Согласно распространенному мнению, явления, события и состояния окружающего нас мира имеют между собой причинно-следственную связь. Поскольку мы живем в изменяющемся, т. е. временном, мире, мы нуждаемся в упорядочении его преходящих явлений, событий и состояний. За эту упорядоченность отвечает всеобщий принцип причинности. Конечно, данный принцип не существует так же, как существуют отдельные, конкретные вещи и предметы, явления, события и состояния, поскольку проявляется в конкретных механизмах причинно-следственной связи.

Обычно причинно-следственная связь отождествляется с временной последовательностью явлений, событий или состояний: то, что происходит раньше, может быть названо причиной того, что случилось сейчас или произойдет позже. Этот взгляд на причинность как на временную последовательность причин и следствий (или эффектов), в которой причины предшествуют следствиям (эффектам), довольно естествен. Но все же такое представление о причинности не является исчерпывающим: причинная и временная последовательности явлений, событий или состояний не тождественны.

Во-первых, потому, что не все конкретно предшествующее оказывается причиной чего-либо конкретно последовавшего. Например, вы включили в комнате свет, а через пять минут во всем вашем доме отключили воду. Первое событие предшествует второму, но разве между ними имеется причинно-следственная связь? Очевидно, если какая-то связь и присутствует между причиной и следствием, то она должна быть более содержательной, чем простое временное соотношение.

Во-вторых, можно представить себе вполне реальную вневременную связь между причинами и следствиями (точнее, не вневременную, ибо вне времени ничто не существует, а связь, так сказать, не занимающую никакого

промежутка времени, не предполагающую временную последовательность «раньше — позже»). Вот пример.

Пусть мы имеем дело с событием «рождение сына моей сестрой» (оно случилось в определенный фиксированный момент времени) и с тремя следующими состояниями: 1) «С.— это моя сестра»; 2) «П.— это мой племянник»; 3) «Я — дядя П. (поскольку я — брат С.)». Тогда вполне очевидно, что первое событие предшествует второму и является его причиной (ведь моя сестра существует во времени раньше своего сына и рождает его она). Такую причинно-следственную связь можно назвать диахронной, она предполагает предшествование причины следствию. Она является диахронным аспектом принципа причинности, раскрываемым событием «рождение сына моей сестрой». Но вместе с тем не менее очевидно и то, что, хотя какие-то мои собственные состояния и предшествуют второму и третьему состояниям, именно второе состояние, т. е. «П.— мой племянник», является причиной третьего, т. е. «Я — дядя П.», а не наоборот, хотя оба этих состояния одновременны. В самом деле, П. родился и потому в момент его рождения я стал его дядей, а не я стал дядей и потому в этот момент родился П. Эта связь состояний иллюстрирует синхронный аспект принципа причинности.

Внимательный читатель может заметить, что понятия события и состояния использовались в приведенном только что рассуждении по-разному. Явно причинно-следственная связь формулировалась и в диахронном, и в синхронном аспекте не между событиями, а между состояниями. Он мог заметить также и то, что понятие «событие» меньше подходит для формулировки принципа причинности, ибо оно отражает только его диахронный аспект (событие всегда упорядочено во времени). Более подходящим является здесь понятие «состояние». И оно действительно используется с этой целью в методологическом языке науки. Рассмотрим теперь подробнее вопрос о том, что понимается под состоянием в философии.

В познании принято различать эмпирический и теоретический уровни. На первом из них субъект имеет дело непосредственно с объектом, проявляющим себя в наблюдениях и экспериментах, на втором — с понятийным отражением этого объекта в его общих, существенных и необходимых связях. Ясно, что эти два уровня различны, а переход от первого ко второму выражает общую тенденцию движения познания от явлений к сущности. Раз-

личие явлений и сущности было осознано очень давно, но вместе с осознанием их различия возникла и проблема их связи, единства. В истории философии можно найти немало разных решений этой проблемы — от попыток противопоставить явления и сущность как мнимое истинному (например, в элейской школе наблюдается противопоставление философии «сообразно мнению» и философии «сообразно истине») до попыток «растворить» сущность в явлениях, свести теоретическое к эмпирическому (например, в позитивистских школах и направлениях). Только в философии К. Маркса, Ф. Энгельса и В. И. Ленина, которая опирается на лучшие достижения предшествующего развития философской мысли, этой проблеме было дано наиболее полное, диалектико-материалистическое решение, выражаемое емкой формулой: явление существенно, а сущность является. Эта формула учитывает и различия, и единство сущности и явлений. Но что же все-таки скрывается за ней? Какова диалектика взаимосвязи явления и сущности, эмпирического и теоретического?

В раскрытие этой диалектики определенный вклад вносит категория состояния. Данная категория, характеризуя способность материи проявляться, занимает как бы промежуточное, связующее место между категориями сущности и явления, она опосредует теоретическое и эмпирическое.

В. И. Ленин в * «Философских тетрадах» писал о диалектике сущности и явления следующее: «Это очень глубоко: вещь в себе и ее превращение в вещь для других... Вещь в себе *вообще* есть пустая, безжизненная абстракция. В жизни в движении все и вся *бывает* как «в себе», так и «для других» в отношении к другому, превращаясь из одного состояния в другое» ¹.

Из этого высказывания следуют два вывода. Во-первых, диалектическое единство сущности и явления (единство представлений объекта на уровне его закономерных связей, с одной стороны, и при помощи наблюдений его отдельных свойств — с другой) реализуется в состояниях «всего и вся» (в описаниях состояний объекта). Во-вторых, для познания этой диалектики важно изучение превращений «всего и вся» «из одного состояния в другое». Иными словами, состояния объединяют явления и сущность, а движение этого единства раскрывается в смене состояний. Последняя, т. е. смена, детерминирована, обусловлена всеобщей объективной закономерной взаимо-

связью всех явлений мира, которая отражается прежде всего в понятии причинности. Причинность же есть генетическая связь между отдельными состояниями видов и форм материи в процессах ее движения и развития. Изучая такие связи, мы можем вскрывать конкретные виды причинности.

Понятия состояния и связи состояний широко используются в частных науках, в том числе в физике. Надо полагать, что здесь они оказываются различными конкретизациями общей диалектики сущности и явления, теоретического и эмпирического, философских категорий состояния и причинности. Далее мы рассмотрим ряд таких конкретизаций на материале физики. Вместе с тем проследим изменения в содержании понятий состояния и связи состояний в ходе развития физического познания, вклад в эти изменения вероятностных представлений, развитие последних, а также поставим некоторые проблемы философского осмысления указанных изменений.

Понятие состояния в классической физике. Для физики и ее методологии понятие состояния выступает одним из центральных. Здесь, как и в бытии и познании вообще, состояния опосредуют, связывают существенное и являющееся, теоретическое и эмпирическое. Ведь, с одной стороны, они характеризуются наблюдаемыми (измеримыми) физическими величинами (т. е. на эмпирическом уровне, на уровне явлений), а с другой — их изменения подчиняются законам физических явлений (воспроизводящим сущность последних). Тем не менее на различных этапах развития физического познания (и, естественно, для различных объектов физики) эта связь явлений и сущности устанавливалась по-разному. В первом приближении можно указать на три основных представления такой связи, выработанных соответственно в классической нестатистической физике (механике, термодинамике, электродинамике), в классической статистической физике и в физике квантовой. Переходы от одной из указанных выше областей физики к другой (и, естественно, от соответствующих одних физических объектов к другим) сопровождались значительными изменениями в содержании понятий состояния и связи состояний.

В нестатистических классических физических дисциплинах состояния исследуемых объектов считались наблюдаемыми, поскольку определялись полностью наборами значений точно измеримых величин (положения и им-

пульса — в механике; давления, объема и температуры — в термодинамике; напряженностей электрического и магнитного полей — в электродинамике). При этом здесь не существенно то, что большинство таких величин не являются измеримыми прямо (прямо измеряются только протяженности и длительности, да и то не всегда — все зависит от объектов). Существенно лишь то, что их значения можно точно определить при помощи приборов (в том числе линеек и часов). Вместе с тем сами величины состояния можно представить переменными, входящими в уравнение законов, которые отражают их общие, существенные и необходимые связи и определяют их изменения во времени или в зависимости друг от друга. Знание состояния объекта в какой-либо определенный момент времени (которое можно получить из опыта) и знание связи его состояний (которое определяет теория) позволяло в нестатистической классической физике однозначно устанавливать его состояние в любой другой момент. Таким образом, при представлении состояния и связи состояний классическая нестатистическая физика обходилась без привлечения категорий неопределенности, возможности и случайности.

Нестатистическая классическая механика выработала специфическую абстракцию материального объекта — так называемую «материальную точку». И когда дальнейшее развитие классической физики столкнулось с исследованиями протяженных, т. е. неточечных, сред (к ним относятся газы, жидкости, твердые тела), состоящих из огромного числа «точечных» атомов и молекул, абстракция «материальной точки» была перенесена уже на микроуровень материи. Микросостояния атомов и молекул стали представлять состояниями «материальных точек», связи между которыми (состояниями) по-прежнему устанавливались однозначно детерминирующими динамическими законами. Вместе с тем состояние огромной системы таких точек, моделирующей поведение, например, газа в сосуде, было представлено одной точкой в многомерном (фазовом) пространстве положений и импульсов всех включенных в систему микрообъектов. Однако такой способ представления состояния системы, по сути дела состоящий в сведении этого состояния к произведению состояний всех составляющих систему элементов, не только не является практически реализуемым (каким образом, в самом деле, измерить положения и импульсы всех молекул газа?), но и не необходим. В ста-

тистике состояние системы представляется не этим огромным набором значений положений и импульсов всех микрообъектов, а совокупностью всех возможных значений положения и импульса только одного такого объекта и соответствующих этим значениям вероятностей. Такое представление было названо функцией распределения вероятностей. Существование подобных функций было установлено для замкнутых, т. е. относительно изолированных, систем и оказалось, что такие функции зависят от измеримых макроскопических параметров системы (ее температуры, свободной энергии, химического потенциала, ускорения свободного падения и др.).

Итак, совокупность возможных микросостояний «материальной точки», находящейся в огромной системе таких же «точек», была связана в макросостоянии системы (газа, жидкости, твердого тела) с вероятностями этих микросостояний, а значение вероятностей — как с характеристиками самих микросостояний (прежде всего с их энергией), так и с едиными для всех них макроскопическими характеристиками системы. По сравнению с нестатистической классической механикой здесь изменился сам способ существования состояний «материальных точек»: в механике Ньютона они были либо необходимыми, либо невозможными, в статистической механике они стали возможными. Вместе с тем если в ньютоновской механике состояния «материальных точек» считались наблюдаемыми (поскольку полностью определялись точно измеримыми положениями и импульсами), то здесь, превратившись в микросостояния, они потеряли прежний свой характер². До определенного времени, а именно до создания квантовой теории, эти микросостояния носили статус «скрытых параметров», или «скрытых свойств». (На концепции «скрытых параметров» мы остановимся далее специально.)

Смысл вероятности в классической физике. Основное изменение в содержании понятия состояния, внесенное при переходе от нестатистической классической механики к механике статистической, связано с введением в это содержание вероятностных представлений. Такое изменение оправдано уже тем, что вместо отдельных элементарных сущностей стали рассматриваться их огромные системы. Вместе с тем в литературе до сих пор распространен взгляд, согласно которому обращение к вероятностным представлениям при описании таких систем с принципиальной точки зрения диктуется неполнотой наших знаний

о характеристиках всех элементов этих систем. Так, в курсе «Статистическая физика» Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица утверждается: «Составляя уравнения движения механической системы в числе, равном числу степеней свободы, и интегрируя их, мы принципиально можем получить исчерпывающие сведения о движении системы»; эту принципиальную возможность мы не реализуем в силу того, что она «практически неосуществима»³. И далее: «Следует, однако, подчеркнуть, что вероятностный характер результатов классической статистики сам по себе отнюдь не лежит *в самой природе* (курсив наш.— А. П.) рассматриваемых ею объектов, а связан лишь с тем, что эти результаты получаются на основании гораздо меньшего количества данных, чем это нужно было бы для полного механического описания (не требуются начальные значения всех координат и импульсов)»⁴. Или, как пишет Р. Фейнман, «мы утверждаем, что все свойства вещества в целом можно объяснить, рассматривая движение отдельных его частей»⁵. Все это означает, что при описании вещества в принципе можно обойтись без функции распределения вероятностей микроскопических состояний, которая, как говорилось выше, зависит и от макроскопических параметров.

Приведенные высказывания выражают широко распространенную в физике редукционистскую позицию, т. е. установку выводить свойства системы из свойств ее элементов. В данном случае она касается статуса вероятностных представлений. Речь идет не о том, что вероятность субъективна в том смысле, что она описывает состояния нашей уверенности, нашего знания, а о том, что она есть сложное понятие, в принципе сводимое к более простым, в контексте которых нет места случайности и возможности. Необходимость введения вероятностных представлений в физику заложена с этой точки зрения не «в самой природе» объектов классической статистики, а в теории — она определяется методологической необходимостью отвлекаться от деталей инфраструктуры больших систем. Но вместе с тем допускается, что вероятность является также и «мерой нашего незнания» этой инфраструктуры, отражает ограниченность нашего знания о микросостояниях элементов системы (движениях отдельных частей вещества, как пишет Р. Фейнман).

Конечно, с философской точки зрения редукционизм как универсальная методология познания несостоятелен, а объективный статус вероятностных представлений и в

классической физике не вызывает сомнений⁶. Тем не менее в классической статистике редукция вероятностей к достоверности, а случайности к необходимости была далеко не безосновательной. Все дело в том, что эта дисциплина использовала абстракцию «материальной точки», заимствованную из ньютоновской механики. А эта абстракция предполагала, что моделируемый ею объект обладает точными значениями положения и импульса, необходимые и существенные связи которых устанавливаются жесткими (т. е. однозначными) детерминистическими динамическими законами. Вместе с переносом этой абстракции из ньютоновской механики в статистическую механику в последнюю была перенесена и уверенность в том, что все измеримые параметры системы можно точно определить (если не практически, то в принципе) исходя из знания всех микросостояний. По сути дела, такая уверенность означала, что вероятности классической статистической механики с принципиальной точки зрения сводимы к точным значениям «скрытых параметров», в качестве которых выступают положения и импульсы «материальных точек». Вероятность макросостояния равна относительной частоте, с которой это состояние встречается в совокупности всех возможных микросостояний. И появляется она не потому, что сами микросостояния объективно случайны («в самой природе своей» они объективно либо необходимы, либо невозможны), а как средство описания поведения объектов в огромной системе с точки зрения (статистических) закономерностей, не зависящих от детального знания микросостояний. Сторонники редукционизма признают, что такие закономерности объективны, но вместе с тем считают, что если их можно свести к жестко детерминистическим законам движения «материальных точек», то вероятность измеряет не только относительные частоты микросостояний, но и «степень нашего незнания» последних.

Надо теперь отметить, что небезосновательной является и «субъективистская» трактовка вероятности в классической физике как «меры нашего незнания» или «меры нашей уверенности». Дело в том, что «материальная точка» — это вовсе не объективно-реальный, а концептуальный, мысленный объект. Он порожден нашей мыслью, конечно, под влиянием объективно-реальных предметов, но все же он входит в структуру физической реальности как идеализация. Следовательно, если вероятность относится непосредственно к нему, то и в содержании понятия «ве-

роятность» имеется компонент, идущий от субъекта. В этом и лежит основание «субъективистской» трактовки вероятности.

Состояние и вероятность в квантовой физике. Итак, в классической статистической механике вероятностные представления имеют смысл лишь для больших совокупностей элементарных объектов. Совсем новый смысл понятие вероятности получило в квантовой физике, где классическая абстракция «материальной точки» и динамическое уравнение Ньютона оказались неприменимыми для представления микросостояний и движения атомов и молекул. Здесь это понятие приходится использовать уже не только статистически (т. е. не только для формулировки законов систем, состоящий из огромного числа элементов), но и, что имеет решающее значение для изменения взглядов на природу вероятности, для представления состояний и поведения отдельных элементов системы. Квантовые объекты в отличие от классических «материальных точек» могут находиться одновременно в различных микросостояниях (принцип суперпозиции квантовых состояний). Это во-первых. А во-вторых, даже если точно известно, что какой-либо квантовый объект находится в каком-нибудь определенном состоянии, то это не означает, что в этом состоянии он обладает точными значениями положения и импульса. Отдельные квантовые состояния точно определяются наборами квантовых чисел (как правило, дискретными значениями энергии, момента импульса, спина и др.). Однако что же касается таких классических характеристик состояния, как положение и импульс, то эти характеристики существуют лишь в возможности. Точнее говоря, эти характеристики, разумеется, можно измерить, но, во-первых, точное измерение, например, положения квантового объекта исключает в данный момент точное измерение его импульса (и наоборот) и, во-вторых, не существует динамических законов, на основании которых мы могли бы, исходя из точного знания положения данного объекта в данный момент, предсказать с достоверностью его положение в любой другой (даже сколь угодно близкий к первому) момент времени.

Относительно природы вероятностных представлений в классической и соответственно в квантовой физике существуют различные мнения. Одни ученые полагают, что использование этих представлений в любом случае обусловлено недостаточностью нашей информации, незнанием инфраструктуры системы (идет ли речь о положениях и

импульсах «материальных точек» или о квантовых состояниях) и потому вероятности характеризуют, так сказать, «меры нашего незнания». Другие (как, например, Д. И. Блохинцев) считают, что в любом случае они, хотя и объективны, имеют статистическое обоснование (так называемая ансамблевая интерпретация квантовой механики). Третьи (как, например, К. Р. Поппер) выводят их необходимость из имманентной индетерминистичности мира (Поппер вообще убежден, что категория детерминизма не является адекватной философской категорией, поскольку детерминизм вступает в противоречие со свободой воли). Четвертые полагают, что вероятность есть мера объективной возможности (случайности в ее соотношении с необходимостью). Все эти точки зрения иллюстрируют многообразие различных философских взглядов на вероятность. Но нам здесь важно то, что природа квантовой и классической вероятностей все же различна, а суть этого различия проистекает из различия реальностей в классической и в квантовой физике.

Состояние классической «материальной точки» можно точно определить в пространстве ее положений и импульсов. Состояние же электрона (который и по современным представлениям тоже является непротяженным объектом) характеризуется волновой функцией, имеющей смысл распределения амплитуд вероятностей значений его положения или импульса (но не того и другого вместе). В таком случае если классическая вероятность появляется как следствие статистики точных «в себе» микросостояний элементов системы, то квантовая вероятность с самого начала заложена уже в отдельных квантовых состояниях. Иначе говоря, если введение вероятностных представлений в классическую физику обосновывает статистику, то квантовая статистика (известно, что квантовая физика выявила два новых типа статистики — для бозе-и ферми-частиц) сама (по крайней мере отчасти) обосновывается квантовофизической вероятностью. Отсюда, кстати сказать, можно понять и следующую точку зрения на различие классической и квантовой вероятностей, высказываемую, в частности, Й. М. Яухом: «Вероятности, которые встречаются в классической физике, интерпретируются как обусловленные неполной детализацией исследуемых систем, вызванной наличием ограничений нашего знания о детальной структуре и развитии этих систем. Таким образом, эти вероятности должны быть интерпретированы как имеющие *субъективную* природу».

В квантовой механике эта интерпретация вероятностных утверждений теряет силу в любом своем понимании, потому что не существует возможностей определить инфраструктуру, знание которой объяснило бы появление вероятностей на уровне наблюдений. Хотя такие теории со «скрытыми параметрами» рассматривались многими физиками, их попытки не дали полезных результатов. Следовательно, мы принимаем здесь противоположную точку зрения, согласно которой вероятности в квантовой механике имеют фундаментальный характер, глубоко коренящийся в объективной структуре реального мира. Мы можем поэтому назвать их *объективными* вероятностями⁷. Приблизительно так же думают и американские физики У. Бэнд и Дж. Парк, которые пишут, что квантовая вероятность — «это, так сказать, фундаментальный атрибут физической реальности»⁸.

В этой связи можно отметить, что вопрос о возможности переформулировки квантовых теорий на языке «скрытых параметров» (т. е. в рамках классических представлений о вероятности) приобрел экспериментально исследуемую форму благодаря неравенствам, выведенным Дж. Беллом. (Об этих неравенствах, как и «скрытых параметрах», речь идет далее специально.) Уже двадцатилетняя история экспериментальных проверок такого рода неравенств подтверждает, однако, невозможность указанной переформулировки. Как пишут по этому поводу Дж. Баб и И. Питовски в недавней публикации, «невозможность скрытых переменных, определяющих квантовую статистику, сводится к следующему: по-видимому, условную вероятность $p(b, a)$ (речь идет об измерении различных — a и b — проекцией спина одного и того же квантового объекта. — А. П.) нельзя связать с «подсчетом» (даже в смысле теории меры) числа b -событий в подансамбле, который был выбран для a -событий из некоторого исходного статистического ансамбля. Квантовая механика устанавливает правило или алгоритм для определения вероятностей, которые неформально интерпретируются как условные вероятности, однако эти вероятности математически не согласуются с какой-либо стандартной статистикой, определяемой в терминах относительных частот. Иными словами, эти «условные вероятности» не могут быть определены обычным «подсчетом» числа благоприятных исходов b -измерения во множестве случаев, выделенных в данном ансамбле предшествующим a -измерением»⁹.

Вместе с тем в литературе существует мнение, поддерживаемое, в частности, одним из ведущих современных физиков — Р. Фейнманом, будто «само понятие вероятности в квантовой механике не изменяется», хотя и приходится «радикально изменить способ вычисления вероятностей». «Когда мы говорим, что вероятность определенного исхода опыта есть p , — пишут Р. Фейнман и А. Хибс, — то вкладываем в это обычный смысл: при многократном повторении эксперимента ожидается, что относительное число опытов с интересующим нас исходом составит приблизительно p . Мы не будем вникать в подробности этого определения; никаких изменений понятия вероятности, принятого в классической статистике, нам не потребуется»¹⁰.

Однако уже из сказанного выше следует, что это не так. Для более детального понимания различий классической и квантовой вероятностей здесь уместно остановиться на рассмотрении способов введения этих вероятностей и их формальных свойств.

Теории вероятностей, колмогоровская аксиоматика и вероятность квантовая. Выше мы упоминали о многообразии интерпретаций вероятностных представлений в физике.

Однако вероятностные представления используются, как известно, далеко не только в физике. К настоящему времени сложилось несколько обобщающих теорий вероятностей, в которых вероятность как исходное понятие трактуется различным образом. Среди них наиболее известной является классическая теория, фундамент которой заложили еще Я. Бернулли и П. С. Лаплас. Здесь вероятность понимается как отношение числа благоприятных случаев к числу равновозможных. Представители этой теории отвергали объективную случайность в мире, полагая вероятность единственно «мерой нашего незнания». Далее, существует так называемая априористская теория логической (индуктивной) вероятности (Дж. М. Кейнс, Р. Карнап). Согласно этой теории, вероятность характеризует логическое отношение между высказываниями (посылками и заключениями индуктивного вывода), полностью определяемое правилами логики и априорного исчисления вероятностей. Здесь вероятность представляет собой характеристику деятельности сознания, т. е. описывает не объективно-реальные отношения, а законы разума. Третий тип теорий вероят-

постей — это частотные теории, которые подразделяются на статистические (Р. фон Мизес, Х. Рейхенбах) и диспозиционные, или пропенситивные (К. Р. Поппер, Я. Хэкинг, М. Бунге). Статистические теории опираются на опытное понятие относительной частоты, причем вероятность события определяется здесь как предел его повторяемости в бесконечных последовательностях событий. Если в этих теориях вероятность есть разве что математическая идеализация опытной повторяемости событий, то в диспозиционных теориях она является, так сказать, «свойством свойств», характеристикой физических диспозиций, или предрасположенностей физической системы вести себя таким или иным образом, проявлять то или иное свойство. Эти предрасположенности проверяются относительными частотами. К. Р. Поппер так характеризует диспозиционную вероятность: «Вероятности должны быть физическими предрасположенностями — абстрактными реляционными свойствами физической ситуации, подобными ньютоновским силам. «Реальность» их проявляется не только в возможности влиять на экспериментальные результаты, но и в способности при определенных обстоятельствах (когерентности) интерферировать, то есть взаимодействовать друг с другом»¹¹. Как мы увидим далее, эта характеристика вероятности К. Поппером отражает некоторые существенные свойства квантовофизической вероятности.

Общей чертой всех частотных теорий является признание того, что вероятность относится не только к разуму, но и к миру вообще, хотя в теории, как считает, например, Рейхенбах, нам приходится принимать определенные априорные допущения (касающиеся онтологических «регулярностей» явлений мира, аналитических свойств исчисления вероятностей). Но вот еще один широкий класс теорий вероятностей — так называемые «субъективистские», или персоналистские, теории (Ф. П. Рамсей, Б. де Финетти, Л. Дж. Сэвидж) — всецело относится к характеристикам степени уверенности субъекта в чем-то. Такие теории, хотя и отвергают объективность вероятностей, имеют рациональный смысл при анализе особенностей самой познавательной деятельности в условиях неопределенности.

Сам факт существования множества различных теорий и концепций вероятности говорит о предметности содержания понятия вероятности: это содержание зависит

от специфики предмета, к которому данное понятие применяется. Конечно, многообразие его трактовок увеличивается и за счет различия философских подходов. Не может быть, различные концепции вероятности все же обладают определенным единством, вскрываемым, скажем, математической аксиоматизацией свойств этого понятия? Ведь и «субъективистские» теории придерживаются основных правил математического исчисления вероятностей.

Общепризнанная математическая аксиоматика для исчислений вероятностей была предложена в 1933 г. известным советским ученым А. Н. Колмогоровым. Она исходит из некоторого «всеобъемлющего» множества U «элементарных» событий (не состояний), в котором каждое событие A оказывается подмножеством элементарных. С некоторыми A связываются числа $p(A)$, которые и называются вероятностями, если они удовлетворяют следующим простым условиям:

$$1 \geq p(A) \geq 0;$$

$$p(U) = 1;$$

если события A_1, A_2, \dots, A_n попарно несовместимы, а A — их сумма, то $p(A) = p(A_1) + \dots + p(A_n)$.

Вероятность события B при условии события A , т. е. условная вероятность $p(B/A)$, определяется так:

$$p(B/A) = p(A \cap B) / p(A),$$

где \cap — символ теоретико-множественного пересечения.

Теперь мы, обращаясь к формальным свойствам квантовой вероятности, покажем, что квантовофизическая вероятность плохо укладывается в рамки колмогоровской аксиоматики. Для этого сравним определения вероятностей в классической статистической физике и в физике квантовой.

В классической статистике вероятности определяются на множестве событий в фазовом пространстве (положений и импульсов). Событием является здесь микросостояние «материальной точки». В квантовой физике исходным понятием для введения вероятностей также служит понятие состояния квантового объекта (точнее, «вектора состояния» в гильбертовом пространстве). Однако в последнем случае (в отличие от классической статистики) состояние как «элементарное событие» уже само имеет вероятностную интерпретацию (напомним, что волновая

функция, представляющая состояние квантового объекта, имеет смысл распределения амплитуд вероятностей). Дальнейшие различия свойств классической и квантовой вероятностей вытекают из различия их введения и различия принципов, которым они подчиняются. Разумеется, все эти различия обусловлены различием классических и квантовых физических объектов.

Во-первых, в классической статистике справедлива аксиома сложения вероятностей различных событий в фазовом пространстве, когда эти события независимы. В квантовой же теории выполняется принцип суперпозиции состояний, характеризующихся различными квантовыми числами. Иными словами, если в классической статистике аддитивны вероятности различных микросостояний, то в квантовой физике складываются сами состояния, имеющие смысл распределения амплитуд вероятностей. (При этом амплитуда является комплексной величиной, а вероятность равна квадрату модуля амплитуды.) Указанное формальное свойство квантовофизической вероятности (и квантовых состояний) отражает тот объективный факт, что «независимые» квантовые состояния могут интерферировать. Такую интерференцию хорошо иллюстрирует известный эксперимент по рассеянию микрообъектов на экране с двумя щелями, в котором микрообъекты обнаруживают наличие у них волновых свойств (разумеется, в отношении классической «материальной точки» не может быть и речи о наличии у нее каких-либо волновых свойств, хотя физическую волну можно определить на множестве таких «точек»).

Во-вторых, как уже отмечалось выше, в квантовой физике существенно изменяется алгоритм вычисления условных вероятностей. Здесь, по сути дела, понятие условной вероятности теряет свой классический смысл и становится, как отмечают Дж. Баб и И. Питовски, «условным». Оказывается, что вероятность двух последовательных событий (например, результатов следующих друг за другом измерений, производимых над одним и тем же квантовым объектом) зависит от того порядка, в котором эти события происходят. Это значит также, что распределение амплитуд вероятностей не существует сразу для всех измеримых характеристик объекта. Данное формальное свойство квантовофизической вероятности отражает специфическую двойственность (или даже плюрализм) квантовофизической реальности, нашедшую выражение (и именование) в принципе дополнительности.

Объективностью этого принципа (который сам является следствием квантового постулата М. Планка) объясняется и следующее, третье формальное различие между классической и квантовой вероятностями. В классической статистике при помощи конструкции фазового пространства (т. е. пространства положений и импульсов) для всех без исключения «материальных точек», составляющих систему, могут быть определены бездисперсные (т. е. сводимые либо к нулю, либо к единице) меры вероятностей (поскольку принимается, что в принципе мы можем точно знать положения и импульсы всех без исключения «материальных точек»). В квантовой же физике «чистым» состояниям (т. е. состояниям, определяемым набором квантовых чисел) отвечают так называемые однородные ансамбли с дисперсией. Такие «ансамбли» (как их ни подразделяй!) сохраняют свою первозданную стохастичность¹². Невозможность исключения таких «ансамблей» из структуры квантовых теорий показали уже соотношения неопределенностей В. Гейзенберга. В самом деле, согласно такому соотношению, для положения g и импульса p квантового объекта произведение дисперсий этих величин $\Delta g \Delta p$ отлично от нуля (равно по порядку величины постоянной Планка \hbar), даже если мы имеем дело с «чистыми» состояниями (т. е. однородными «ансамблями»).

Итак, в нестатистической классической механике состояние «материальной точки» полностью определяется значениями ее положения и импульса, которые являются измеримыми величинами. В статистической классической физике, объекты которой представляют собой огромные системы таких «точек», состояние системы задается измеримыми макроскопическими параметрами, которые определяют вероятности возможных микросостояний, причем предполагается, что «в принципе» от вероятностей можно и избавиться. В квантовой физике состояния изначально вероятностны и описываются распределениями амплитуд вероятностей (по значениям положения или импульса), причем сам вид распределения однозначно определяется набором квантовых чисел, которые обычно изменяются дискретно. (Кстати, из последнего можно заключить, что изменение состояний в квантовой физике является дискретным процессом.) В классической статистической физике, действительно, имеют дело с ансамблями «случайных событий», структуру которых можно логически отразить колмогоровской аксиома-

тикой исчисления вероятностей. Но эта аксиоматика существенно опирается на понятие «независимое событие». Подобное понятие трудно указать в системе вероятностных представлений квантовой физики. Попытки построить в этой области исчисление вероятностей по признанному образцу сталкиваются с трудностями удовлетворения аксиоме сложения вероятностей «независимых событий» и определения условной вероятности. Вместе с тем этот факт свидетельствует о зависимости исчисления вероятностей от самой природы вероятностей, которая может быть различной.

Специфика квантовой причинности. Проследим теперь, как влияло изменение взглядов на содержание понятия состояния в процессе развития физики на изменение взглядов на формы причинной связи (учитывая, что причинность есть «генетическая связь состояний»). Но сначала напомним два обстоятельства, отмеченные в начале главы.

Во-первых, изменение состояния в процессе генезиса предполагает наличие внутренних или (и) внешних источников такого изменения. Это значит, что само по себе определение состояния системы или объекта в какой-то момент времени (через измеримые характеристики) недостаточно для раскрытия «генетической связи состояний». В физике указанные источники характеризуются понятиями скорости, импульса, момента импульса, энергии, температуры, спина и т. д. При этом изменение состояния может происходить как при изменении, так и при сохранении каких-либо из этих характеристик. Во-вторых, представление о причинности как «генетической связи состояний» включает в себя два аспекта — диахронный и синхронный. В диахронном аспекте причина предшествует следствию во времени, а в синхронном первая и последнее одновременны.

В физике сама возможность причинных связей между объектами часто ограничивается диахронным аспектом причинности и предполагается, что объект, удаленный от данного, не может изменить своего состояния, пока не испытает (естественно, позже во времени) изменение состояния данного. Абсолютизация диахронного аспекта причинности связана с абстракциями нестатистической классической физики. Здесь «генетическая связь состояний» «материальной точки» трактуется лишь в диахронном аспекте: состояние $s(0)$ является причиной состояния $s(t>0)$, причем связь $s(0)$ и $s(t)$ определяется жест-

ко детерминистично. Однако уже в статистической классической физике такое представление о причинной связи становится недостаточным: если не отдельные микросостояния элементов системы, то, во всяком случае, их вероятности одновременно все сразу определяются заданием некоторых макроскопических (общесистемных) параметров. Диахронный аспект связи микросостояний, хотя и трактуется здесь так же, как в нестатистической физике, оказывается все же подчиненным синхронному системному аспекту. Что же касается изменения самих макросостояний системы, т. е. изменения во времени функции распределения вероятностей (в силу неравновесных процессов), то этот макроскопический диахронный аспект выражается сложным интегрально-дифференциальным кинетическим уравнением Л. Больцмана, которое в принципе может иметь несколько различных решений для одного и того же исходного состояния.

Синхронный аспект причинной связи получает дальнейшую конкретизацию в квантовой физике, объекты которой, как уже отмечалось, могут находиться одновременно в нескольких различных состояниях (принцип суперпозиции). Здесь он выражается такими понятиями, как «несиловое взаимодействие», «целостность квантовой системы», «нелокальность квантового взаимодействия».

В качестве примера, указывающего на реальность различий синхронного и диахронного аспектов причинной связи в квантовой физике, можно привести известный мысленный эксперимент Эйнштейна—Подольского—Розена (более подробно об этом см. далее). Авторы этого эксперимента парадоксальным образом доказывали неполноту квантовой механики, поскольку эта теория не воспроизводила диахронный аспект причинности (кстати, в ситуации, в которой о нем не могло быть и речи). Однако парадокс был обусловлен, по сути дела, абсолютизацией классического (нестатистического) представления о причинной связи. В споре с Эйнштейном Н. Бор отстаивал «целостность квантового явления», что можно, по-видимому, интерпретировать как признание синхронной детерминации в рамках системы (хотя, конечно, квантовая система отличается от систем, рассматриваемых классической статистикой). Недаром в квантовой физике принято считать, что, зная состояние системы, нельзя в общем случае определить состояние ее «частей». Так, в простейшем примере дифракции электрона на двух щелях это проявляется в невозможности определить, че-

рез какую щель электрон «проскакивает» (он «проходит» сразу через обе щели).

Из сказанного выше вытекает проблема переосмысления «генетической связи состояний» в аспектах синхронности и диахронности, системности и временной последовательности (причин и следствий).

Существует и другая проблема, которая ставится в квантовой физике перед пониманием причинности лишь в диахронном ее аспекте. Проблема эта заключается в следующем: должна ли связь состояний обязательно быть однозначной? В философско-методологической литературе высказывается убеждение, что должна. Например, Г. Я. Мякишев считает: «Главное и определяющее при формировании понятия состояния заключается в следующем: *начальное состояние однозначно определяет конечное состояние в зависимости от взаимодействий внутри системы, а также в зависимости от внешних воздействий на систему*». Или более того: «*Состояние — это качественная и количественная определенность бытия конкретной формы материи, однозначно детерминирующая ее эволюцию во времени*»¹³. Применительно к ситуации в квантовой физике это убеждение обосновывается ссылкой на временное уравнение Шрёдингера.

Надо сказать, что это обоснование широко распространено в литературе. Однако еще М. Борн, предложивший вероятностную интерпретацию волновой функции, эволюция которой и должна описываться уравнением Шрёдингера, отмечал также следующее: «...закон причинности, утверждающий, что весь ход событий в изолированной системе полностью определяется состоянием системы в момент времени $t=0$, теряет силу, по крайней мере в смысле классической физики... Можно, как это и делается... описывать мгновенное состояние системы посредством комплексной функции ψ , удовлетворяющей некоторому дифференциальному уравнению. Тогда зависимость функции ψ от времени полностью определяется ее формой в момент $t=0$, так что эволюция этой функции строго причинна. Однако физический смысл придается лишь величине $|\psi|^2$ (квадрат амплитуды) и другим примерно так же сконструированным квадратичным выражениям (матричным элементам), совокупность которых определяет ϕ только частично. Отсюда следует, что начальные значения функции ψ принципиально нельзя найти полностью даже в том случае, если в момент $t=0$ все физически наблюдаемые величины известны точно»¹⁴. Бо-

лее того, даже если бы удалось точно определить состояние системы в начальный момент времени, отсюда вовсе не следует (как и в случае кинетического уравнения Больцмана), что все будущие ее состояния окажутся однозначно детерминированными. Ближайшей причиной этого является то, что состояние не тождественно связи состояний; хотя состояние объединяет в себе сущность и явление, опосредуя их, оно не тождественно сущности — сущность воспроизводится связью состояний.

Вместе с тем наряду с эволюционной формой изменения состояния квантовая физика широко использует представление о квантовых переходах, которые выражают дискретность процессов квантового мира. Уравнение Шрёдингера (или его аналоги) позволяет вычислить амплитуды вероятностей таких процессов, но оно не устанавливает однозначно, какой именно процесс будет реализован в данный момент. В этой связи имеет смысл остановиться на специфике микроскопического движения, которая определяет квантовофизическую причинность.

Классическая и квантовая модели движения. Согласно классической (геометрической) модели механического движения, тела движутся в непрерывных пространстве и времени по непрерывным же траекториям под действием внешних сил или по инерции. Геометризация механического движения с помощью представления о траектории математически означает возможность установления однозначного соответствия между континуумами точек пространства и моментов времени. Такая связь формулируется в виде дифференциальных уравнений (второго порядка по временной переменной), которые и символизируют объективно-реальные движения. Зная конкретный вид уравнения (благодаря символизации действующих на тело сил) и начальные условия движения (которые можно определить опытным путем, ибо ими являются обычно координаты и скорость тела в некоторый момент времени), можно легко предсказать путь (траекторию) движения тела. Поэтому в классической механике существовала уверенность, что связь состояний движения тела (образно представляемая траекторией) носит однозначный характер. Нет здесь ни неопределенности, ни случайности, ни возможности. Разве что последние вносятся на стадии выяснения начальных условий.

Несмотря на все практические успехи этой модели движения, она вызывала сомнения еще у древних греков. Зенон Элейский сформулировал ряд апорий (противо-

речий), к которым неминуемо приводит отождествление этой модели с реальностью. Сегодня с высоты теории множеств можно точно определить то логическое противоречие, которое в ней скрывается. Дело в том, что модель предполагает, будто движущееся тело *последовательно* проходит все точки своей непрерывной траектории. Но в континууме (т. е. непрерывной модели пространства и времени) не существует точки, следующей непосредственно за данной. Такова современная модель континуума.

И конечно, она является сильным упрощением реальных движений в микромире. Ведь само допущение возможности непрерывных движений, скажем, электронов атома вокруг его ядра равносильно отрицанию возможности существования атомов. Дело в том, что при таких движениях электроны должны излучать энергию в виде поля и потому в конце концов «упасть» на ядро. Но этого не происходит. И квантовая физика начинала свое существование, в частности, с признания неадекватности траекторного представления движения микрообъектов в атомных масштабах (в камере Вильсона электроны движутся «нормально», т. е. по траекториям).

В атомных масштабах электрон движется дискретно. Он здесь «находится» на орбитах (траекториях), но орбиты эти характеризуются вовсе не пространственно-временными, а импульсно-энергетическими параметрами. Движение электрона заключается в смене этих орбит, т. е. в смене состояний, которая (смена) называется квантовыми переходами (или «скачками»). Именно такие переходы и наблюдаются на опыте, в экспериментах и измерениях. Причем у электрона есть много возможностей «переходить»: он может «скакнуть» на одну орбиту, а может — и на другую. Естественно, его возможности ограничены и ограничены: существует определенный спектр таких возможностей, а каждая отдельная возможность в спектре далеко не равновероятна. Но хотя и здесь в конечном счете царствует какая-то закономерность, она, эта закономерность, не столь однозначна, как в классической механике. Переходы, «скачки» электронов с орбиты на орбиту нельзя представить дифференциальными уравнениями, описывающими связь его положений во времени. Здесь иные законы — они отражают дискретные симметрии квантовофизических систем и их взаимодействий с окружением.

Квантовый переход электрона с орбиты на орбиту есть элементарная «клеточка» квантовофизической при-

чинности, «генетической связи состояний» квантовой системы атома. В этой системе он достаточно случаен, ибо реализует всегда только одну из многих объективных возможностей, скрывающихся в ней. Всю совокупность этих возможностей определяют как внутренние, квантовые характеристики системы (ее симметрии, выражаемые квантовыми числами), так и внешнее по отношению к системе окружение. За поведение электрона отвечают и система атома, и окружение. В виду этого переходы могут быть как спонтанными (причина их скрывается в самой системе атома), так и индуцированными (происходящими под воздействием внешней атому среды). При имеющихся энергетических ресурсах электрон атома может либо не реализовать их вовсе в течение определенного времени, зависящего от состояния системы атома в целом, либо совершить сложный «скачок» через несколько промежуточных (виртуальных) состояний. Реакции рассеяния элементарных частиц, их распады и синтезы могут идти несколькими параллельными путями, лишь бы при этом не нарушались законы сохранения квантовых чисел. Таким образом, смена и связь состояний в квантовом мире подчиняется объективным закономерностям, однако закономерности эти носят вероятностный характер.

Мы видим, что в представлении квантовофизической реальности участвует гораздо больше (чем в случае реальности классической механики) понятий. Здесь и необходимость и случайность, и действительность и возможность, и определенность и неопределенность, и прерывное и непрерывное. Кроме того, мы заметили, наверное, что для этого представления очень существенны понятия части и целого, элемента и системы.

Целостность квантовофизической реальности и «скрытые параметры». В истории квантовой физики сформировались и до сих пор соперничают два основных подхода в понимании квантовофизической причинности. Эти подходы являются конкретизациями представлений о квантовофизической реальности, которые мы рассмотрели в двух предыдущих главах. Один подход тяготеет к мировоззрению Н. Бора, который отстаивал целостность «квантового явления», наверно, потому, что не очень стремился отделять реальность субъекта от реальности объекта. Другой подход традиционно более физичен и исходит из принимавшегося, в частности, А. Эйнштейном убеждения, что объективный мир существует независимо

от нас, но что познать его мы можем объективно лишь в рамках представлений традиционного детерминизма. Сторонники второго подхода не удовлетворены вероятностным характером квантовофизических законов. Многие выдающиеся физики XX столетия — к их числу относятся М. Планк, А. Эйнштейн, Л. де Бройль, Э. Шрёдингер, М. фон Лауэ — расценивали эти законы как неполные или недостаточные для описания всей реальности движений объектов микромира. Возможность преодоления этого недостатка они связывали с перестройкой квантовофизических теорий на жестко детерминистических началах, которые, пока они не открыты, передаются метафорой «скрытые параметры». Таким параметрам (или переменным) гарантируется статус ненаблюдаемых в рамках обычной квантовой физики величин, «дополняющих» ее в таком же, например, смысле, как положения и импульсы микрочастиц классической статистической механики «дополняют» феноменологическую термодинамику.

Еще в 1935 г. А. Эйнштейн, Б. Подольский и Н. Розен предложили мысленный эксперимент (касавшийся возможности точного измерения одновременно положения и импульса квантового объекта), показывающий, по их мнению, что квантовомеханическое описание физической реальности (предполагалась, очевидно, объективная реальность) при помощи волновой функции (т. е. вероятностным образом) неполно, ибо не воспроизводит все те свойства объектов, которые в принципе можно наблюдать. Излагая свое понимание реальности, они писали: *«Если мы можем, без какого бы то ни было возмущения системы, предсказать с достоверностью (т. е. с вероятностью, равной единице) значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине»*¹⁵.

Эксперимент Эйнштейна — Подольского — Розена (ЭПР) удобно пояснить в его переформулировке Д. Бомом, позволяющей постановку реального эксперимента.

Пусть имеется система с нулевым спином (собственным квантовым моментом движения), способная распадаться на два фермиона (т. е. на две частицы со спинами, равными $1/2$). Тогда экспериментально определяемые значения проекций спинов продуктов распада на любую ось в пространстве скоррелированы между собой: если значение проекции s_x^1 первой частицы равно, скажем, $+1/2$, то значение соответствующего компонента

s_x^2 второй частицы равно $-1/2$ и наоборот. В силу такой корреляции, обоснованной законом сохранения момента движения, проводя измерение проекции спина одной из частиц, можно однозначно предсказать результат измерения этой же проекции для другой частицы. Здесь существенно также то, что измерения с одной из частиц не могут оказать физического воздействия на состояние другой частицы (и таким образом повлиять на результаты измерений с другой частицей), поскольку продукты распада пространственно разделены. Это значит, в соответствии с критерием реальности ЭПР, что величины s_x^1 и s_x^2 реальны. Более того, все сказанное выше об их измерении равным образом справедливо и в отношении любых других проекций спинов частиц на произвольно выбранное в пространстве направление (оно задается ориентировкой регистрирующего устройства). Отсюда следует, что физически реальны вроде бы все компоненты спина частицы, в отношении которой делаются предсказания. Но, согласно квантовомеханической теории, любые два различных компонента спина одной и той же частицы не могут быть измерены одновременно, ибо они, как говорят физики, не коммутируют между собой. Таким образом, получается, что квантовая механика отражает реальность неполно.

Статья Эйнштейна, Подольского и Розена породила дискуссию о полноте квантовой теории, специфике квантовофизической реальности и ее законов, продолжающуюся и по сей день. Первым оппонентом Эйнштейна был Бор, который настаивал на пересмотре самой концепции реальности в контексте идеи целостности «квантового явления».

Решение вопроса о том, целостна или локальна квантовофизическая реальность, детерминистична она или нет, было перенесено в экспериментальную плоскость в 1964 г. Д. С. Беллом. Он, переведя эйнштейновские представления о детерминистической физической реальности на простой математический язык, вывел из своей модели ряд неравенств, проверка которых на опыте могла бы показать, что квантовая механика не просто неполна, но и ошибается в своих предсказаниях¹⁶. Эти неравенства позволяют выяснить опытным путем, необходима ли перестройка квантовой теории на позициях эйнштейновых представлений о локальности взаимодействий и детерминизме. Проводившиеся уже более 20 лет эксперименты по проверке следствий, вытекающих из нера-

веиств Белла, не выявили значимых отклонений от предсказаний квантовой механики. Это подтверждает мнение о том, что эйнштейново определение «элементов реальности», опирающееся на концепции локальности и детерминизма, не отвечает квантовофизической реальности. Для этой реальности существенны понятия нелокальности, целостности, вероятности, системности.

Подход сторонников теорий детерминистических «скрытых параметров» был порожден, очевидно, тем представлением о вероятности, в рамках которого сохраняется надежда на то, что вероятность не имеет объективных онтологических оснований, поскольку все существующее в реальном мире якобы должно подчиняться однозначным детерминистическим законам. Такая надежда основывалась на механистическом мировоззрении классической физики, где случаю предоставляли возможность проявляться лишь на фоне скрывающейся за ним жесткой необходимости. Сохранению такой надежды способствовал и сам математический аппарат классических физических теорий. Ведь классическая статистика допускает использование вероятностей лишь в качестве вынужденного метода познания, который применяется к «объективной реальности» фазового пространства точных положений и импульсов. Иначе говоря, в рамках классической физики статистика допускала интерпретацию при помощи представлений о бездисперсных мерах вероятности. Это подразумевает, что каждой случайной величине (координате и импульсу каждой частицы) можно приписать такое распределение вероятностей, при котором вероятность равна единице для одного-единственного значения рассматриваемой величины и нулю для всех остальных ее значений. Возможность такого представления распределения вероятностей предполагает возможность установления изоморфного соответствия между точками фазового пространства (как пространства состояний) и бездисперсными мерами вероятности на нем. Поскольку для некоторой статистической теории такое соответствие найдено, постольку существуют основания считать, что данная теория покоится на детерминистическом фундаменте и хотя бы формально позволяет введение «скрытых параметров». Так, «скрытыми параметрами» классических феноменологических теорий являются координаты и импульсы частиц статистического ансамбля, целостное поведение которого описывается макроскопическими параметрами. В этом случае, напри-

мер, термодинамические величины, входящие в уравнение состояния, выражают усредненный, коллективный, системный эффект ненаблюдаемых с точки зрения термодинамики микрофизических динамических реалей.

Итак, главными целями сторонников теорий со «скрытыми параметрами» были избавление от несводимой квантовомеханической вероятности и благодаря этому восстановление в современной физике того представления о причинности, которое веками считалось очевидным. Достигнуть этих целей поначалу предполагалось за счет такой переформулировки квантовых теорий (в терминах «скрытых свойств»), при которой их статистика становится сводимой. Поскольку этому намерению успех не сопутствовал, начали появляться новые типы теорий со «скрытыми свойствами», которые уже не преследуют первоначальную цель восстановить в своих правах классическую концепцию физической реальности и оправдать классический идеал физического объяснения. В их рамках предпринимаются попытки осмыслить идею целостности, выразить с помощью «скрытых параметров» или «скрытых свойств» системный характер квантовофизических объектов и взаимодействий.

«Экзотические» попытки такого рода мы рассмотрим в последнем параграфе этой главы, а здесь в заключение хотелось бы сравнить концепцию «скрытых параметров» с известным принципом Маха. Согласно этому принципу, гипотетически устанавливающему связь между физическим макромиром, в котором непосредственно живет человек, и космосом, инерциальная масса каждого отдельного наблюдаемого человеком земного объекта является мерой его системной зависимости от всей наблюдаемой (в телескопы) Вселенной. Этот принцип можно обобщить (учитывая и микрореальность): все наблюдаемые характеристики индивидуализированного объекта (масса, заряд, спин и пр.) являются не внутренне присущими ему свойствами, а проявлениями объемлющей его системы, скажем, целостной и замкнутой Вселенной, которая как раз и играет роль «скрытого параметра», но глобального типа.

Можно ли отвергать идею «скрытых параметров», так сказать, с порога? Очевидно, нельзя. Иначе не было бы даже атомизма. Но вместе с тем не только фактическая ситуация в современных физических теориях, а и сама диалектика подсказывает, что не может быть многого без единого, целого без частей, неделимого без делимого,

глобального без локального и, наконец, тех же ненаблюдаемых «скрытых параметров» без явно наблюдаемых величин (как и наоборот). Право на существование имеет каждый из компонентов этих пар, только не нужно абсолютно разрывать связь между ними. Учитывая сказанное, можно следующим образом представить рациональное содержание идеи «скрытых параметров» как эвристической концепции: эта идея необходима для зондирования еще не раскрытых объективно-реальных связей, которые не описываются (и не могут описываться) в рамках рассматриваемой теории, поскольку лежат вне пределов ее компетенции. При этом «скрытые параметры» в физических теориях в зависимости от ситуации могут играть различную роль — как динамических, так и нединамических переменных, как части, так и целого, как локального, так и глобального. Например, в термодинамике координаты и импульсы молекул играют роль «скрытых параметров» стохастического типа. Наблюдаемыми величинами здесь являются функции состояния — энтропия, давление, температура и пр., причем последние оказываются характеристиками динамического плана. Однако на уровне классической механики, которая описывает поведение ансамблей частиц (молекул или атомов) собственными средствами, упомянутые «скрытые» и «нескрытые» параметры меняются местами, причем «нескрытые» параметры (координаты и импульсы) становятся динамическими переменными, а «скрытые» — статистическими свойствами системного характера. Можно сказать в итоге, что принцип Маха, его обобщения, идеи вероятности, целостности и «скрытых параметров» играют в физике роль связующих звеньев между различными уровнями физического описания, когда приходится учитывать влияние как локальной, так и глобальной детерминации, многоуровневость структуры физической реальности.

Таким образом, представляется, что развитие квантовой физики подтверждает справедливость ленинской мысли о том, что «всесторонность и всеобъемлющий характер мировой связи» лишь «односторонне, отрывочно и неполно» выражается (однозначной) каузальностью¹⁷. Иначе говоря, квантовая физика подтверждает философскую гипотезу, что причинность не сводится к однозначному детерминизму. Квантовая физика обогащает содержание категории причинности, принимая во внимание детерминацию частей целым, учитывая объективную диа-

лектику возможности и действительности, случайности и необходимости, неопределенности и определенности.

Парапсихология и квантовая физика. Человек — это, наверное, такое существо, которому всегда хочется чего-нибудь нового. Этим, возможно, в какой-то степени объясняется массовый интерес, который проявлялся в последнее время в различных странах мира к «паранормальным феноменам», в особенности к парапсихологии.

В «Советском энциклопедическом словаре» парапсихология определяется как область исследований, в которой «...ставится цель изучения форм восприятия, происходящего без участия органов чувств, а также форм воздействия живого существа на физические явления вне организма без посредства мышечных усилий (желанием, мыслью и т. п.). Возникла в конце XIX в. Встречающиеся нередко в парапсихологии случаи мистификации и обмана, а также тот факт, что так называемые парапсихологические явления не получили научного объяснения, вызывают критику и острые дискуссии вокруг парапсихологии»¹⁸.

Попробуем «придаться» к этому определению. Во-первых, что это за «форма восприятия, происходящего без участия органов чувств»? Может быть, именно это и утверждают сами парапсихологи, но тогда они не замечают внутреннего противоречия в этом своем утверждении: что это за восприятие без органов чувств, т. е. без органов восприятия, т. е., по сути, без восприятия? Во-вторых, разве есть что-то сверхъестественное в таких «формах воздействия живого существа на физические явления вне организма без посредства мышечных усилий (желанием, мыслью и т. п.)», как те же самые желания и мысль? Разве не общеизвестно, что «идея движет массами», что «нет ничего практичнее, чем хорошая теория»? Разве не мыслью человеческой движется современный научно-технический прогресс? Но не будем к этому особенно придираться, не выяснив ряд обстоятельств. Посмотрим вначале, что думают о парапсихологии ее действительные приверженцы.

Один из таких приверженцев — К. Р. Рао пишет в антологии по парапсихологическим экспериментам следующее: «Различаются две основные формы психического: экстрасенсорное восприятие (ЭСВ) и психокинез (ПК). ЭСВ есть способность приобретать информацию помимо чувственного восприятия, а ПК — способность воздействовать на внешние системы, находящиеся вне сферы на-

шей моторной деятельности. ЭСВ подразделяется на телепатию (ЭСВ чужих мыслей) и ясновидение (ЭСВ внешних объектов или событий). Прекогниция и ретрокогниция (или, проще говоря, предугадывание будущего и узнавание прошлого.— А. П.) представляют собой соответственно ЭСВ будущих и прошлых событий»¹⁹.

В общем-то, и в этом, более подробном определении нет пока ничего принципиально нового, проясняющего суть дела. Но при этом Рао «информирует» нас, что парапсихология как «наука» родилась еще в 1882 г. (в Великобритании, где ученые основали Общество психических исследований), что «научные» эксперименты в области парапсихологии начались в 1927 г., когда в США Дж. Б. Райн организовал Парапсихологическую лабораторию при университете Дьюка, что в 1937 г. появился «Журнал парапсихологии», что к настоящему времени проведено уже 2 тыс. таких «научных» парапсихологических экспериментов. Из других источников мы можем узнать, что Парапсихологическая ассоциация США в 1969 г. была принята в Американскую ассоциацию содействия развитию науки, что сегодня в западных странах издается более 50 журналов по парапсихологии, что 10 лет назад более половины взрослого населения США верило в ЭСВ и т. д.

Но что же это такое — ЭСВ и ПК? Ясно, что человеческая психика, возможности восприятия человека, деятельность его мозга и организма в целом еще таят в себе много загадок. Ясно также, что те методы исследования, которые ученые выработали применительно к физическим (неодушевленным) объектам, вовсе необязательно будут работать в тех случаях, когда объектом изучения становится живой, чувствующий и мыслящий, человек. Кстати, именно по этой причине — по причине перенесения методов экспериментального исследования неживой природы на человека — парапсихологические эксперименты так и не смогли обнаружить ничего особенно нового. То, что они обнаруживали, повторяло открытия либо обычной, «нормальной» психологии, либо физиологии, либо физики. Но дело тут не только в самих экспериментах. Ведь парапсихологи представляют реальность психического, восприятия, мысли, сознания как оторванную, противопоставленную объективной реальности. Схема такая: всем известно, что есть материальная (считай, «неживая») реальность; но есть еще и реальность духовная; эти две реальности самостоятельны; по они должны действовать

друг на друга; надо искать эффекты такого воздействия; будем это делать так, как принято в физике. Иными словами, воздействие психики на физические объекты (то, что физические объекты оказывают влияние на психику, почему-то не вызывает удивления у парапсихологов) моделируется по принципу физического воздействия.

Дуалистическая концепция реальности, сознательно или неосознанно принимаемая парапсихологами, оправдывается ими очень часто ссылками на квантовую физику. Действительно, исследуя микромир, ученые столкнулись со множеством парадоксальных с точки зрения классических физических представлений явлений, среди которых корпускулярно-волновой дуализм, квантование, нелокальность и целостность квантовых систем и процессов, взаимопревращаемость элементарных частиц. К таким явлениям относится и так называемая «редукция волновой функции», отражающая процесс превращения возможности в действительность. «Редукция» свидетельствует о том, что состояние подсистемы некоторой системы невозможно определить, пока эта подсистема не превратится в предмет самостоятельного экспериментального исследования, т. е. пока она не актуализируется. Процесс перехода от исследования целой системы к исследованию ее подсистем представляется парапсихологам «паранормальным». Здесь они обычно ссылаются на рассмотренный выше мысленный эксперимент Эйнштейна—Подольского—Розена. (Напомним, что парадокс, связанный с этим экспериментом, разрешается вовсе не на пути противопоставления субъекта и объекта познания или, грубо говоря, сознания и материи.) «Паранормальным» он им кажется потому, что квантовая теория, действительно, не «показывает» механизм «редукции» в обычных для классической физики динамических терминах непрерывного перехода от одного состояния к другому. Но это и невозможно показать, потому что этого, по всей вероятности, просто нет. Никакого динамизма классического типа в квантовофизической реальности не существует: там смена состояний осуществляется дискретно, там имеет место системная детерминация, там субъект и объект далеко не всегда могут быть схематично противопоставлены друг другу.

Противопоставляя психическое и физическое, парапсихологи ограниченно трактуют принцип причинности. По сути дела, они сводят его содержание к механизмам, выявленным физикой. Психика, по их мнению, воздейст-

вует на физические явления точно так же, как одни физические явления воздействуют на другие (например, парапсихологи утверждают, что экстрасенс или психокинетик своими мыслями, взглядами, сосредоточением внимания механически на расстоянии движет стрелки приборов, гнет алюминиевые вилки, а то и поворачивает столы, не говоря уже о том, что он может вызвать привидения). Психика, говорят они, прибегая к научной терминологии,— это «скрытый параметр» (физического воздействия). Этот взгляд на реальность попросту примитивен. Явное, очевидное воздействие психики, мысли, чувств, сознания человека на объективную реальность «скрыто» разве что для парапсихологов, идеалистов и дуалистов. Для материалистов оно открыто, потому что существует только одна реальность, порождением которой является и психика. Не следует ожидать чуда от отождествления психического с физическим (противопоставляя физическое и психическое, парапсихологи, по сути дела, отождествляют их, ибо ищут между ними физические взаимосвязи).

Глава 5. Пространство и время в микромире

Реальны ли пространство и время? Казалось бы, нет сомнений в том, что все явления и вещи существуют в пространстве и времени. Все они наделены какими-либо размерами и формами, все имеют какую-то длительность существования. Даже атомы Демокрита, будучи незримыми, наделялись пространственными и временными свойствами. И сегодня мы приписываем физическим атомам, атомным ядрам, элементарным частицам более или менее определенные размеры и какое-то время существования.

Но возьмем, скажем, такое явление, как человеческая мысль (та же мысль об атоме). Если речь идет об индивидууме, конкретном человеке, то мы можем сказать, что его мысль (об атоме) существует в пространстве и времени. Пространство этой мысли определяется головным мозгом данного человека, а время ее существования — памятью, которая опять же связана с мозгом. Однако данная мысль данного человека, насколько мы можем о ней судить, существует для нас лишь как воспринятая, понятая нами. Но где же она тогда — эта мысль? В голове у человека, высказавшего ее? У нас в голове? Либо где-то еще? Когда она существует? Тогда, когда зародилась в мозгу данного конкретного человека и пока сохраняется там? Тогда, когда была воспринята и запомнена нами? Либо еще когда? И почему мы можем судить о мыслях Демокрита (о его идее атомов), хотя мозга Демокрита давно уже нет?

Возможно, мысль — это такое явление мира, которое вовсе и не подлежит пространственно-временным определениям? И если она существует, то тогда не все в мире, или далеко не все в нем, или даже сам мир не нуждаются в пространстве и времени?

Философы давали и дают на эти вопросы много разных ответов. Сложилась даже определенная их классификация. Одни, как, например, Гегель, считали, что мысль (не конкретного человека, а сама по себе) — это нечто

первичное в мире, порождающее в том числе и мысли о пространстве и времени, что пространство и время суть следствия абсолютной идеи. Другие, выводившие существование из мышления, как Декарт, полагали (или полагают), что мысль есть реальность, существующая наряду и независимо от обычных материальных, локализуемых в пространстве и времени тел. Третьи заявляют вслед за Кантом, что пространство и время суть только человеческие категории, предпосылки возможности опыта человека, обусловленные исключительно его природой как чувствующего и мыслящего существа. Четвертые убеждены в том, что изначальной реальностью мира может быть только время, определяющее собой любое существование (к ним относятся, в частности, представители так называемых иррационалистических направлений в философии).

Все вышеназванные типы ответов не очень реалистичны, поскольку они или игнорируют, или не доверяют реальности, существующей независимо от человека (и в том числе от разума). Сторонники диалектического материализма (несмотря на все аргументы скептиков и антиреалистов) отстаивают позицию, согласно которой пространство и время суть формы бытия объективной (независимой от любых мыслей) реальности. Такая позиция шире всех тех, которые предполагают, что пространство и время не существуют вне человека и его мыслей. Поэтому внепространственная и вневременная определенность мысли не является для нее трудностью. Другое дело, однако, когда возникает вопрос о наличии пространственно-временных свойств, например, у объектов микромира. Ведь если эти объекты объективно-реальны, то они, как утверждает диалектический материализм, должны не просто существовать в пространстве и времени, но и обладать специфическими пространственно-временными свойствами, а это не всегда легко доказать на практике. Такие доказательства, понятно, очень важны, ибо, если их нет, идеалисты, скептики и антиреалисты получают основания для заключений об идеальном, только мысленном существовании объектов познания квантовой физики.

Основные представления о пространстве и времени. В представлениях человека о пространстве и времени можно различить два ряда вопросов. Во-первых, вопросы о том, являются ли пространство и время самостоятельными реальностями или же они в своем существовании

зависят от чего-то еще — более фундаментального, чем они сами (например, от материи, атомов или от мысли). Во-вторых, если первый ряд вопросов так или иначе разрешен и если после такого разрешения мы принимаем существование пространства и времени в качестве некоей (исходной или производной) реальности, то каковы тогда свойства этой реальности? В последнем случае независимо от решения первого ряда вопросов обычно спрашивают: дискретны или непрерывны пространство и время, направлены они или нет, а может быть, даже искривлены (как принимается теорией относительности)?

Уже на протяжении десятков веков о свойствах пространства и времени существуют самые разные суждения: говорят об их непрерывности либо дискретности, различают ускоряющийся, линейный и замедляющийся ход времени, приводятся доводы в пользу его цикличности, размышляют о необратимости либо, напротив, обратимости времени, о направленности временной стрелы, строятся модели плоского либо искривленного, конечного либо бесконечного пространства. Но в общем-то следует констатировать, что на протяжении тех же столетий наиболее приемлемой моделью пространства и времени всегда оставалась модель непрерывного трехмерного пространства и такого же, но только одномерного времени. Эта модель называется континуальной, или континуумом. Сравним для подтверждения сказанного цитаты из работ древнегреческого философа Аристотеля и современного английского математика Р. Пенроуза.

Аристотель писал в своей «Физике»: «Так как всякое движение происходит во времени и во всякое время может происходить движение, и так как, далее, все движущееся может двигаться быстрее или медленнее, то во всякое время будет происходить и более быстрое и более медленное движение. Если же это так, то и время должно быть непрерывным. Я разумею под непрерывным то, что делимо на всегда делимые части...»¹. А вот что пишет Пенроуз: «Согласно современной теории, все физические явления совершаются в рамках непрерывного дифференцируемого многообразия, именуемого пространственно-временным континуумом. Мы настолько свыклись с этой мыслью, что такая структура пространства и времени кажется нам сейчас почти „очевидной“»².

И Аристотель, и Пенроуз выражают одну и ту же мысль, но только различными словами: Аристотель говорит о более быстрых и более медленных движениях, о та-

ком понимании непрерывного, которое предполагает, что оно — непрерывное — делимо на части потенциально бесконечно (это и есть «истинное» непрерывное), а Пенроуз обращается к терминологии современной математики, использующей представление о непрерывно дифференцируемом многообразии. Правда, в отличие от Аристотеля Пенроуз не спорит с оппонентами (которые могли бы доказывать неделимость движения и дискретность структуры пространства и времени), а подчеркивает, что мы уже просто свыклись с представлениями об их непрерывности; Аристотель же спорил с Зеноном Элейским, а также с Демокритом.

В ходе развития человеческого познания и практики представления о непрерывной структуре пространства и времени сами непрерывно уточнялись и совершенствовались. В конечном счете они нашли свое современное выражение в математической теоретико-множественной конструкции континуума (о которой и пишет Пенроуз). В ходе этого развития после Аристотеля непрерывность пространства и времени отстаивали, например, Декарт, Ньютон, Лейбниц. Лейбниц даже постулировал непрерывность в качестве всеобщего, необходимого и рационального требования («рационального» — значит отвечающего потребностям человека), предъявляемого к природе. «Природа,— утверждал Лейбниц,— не делает скачков».

Представления о непрерывности пространства и времени играют значительную роль и в современной физике. Теория относительности перенесла эти представления из мира непосредственно окружающих нас (или, как еще говорят, макроскопических) объектов на пространство и время объектов Космоса. То же самое мы можем сказать и о квантовой физике, осваивающей объекты и процессы микромира. Тем не менее, как уже упоминалось, в современной физике актуальны трудности не только с определением свойств пространства и времени (если они реальны), но и с определением самого статуса существования пространства и времени в космических и квантовых масштабах.

Теоретико-физические виды непрерывных пространства и времени. Континуум — это прежде всего идеальная, мысленная, математическая (теоретико-множественная) конструкция. Являясь результатом ряда изобретений человеческого ума, она широко используется в аппарате физических теорий. В физике сквозь призму ее свойств и

отношений рассматривается реальный мир. И когда ее выявленные мыслью и практикой качества приписываются реальному миру, она обретает статус физической реальности (напомним, что физическую реальность не следует отождествлять с объективной реальностью). Для такого понимания бытия континуума есть хорошие основания в классической физике, ибо здесь ему отвечают объективно-реальные прообразы — эмпирически делимые и мысленно подразделяемые до бесконечности окружающие нас объекты природы.

Известно, что теория относительности радикально изменила научные представления о пространстве и времени. Во-первых, она связала между собой ранее отдельно понимавшиеся пространство и время. Во-вторых, поставила их свойства в зависимость от реальности вещества и поля. Это — главные изменения, хотя есть много и других. Действительно, в физике Ньютона нет единого пространства-времени, а есть два отдельно существующих континуума — пространственный и временной. При этом здесь считается, что непрерывные пространство и время абсолютны в том смысле, что их свойства не зависят от свойств как бы помещенных в них материальных объектов. Они существуют как бы наряду с этими объектами, независимо от них, а объекты (вещество и поля) находятся в них, как в своих вместилищах. Пространство и время классической физики имеют евклидову (плоскую) метрическую структуру, которая никак не связана с распределением вещества и излучения во Вселенной, т. е. пространство и время существуют здесь как бы сами по себе. (Правда, хотя метрические свойства пространства классической физики и не связаны с распределением материальных объектов во Вселенной, этого нельзя сказать о таком топологическом свойстве пространства, как размерность. Форма ньютоновского закона гравитации неразрывно связана с трехмерностью пространства.) Что же касается теории относительности, то она отвергает независимость метрических свойств пространства и времени от распределения вещества и излучения во Вселенной. Вместе с тем пространственный и временной континуумы предшествующей физики объединяются в ней в единое пространство-время.

Все это так. Но поставим следующий вопрос: что же произошло при появлении теории относительности со свойством непрерывности пространства и времени? Оказывается, практически ничего. Общим местом для клас-

сической физики и теории относительности является то, что в любом случае топология пространства и времени формируется в рамках того же самого континуума. И все же. Если математический континуум представляет собой топологически очень общее и метрически аморфное образование, то различные теоретико-физические конструкции непрерывных пространства и времени, исходящие из такого континуума как первоосновы, отличаются разнообразными кинематическими и динамическими связями, которые отражают специфику того или иного типа физического движения (даже в рамках классических физических теорий). При этом каждая физическая конструкция характеризуется группой преобразований, которые сохраняют эти связи. (Отсюда, кстати, становится ясным различие чисто математического и теоретико-физических континуумов, различие математической и физической геометрий.)

Пространственно-временные конструкции различных физических теорий можно характеризовать при помощи ряда специфических принципов. К таким принципам относятся принципы относительности, эквивалентности, общей относительности, локальности, калибровочной инвариантности и др. Поясним эти принципы.

Принцип относительности (развитый специальной теорией относительности) относится к совокупности тех физических теорий, которые исходят из аффинного (плоского) математического пространства для создания физического пространства-времени. Он утверждает, что группа аффинных преобразований, сохраняющих динамические элементы теорий, транзитивна для свободных (безынерционных) движений. Принцип эквивалентности относится к классическим (не квантовым) теориям гравитации. Он утверждает, что геометрия вакуума (т. е. «пустой» Вселенной) определяется лишь одной линейной связью. Это подразумевает сводимость гравитационного поля к метрическому полю, а также электромагнитное происхождение всех классических физических сил. Заметим, что здесь идет речь только о классических силах. Конечно, все физические взаимодействия нельзя сводить априори к электромагнитным силам, и потому нет оснований ожидать, что все методы электродинамики будут эффективными, скажем, в области квантовой физики. Принцип общей относительности (который не следует путать с общей теорией относительности Эйнштейна) исходит как раз из различения динамических (относительных) и

абсолютных элементов теорий пространства и времени. Принцип локальности утверждает, что все физические законы должны представляться дифференциальными операторами конечного порядка.

Теоретико-групповое рассмотрение физических конструкций пространства и времени показывает, что континуум в физике не столь уж аморфен, как континуум математический (хотя математики могут придумывать множество своих конструкций). Например, ньютоновское пространство и время характеризуются группой преобразований, представляющей собой произведение группы растяжений, вращений и сдвигов пространства на группу операций, относящихся ко времени. Лейбницевское пространство-время, или пространство-время нерелятивистской динамики, характеризуется такой группой преобразований, в которой ньютоновское пространство и время получают расслоением (определяющим состояние абсолютного покоя, т. е. эфира) причинной и метрической структур лейбницевской конструкции.

Для учета динамики в конструкциях пространства и времени важно опираться на закон инерции: предположения о том, что времениподобные линии движения соответствуют свободному движению, достаточно для определения аффинной структуры пространства-времени. Закон инерции учитывается «специальным» нерелятивистским пространством-временем, группой преобразований которого является группа Галилея, промежуточная между группами преобразований Ньютона и Лейбница. Именно в таком (галилеевском) пространстве и формулируется нерелятивистская квантовая механика.

В отличие от последнего «общее» нерелятивистское пространство-время учитывает гравитацию, включая ее в систему геометрии и механики. Здесь вместо закона инерции используется закон свободного падения, а вместо прямых (кратчайших линий в плоском пространстве) появляются геодезические линии. В данном пространстве отсутствует абсолютное движение, но остается абсолютной метрика. Группа преобразований этого пространства промежуточна между галилеевской и лейбницевской.

В релятивистских пространствах отсутствует не зависящее от системы отсчета (транзитивное) отношение одновременности между событиями. Это подразумевает, что физическая картина Вселенной, «путешествующей» в некоем абсолютном времени, как корабль в безбрежном

океане, не укладывается в формальную структуру законов теории относительности.

Во всех перечисленных теориях используется континуум, который так или иначе структурируется. Однако в силу развития квантовых теорий (да и общей теории относительности тоже) ученые начали сомневаться в универсальности этой конструкции — пусть даже как исходной базы для построения структурированных моделей пространства и времени. Например, польский физик А. Траутман, ссылаясь на операциональную (т. е. практическую) неопределимость континуальной структуры пространства и времени, считает, что «удовлетворительная квантовая теория пространства, времени и гравитации обязана обходиться без концепции дифференцируемого многообразия как „модели пространства-времени“»³. Западногерманский математик и физик Ю. Элерс тоже полагает, что понятие гладкого (бесконечно дифференцируемого) пространственно-временного многообразия не отвечает реальности микромира. Внедрить идею общей теории относительности о динамическом пространстве-времени в квантовую физику, отмечает он, не удастся сегодня по целому ряду причин: «по причине слишком искусственной, неконструктивной природы континуума действительных чисел, по причине нелокализуемости частиц, связанных с процессом рождения, или по причине квантовых флуктуаций метрики на малых расстояниях, или ввиду доказательства множества теорем о сингулярностях»⁴.

Таким образом, если сравнить основное содержание этого параграфа с только что цитированными заключениями А. Траутмана и Ю. Элерса, то получится, что мы, так сказать, «начали за здравие, а кончили за упокой» (континуума). Но, как это обычно бывает, истина скрывается где-то посередине, образно говоря, где-то в «континууме возможностей».

Конечно, континуум, даже нагруженный сложными динамическими связями, не очень-то подходит для квантовых теорий. Вместе с тем никто не отрицает, что он представляет собой весьма неплохую конструкцию пространства и времени для неквантовых объектов. И все же: насколько он хорош именно здесь, т. е. в обычной физике? Ответ на этот вопрос зависит от нашего философского понимания континуума. И он — этот ответ — будет разным, если мы считаем континуум такой же реально-

стью, как материальные вещи, либо свойством материальных вещей, либо же идеальной конструкцией ума, необходимой для представления этих вещей в теоретических схемах физики, и т. д.

Континуум: модель и реальность. Любые общие модели и понятия, в том числе и континуум, не содержат в себе информацию для установления границ своей применимости. Это связано с тем, что они несут на себе отпечаток необходимости и всеобщности. Что это такое? Чтобы разобраться в этом, возьмем, к примеру, теоретическую модель движения в классической механике.

Сегодня эта модель основана на фундаменте теории множеств. Конкретнее, движение представляется в ней как однозначное соответствие между временным и пространственным континуумами. «Печать» всеобщности и необходимости этой модели проявляется в том, что она оперирует точечными объектами («материальными» точками). Для нее вовсе не существует специфики объектов Космоса, обычных окружающих нас тел или квантовых объектов (всё здесь — точки). Универсализация этой модели основана прежде всего на индуктивном переходе от эмпирически (т. е. опытным путем) подтверждаемой многократной однородной делимости макроскопических физических сред на части к абстракции их бесконечной делимости, результатом которой должна быть точка. Но из точек строится континуум, и в таком построении любая его часть однородна с целым и со всеми другими частями, т. е. подразделение этого образования на части ничего не меняет в его свойствах: математический континуум (как и основанная на нем модель механического движения) просто нейтрален по отношению к реальным различиям в материальном мире.

Конечно, опыт не может обосновать абстракцию бесконечной делимости. Ведь, во-первых, даже если бы материальные тела и процессы действительно были бесконечно делимы, мы не смогли бы этого проверить и доказать в силу конечности любого опыта. Во-вторых, в действительности тела и процессы определенно не делимы до бесконечности без потери своих свойств, своей специфичности (они теряют эти свойства уже при конечном реальном делении). Однако опыт не может и опровергнуть абстрактную непрерывность в силу того, что эта абстракция соотносится не с материальными телами, а с нашей мысленной способностью подразделять, возможно, вовсе и не делимые в действительности сущности.

Математический континуум нивелирует различия за счет своей однородности, неразличимости своих частей и подобия их целому и между собой. Такое подобие напоминает «дурную бесконечность» Гегеля. Оно приводит к различным парадоксам, которые известны из истории математики, физики и философии (например, знаменитые апории Зенона Элейского). Однако мир далеко не однороден, в нем существуют реальные различия. Они проявляются, в частности, через реальность динамической структуры элементарных частиц, через новые, открытые физикой высоких энергий законы сохранения, для которых в математическом континууме нельзя отыскать какие-либо симметрии, а главное — через существование минимального конечного физического взаимодействия (движения, не делимого далее), утверждаемого квантовым постулатом М. Планка.

Преодоление «дурных» черт континуума естественно искать на путях использования для представления структуры пространства и времени категорий дискретности. Ведь надо иметь в виду, что пространственно-временной континуум реальности обыденного опыта и классических физических теорий имеет ограниченное онтологическое содержание. Это содержание не исчерпывает онтологии объектов познания в квантовой физике, астрофизике, космологии. А свойства пространства и времени на всех уровнях существования реальности определяются спецификой соответствующих этим уровням взаимодействий. Поэтому диалектический материализм вполне обоснованно утверждает, что движение должно постигаться в противоречивом единстве непрерывности и прерывности пространства и времени. В. И. Ленин, конспектируя работы Гегеля, так писал об этом: «Движение есть сущность времени и пространства. Два основных понятия выражают эту сущность: (бесконечная) непрерывность (*Kontinuität*) и „пунктуальность“ (=отрицание непрерывности, *п р е р ы в н о с т ь*). Движение есть единство непрерывности (времени и пространства) и прерывности (времени и пространства)»⁵.

Для каждого уровня физической реальности характерны свои типы движений, взаимодействий, которые преимущественно и определяют специфику пространственно-временных свойств данного уровня. Так, в мегамире (Космосе) наиболее важную роль играют гравитационные (дальнодействующие) взаимодействия, формирующие метрику пространства-времени в космологических

масштабах. (Впрочем, для ряда астрофизических объектов и для начальных стадий расширения Вселенной вклад в свойства пространства и времени вносят, по-видимому, все известные типы физических сил). Здесь зато несущественны сильные и, возможно, слабые взаимодействия. В микромире, напротив, гравитационное взаимодействие не играет большой роли (по крайней мере для тех уровней реальности этого мира, которые сегодня доступны квантовой физике), но существенны остальные типы взаимодействий. Свойства же макроскопических пространства и времени, для представления которых собственно и была сформирована конструкция пространственно-временного континуума, зависят в основном от гравитационных и электромагнитных взаимодействий (хотя, как указывал Р. Фейнман, именно атомные и ядерные силы не позволяют нам проваливаться сквозь пол). Гипотеза о такой независимости подтверждается, в частности, тем, что теоретические конструкции макроскопических пространства и времени не обладают симметриями, которым бы отвечали законы сохранения, обнаруженные в исследованиях слабых и сильных взаимодействий. И напротив, для них характерны те симметрии, которые отвечают законам сохранения форм движения, изучавшихся классической физикой. Несущественность сильного, слабого и отчасти гравитационного типов физических взаимодействий в сфере реальности, исследуемой теориями макромира, для свойств макроскопических пространства и времени и послужила объективным основанием для отвлечения от этих взаимодействий при выработке континуальных моделей пространства и времени в классической физике.

Таким образом, использование конструкции непрерывности для описания структуры пространства и времени оправдывается своеобразием свойств именно макроскопических пространства и времени. Значит, пространственно-временной континуум вообще является идеализацией. Более того, он является идеализацией не только там, где его представления, казалось бы, не должны иметь места и применяться (в процессе описания свойств объектов микро- и мегамира), но и там, где он является физической реальностью (т. е. в обычном реальном мире).

Квантовая физика и геометрия пространства и времени. Квантовая физика была вынуждена заимствовать у классической теоретической физики идею точечного (непротяженного) элементарного объекта. Конечно, сама по себе непротяженная точка — это лишь некая мысленная

конструкция и потому, казалось бы, фикция. Однако, будучи наделена такими свойствами, как масса или заряд, она приобретает статус объекта физической реальности. И если непротяженные физические объекты существуют, то имеются основания говорить и о континуальной геометрии пространства, поскольку непротяженная точка — это исходная абстракция континуума.

Кроме представления о точечном характере элементарных материальных объектов, физика широко использует также представление о точечном характере их взаимодействий (как между частицами, так и частиц с непрерывным полем). Последнее представление является следствием первого и принципа локальности: точечные частицы могут взаимодействовать непосредственно лишь в одной точке — там, где они находятся; предположение о взаимодействии и в других точках пространства — там, где они сами не находятся, — противоречит принципу локальности.

Отождествление представлений о точечности объектов и взаимодействий с реальностью сталкивается с трудностями уже в рамках классической физики. Ведь, помещая в некоторую непротяженную точку пространства конечную массу или конечный заряд, мы тем самым «организуем» в ней «особенность»: в этой точке становятся бесконечными (и, следовательно, физически бессмысленными) «плотности массы и заряда, потенциалы гравитационного и электрического полей. Формулы классической физики дают для этой точки заведомо неподтверждаемые результаты — «расходимости». Возникает вопрос: нельзя ли избежать этих нефизических результатов, отказавшись от точечности объектов и взаимодействий?

Физики предприняли ряд попыток построить нелокальные теории частиц и их взаимодействий. Такие теории локализуют взаимодействия не в непротяженных точках, а в пределах предполагаемой конечной протяженности элементарных частиц. (Если такие протяженности считать элементарными областями пространства, то получается модель дискретного пространства.) Но здесь возникает следующая общая трудность. В указанных пределах, как бы они ни были малы, допускается бесконечная скорость распространения физических взаимодействий, так как взаимодействие осуществляется сразу во всей области протяженности элементарной частицы. Такое допущение противоречит достоверно на сегодняшний день установленному принципу близкодействия. (Данный

принцип утверждает, что любые физически реальные, а не, скажем, психические взаимодействия могут распространяться лишь с конечной скоростью. На сегодня принимается, что эта скорость ограничена скоростью света в вакууме.)

В квантовых физических теориях, как и в классической физике, также возникают расходимости физических величин (масс, зарядов и др.). Часть таких расходимостей имеет свои аналоги в описанных выше расходимостях классической физики, а часть — совершенно новую, квантовую природу. В квантовых теориях найден эффективный способ устранения таких бесконечностей, который называется перенормировкой. Суть этого способа заключается в различении физически осмысленной и «нефизической» (бесконечной) частей результата теоретического вычисления важнейших физических величин. Сначала идея перенормировки появилась в квантовой электродинамике — из осознания того, что данная теория непригодна для описания процессов, протекающих при очень больших значениях импульсов и энергий частиц (когда значимыми становятся уже и другие виды взаимодействий — ядерные). При этом появление «нефизической» части результата объяснялось как раз такой непригодностью. В этом смысле устранение бесконечностей в квантовоэлектродинамических расчетах оказалось похожим на их устранение в классической электродинамике или в классической теории гравитации. В общем на первых порах оно осуществлялось с опорой на физическую интуицию. Однако сегодня методы перенормировки обосновываются не только физической интуицией, накопленной в рамках старых полевых теорий, но и новыми результатами теории сильных взаимодействий. В квантовой электродинамике они работают при расчетах процессов, протекающих в областях до 10^{-16} — 10^{-17} см., а их систематизация при помощи ренормализационной группы позволяет применять их и за пределами этой дисциплины. И тем не менее суть идеи перенормировки еще не понята до конца, ибо она не вытекает из принципов теорий и не составляет органичную их часть. Она навязана как бы извне, экспериментальной ситуацией, объективной реальностью.

Хотя современная физика микромира воспринимает и широко использует идеи точечности частиц и локальности взаимодействий, одной из важнейших ее проблем является проблема структурированности ее объектов исследования. Эта проблема выглядит парадоксальной. В са-

мом деле, с одной стороны, использование конструкции континуума и методов теории поля в физике элементарных частиц органически сочетается с представлением о точечности квантовых объектов и процессов. К тому же пока ни один из опытов в квантовой физике не обнаружил у электрона каких-либо размеров, эта частица и в самом деле проявляет себя как точечная. Но, с другой стороны, физическая картина иных элементарных частиц как точечных является явно недостаточной. Вся сложность взаимодействий таких частиц указывает на наличие у них некоей структуры. Это касается прежде всего адронов, т. е. тяжелых частиц вроде протона или нейтрона. Такие объекты существуют как бы в окружении «облака» виртуальных частиц, размеры которого определяются соотношениями неопределенности Гейзенберга. Масса, электрический заряд, магнитный момент адрона оказываются как бы «размазанными» вокруг ядра (ядра) размером порядка 10^{-14} см. Эта структура особая. Хотя ей и приписываются некоторые пространственные характеристики, ее невозможно свести к какому-либо устойчивому, статическому пространственному распределению. Она носит явный динамический характер.

Таким образом, в рамках теории элементарных частиц вводится понятие структуры ее объектов, но оно имеет, здесь смысл, отходящий от использования пространственных концепций в обычном смысле слова. Это понятие теряет свое классическое содержание, включавшее в себя представления о составности сложных объектов и об однородности части и целого. Оно характеризует уже не статическую структурированность, не некий состав, а динамический строй процессов, в которых участвуют «элементарные» частицы. Важно подчеркнуть, что теоретическая картина этой структуры рисуется в импульсно-энергетическом пространстве. Важно здесь также и то, что на первый план выходит непонятное понятие времени.

Квантовая физика наложила и другие ограничения на использование представлений о непрерывности пространства, времени и движения для описания реальности микрообъектов. Следует считать, что центральное положение среди них занимает принцип квантования физического действия, постулирующий существование минимального (конечного) физического взаимодействия. Этот принцип имеет естественные гносеологические следствия:

в соответствии с ним нужно отказаться от присущей гносеологии классической физики установки на такой анализ явлений, который предполагает возможность бесконечного однородного подразделения их на все более мелкие части. (Н. Бор, наверно, недаром говорил о «целостности квантового явления» как физически реального.)

Далее, имеющиеся в нашем распоряжении представления о пространстве и времени как континуумах не могут объяснить новые законы сохранения, которые были открыты физикой микромира. Известно, что классические законы сохранения, по большей части выполняющиеся также и в квантовой физике, связаны с так называемыми глобальными симметриями непрерывного пространства-времени. Например, глобальная однородность пространства-времени связана с законом сохранения импульса-энергии, глобальной изотропии пространства отвечает закон сохранения момента импульса, инвариантность уравнений физики относительно инверсии пространства ассоциируется с законом сохранения четности, который, правда, не выполняется в физике микромира в его классической формулировке. Вместе с тем физика элементарных частиц открыла несколько новых законов сохранения, которым не удастся сопоставить какие-либо глобальные свойства симметрии непрерывных пространства и времени. К ним, в частности, относятся: сохранение барионного числа (числа тяжелых частиц), сохранение лептонных чисел (числа легких частиц), СРТ-инвариантность, т. е. инвариантность уравнений физики при инверсии пространства, направления времени и знаков зарядов (данный закон представляет собой обобщение классического закона сохранения четности).

Развитие современной физики показывает, что в мире элементарных частиц и квантовофизических полей важную роль играют не только глобальные (геометрические), но и локальные (динамические) симметрии, что теории, учитывающие локальные симметрии (калибровочные теории), являются очень эффективными. Выяснилось, что общая теория относительности и даже теория Максвелла основаны на локальных симметриях. Новейшие же теории слабых и сильных взаимодействий также являются калибровочными. Развитие теорий локальных симметрий тоже требует переосмысления пространственно-временных представлений, выработанных классической физикой.

Альтернатива ли дискретность? Итак, существует множество проблем, которые ставит использование представлений о непрерывности структуры пространства и времени в квантовой физике. Постепенно решая их, квантовая физика вынуждена обращаться ко все более сложным и абстрактным геометрическим конструкциям. Но исторически первой альтернативой континууму в квантовой физике (да и вообще в науке) была модель дискретных пространства и времени, в основе которой лежат идеи элементарных (фундаментальных) длин и длительностей. В какой мере эти идеи оправдали себя в физике микромира?

Физики предложили немало моделей дискретных пространства и времени для квантовых объектов. Одна из первых попыток построения квантовой электродинамики на основе представлений о дискретности структуры пространства принадлежит советским физикам В. А. Амбарцумяну и Д. Д. Иваненко. Они построили свою модель в виде жесткой кубической решетки, но при этом в силу анизотропности модели им пришлось отказаться от принципа релятивистской инвариантности, который ныне считается одним из общезначимых принципов. В дальнейшем представление о дискретных пространстве и времени пытались реализовать многие другие физики. Например, была предложена модель, предполагающая не только дискретность пространства и времени, но и конечность числа пространственно-временных ячеек Вселенной. В этой модели (принадлежащей американскому физiku Г. Коишу) удалось вывести законы сохранения, не выводимые в рамках теорий, основанных на континууме. В других моделях дискретных пространства и времени удавалось удовлетворить принципу релятивистской инвариантности в макроскопическом пределе⁶. Однако перед всеми такими моделями неизменно вставали трудности, связанные с проблемами унитарности (сохранения объективных возможностей развертывания квантовых процессов), релятивистской причинности, формулировки динамических законов.

В отношении концепции чистой дискретности пространства и времени можно заметить, что она столь же стара, как и концепция непрерывности. Своими корнями она исходит к идеям древнегреческих атомистов, в частности к демокритовским атомам пустоты — амерам. Однако, несмотря на эту древность и на неизменную актуальность применения категорий дискретности в описании

структуры материальных образований, в отношении пространственно-временной структуры этих образований рабочей концепцией все же всегда оставалась концепция непрерывности. У концепции чистой дискретности есть, помимо прочего, и философско-методологический недостаток: она, по сути дела, ограничивает возможности человеческого познания, ибо устанавливает некий неделимый субстанциальный предел. В этой связи она вступает в противоречие с принципом неопределенности квантовой физики. И вопреки имевшим место прогнозам ее сторонников развитие физики в последние десятилетия не подтвердило наличия какой-либо наименьшей (фундаментальной) длины порядка 10^{-13} см (т. е. порядка размеров атомного ядра). Сегодня начинает окончательно проясняться отсутствие элементарной длины такого порядка, выясняется применимость представлений о непрерывности и на расстояниях в 10^{-16} — 10^{-17} см, а физики выдвигают уже гипотезу о возможности существования кванта пространства порядка планковской длины, т. е. 10^{-33} см. На таких расстояниях все типы физических взаимодействий становятся одинаково эффективными и потому неотличимыми друг от друга. Но в общем-то все это говорит о несостоятельности субстанциального понимания пространства и времени.

Независимо от того, будет или нет вообще обнаружен квант пространства (и времени), концепция элементарной длины имеет рациональный смысл. С историко-философской и историко-научной точек зрения здесь довольно интересно то, что, например, еще в ранних работах И. Канта идея дискретности пространства связывалась с внутренней активностью неких гипотетических субстанций. Кант писал, в частности: «Однако же субстанции, которые составляют элементы материи, занимают пространство, только оказывая внешнее воздействие на другие [субстанции], но, сами по себе взятые, когда они не мыслятся в связи с другими вещами и поскольку в них самих нельзя также найти ничего внеположенного, не заключают в себе никакого пространства». И далее: «...каждой субстанции, даже простейшему элементу материи, должна быть присуща какая-то внутренняя деятельность как основа ее внешнего воздействия...»⁷.

Эта догадка (именно догадка!) Канта наталкивает на следующие соображения. Дискретность пространства не есть нечто абсолютное, субстанциальное, присущее пространству самому по себе. Ее надо понимать, говоря со-

временным физическим языком, как обусловленную типом взаимодействия. Неэффективность одного типа взаимодействия по сравнению с эффективностью других типов, ограниченность его перед лицом «внутренней деятельности субстанции», объясняющей устойчивость последней (и устойчивость элементарных частиц!), — все это обуславливает неизбежность представлений о дискретности пространства как относительной границы. Эта дискретность относительна, ибо существует «внутренняя деятельность», сфера эффективности иных взаимодействий.

С современной точки зрения рациональный смысл концепции элементарной длины (и длительности) следует связывать с иерархией физических взаимодействий. Каждая «элементарная» длина взаимодействий характеризует определенную качественную их специфику, отграничивая область эффективности одного вида взаимодействий от области эффективности других видов⁸.

Важно отметить также следующее обстоятельство. Представления о дискретности пространства и времени можно вводить не прямо, «в лоб», а опосредованно, через конструкцию искривленного импульсно-энергетического пространства, радиус кривизны которого определяется величиной $1/l$, где l играет роль «элементарной» длины. В искривленности импульсно-энергетического пространства проявляется специфика ядерных взаимодействий. При этом связь энергии и импульса оказывается отличной от той, которую указывает знаменитая формула Эйнштейна: $E=mc^2$. Модификации подвергается также и известное планковское соотношение между энергией и частотой: $E=h\omega$.

Гносеологические функции континуума в квантовой физике. Итак, спектр направлений исследований пространственной и временной форм существования материи на микроуровне выходит за рамки континуальных концепций. В этих исследованиях наблюдается определенная диалектика: все богатство содержания этих форм исследователи стремятся передать путем использования не только категорий непрерывности, но и категорий дискретности. Безусловно, это верный путь. И все же, несмотря на понимание того, что одни лишь континуальные представления не в состоянии воспроизвести все богатство и специфику пространственно-временных свойств и отношений микромира, приходится признавать и другое: указанные богатство и специфика еще далеко не раскрыты,

а в квантовых теориях по-прежнему используются выработанные классической наукой континуальные представления.

Выше говорилось, что в неквантовой физике используются различные пространственно-временные конструкции.

Их различия обусловлены спецификой рассматриваемых видов макроскопических движений, учитываемой путем наложения на континуум дополнительных кинематических и динамических связей. Однако все эти конструкции имеют общие свойства: все они континуальны и все основаны на операционально (т. е. практически) определяемых связях. Другое дело — специфические пространственно-временные свойства и отношения объектов и процессов в микромире. Они, очевидно, не являются наблюдаемыми (как в макроскопической физике) и реконструируются чисто теоретическими средствами, путем использования символических конструкций. Заключение о них можно делать лишь после соответствующего теоретического анализа, в котором не только участвует математическая фантазия, но и зачастую привлекаются сугубо философские рассуждения. Например, некоторые квантовые теории обращаются к пятимерному импульсно-энергетическому континууму. Теоретический анализ такого континуума позволяет вскрыть некоторые черты пространственных и временных отношений в микромире. Однако повторим: для квантового мира еще не выработаны установившиеся и специфические именно для него концепции. Квантовофизическое познание — как на уровне теории, так и тем более на уровне практики — продолжает пользоваться обычными — континуальными — представлениями о пространстве и времени; они служат здесь как бы «фоном», «сценой», на которой разыгрываются квантовые процессы. И это несмотря на то, что континуальные представления, имеющие реальный прообраз в классической физике, по многим свидетельствам, теряют его в физике квантовой. (Подчеркнем, кстати, что и новейшая геометрическая конструкция пятимерного импульсно-энергетического пространства является континуальной.)

Чем же тогда объяснить использование (и пользу!) классических представлений о непрерывной структуре пространства и времени в квантовой физике? Каковы гносеологические функции континуума в квантовофизическом познании реальности?

Как хорошо известно из практики физики, фундаментальными физическими измерениями являются измерения длин и длительностей, т. е. измерения пространственно-временных свойств объектов и процессов. Множество других измерений сводятся именно к этим двум. Например, скорость тела определяется как отношение разности пространственных положений к временному промежутку, за который эти положения проходятся. Момент движения определяется как произведение скорости на расстояние. Измерения длин и длительностей в макроскопической физике часто непосредственны, т. е. относятся прямо к исследуемым объектам. При их помощи, а также в измерениях масс и сил определяются импульсно-энергетические характеристики. В квантовой же физике измерения длин и длительностей невозможно соотносить с некими независимыми от наших измерений и рассуждений пространственно-временными свойствами микрообъектов, здесь фундаментальными становятся величины импульсов и энергий. В соответствии с этой спецификой квантовой физики в ней изменяется и гносеологический статус традиционных физических понятий: анализ понятий импульса, момента импульса, энергии в терминах пространственно-временных свойств физических объектов перестает быть актуальным. И хотя обычные пространственные и временная переменные используются здесь тоже, в том числе и в фундаментальных теоретических уравнениях, они теряют тут свой объективно-микроскопический статус и становятся макроскопическими параметрами, позволяющими проецировать физику микромира на макроскопическую познавательную плоскость субъекта.

В этой связи можно сказать, что понятия пространства и времени классической физики выступают условием эмпирической проверки и интерпретации квантово-теоретических концепций. В самом деле, если, например, вектор состояния в квантовой механике в общем еще не предполагает какого-либо конкретного физического смысла, его координатное представление (в терминах обычного пространства) указывает возможности локализации квантовых объектов в этом пространстве. Более того, классические пространство и время выступают условиями возможности любого (не только квантового) опыта. И еще более того: классические понятия и представления, в том числе и пространственно-временные, теснее других связанные с действиями экспериментатора, естественно входят в контекст эмпирического уровня познания (в том

числе квантовых объектов и процессов). Как писал М. А. Марков еще в 1947 г., «объективная возможность выражать наше знание микромира в макроскопических терминах заключается в объективной возможности „перевести“ явления микромира на „показания“ макро-прибора»⁹.

Теоретические структуры классической физики формируются на основе конструкции континуума, на которую накладываются различные кинематические и динамические связи, обусловленные законами и принципами механики, электродинамики и теории гравитации. Эмпирические же ее структуры складываются путем математического и логического оформления порядка, устанавливаемого в практике физических наблюдений и экспериментов. Безусловно, между этими структурами имеются различия. И тем не менее справедливо будет сказать, что у классических физических теорий пространства и времени теоретические и эмпирические структуры во многом совпадают¹⁰. Причина этого ясна: и те и другие структуры относятся к одному и тому же объекту — макромиру.

Другое дело — микромир, мир не измеримых с помощью линейек объектов и с помощью часов — процессов. С объектами этого мира мы не можем «общаться» посредством линейек или ручных часов, и потому для них не существует такого же совпадения теоретических и эмпирических структур, которое характерно для макроскопических теорий и практики. В квантовофизическом познании уже значительно проявляет себя структурная раздвоенность теории и опыта.

Вообще эмпирический уровень познания всегда замыкается на практических операциях субъекта познания (человека), а эти операции всегда носят макроскопический (отвечающий природе человека) характер. Из этой практической определенности (конкретного, а не абстрактного) субъекта познания вытекают многие трудности (иметь дело с абстрактным субъектом всегда проще) осмысления специфики реальности микрообъектов, в частности реальности их пространства и времени. Мы не можем воспроизвести свойства пространства и времени микрообъектов на эмпирическом (практическом) уровне, они доступны нам только на уровне теории. (Это, конечно, не значит, что для теорий микромира вообще отсутствует фактуальная база. Если ученые не могут «общаться» с квантовыми объектами непосредственно при

помощи линеек, то это не мешает им изучать на эмпирическом уровне импульсно-энергетические характеристики атомных спектров и реакций рассеяния. Именно эти эмпирические структуры — взамен пространственно-временных — вышли на первый план в годы становления квантовой теории, и именно они являются основными для современной физики элементарных частиц, атомной и ядерной физики. Отсюда становится ясным и то, почему развитие квантовых теорий пошло по линии теоретического воспроизведения прежде всего импульсно-энергетических характеристик квантовых объектов и процессов как отвечающих их сущности.) Но вместе с тем интерпретация явлений, описываемых квантовыми теориями, неизбежно опирается на понятия и представления, характерные для теорий классической физики, и в том числе на понятия пространства и времени как континуумов. Теоретические структуры пространства и времени классической физики выполняют роль интерпретирующих структур для теорий квантовых объектов и процессов. Конечно, на уровне микромира им мало что соответствует в действительности. Да и сама действительность вовсе не обязана им соответствовать. Они необходимы лишь постольку, поскольку нам приходится осмысливать квантовые явления и процессы в контексте привычных нам, соизмеримых с нами самими макроскопических представлений. В таком своем качестве пространственно-временные аспекты классической физической реальности выполняют для нашего познания микромира функцию опосредования содержания сугубо квантотеоретических понятий и понятий нашей практики, реализуют связь между объектом и субъектом познания, между микро- и макромиром.

Итак, ответ на вопрос о специфике познавательных функций континуума в микрофизике вытекает из понимания взаимоотношений субъекта и объекта познания, классической и квантовой физики. Объединяющими началами этих областей физической науки, как и вообще любого познания (и не только познания), являются, с одной стороны, объективно-реальный мир, а с другой — единство отражения и освоения этого мира человеческим субъектом, который обладает уникальной космологической, физико-химической, биологической и, наконец, социальной спецификой как существо, живущее, действующее и познающее окружающий его мир. Но все «дикие» явления этого мира он всегда будет рассматривать на сцене «своих» пространства и времени. Нельзя,

конечно, утверждать, что кантовский категориальный аппарат познающего и действующего субъекта не меняется. В своем априоризме Кант еще не мог отвечать за все будущие проблемы. Но верно то, что мы, познавая и осваивая что-то неведомое ранее, нам несоразмерное, нуждаемся в целях понимания в переводе незнакомых «текстов» природы на язык наших, человеческих понятий и представлений. Тем самым, хотя те «ответы», которые природа дает на наши вопросы, не оставляют наш язык, наш образ мышления и действия неизменными, а новое содержание, ассимилируемое субъектом, изменяет мировоззрение и логический аппарат даже на обыденном уровне, перевод этих «ответов» на человеческий язык всегда накладывает свой «априорный» (категориальный) отпечаток на воспроизведение нового содержания. Именно в таком плане можно рассматривать необходимость использования классических пространственно-временных конструкций в структуре знания квантовой физики.

Использование представлений о непрерывных пространстве и времени в квантовой физике свидетельствует также и о том, что структура квантовофизической реальности неоднородна, иерархична. Специфика квантовых объектов и процессов воспроизводится, конечно, конструкциями квантовых теорий, однако в них по необходимости участвуют и соразмерные нам представления. Ведь практически квантовые объекты и процессы исследуются при помощи созданных человеком инструментов (эта плоскость познавательной деятельности субъекта носит непосредственно макроскопический характер). Адекватными же пространственно-временными формами существования практически-познавательной деятельности субъекта всегда являются непрерывные макроскопические пространство и время. Поэтому последние (в своем теоретическом выражении) оказываются необходимыми компонентами квантовофизического познания. Коль скоро это познание выражает сущность явлений, а не некую вещь в себе или саму по себе, оно включает в себя и необходимые для этого выражения представления о непрерывных пространстве и времени (человека).

Глава 6. Логика и физика

О практических основах логики. Соотношение логического и физического можно представить с философской точки зрения как соотношение формального и содержательного: если логика относится прежде всего к явлениям мышления и их языковому выражению независимо от их направленности на предмет и конкретной наполненности содержанием, то физика имеет дело именно с содержанием, с конкретными фактуальными ситуациями. Но при этом — уже из общих соображений — ясно, что не существует непреодолимых границ между формальным и содержательным, абстрактным и конкретным, всеобщим и отдельным, теорией и опытом, наконец, мыслью и материей (которая порождает мысль). Везде здесь можно выделить только соотносительные грани (важные, однако, с точки зрения основного вопроса философии, решение которого определяет «*направление* гносеологических исследований»¹). И поскольку указанные грани соотносительны, они могут сдвигаться, что и случается время от времени, с развитием практики и познания.

Например, практика и познание времен античности имели дело с вещами, которые окружают нас непосредственно, или, как принято еще говорить, с макроскопическими объектами (хотя это не мешало выдающимся мыслителям тех времен размышлять об атомах и космосе и выдвигать относительно этих объектов такие гипотезы, которые своей пронизательностью удивляют даже наших современников). Поэтому можно допустить, что сформулированные Аристотелем основные законы классической логики характеризуют образ мышления, сложившийся именно на фундаменте практической деятельности человека в пространстве и времени непосредственно окружающих его макроскопических объектов. Однако сегодня человек *практически* проник в такие сферы объективной реальности, которые буквально несоизмеримы с непосредственно окружающими нас естественными объектами и со сложившимися доселе отношениями человека с природой. И для отражения этих сфер в человеческом зна-

нии требуются уже не просто новые теоретические (в том числе физические) концепции (которые Н. Бор предложил назвать «сумасшедшими»), но и, возможно, некая новая логика, отвечающая специфике практической деятельности человека в сферах несоизмеримых с ним объектов реальности.

В самом деле, согласно позиции В. И. Ленина, логика является закрепленным в сознании человека отражением его практики, общие элементы которой повторялись на протяжении истории человечества бесконечно. «...Практика человека, миллиарды раз повторяясь,— писал В. И. Ленин,— закрепляется в сознании человека фигурами логики. Фигуры эти имеют прочность предрассудка, аксиоматический характер именно (и только) в силу этого миллиардного повторения»². Но если практика изменяется в силу своего исторического характера, нет оснований утверждать априори, что классическая логика задана человеку на все времена.

Мы привыкли считать, что человек, задавая природе вопросы, получает на них ответы, имеющие определенное истинностное значение — «да» или «нет», «истинно» или «ложно», причем в соответствии с законами классической логики отрицание ответа с одним истинностным значением есть утверждение ответа с другим истинностным значением. Но так ли уж всегда диалог человека с природой удовлетворяет этому условию, выраженному законом исключенного третьего? Оказывается, далеко не всегда, и это фактуально подтвердила практика общения человека с объектами квантового мира. Здесь мы можем задать природе, например, такой вопрос: «Является ли данный квантовый объект корпускулой?» И природа не ответит нам на него однозначно. Оказывается, что в одних случаях этот объект ведет себя как корпускула, а в других — вовсе нет. Если мы не будем связывать определенность такого ответа с рядом уточняющих условий (наблюдения или, точнее, эксперимента), то окажется, что квантовый объект — это и корпускула, и ее противоположность, т. е. волна (иначе говоря, похоже, что нарушается закон противоречия классической логики), или и не корпускула, и не волна, а что-то совсем иное (иначе говоря, похоже, что нарушается классический логический закон исключенного третьего). Семантический и синтаксический анализ подобных квантовофизических ситуаций дал повод многим ученым в XX столетии говорить о наличии квантовой неклассической логики (имеются и другие неklas-

сические логики) и, более того, об эмпирическом, т. е. фактуальном, содержательном, статусе логики вообще.

Соотношение логики и физики можно рассмотреть по аналогии с соотношением геометрии и физики. В чем суть такой аналогии?

Дело в том, что до создания неевклидовых геометрий Н. И. Лобачевским и Б. Риманом и теории относительности А. Эйнштейном считалось, что классическая (Евклидова) геометрия имеет универсальное значение и применима в любых физических ситуациях. Философ И. Кант объяснял этот ее статус априорностью человеческих форм восприятия (т. е. пространства и времени), которые, как он считал, являются необходимыми предпосылками любого опыта; без них опыт просто невозможен. Эта кантовская мысль глубока. По сути дела, она фиксирует родовую (видовую) черту познающего и действующего человеческого существа, которое с физической точки зрения является макроскопическим объектом, подчиняющимся законам Евклидовой геометрии. Для таких объектов Евклидова геометрия вполне адекватна. Однако в мире существуют не только макроскопические объекты: имеются в нем и космические образования, которые относятся к мегамиру, и квантовые объекты, относимые к микрокосмосу. И в отношении таких объектов нельзя заранее утверждать, что характеризующая их геометрия тоже является классической, Евклидовой. Так это и оказалось в теории относительности, которая вскрыла реальность неевклидовых геометрических отношений во Вселенной, в космосе. В этой связи ученые и стали говорить об эмпирическом, содержательном статусе геометрии, о геометрии физической.

Точно так же в связи с исследованиями логики высказываний квантовых теорий ученые заговорили об эмпирическом, содержательном статусе логики, о реальности логики квантовой. Например, Дж. Баб, один из многочисленных исследователей квантовой логики, писал следующее: «Как значение перехода от классической к релятивистской механике состоит в выяснении того, что геометрия может играть в физике роль объясняющего принципа, что геометрия не априорна... так и значение квантовой революции состоит в выяснении того, что логика может играть роль объясняющего принципа, что она в такой же мере не априорна... Не существует логического пространства априори в том смысле, что законы логики характеризуют необходимые свойства любых линг-

вистических схем, подходящих для описания и сообщения опытных данных. В конце концов логика относится к миру, а не к языку»³. Но так ли это?

Тезис о том, что логика «в конце концов относится к миру, а не к языку», является и не новым, и дискуссионным. Попробуем здесь разобраться в существовании этого тезиса, в его гносеологических предпосылках и рациональных моментах.

Из новейшей истории логики. Новейшая история логики началась не так уж давно. Начал ее наш соотечественник — казанский логик Н. А. Васильев, который вслед за Н. И. Лобачевским, поставившим под сомнение универсальность Евклидовой геометрии, усомнился уже в незыблемости самой классической логики. Интенсивное развитие неклассической логики было инициировано становлением квантовой теории. И если обратиться к истории вопроса об исследованиях логики квантовых теорий, то придется начать с Дж. фон Неймана, который в конце 20-х — начале 30-х годов навел логический порядок в математическом аппарате этих теорий. В 1936 г. он совместно с Г. Биркгоффом опубликовал работу, положившую начало различным направлениям логики алгебраической аксиоматизации квантовых теорий. В том же году М. Штраус предложил «логику дополненности», целью программы которой было сведение регулярностей, выявляемых физическим опытом, к синтаксическим правилам использования языка физики. Через 10 лет, в 1946 г., Х. Рейхенбах построил трехзначное квантово-логическое исчисление высказываний, целью которого было устранение «причинных аномалий», возникающих при попытках применить классическое причинное объяснение в терминах обычного евклидова пространства и времени к квантовым процессам⁴. Имелись и другие подходы. Интерес к квантовой логике вновь обострился с 60-х годов XX в.

Чтобы в какой-то мере прояснить и систематизировать различия указанных выше вариантов квантовой логики (точнее, логики квантовой физики), сошлемся на следующее высказывание по этому поводу канадского логика Б. К. ван Фраассена: «Конъюнкция высказываний „электрон находится в точке x “ и „электрон имеет импульс p “ бессмысленна для Бора и Гейзенберга, всегда неопределенна или ложна для Рейхенбаха, плохо сформулирована для Штрауса и всегда ложна для Биркгоффа и фон Неймана»⁵.

Вместе с тем известно, что очень многие физики (в том числе представители копенгагенской школы квантовой механики, и в первую очередь ее лидер Н. Бор) отрицали (и отрицают) необходимость введения в квантовофизическое познание некоей новой, отличной от классической логики. Это отрицание происходит по разным основаниям.

Так, Н. Бор руководствовался при этом следующим известным тезисом: «...описание экспериментальной установки и результатов наблюдений должно производиться на понятном языке, надлежащим образом усовершенствованном путем применения обычной физической терминологии. Это есть просто требование логики, так как под словом „эксперимент“ мы можем разумеать единственно только процедуру, о которой мы можем сообщить другим, что нами проделано и что мы узнали»⁶. Ясно, что этот тезис утверждает неизбежную первичность классической логики как логики субъекта познания и практики: ведь независимо от того, с какими сферами физической реальности имеет дело субъект, формулировка результатов его исследований должна осуществляться на его, классическом, «макроскопическом», обычном человеческом языке, подчиняющемся классической логике высказываний, иначе коммуникация будет просто невозможной.

В свою очередь, например, Ю. М. Ломсадзе обосновывает достаточность аксиомы о (классической) логике в рамках аксиоматики квантовой теории следующим образом: «Принимается классическая (двухзначная коммутативная) логическая система, в которой каждое осмысленное в рамках данной физической теории высказывание либо истинно, либо ложно, либо не разрешимо на истинность или ложность... Заметим, однако... что Аксиома 1 (т. е. аксиома о логике.— А. II.) относится лишь к осмысленным в данной физической теории высказываниям, т. е. к высказываниям, строго следующим разработанному в ней научному языку и не использующим посторонних терминов, словосочетаний или понятий, заимствованных, например, из иных физических теорий или же из бытового жаргона. В частности, в квантовой теории в общем случае недопустимо какое бы то ни было использование каких бы то ни было классических понятий, — даже если эти понятия и кажутся вполне соответствующими так называемому „здравому смыслу“»⁷. Легко видеть, что данное обоснование имеет смысл, скорее всего, прямо противоположный боровскому. Достаточность

классической логики постулируется здесь на уровне объектного языка квантовофизической теории (постулируется априори), когда в этот язык не вводятся посторонние ему (и бессмысленные в его рамках) понятия классической физики (введение которых Бор считал неизбежным).

Наконец, еще один пример. М. Бунге полагает, что говорить о неклассической квантовой логике приходится лишь тогда, когда квантовые объекты понимаются на манер классических частиц: «Утверждение, будто эксперимент с двумя щелями вынуждает нас отказаться от дистрибутивности и, следовательно, принимать квантовую логику, основано на предположении, что квантоны являются классическими частицами»; в действительности же, «квантоны» (т. е. квантовые объекты; термин принадлежит М. Бунге) — это вовсе не классические частицы (в частности, ряду их физических характеристик внутренне присуща размытость, неточность, неопределенность), а потому *«в основе квантовой механики лежит классическая логика. Следовательно, квантовые логики бесполезны, излишни»*⁸.

Итак, в отношении логики квантовых теорий (и экспериментов с квантовыми объектами) мы находим в новейшей литературе в общем две основные (и противоположные) позиции. С одной стороны, главным образом философы, логики и математики считают оправданным говорить о наличии в квантовой физике своей, специфической, квантовой логики. С другой стороны, преимущественно физики полагают по разным причинам, что здесь вполне можно обойтись лишь одной логикой — классической. Какая же из этих позиций справедлива? Или, может быть, зерна истины есть и в той и в другой, но только нужно их отыскать?

Прежде чем пытаться разрешить спор физиков и математиков, посмотрим, что заставляет последних (а также логиков и философов) настаивать на необходимости квантовой логики.

Логико-алгебраическое представление физических теорий. Одной из типичных тенденций развития современной науки является интенсивная математизация самых различных ее областей. В физике эта тенденция имеет глубокие корни, нисходящие, наверно, к самому Пифагору. Но в результате прогресса этой тенденции в физике современные ее теории достигли такой высокой степени общности и абстрактности, что так или иначе при-

ходится их развивать не только за счет столкновения с экспериментом, но и путем логического анализа, абстрагирующегося от их содержания. (Есть, конечно, и другие способы «обуздания» «схоластического теоретизирования» в физике — например, ценностный, нормативный его анализ.) Одним из направлений такого анализа является логико-алгебраический подход.

Предметом этого подхода являются алгебры наблюдаемых величин физических теорий, а также алгебры логик высказываний относительно этих наблюдаемых. Центральными его понятиями являются понятия частичной алгебры наблюдаемых, а также, когда речь идет о физических теориях, в которых используются вероятностные концепции, понятие статистического алгоритма. Под наблюдаемыми величинами физической теории (или просто — наблюдаемыми) понимается совокупность математических символов, которые приобретают свои значения как из материальных операций, так и из воображения, как из исторического опыта использования этих же или аналогичных им символов, так и из неожиданных настоящих их применений. Но мы здесь не будем анализировать происхождение смыслов символов, поскольку этот сложный и интересный вопрос имеет самостоятельное значение. Нам важно здесь то, что наблюдаемые и отношения между ними призваны воспроизводить свойства и отношения исследуемых физических систем — объектов и процессов.

Наблюдаемые физической теории образуют частичную алгебру, если на некоторых совокупностях (подмножествах) их численных значений определены операции сложения и умножения, а также операция умножения их на число. Кроме того, требуется еще возможность сопоставления наблюдаемых и их совокупностей между собой, чтобы установить между ними функциональные зависимости. Ведь наблюдаемые и отношения между ними, хотя и символизируют собой вещи и процессы объективной реальности, являются в теории все же математическими сущностями.

Мы уже знаем, что очень важным понятием физики (и философии) является понятие состояния. Состояние физической системы определяет, по сути дела, все наблюдаемые ее проявления (т. е. оно проявляется только через них). Физические системы характеризуются при помощи высказываний о наблюдаемых следующим формальным образом: некоторая наблюдаемая величина A

должна обладать некоторым значением a в некоторое определенное время t . Так это или нет — это зависит от состояния системы. Отношение между состояниями и значениями физических величин есть отношение между пространством состояний и множеством высказываний о величинах. Иными словами, высказыванию о величине отвечает определенное подмножество пространства состояний. Эта связь есть характеристическое свойство теории: она связывает пространство состояний, т. е. математическую модель теории, с высказываниями о физических величинах, наблюдаемых, т. е. с результатами измерений и наблюдений.

Понятие статистического алгоритма становится необходимым, когда речь идет о статистических физических теориях, к которым относится, в частности, и квантовая механика. Статистический алгоритм теории определяет меры вероятности на частичной алгебре наблюдаемых. Его примеры: каноническое распределение, или распределение Гиббса; максвелловская функция распределения; распределение Больцмана; матрица плотности в квантовой механике и т. д. Статистический алгоритм важен не только для практических целей той или иной физической теории, но и для метатеоретического (в частности, логико-алгебраического) анализа ее логических структур. Дело в том, что от характера статистики зависит характер алгебры наблюдаемых и наоборот. Таким образом, в статистических физических теориях связь между пространством состояний и множеством высказываний о наблюдаемых, т. е. связь между теоретическим и эмпирическим, устанавливает статистический алгоритм.

Логико-алгебраический подход, являясь качественно новым шагом в изучении закономерностей физической реальности, в силу высокой общности и абстрактности используемых им представлений, методов и понятий претендует на единообразное рассмотрение, казалось бы, далеко отстоящих друг от друга теорий физических явлений. Его методы эффективны для сравнительного изучения широкого круга задач классической и квантовой статистики. В то же время он весьма чувствителен к возможным в теоретических моделях противоречиям и потому способен выступать для последних в качестве своеобразного индикатора. Он допускает возможность проверок физических теорий на их непротиворечивость и полноту. Присущие данному подходу методы относятся, таким образом, как раз к той области исследований, в которой

очень сильно переплетаются интересы философов, логиков, математиков и физиков. Поэтому распространению этих методов послужило целям установления плодотворного сотрудничества между представителями указанных дисциплин. Более того, по оценке советского математика Г. А. Зайцева, логико-алгебраический подход может служить исходным пунктом для построения своего рода «теории физических теорий». «Углубление абстрактных математических схем физики, связанное с введением понятия об алгебрах наблюдаемых,— пишет он,— в принципе дает возможность переходить также к другим физическим теориям, отличным как от классической, так и от квантовой механики. Совместное инвариантно-групповое и алгебраическое рассмотрение нескольких физических теорий позволяет сформулировать обобщение программы Клейна и поставить в наиболее общем виде проблему более глубокой переформулировки теорий низшего уровня, позволяющей в неявном виде учесть результаты теорий более высокого уровня»⁹.

Даже если такая широкая программа математиков и нереализуема до конца, нужно признать, что логико-алгебраический подход оформился в самостоятельное специфическое направление метатеоретических исследований, лежащих на стыке физики, математики, логики и философии. В его рамках уже на сегодняшний день получен ряд важных результатов, касающихся не только специальных проблем логики, математики или теоретической физики, но и философских вопросов естествознания. Это такие результаты, которые проливают новый, дополнительный свет на постановку и решение следующих важнейших философских проблем квантовой физики:

1) проблему специфики квантовой и классической статистик и, более общо, проблему метатеоретического обоснования объективности, возможности, случайности, неопределенности и вероятности;

2) проблему полноты теоретико-физического описания и, в частности, проблему возможности введения «скрытых параметров» в структуру квантовых теорий;

3) проблему квантовой логики и, более широко, возможности новых философских оценок статуса логики как дисциплины вообще и ее роли в физических теориях в частности;

4) проблему интерпретации квантовых теорий — и в смысле выяснения специфических структурных черт соответствующего им уровня физической реальности,

и в смысле ответа на вопрос о том, в чем, собственно, состоит значение перехода от классических теорий к квантовым с точки зрения обогащения наших представлений о структуре физической теории вообще.

В свете результатов логико-алгебраического анализа физических, в том числе квантовых, теорий стало понятным, что в самом общем виде логическая их структура (структура их высказываний, состояний, значений наблюдаемых величин) представляется конструкцией алгебраической решетки. При этом алгебры высказываний, состояний, значений наблюдаемых величин для всех классических физических теорий коммутативны, т. е. для них выполняется соотношение перестановочности сомножителей $a \times b = b \times a$, в то время как соответствующие алгебры для квантовых теорий некоммутативны. Для квантовых теорий не выполняются также обычные законы дистрибутивности; в том числе закон: $a \times (b + c) = (a \times b) + (a \times c)$. Впрочем, в алгебраической структуре какой-либо квантовой теории можно выделить совокупность различных коммутативных подалгебр, а общая алгебра теории как бы «склеивается» из элементов всей этой совокупности. Каждая коммутативная подалгебра является как бы проекцией общей алгебраической структуры квантовофизической реальности на одну из плоскостей классического пространства состояний (фазового пространства), где выполняются обычные законы алгебры и логики. И каждой такой проекции отвечает одно из дополнительных описаний в смысле Бора (волновое либо корпускулярное, кинематическое, или пространственно-временное, либо динамическое, или причинное).

Концепция квантовой логики Дж. Баба. В рамках логико-алгебраического представления структур физических теорий можно говорить не только об алгебрах значений наблюдаемых величин (или проекционных операторов, которыми представляются эти значения в квантовых теориях), но и об алгебрах логик высказываний относительно наблюдаемых и их значениях. Установлено, что между алгебрами наблюдаемых величин классических физических теорий и алгебрами логик этих теорий существует взаимно-однозначное соответствие (и те и другие коммутативны). Можно предположить, что соответствие между алгебрами наблюдаемых величин и алгебрами логик высказываний теорий имеет место и в квантовой физике. И если это предположение верно, а алгебраическая структура наблюдаемых квантовых теорий небулева (не-

коммутативна), то такой же характер (некоммутативности) должна носить и соответствующая алгебра логики высказываний квантовых теорий. А раз это так, то и логика высказываний квантовых теорий (алгебра которой некоммутативна) должна быть неклассической. В ней будут нарушаться законы дистрибутивности, транзитивность отношений.

Интерпретируя изложенную ситуацию, некоторые зарубежные логики и философы сделали вывод об эмпирическом (или объясняющем) статусе логики как некоей фактуальной дисциплины и об априорности позиции (например, Н. Бора), отстаивающей незыблемость законов классической логики и их общезначимость даже в сфере квантовофизического познания. Например, Дж. Баб и У. Демопулос, стремясь разъяснить и обосновать такую интерпретацию, проводят параллели между физической геометрией и логикой квантовой физики. По их мнению, синтаксис и семантика формального языка конвенциональны так же, как геометрическая система координат, и так же относятся к «логической структуре событий» квантовой теории, как система координат — к фундаментальным симметриям пространства-времени физической геометрии: «Логические структуры событий и симметрии пространства-времени суть объективные структурные свойства мира»¹⁰. Отсюда вытекает следующее поддерживаемое сторонниками данной интерпретации квантовой логики гносеологическое соотношение:

$$\frac{\text{геометрия}}{\text{общая теория относительности}} = \frac{\text{логика}}{\text{квантовая теория}}.$$

Данное соотношение расшифровывается так: если общая теория относительности обосновала эмпирический, объясняющий гносеологический статус геометрии, то квантовая теория сделала то же самое в отношении логики.

Следует подчеркнуть, что развиваемое таким образом обобщение логики отличается от того, что обычно понимается под неклассическими исчислениями высказываний. Последние не касаются структур событий. Так, классическую булеву структуру событий можно описывать и неклассическими формальными логиками, скажем логикой интуиционистской. Поэтому с точки зрения «расширенного» толкования логики ее синтаксический и семантический компоненты могут выбираться произвольно. Однако как для классической, так и для неклассических формальных логик инвариантом остается классическая

булева онтологическая структура событий (в классической физике). Вместе с тем квантовую логику характеризует иной инвариант, а именно: частично булева онтологическая структура событий, квантовых явлений, специфическим свойством которой является неприменимость к ней обычных законов дистрибутивности и ассоциативности (эти законы нарушаются на решетке событий квантовой теории).

Пытаясь разъяснить и обосновать свою точку зрения, Дж. Баб обращается к приводимому А. Эйнштейном различению между двумя типами физических теорий — конструктивными и фундаментальными. Первые теории ставят своей целью свести широкий круг изучаемых явлений и систем к явлениям и системам определенного, уже известного типа. Последние же вводят в рассмотрение наиболее общие, абстрактные структурные связи, которым обязаны удовлетворять физические события. Например, как писал Эйнштейн, кинетическая теория газов ставит перед собой цель свести механические, тепловые и кинетические свойства газов к движениям молекул. Это — конструктивная теория, а такие теории используют синтетический метод. В фундаментальных же теориях работает аналитический метод, т. е. они опираются не на гипотетические положения, а на эмпирически найденные общие свойства явлений, принципы, из которых следуют математически сформулированные критерии, имеющие всеобщую применимость. Термодинамика, например, исходит из эмпирического факта, что вечный двигатель невозможен, и отсюда пытается вывести аналитическим путем необходимые условия, которые удовлетворяются во всех случаях.

Итак, логико-алгебраический анализ структуры высказываний квантовофизических теорий показывает, что эти структуры отличаются от соответствующих структур классических физических теорий своим небулевым характером. Следовательно, смысл «квантовой революции» можно увидеть в том, в частности, что значительное обобщение получили концепция наблюдаемой физической величины и концепция логики. Что касается логики, то ее следует теперь понимать как дисциплину, исследующую не просто правила образования, вывода и интерпретации высказываний, но и некие достаточно общие объективные структуры физических событий, описываемых высказываниями физических теорий. Иными словами, логика оказывается наукой не только о формах мышления

и его языкового выражения, но и о содержании, в этих формах заключенном. Но если квантовая логика, в частности как «логика событий», имеет под собой какие-либо объективные основания, то их имеет и постановка вопроса о взаимосвязи логики и физики, в том числе логического и физического мышления,— подобно тому как в свое время стала вполне правомерной постановка проблемы взаимосвязи геометрии и физики.

Другие концепции квантовой логики. Если Дж. Баб (а также У. Демопулос и Х. Патнем) полагает, что классическая логика априорна, а квантовая логика преодолевает этот априоризм, поскольку показывает, что «логика событий» имеет определенные корни в реальности, то другой подход к квантовой логике, развиваемый К. Ф. фон Вайцзеккером, М. Дришнером, а также П. Миттельштэдом, напротив, утверждает именно априорность квантовой логики. К. Ф. фон Вайцзеккер, отталкиваясь от этого убеждения, предлагает «трансцендентальную программу»¹¹ обоснования единства науки. В ней квантовая логика рассматривается как эвристическое средство для развития более общей, временной логики и построения абстрактной схемы квантовой теории как системы предпосылок, определяющих условия возможности любого (в том числе, конечно, и физического) опыта. Сама программа отталкивается не от кантовского единства апперцепции, а от единства времени.

Попытка очертить возможные границы общей теории времени приводит к логике временных высказываний, в которой высказывания о прошлом являются объективно истинными или ложными, а высказывания о будущем представляются модальностями типа «возможно», «необходимо», «невозможно» и т. д. Логика временных высказываний определяет концептуальные рамки квантовой логики и абстрактной схемы квантовых теорий. «Трансцендентальная программа» единства физики, которая опирается на временную логику, утверждает, что все законы современной физики, химии и биологии окажутся логическими следствиями абстрактной квантовой теории в следующих двух смыслах: они, если отвлечься от математических трудностей, могут быть выведены из фундаментальных законов абстрактной схемы применительно к конкретным ситуациям; эти ситуации сами суть математические следствия фундаментальных законов абстрактной схемы. Иными словами, предполагаемая абстрактная схема сама определяет все возможные слу-

чаи своего применения. Временная логика решает проблему индукции и обосновывает систему аксиом абстрактной квантовой теории. С точки зрения этой логики квантовая логика есть «модальная логика будущего». И необходимость ее введения оправдывает не математическая логика аппарата квантовой механики, но логика эмпирической ситуации, которая априори является временной логикой.

Еще одна философская концепция квантовой логики принадлежит П. Хилену¹². По его мнению, развиваемая Дж. Бабом, Х. Патнемом и другими учеными точка зрения на квантовую логику требует уточнения в следующем смысле. Конечно, нельзя отрицать, что с квантовой механикой связана особая логика. Однако эту логику следует относить не к объектному уровню описания (т. е. не к логическим структурам событий квантовой физики), но к более высокому языковому уровню — уровню метаконтекстного языка, который диктует условия применимости частных объектных языков. Другими словами, эмпирическое содержание высказываний квантовой механики зависит от контекста и эта зависимость порождает неклассическую логику на уровне метаконтекстного языка. При таком рассмотрении квантовая логика имеет силу не только по отношению к квантовой физике. Она применима также и к таким ситуациям, как, скажем, диалог двух политиков, исходящих из разных философских перспектив, использующих различный категориальный аппарат, но при этом еще и общий язык диалога. Логико-контекстуальный подход можно рассматривать как логическое выражение принципа дополнительности Н. Бора, и он применим не только в сфере исследований оснований квантовой физики, но и, например, в областях истории философии, истории науки, всякого рода метанаучных изысканий.

Критический взгляд на концепции квантовой логики. Все изложенные выше точки зрения на квантовую логику утверждают определенную взаимосвязь логического и физического. Интерпретация этой взаимосвязи определяется философской позицией ученого. Однако нужно отметить еще два обстоятельства, которые обуславливают богатство размышлений на эту тему.

Во-первых, квантовая логика исторически возникла как логика квантовой механики, хотя попытки построения неклассических логик предпринимались и раньше и независимо от нее. Поэтому — в силу того, что квантовая

механика является лишь одной из огромного множества физических теорий,— можно предположить, что квантовая логика является лишь частным случаем логики как дисциплины, исследующим некоторые формы физического мышления. С одной стороны, это так и есть. С другой стороны, однако, квантовологические системы оказываются в ряде своих аспектов более общими и широкими, нежели системы обычной, классической логики. Скажем, они отказываются от таких ограничивающих рассуждение законов, как законы дистрибутивности или ассоциативности, либо даже от закона исключенного третьего. Все это позволяет различать квантовую логику в широком смысле — как обобщение булева пропозиционального исчисления, и квантовую логику в узком смысле — как пропозициональное исчисление, специфическое для той или иной конкретной квантовой теории. В свою очередь, указанное расщепление значений термина «квантовая логика» позволило квантовой логике исторически приобрести определенную дисциплинарную автономию (от логики квантовой механики) и многочисленные интерпретации и приложения.

Во-вторых, богатство размышлений на тему квантовой логики объясняется также и незавершенностью разработки ее исчислений. В современной литературе далеко не однозначен ответ на вопрос: действительно ли квантовая логика является логикой? Многие авторы считают, что квантовая логика — это вовсе и не логика, а скорее разъяснение определенных алгебраических структур. К тому же в квантовологических исчислениях возникают трудности с осмыслением отношения импликации (следования). Если это отношение логическое, оно должно быть внутренним для логической системы. В классической логике импликация $p \rightarrow q$ есть высказывание $\neg p \vee q$ (не p или q). В решетке же квантовомеханических высказываний импликация не является элементом решетки, а есть метавысказывание о ней. Такие метавысказывания, однако, делаются в рамках классической логики. Поэтому-то ученые, работающие над квантовологическими исчислениями, и не считают квантовую логику завершенной дисциплиной.

Как же теперь оценить обоснование квантовой логики, изложенное выше (мы будем говорить главным образом о концепции Дж. Баба)? Чтобы сделать это, нужно разобраться в ключевом для сторонников квантовой логики понятии «логическая структура событий». Что это та-

кое? Оказывается, под «логической структурой событий» квантовой теории Дж. Баб понимает алгебраические отношения между классами высказываний о наблюдаемых. При этом высказывания типа «Наблюдаемая величина A принимает при измерении (или имеет независимо от него) значение a » непосредственно онтологизируются, т. е. им ставится в соответствие объективно-реальный референт. Мир и его познавательный образ оказываются тождественными друг другу. Такая неотрефлексированная онтологизация, естественно, настораживает физиков (выступающих против необходимости квантовой логики).

В самом деле, логика (в том числе и формальная) относится в конечном счете к миру (хотя бы уже потому, что мы сами являемся лишь его частями), однако отношение это не простое, ибо оно опосредовано практикой познающего и действующего субъекта, его языком и формами мышления. Практика же человека многообразна, и в ходе ее развертывания люди сталкивались и сталкиваются с самыми разнообразными ситуациями, которые каждый раз диктуют свою специфическую предметную логику. Однако эту предметную логику изучают не только и не столько логики, сколько представители фактуальных, эмпирических дисциплин. Нужно ли тогда для каждого нового случая, каким бы важным он нам ни представлялся, придумывать еще и новую логику мышления?

Вопрос не праздный? Здесь кстати рассмотреть один довольно поучительный пример из истории науки. Он касается анализа А. Пуанкаре понятия «физическая непрерывность», которое этот крупнейший французский ученый противопоставлял математическому понятию непрерывности как бессодержательному.

Пусть мы взвешиваем на ладонях три одинаковых по размерам и форме предмета A , B и C и наш эксперимент дает следующие результаты:

$$P(A) = P(B), P(B) = P(C), \text{ но } P(A) \neq P(C),$$

где $P(A)$, $P(B)$ и $P(C)$ суть соответственно веса предметов A , B и C . Пуанкаре полагал, что эти соотношения раскрывают суть физической непрерывности в отличие от непрерывности математической. По его мнению, «система элементов образует непрерывность, раз есть возможность перейти от любого из них к какому угодно другому через ряд последовательных элементов — таких, что каждый из них не мог бы быть различен от предыдущего»¹³.

«Физическая непрерывность», имея в своей основе неразличимость последовательных результатов измерения, отвергает транзитивный характер отношения равенства и вместе с этим общезначимость классической логики.

Между тем предметная логика этой ситуации такова, что она моделирует предметную логику высказываний квантовой теории. Чтобы убедиться в этом, достаточно напомнить о нетранзитивности отношения совместности наблюдаемых величин в квантовой физике (из-за существования некоммутирующих наблюдаемых). Но будем ли мы настаивать на том, что уже эмпирическая ситуация «физической непрерывности» диктует нам необходимость отказа от обычной классической логики? Вовсе не обязательно. Ведь она не заставила даже отказаться от использования в физике обычного математического понятия непрерывности, которое Пуанкаре подверг критическому анализу.

Обратившись теперь к вышеизложенной концепции толкования логики в качестве фактуальной, эмпирической дисциплины, можно указать на следующие уязвимые ее моменты.

Во-первых, сторонники данной концепции заключают об объясняющем, объективном статусе квантовой логики, опираясь на аналогию отношений между логикой и алгеброй логики в классической и соответственно в квантовой физике: алгебра классической логики булева и алгебра наблюдаемых квантовых теорий небулева, следовательно, логика квантовых теорий неклассическая. Однако эта аналогия достаточно содержательна: она предполагает алгебраическую интерпретацию логических отношений, т. е. одну из возможных и уже неформальных их интерпретаций.

Во-вторых, наиболее радикальным следствием признания фундаментальности указанной алгебраической аналогии в отношении концепции логики было бы введение в оборот некоей новой общезначимой логики, носящей более общий характер, нежели логика классическая. Однако, говоря о «квантовой революции», сторонники рассматриваемой интерпретации не претендуют на пересмотр «стандартных логических конвенций обычного способа рассуждений» (Дж. Баб). Это, впрочем, и неудивительно. Ведь логическая реализация отмеченной выше алгебраической аналогии в общенаучном и естественных языках означала бы не только пересмотр всей классической ма-

тематики, но и отмену сложившихся общечеловеческих правил коммуникации: грубо говоря, мы должны были бы в этом случае овладеть формами недистрибутивной предметной логики квантовой физики (впрочем, в реальности нетранзитивность отношений — обычная ситуация).

В-третьих, подобный подход создает ложное впечатление, будто логика уже сама по себе способна решать вполне конкретные, содержательные (например, физические) задачи. Однако ясно, что, хотя без логики решить такие задачи и невозможно, все же одной логики здесь недостаточно: логическое мышление необходимо требует дополнения и наполнения знанием конкретных фактов, т. е. содержанием.

Важно также заметить, что «логическая структура событий», возникающая путем реконструкции языка квантовой физики, — это определенное математическое построение, отражающее логику предмета исследования квантовых теорий. И оно — это построение — не требует введения новой формальной логики для его представления в метаязыке, хотя и может служить структурной характеристикой физической реальности, отражая общие структурные черты мира объектов той или иной физической теории. Вместе с тем в этом контексте становятся осмысленными и оправданными утверждения о взаимосвязи логики и физики (относительности формального и содержательного) и о дополнительной классической формальной логики и предметной логики квантовой физики (естественно, о дополнительной в области самой физики квантов, хотя ничто не мешает обобщить эту дополнительную и на другие подходящие сферы реальности). Не следует только отождествлять формальное и содержательное, абстрактное и конкретное, логическое и физическое.

Рациональное содержание идеи взаимосвязи логического и физического. Выше отмечалось, что обоснование идеи взаимосвязи логики и физики отталкивается от аналогии между логикой и физикой, с одной стороны, и между геометрией и физикой — с другой. Вообще говоря, такая аналогия правомерна, но она интерпретирована философами, введшими понятие «логическая структура событий», с позиций узкого эмпиризма (подобно тому как в свое время логические позитивисты истолковали соотношение геометрии и физики и эмпирический статус геометрии в физике). Следствиями узкого эмпиризма в вопросе о соотношении логики и физики являются незавершенность этой аналогии и неучет того, что

классическая и квантовая логики могут быть дополнительными.

На наш взгляд, в основе тезисов о взаимосвязи логики и физики и о дополнительности классической и квантовой логик лежат, по крайней мере, следующие два положения. Одно из них — это ленинская характеристика логики как закрепленного в сознании человека отражения общих, многократно в истории повторявшихся элементов практики. Отсюда следует, что логика (в том числе и формальная) хотя в конечном счете и относится к миру, но это ее отношение не непосредственное, а опосредованное практикой, зафиксированное прежде всего в языке, в формах мышления. Но если это так, то тогда любые модификации логики, претендующие на общезначимость, должны так или иначе согласовываться с фундаментальной, классической, «макроскопической» логикой субъекта, опирающейся на эту самую многовековую практику. Иными словами, логикой метавысказываний, логикой анализа любого специального, объектного, в том числе и квантовомеханического, языка остается обычная классическая логика.

Однако антропоцентричный взгляд на логику, даже обоснованный практически, должен считаться с диалектикой абсолютного и относительного в самом критерии практики. В конце концов субъект, познающий и преобразующий мир, является только частью мира, который он стремится познать и преобразовать. В этом мире, надо полагать, существует много такого, что не зависит от практической деятельности субъекта и возможностей его творческого воображения. Иначе говоря, высказанный выше металогический тезис о фундаментальности классической логики не препятствует введению в рассмотрение специфических, отвечающих предметной ситуации объектных логик. Здесь уместна следующая геометрическая аналогия.

Известно, что любая неевклидова геометрия может быть интерпретирована в терминах геометрии Евклида (хотя бы и ценой синтаксической переформулировки физических законов, которой — переформулировке — затем придается соответствующее семантическое значение). Хотя геометрия реального мира вполне может отличаться от евклидовой и действительно (например, в глобальных космологических масштабах) отличается от нее, нам все же необходимо трактовать эту геометрию в терминах ее евклидовых моделей, ибо мы живем в том мире, для

которого геометрия Евклида объективна (без такой трактовки, кстати, невозможно и само понимание несоизмеримой нам реальности). Итак, необходимость указанной трактовки связана со спецификой (физико-химической, биологической, социальной, космологической и пр.) познающего субъекта, его уникальностью, с непосредственно окружающими нас физическими условиями, в которых только и могла зародиться жизнь и в которых формировался наш человеческий опыт. И здесь важно заметить, что в этих (обычно называемых «макроскопическими») условиях формировались не только наши геометрические представления, но и наш логический аппарат. (Не случайно, наверно, то, что евклидовы геометрические представления были абсолютизированы в кантовской гносеологии как априорные, а также и то, что классическая логика представлялась Н. Бору необходимым условием возможности физического опыта.)

Таким образом, вторым основанием идеи взаимосвязи логики и физики, а также и утверждения о дополнительной квантовой и классической логик (как и соответствующей дополнительной евклидовой и неевклидовых концепций пространства и времени) является аналогия (а может быть, и тождество) между историко-практическими корнями и гносеологическим статусом, с одной стороны, евклидовой геометрии, а с другой — классической логики. В свете этой широкой аналогии возникает уже и более широкая аналогия между отношениями логики и геометрии с физикой. И чтобы провести эту более широкую аналогию до конца, необходимо хотя бы вкратце рассмотреть ту ситуацию, которая позволяет говорить о физической геометрии. Это рассмотрение поможет понять и смысл квантовой логики.

Конечно, не может быть и речи о непосредственном эмпирическом содержании конструкций чистой, математической, абстрактной геометрии (недаром математику пытались свести к логике). Абстрактная геометрическая аксиоматика приобретает эмпирическое содержание в результате по меньшей мере двух этапов ее интерпретации содержательного плана. Во-первых (если речь идет о формальной гильбертовской аксиоматике геометрии), необходима содержательная математическая интерпретация абстрактной системы геометрических аксиом. Посредством этой (первоначальной) интерпретации определяется конкретное математическое содержание абстрактных объектов геометрии и отношений между ними (которые,

правда, уже менее абстрактны). В результате возникает определенная геометрическая конструкция (например, четырехмерный теоретико-множественный континуум). Во-вторых, чтобы получить то, что называется физической геометрией, для объектов и отношений полученной таким образом содержательной математической конструкции необходимо задать физическую семантику, основанную на теоретическом обобщении эмпирических фактов. Это делается, например, путем отождествления точек математического континуума с «точками» физического пространства, геодезических линий — с траекториями световых лучей, и т. п. Физическая интерпретация имеет не только теоретический характер, но и существенный операциональный компонент, отражающий на методологическом уровне конкретную практику субъекта (реальные процедуры измерения либо мысленные эксперименты, которые опять же являются обобщениями практики). (Кстати, именно мысленные эксперименты помогли А. Эйнштейну создать сначала специальную, а потом и общую теорию относительности.)

Возникающая в результате указанных процедур интерпретации модель, естественно, уже не является объектом одной лишь чистой геометрии. Это — (содержательная) модель физического пространства и времени, элемент физической реальности. Такой объект синтезирует в себе собственно физические и собственно математические геометрические положения (т. е. синтезирует формальное и содержательное), и их невозможно разделить чисто механически (на форму и содержание), чтобы затем испытать их по отдельности на наличие в них эмпирического содержания или на их предсказательные (логические) возможности. Все это значит, что свой эмпирическое содержание и объясняющую функцию геометрия получает не сама по себе, но только в рамках системы «математика (геометрия) + физика», в контексте именно физической геометрии как синтетического объекта математики (геометрии) и физики. При этом, хотя полученная физическая геометрия может оказаться, как в случае космологических моделей, неевклидовой, это не значит, что она полностью вытесняет геометрию Евклида. Ведь последняя оказывается необходимым предпосылочным элементом проверки и понимания физических следствий полученной конструкции в лабораторных (земных) условиях. (Недаром А. Эйнштейн использовал при построении общей теории относительности методологический принцип

соответствия своей теории гравитации гравитационной теории Ньютона.) Евклидова геометрия, действительно, является условием возможности физического опыта, однако следует иметь в виду, что на констатации объективности такого условия познание не заканчивается, в том числе и в области гносеологии. Данное условие подчеркивает лишь уникальность, специфичность субъекта познания как относительно автономной подсистемы мира в целом.

Вернемся теперь к соотношению логики и физики. Сказанное выше об отношениях геометрии и физики легко перенести и на это соотношение: здесь только нужно заменить слово «геометрия» словом «алгебра». В самом деле, то, что сторонники интерпретации логики как эмпирической дисциплины называют «логической структурой событий», есть не просто логическая связка, но специфическая алгебраическая конструкция, которая в силу своего конкретного содержания, связанного с алгеброй наблюдаемых величин квантовой физики (естественно, теоретически реконструированной), оказывается уже интерпретированной системой, «физической», предметной логикой. Вместе с тем, будучи все же достаточно формальной системой (хотя и интерпретированной алгебраически), квантовая логика не позволяет детально отразить специфические законы физической реальности. Эта система может быть заполнена как содержанием классических физических теорий, так и содержанием теорий квантовых. Поэтому, как мы уже отмечали, можно различить квантовую логику в широком смысле — как обобщение булева пропозиционального исчисления, и квантовую логику в узком смысле — как логику высказываний какой-либо конкретной квантовой теории. В последнем случае речь идет о предметной логике квантовых объектов и процессов, которая не может быть введена априори, чисто формальными средствами. При этом (как и в случае соотношения геометрии и физики) общность квантовой логики в широком смысле (а исчисления такой логики еще не завершены) не означает ни отрицания ее специфики в узком смысле (по отношению к конкретным квантовым теориям), ни того, что она (широкая) квантовая логика когда-нибудь и в самом деле сможет обобщить (но не устранить) логику классическую. Необходимость классической логики обусловлена (как и необходимость евклидовой геометрии) макроскопической природой субъекта познания, его уникальностью во Все-

ленной и объективными лабораторными (земными, практическими) условиями его существования. Это только платоновские идеи или гегелевский дух существуют в сфере самих себя.

Из сказанного выше следует заключить, что говорить об эмпирическом содержании логики, о ее объясняющей или предсказывающей силе и тем самым о взаимосвязи логики и физики (или, более общо, взаимосвязи формы и содержания) можно лишь в диалектическом систематическом контексте, в данном случае синтезирующем формы логического вывода и построения высказываний, правила их интерпретации и конкретное содержание некоторой (в частности, физической) фактуальной теории.

Вместе с тем значение «квантовой революции» для научного мышления можно усматривать и в том, что она дает нам возможность осознать иерархическую структуру физической реальности и обязательное (дополнительное, хотя и не в боровском смысле) многообразие способов ее представления. Один способ ее представления идет от нее самой (точнее, от объективной реальности), а другой (или даже много других) — от субъекта (который тоже является реальностью, хотя и не всеобщей, а уникальной). И тогда квантовая логика появляется вовсе не как логика квантовых объектов, не зависящих от субъекта, или «логика квантовых событий» (ведь квантовые объекты просто не имеют никакой логики, ибо они не мыслят и не рассуждают) и не как логика «макроскопической» практики человека (здесь логика — всегда классическая), а как логика осмысления человеком новых для его познания и практики сфер реальности. Хотелось бы завершить эту главу следующим остроумным высказыванием: «Первой физической теорией, действительно порвавшей с прошлым, стала квантовая механика. Она не только поместила нас в природу, но и присвоила нам атрибут „тяжелые“, т. е. состоящие из макроскопически большого числа атомов. Дабы придать большую наглядность физическим следствиям из существования такой универсальной постоянной, как скорость света, Эйнштейн вообразил себя летящим верхом на фотоне. Но, как показала квантовая механика, мы слишком тяжелы для того, чтобы оседлать верхом на фотонах или электронах. Мы не можем заменить те эфемерные существа, которым дано оседлать фотон, не можем отождествить себя с ними и описать, что бы они думали, если бы были наделены способностью мыслить, и что бы они ощущали, если бы могли чувствовать»¹⁴.

Глава 7. Квантовая теория и классическая физика

Классические представления, концепции, теории, понятия — независимо от того, о какой области духовной культуры человека идет речь, — имеют для нас, людей, живущих в XX в., не один лишь «музейный», историографический интерес. Так, немецкая классическая философия представляет собой, по известной характеристике В. И. Ленина, один из «источников» марксистского учения. Классицизм, или художественные формы выражения человеческого бытия, выработанные еще в античности, всегда потом играл животворящую роль в развитии европейского искусства, позволив в XIX в. сформироваться реалистическому, поистине классическому направлению в литературе, живописи, музыке. Классическая математика, т. е. математика XVIII—XIX вв., по-прежнему составляет значимую часть программ образования в системе высшей школы, хотя сегодня к ней и прибавился вычислительный анализ, порожденный развитием ЭВМ (но и вычислительные науки имеют классические корни в логике). Так же и в физике: опираясь на принцип преемственности в развитии научного знания, можно утверждать, что классические физические представления, методы, теории, понятия имеют фундаментальное значение и для квантовой физики, являются одним из оснований последней. Задача этой главы — детально раскрыть последний тезис.

Экстенсивное и интенсивное в развитии научного знания. Формальный анализ содержательного развития науки позволяет выделить в нем два качественно различных момента — экстенсивный и интенсивный. В ходе экстенсивного развития (это, конечно, идеализация) не происходит значительного обновления концептуального аппарата научных теорий. Научные теории как основные структурные единицы системы научного знания расширяют область своих приложений путем применения взаимосвязанной и устойчивой совокупности принятых принципов, законов, методов и понятий для познания все новых

областей явлений действительности. Здесь физическая реальность развивается на каком-то одном своем уровне. В логическом плане такое применение теорий осуществляется как интерпретация аксиом или исходных их принципов, как построение моделей явлений и процессов, удовлетворяющих этим аксиомам или принципам. При этом соотношение первоначальной, исходной теоретической системы и производных теоретических моделей, возникающих в ходе экстенсивного развития той или иной отрасли науки, определяется обычно как дедуктивная связь. Это означает, что логически необходимым условием построения какой-либо производной модели является признание истинности системы положений исходной теории. Если аксиомы исходной теории истинны, то результаты производной теории просто не могут быть ложными.

Подобная логическая ситуация описывается логическим отношением формальной импликации. Примером ее может служить отношение между ньютоновской механикой и ньютоновской теорией гравитации, где под механикой понимается исходная теория, а под теорией гравитации — теория производная. Другим подходящим примером служит отношение квантовой механики и квантовой химии. Эти примеры на самом деле не так уж и просты, поскольку содержательно ни в трех законах Ньютона не содержится его закон гравитации, ни в уравнении Шрёдингера (основном квантовомеханическом уравнении) — сведения о структуре реальных атомов. Но ситуация осложняется в несравненно большей степени, когда речь заходит об интенсивном развитии науки, т. е. когда в ней идет перестройка логического и концептуального аппарата ее теорий. С логической точки зрения интенсивный путь развития науки предполагает разрыв дедуктивной связи между теориями. Это, конечно, не значит, что между старыми и новыми, возникающими в ходе интенсивного развития теориями вообще отсутствует какая-либо связь. Преемственность в развитии человеческого знания является непреложным принципом. В методологии научного познания она выражается принципом соответствия, который используется учеными одновременно и как средство построения новых теорий, и как средство испытания последних на их истинность. Сегодня вполне ясно, что принцип соответствия сыграл важную роль (в обоих упомянутых смыслах), в частности, при построении теории атома, квантовой механики, теории относительности. Но вместе с тем важно иметь в виду, что и

отношение соответствия теорий, и тем более общий принцип преемственности — это все далеко не то, что предполагает одна лишь формальная дедуктивная связь.

В самом деле. Дедуктивная связь между более общей (новой) и менее общей (старой) теориями означает в случае экстенсивного понимания развития научного знания, что из новой теории можно вывести старую. Например, можно предположить, что из релятивистской механики при определенных условиях (не являющихся внешними, дополнительными по отношению к ее утверждениям) вытекают формально-математическая структура и даже содержательные моменты классической механики. Но если бы указанный вывод был импликацией, то он означал бы следующее: поскольку более общая теория (релятивистская механика) как логическая посылка истинна, постольку менее общая теория (классическая механика) как заключение не может быть ложной. Но вот парадокс: классическая механика делает ложные предсказания для процессов, протекающих при скоростях, близких к скорости света. Следовательно, теория относительности ложна? Или: не работает дедуктивная связь? Или: старая и новая теории разделены между собой перестройкой?

Уже приведенный пример подсказывает нам, что в ходе интенсивного развития научного знания между старыми и новыми теориями возникают такие отношения, которые не воспроизводятся простыми формулами логики и требуют для своего анализа более глубокого — содержательного — подхода. Ведь совершенствование производных моделей, возникающих в процессе экстенсивного развития науки и имеющих практический и познавательный интерес, может происходить и путем обращения к иным, отличным от исходных, теоретическим основаниям, путем выхода за пределы исторически определенных теоретических представлений и измерительных процедур (как это имело место, например, в случае становления и развития квантовой физики). Это и есть интенсивный путь развития науки.

Кульминационным моментом интенсивного развития является революция. В науке она представляет собой смену фундаментальных концепций, отрицание старых теорий новыми. Но означает ли такая смена полный разрыв между старыми и новыми представлениями и концепциями, старыми и новыми научными теориями, как считает, например, Т. Кун, или же «биологическое

вымирание» старого, как полагает К. Поппер? Если бы это было так, то история со всеми ее достижениями не имела бы для нас никакого значения. И тогда, конечно, нельзя было бы говорить о какой-то ценности классических физических понятий и представлений для квантовой физики, тем более о фундаментальности первых. В действительности интенсивное развитие науки и проблематика научных революций должны анализироваться в диалектическом контексте, в контексте тезиса диалектики объективной, абсолютной и относительной истин, предложенного В. И. Лениным.

Н. Бор о соотношении классической и квантовой физики. Н. Бор вошел в историю культуры не только благодаря своей теории атома, но, может быть, прежде всего потому, что он глубоко осмыслил принципы развития физического знания. Представляя гносеологические истоки выдвинутой им концепции дополнительности, он заявлял, что «глубокий анализ любого понятия и его непосредственное применение взаимно исключают друг друга. В необходимости прибегнуть к дополнительному в этом смысле или, вернее, взаимному способу описания нас особенно убедили психологические проблемы»¹. В чем же состояли подобные проблемы в квантовой физике?

Н. Бор писал в этой связи: «Анализ чувственных ощущений вообще показывает заслуживающую внимания независимость психологических основ восприятий от пространства и времени, с одной стороны, и, имея в виду восприятия, обусловленные действием сил, от энергии и импульса — с другой»². В квантовой физике наблюдалась сходная ситуация: пространственно-временное описание явлений отделялось от причинного (импульсно-энергетического) их описания и даже представлялось несовместимым с ним. Указанная ситуация отражает физическую суть идеи дополнительности, но в более общем плане можно заметить, что эта идея выросла как решение следующей познавательной трудности. С одной стороны, новые квантовые теории накладывали принципиальные ограничения на применимость понятий и представлений классической физики к описанию квантовых явлений и, следовательно, физических явлений вообще. Но, с другой стороны, постоянно подтверждалось, что познание в квантовой физике никак не может обойтись без понятий классического физического знания. В этой связи Н. Бор неоднократно подчеркивал, что истолкование эмпирического материала квантовой физики по необходимости долж-

но опираться на использование таких понятий. Он указывал, что идея дополнительности характеризует, во-первых, неделимость квантовых явлений и, во-вторых, особенно постановки задачи об их наблюдении: «Для этого решающим является признание следующего основного положения: как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий»³.

Причинами такого положения дел являются, по Бору, два обстоятельства: во-первых, то, что описание любых экспериментальных установок и любых результатов наблюдений должно производиться на понятном языке, каковым является только язык классических теорий, а, во-вторых, лингвистическая и практическая обусловленность человеческого познания, определенная потребностями коммуникации⁴. По сути дела, первое обстоятельство является конкретизацией последнего, если учитывать, что речь идет о макроскопической природе субъекта и о том, что для выражения результатов его деятельности приходится использовать понятия и представления классической физики.

В этой связи уместно привести также следующее высказывание еще одного творца квантовой физики — В. Гейзенберга, которое содержится в одной из последних его работ: «Были... попытки,— писал Гейзенберг,— заменить традиционный язык физики с его классическими понятиями для описания явлений новым языком, который должен был бы быть лучше приспособлен к математическому формализму квантовой теории. Однако развитие языка представляет собой исторический процесс, а искусственные языки, подобные эсперанто, никогда не были слишком удачными... физики предпочитают пользоваться в описании своих экспериментов традиционным языком, имея в виду при этом ограничения соотношений неопределенности. Более точный язык так и не был развит, да в нем фактически и не было нужды ввиду общего согласия о заключениях и предсказаниях, вытекающих из любого эксперимента в [квантовой] области»⁵.

Характеризуя указанную выше двойственную ситуацию в соотношении классической и квантовой физики, другой крупный физик (и философ) — К. Ф. фон Вайцзеккер отмечает, что, по Бору, «любое событие, о котором мы можем осмысленно говорить в физике, т. е. любое актуальное или возможное явление или измерение,

должно описываться в классических терминах. Если это верно и справедлива квантовая теория и если „квантовое описание“ означает верное описание событий квантовой теорией, то квантовое описание есть классическое описание. „Описание“, по Бору, означает „классическое описание“»⁶. Отсюда проистекает следующий парадокс: «Классические термины — это термины, определенные в классической физике. Бор сам подчеркивал, что классическая физика должна быть заменена квантовой теорией в области атомных явлений. Он полагал, что классическое описание макротел, вероятно, должно пониматься как приближенное или как предельный случай применения квантовой теории для больших квантовых чисел. Можем ли мы тогда говорить о событиях в атомах? Не является ли описание событий и явлений ограниченным приближенным языком по существу? Сам Бор был убежден, что это утверждение (т. е. утверждение об ограниченности языка описания событий или явлений.— А. П.) является необходимым условием понимания того, что квантовая теория не приводит к парадоксам и что ее так называемые парадоксы все проистекают из непонимания истины, выраженной в этом его утверждении»⁷.

Итак, если языковая ограниченность или, лучше сказать, определенность — это один из гносеологических (и практически-психологических) уроков становления квантовой физики, то принцип дополнительности возник, очевидно, как следствие и как средство преодоления этой ограниченности. Таким может быть, на наш взгляд, резюме позиции Н. Бора.

Попытаемся теперь прояснить логические связи, возникающие в области соотношения квантовых и классических теорий. Если квантовую теорию (например, квантовую механику) рассматривать по отношению к классической теории (тоже — механике) как более общую и потому исходную теорию, а классическую теорию — как некий предельный (производный) случай, то по модели экстенсивного развития науки получается следующее. Между указанными теориями должна иметь место дедуктивная связь, которая означает, что достаточным условием истинности классической теории является истинность квантовой теории (по определению истинностных значений формально-логического отношения импликации: если посылка истинна, то заключение не может быть ложным, ибо из «истины» нельзя вывести «ложь»). Но вместе с тем мы знаем, во-первых, что классические

предсказания явлений квантовой сферы ложны и, во-вторых (это подчеркивают Н. Бор и В. Гейзенберг), что утверждения квантовой теории нельзя формулировать вне контекста языка классической физики (на который, правда, квантовая теория накладывает ограничения в виде принципов неопределенности и дополнительности). Это означает, в свою очередь (конечно, с определенной натяжкой, т. е. с точностью до принципов неопределенности и дополнительности), что говорить об истинности утверждений квантовой теории можно лишь в предположении истинности высказываний языка классической физики. Таким образом, получается, что, с одной стороны, понятия и принципы квантовой теории несводимы к понятиям и принципам классической теории, а с другой — результаты первой не могут быть содержательно сформулированы вне контекста понятий последней. С одной стороны, квантовая теория вроде бы претендует на некое новое и более общее (по сравнению с содержанием представлений классической физики) концептуальное содержание, а с другой — это содержание эмпирически интерпретируется лишь в рамках старой, классической физики. Как тогда можно говорить о каком-то новом концептуальном содержании квантовых теорий и о научной революции, связанной с ними?

Немного о герменевтике. Вообще говоря, указанная ситуация логического и лингвистического круга не является новой для проблематики философского анализа развития познания и его средств. Подобные ситуации, возникавшие, правда, на иной — исторической, социально-гуманитарной — почве, издавна служили темой специального, герменевтического, анализа познавательной деятельности. Использовался такой анализ главным образом для изучения субъективных моментов этой деятельности, причем активность субъекта гипертрофировалась во всеобъемлющий фактор. Отрывая свой анализ от объективной реальности и материальной практики, философы-идеалисты герменевтического направления представляли деятельность познания как интерпретацию (расшифровку) смыслов текстов, вращающуюся в пределах так называемого герменевтического круга, т. е. круга обозначающего и обозначаемого, части и целого.

Исторически герменевтический анализ развивался не просто на социально-гуманитарной почве, но еще и в рамках противопоставления естественных и социально-гуманитарных наук как по предмету, так и по

методу. Например, один из видных представителей герменевтического направления в буржуазной философии XIX в. — В. Дильтей утверждал: «Природу мы объясняем, а душевную жизнь понимаем»⁸. Отсюда возникало противопоставление общественных и естественных наук. Понимание как главный метод социально-гуманитарных, исторических наук рассматривалось только в его субъективных аспектах. Онтология, фактуальная база понимания усматривалась в памятниках культуры, где, действительно, опредмечивается, отчуждается и омертвляется живая, творческая, осмысленная деятельность, т. е. в вещах и предметах, когда-то произведенных конкретными людьми и потому носящих в себе заданный ими смысл, который можно открыть методом интерпретации либо подогнать под современную ситуацию. В XX в. в связи с осознанием социально-исторической природы естественнонаучного познания и активной роли субъекта в этом познании герменевтический анализ стал распространяться и на естественнонаучную область.

В физике как творчестве человека (физическая реальность — это не объективная реальность) основания герменевтического анализа мало чем отличаются от тех его оснований, из которых он исторически вырос. Здесь тоже правильно было подмечено, что описываемая (объектная) структура познания никогда не является структурой некоего «независимого» опыта, что она обычно «теоретически» нагружена, сама является когнитивной структурой. И далее, хотя в предметах неочеловеченной природы нет заданного смысла, который необходимо расшифровывать, во-первых, в физической науке существуют свои «памятники» культуры, а, во-вторых, с природой также можно наладить «диалог» посредством практической, экспериментальной деятельности (при этом, правда, человек, экспериментирующий с природой, обычно разговаривает сам с собой).

Герменевтики связывают лингвистические круги в познании с ограничивающей ролью традиций. Применительно к социально-гуманитарной проблематике эта роль понимается следующим образом: социально-гуманитарные дисциплины непосредственно исследуют субъективную человеческую деятельность (философскую, этическую, эстетическую, правовую, политическую, идеологическую и т. д. и т. п.), которая, однако, объективирована, опредмечена в «памятниках» культуры, в государственных институтах, в философских концепциях, в идеологических уче-

ниях и пр. и в таком своем качестве служит для познающего и действующего субъекта как бы заданной системой отсчета. Но если мы обратимся к естественнонаучному, в частности к физическому, познанию, то и здесь обнаружим, что достижения, скажем, физиков XVII—XVIII вв. (Кеплера, Галилея, Декарта, Ньютона и др.) оказались объективированными, опредмеченными в соответствующих «памятниках» — в стиле мышления, созданном этими физиками, в созданной ими физической картине мира, или физической реальности, от чего последующие поколения физиков были вынуждены отталкиваться именно как от реальности. В современной физике роль ограничительных для ее познания традиций выполняют, например, принципы инвариантности (законы сохранения) или введенная еще Ньютоном концепция динамического закона. В. Гейзенберг комментировал эту познавательную ситуацию в физике следующими словами: «Всякая научная деятельность может быть определена лишь вопросами, на которые мы пытаемся ответить. Но чтобы сформулировать эти вопросы, нам нужны понятия, при помощи которых мы могли бы ближе подойти к интересующим нас явлениям. Обычно эти понятия берутся из истории науки; они подсказывают нам возможную картину явлений. Но если мы намерены вступить в новую область явлений, эти понятия могут превратиться в набор предрассудков, скорее тормозящих прогресс, чем помогающих ему. Однако и в этом случае мы вынуждены использовать их и не можем преуспеть, отказавшись от понятий, переданных нам традицией»⁹. Это очень мудрые слова.

Таким образом, герменевтическое «кружение» возможно и в рамках физического мышления. Примером его может служить, на наш взгляд, и «круг» во взаимоотношениях квантовых и классических физических теорий. Как же вырваться из этого «круга»?

Что мы могли бы возразить Бору (и Гейзенбергу)? После того как мы сформулировали основную (логическую и лингвистическую) трудность, возникающую в плоскости соотношения классической и квантовой физики, имеет смысл более подробно рассмотреть те возражения, которые предъявлялись и предъявляются в адрес копенгагенской, т. е. боровской, интерпретации квантовой механики, тем более что «круг» возникает в ее рамках. Такие возражения можно разделить по меньшей мере на три группы.

Главное возражение приводят А. Эйнштейн и сторонники его мировоззрения. Если Бор считал, что предметом квантовофизического (как и классического физического) познания служит «явление», которое должно познаваться в условиях «недвусмысленной коммуникации», то Эйнштейн полагал, что цель науки — обеспечить, как это справедливо подчеркивает американский исследователь Э. Маккиннон, «стройное мировоззрение, основанное на объективно истинных общих законах», что «явления, наблюдаемые при помощи приборов, должны объясняться скрывающейся за ними реальностью, объективно ответственной за них. Единственный способ представления такой физической реальности, имеющий шансы на успех, — это представление ее в простых, естественных и, желательно, эстетических математических формах»¹⁰. Здесь цитируется не сам Эйнштейн, но, на мой взгляд, эта цитата справедлива. Скрытая здесь критика боровской точки зрения Эйнштейном заключается в том, что Бор, по мнению Эйнштейна, недооценивал значение объективной реальности (которую он подменял реальностью физической).

Следующая группа возражений охватывает упреки теоретикам квантовой физики, заключающиеся в том, что их область исследования постигается при помощи методов, выработанных в классической физике (скажем, при помощи вариационных принципов). И наконец, еще одна группа критических аргументов в адрес копенгагенской интерпретации квантовой механики ближе всего подходит к сформулированной выше трудности соотношения классической и квантовой теорий, оспаривая правомерность тезиса Н. Бора о том, что «описание экспериментальной установки и результатов наблюдений должно производиться на понятном языке, надлежащим образом усовершенствованном путем применения обычной физической терминологии»¹¹.

Рассмотрим эти возражения более подробно.

А. Эйнштейн считал, что статистическая основа квантовой механики (не отмененная и по сей день) имеет преходящее значение. Он писал: «Я... еще верю в возможность построить такую модель реальности, т. е. такую теорию, которая выражает сами вещи, а не только вероятности их поведения»¹². Это было сказано в 1933 г., но и в конце жизни позиция А. Эйнштейна по отношению к квантовой теории не изменилась, он по-прежнему признавал вероятностную интерпретацию реальности в

квантовой теории неудовлетворительной. Однако эта интерпретация не была единственной причиной неудовлетворенности Эйнштейна квантовой теорией. С его точки зрения, квантовая теория неудовлетворительна еще и потому, что она недостаточно радикально пересматривает классические понятия и представления. Можно предположить, что, по мнению Эйнштейна, именно этот недостаток порождает для квантовой теории необходимость пользоваться вероятностными концепциями и статистическими представлениями. Тем более что он — вполне справедливо — отмечал: «... в квантовой механике сохраняется классическое понятие силы и соответственно потенциальной энергии, и только закон движения заменяется чем-то совсем новым. Совершенство математического аппарата теории и ее значительный успех скрывают от нашего взора тяжесть тех жертв, которые приходится приносить для этого»¹³. Путь преодоления указанных недостатков квантовой теории Эйнштейн усматривал в дальнейшем ее развитии на основе принципов атомизма: «Однако мне кажется, что в конце концов выяснится, что вместо действующей силы и соответственно потенциальной энергии... следует принять нечто, обладающее атомистической структурой в том же смысле, что и сам электрон»¹⁴.

Итак, Эйнштейна не удовлетворяло в квантовой теории прежде всего то, что в ее описание входили без каких бы то ни было изменений и конкретизаций классические понятия (силы, потенциальной энергии и, добавим от себя, пространства и времени). Психологическая основа этой неудовлетворенности становится вполне понятной, если учесть, что эйнштейновские творения — специальная и общая теория относительности — подвергли классические понятия и представления значительному пересмотру. В особенности это касается понятий пространства и времени. В то же время квантовые теории по-прежнему используют уже ранее введенные физикой статистические концепции и пользуются также старой галилеевской концепцией пространства и времени (хотя не имеют на это право, поскольку в микромире нет ни обычных часов, ни линеек¹⁵), а релятивистские квантовые теории к тому же испытывают значительные трудности математического и логического порядка в попытках совместить основные постулаты релятивистской и квантовой физики.

Перейдем теперь ко второй группе возражений.

Известно, что в процессе построения различных квантовых теорий использовались методы, выработанные в

рамках классической науки. Так, в особенности большое применение получили в квантовой физике различные вариационные принципы, открытые уже в классической физике. При этом в квантовую физику вместе с ними были перенесены и классические физические понятия, например представления о непрерывности пространства и времени, понятия траектории частицы и т. п. Однако нет никаких безусловных оснований считать, что этот перенос, эта экстраполяция классических понятий и связанных с ними вариационных принципов оправданы и что эти понятия и принципы будут хорошо работать в области квантовой реальности. Более того, общепринятая — копенгагенская — интерпретация квантовой механики приводит к определенным противоречиям, если предполагать правомерность указанного переноса.

В самом деле. При выводе, например, закона сохранения импульса из математического формализма квантовой механики используется операция взятия вариации от волновой функции по пространственным переменным. При этом подразумевается, что можно говорить о непрерывном переносе квантовой системы в пространстве (т. е. о траектории). Но ведь это бессмысленно в силу принципа неопределенности! Как тут быть?

Гейзенберг пытался разрешить это видимое противоречие, подчеркивая, что математический формализм теории не должен связываться с его физической интерпретацией слишком жестко, поскольку такая интерпретация опосредуется многочисленными промежуточными математическими выводами. Но тогда возникает следующий вопрос: как быть с правилом логического вывода, состоящим в том, что из истинных посылок (формализм квантовой механики, опирающийся на дифференциальные операции) нельзя получить ложное заключение (т. е. утверждение соотношения неопределенностей, согласно которому для микрообъектов не существует траекторий)? Можно заподозрить, что если формализм квантовой механики состоятелен, то гейзенберговские соотношения неопределенностей и утверждение об отсутствии траекторий в микромире являются не внутренними интерпретативными элементами этого формализма, но, скорее, привнесенными в него извне утверждениями.

Если возражения первой группы касаются мировоззренческого и теоретико-познавательного уровня квантомеханического описания, а возражения второй группы — отношения математического формализма квантовой

теории к его физической интерпретации, то третья группа критических аргументов против копенгагенской трактовки квантовой механики относится главным образом к эмпирическому уровню знания в физике микромира. Здесь центром полемики становится отмеченный выше тезис Н. Бора о том, что прибор и его показания должны описываться классической теорией.

Представители этой группы критиков копенгагенской интерпретации вполне справедливо отмечают, что квантовая физика использует классические понятия не только на уровне теоретического описания явлений и процессов микромира, но и на экспериментальном уровне их исследования. Например, в спектрометрических измерениях атомных процессов используется классический анализ интерференционной картины, чтобы связать положение наблюдаемой линии спектра с длиной волны, хотя почернения на фотопластинке вызываются, как мы считаем, вовсе не классическим электромагнитным полем, а отдельными фотонами. При описании наблюдений квантовых объектов, пересекающих пространство рабочего вещества пузырьковой камеры, находящейся в магнитном поле, физики-экспериментаторы пользуются классической конструкцией траектории, хотя квантовая теория с самого начала своего существования отвергла такую конструкцию как физически нереальную.

В рамках копенгагенской интерпретации подобный подход к экспериментальной ситуации выражается и оправдывается тезисом Н. Бора о том, что экспериментальная установка и результаты наблюдений должны описываться языком классической физики. Однако не все физики согласны с этим тезисом. Некоторым из них он кажется искусственным (*ad hoc*) или априористским. В этой связи конкретные причины неудовлетворительности копенгагенской интерпретации усматриваются в следующем.

Во-первых, согласно копенгагенской интерпретации квантовой механики, квантовый объект и макроскопический прибор образуют неделимое целое в рамках квантового явления. «Поведение атомных объектов,— утверждал Н. Бор,— невозможно резко отграничить от их взаимодействий с измерительными приборами, фиксирующими условия, при которых происходят явления... Неделимость типичных квантовых эффектов проявляется в том, что всякая попытка подразделить явления требует изменения экспериментальной установки...»¹⁶

Наблюдаемые проявления такой целостности должны быть связаны, с одной стороны, с самосопряженными операторами (на уровне математического формализма теории), а с другой — с лабораторными операциями, описываемыми на языке классической физики (уровень опыта). Однако эти требования, по мнению критиков копенгагенской интерпретации, не выполнимы даже в принципе: ведь язык классической физики использует понятия, которым ничто не соответствует в объективной реальности, связываемой с микромиром. Не спасает копенгагенскую интерпретацию и принцип соответствия, поскольку она не предлагает никаких математических методов, которые бы позволили сформулировать проблему соответствия между самосопряженными операторами и приборами математически. В самом деле, известно, что в квантовой теории, с одной стороны, не всякому самосопряженному оператору удастся сопоставить наблюдаемую физическую величину, а с другой — не всем физическим величинам — поставить в соответствие самосопряженные операторы. Например, оператор $x_{урz}$ — самосопряженный, но неясно, какая наблюдаемая физическая величина ему соответствует. Далее, в физике всегда считалось, что время — это наблюдаемая физическая величина, однако этой величине не удастся поставить в соответствие какой-либо самосопряженный оператор. Т. е. налицо нетождественность теории и опыта.

Во-вторых, копенгагенская интерпретация переоценивает онтологическое содержание классических физических концепций (отождествлявших физическую и объективную реальность) и недооценивает активную, конструктивную роль языка (хотя, как мы отмечали, она, по Бору, связывает себя с языком, решая проблему значения слов в контексте их практического использования). Ведь язык классической физики, вообще говоря, не является единственно возможной конкретизацией языка обычного (макроскопического) опыта. Даже в классической физике, например, конструкция траектории оказывается, если следовать терминологии А. Эйнштейна, «свободным творением разума», а вовсе не какой-то неизбежностью (так как буквально в реальном мире нет никаких траекторий, складывающихся из непротяженных, т. е. невоспринимаемых в принципе, точек).

Наконец, в-третьих, граница между классическим и квантовым описаниями резко не определена и не совпадает с границей между макро- и микромиром. Это мы на-

блюдаем, например, в случаях исследования таких квантовых макроскопических явлений, как сверхпроводимость, сверхтекучесть, эффект Мессбауэра, лазерное излучение. Вместе с тем любой прибор в квантовой физике должен быть чувствителен к квантовым явлениям, и поэтому его нельзя описать только языком классической физики.

Значение классических представлений для квантовой физики. Итак, на основании вышесказанного вырисовывается довольно-таки странная картина. С одной стороны, классическая физика, ее понятия, представления и методы фактически используются в структуре квантовофизического познания на всех его уровнях. В этом смысле ценность классических понятий, представлений и методов для квантовой физики, предпосылочный характер первых по отношению ко второй кажутся вполне очевидными. Более того, такое использование находит в рамках копенгагенской интерпретации психологическое, логическое, лингвистическое и практическое оправдание, которое в общем выходит за пределы самой физики: оно (это использование) признается неизбежным в силу нашей человеческой определенности, в силу макроскопического характера нашей (лабораторной) практики, нашей принадлежности макроскопической физико-, био-, психо- и социосфере. Но вместе с тем ясно и то, что такое использование ограничено в силу того, что объекты других сфер объективной реальности, в том числе микромира, вовсе не обязаны соблюдать традиции наших языков, психики и поступков (если бы мы жили в мире микрочастиц, наши язык и психосфера, а также и наша практика были бы, по-видимому, совершенно иными). В силу этого именно факт использования классических понятий, представлений и методов в целях понимания квантовофизических ситуаций вызывает наибольшую неудовлетворенность физиков и философов (критиков копенгагенской интерпретации), тем более что он приводит к различного рода гносеологическим и логическим парадоксам.

Не претендуя на решение всех имеющих здесь место теоретических и практических трудностей, укажем, однако, на один из возможных путей выяснения значения классических физических представлений для квантовой физики. Этот путь проходит через различие в рамках каждой отдельно взятой научной теории так называемых языковых слоев, в частности различие теоретического и эмпирического уровней описания явлений действитель-

пости, и одновременно через признание теоретической нагруженности языка наблюдений.

Нам представляется, что описанный выше лингвистический круг в квантовой механике — это лишь частный пример общей познавательной ситуации. Лингвистические круги присущи, вообще говоря, не только интерпретации квантовой теории, но и всей физике и всему развитию человеческого знания. Указанная ситуация сегодня хорошо известна философам науки (а вовсе не только герменевтикам), подробно описана ими на различных примерах из истории науки, и на этот счет в мировой литературе предложены многочисленные решения, исходящие из самых различных методологических и мировоззренческих позиций.

Поясним ситуацию с «теоретической нагруженностью языка наблюдений» на одном историко-научном примере. Рассмотрим интерпретацию Ньютоном проделанных им (в 1666 г.) оптических экспериментов по разложению треугольной призмой лучей белого света на пучки цветных лучей.

Описывая свои эксперименты, Ньютон использовал многие «теоретически нагруженные» (т. е. в другом, не связанном с данными экспериментами контексте считающиеся теоретическими) термины. Эта «теоретическая нагруженность» терминов наблюдения означала, что характеристики предметов, используемых в оптических экспериментах, неявно включали в себя ряд дополнительных значений, отличающихся от тех, которые явно подчеркивались при назывании предметов (т. е. неявно подразумевалась апелляция к другим языковым слоям, помимо того, который фигурировал явно при назывании имени предмета). Например, призма, кроме определенной формы и вещества, из которого она выполнена (стекла), характеризуется еще (неявно) отражательными свойствами. Дополнительные значения терминов, не исчерпывающиеся прямым называнием предмета, следуют, очевидно, из рассмотрения новых ее свойств путем введения новых языковых слоев, в которых формулируются различные (теоретические) законы. Но почему же тогда оказалось возможным отнести эти структурированные термины лишь к терминам языка наблюдений?

Дело в том, что Ньютон для объяснения наблюдаемых им оптических явлений разложения белого света в спектр цветных пучков ввел ряд новых теоретических терминов

(новый языковой слой), которые не использовались теориями, определяющими смысл терминов, описывающих участвующие в эксперименте предметы (отражательные свойства призмы и пр.). В частности, к новым теоретическим терминам относится «луч» (траектория света). Благодаря этому ньютоновское теоретическое объяснение оптических явлений не определялось значениями терминов, которые он использовал для описания экспериментов. Можно также сказать, что если бы Ньютон придумал (опираясь на практику) для теоретического объяснения эффекта разложения света какую-то иную теорию, то при этом значения терминов наблюдений сохранились бы. Теория, которую Ньютон предложил бы для объяснения результатов своих экспериментов, все равно бы отличалась от теории, определяющей значения терминов, описывающих вещества, из которых была сделана его экспериментальная установка.

По мнению американского философа Э. Нагеля, данный пример показывает, каким образом термины и предложения наблюдения могут сохранять свою независимость по отношению к альтернативным объясняющим теориям и каким образом даже «теоретически нагруженные» термины могут выполнять функции терминов, описывающих наблюдения и эмпирические данные. Различие теоретического и эмпирического дается здесь по функциональному признаку — исходя из того способа, каким теоретические и эмпирические термины и высказывания функционируют в практике научного исследования. Язык наблюдений используется в следующих целях: для выделения некоторого локализованного в пространстве и времени объекта или процесса чувственного опыта; для описания экспериментальной установки и способов ее использования; для фиксации результатов измерений при проверке теоретических высказываний. Теоретические же термины и высказывания выполняют в научном исследовании такие функции: предписание метода анализа выделенных в эксперименте явлений; осуществление связи между опытными результатами и текущими выводами теории; объяснение наблюдаемых явлений через законы и т. д. Нагель подчеркивает, что указанное разграничение функций языков теории и опыта не является абсолютным, оно относится к конкретному научному исследованию¹⁷.

В современной философии науки утверждение о теоретической нагруженности эмпирического уровня знания стало общим местом. Но при этом далеко не всегда раз-

личаются уровни этой «нагруженности». А ведь здесь можно различить по меньшей мере два уровня, два языковых слоя, которые различны по своим гносеологическим функциям. Эмпирические факты (результаты наблюдений и экспериментов) осмысливаются, во-первых, в терминах интерпретирующей теории, а во-вторых, в терминах объясняющей теории¹⁸.

Чтобы пояснить ситуацию, обратимся к известному квантовомеханическому эксперименту с прохождением квантовых объектов через щели экрана. Интерференционная картина, возникающая в том случае, когда задействованы несколько щелей, осмысливается прежде всего в терминах классической волновой оптики, составляющей неотъемлемую часть классической физики, ибо оказывается, что квантовые объекты ведут себя в этом случае волновым образом. Вместе с тем эта картина не находит теоретического объяснения в рамках теорий классической физики, ибо, согласно представлениям последней, частицы должны вести себя как корпускулы и не могут интерферировать. Необходимое теоретическое объяснение наблюдаемого волнового эффекта опирается на квантовомеханический принцип суперпозиции состояний, сложения объективных возможностей, представляемых волновыми функциями как решениями основного динамического уравнения квантовой теории — уравнения Шрёдингера. Понятие амплитуды вероятности (это — смысл волновой функции), отражающее объективную возможность, вводимое в теоретический арсенал квантовой физики, не имеет языкового аналога в слое классических физических понятий. Таким образом, налицо использование в структуре квантовофизического знания двух различных типов теорий: с одной стороны, классической, с другой — квантовой. И все это — в отношении одного и того же феномена, одного и того же опыта, в отношении эмпирического уровня квантовофизического знания.

Важно здесь не только то, что теории (классическая и квантовая) принадлежат различным предметным областям физики, но в особенности то, что они выполняют различные гносеологические функции. Первая теория носит интерпретирующий характер, дает предварительное понимание, или предположение, физических явлений и процессов. Вторая же теория носит объясняющий характер, выполняет именно теоретическую функцию объяснения этих явлений. Она содержит концептуальный компонент знания, невыразимый, собственно, в терминах ин-

терпретирующих (здесь — классических) физических теорий.

Остается заметить, что приведенный пример не уникален. Описанная ситуация характерна и для других областей физического знания. Так, известно, что классическая волновая оптика используется для описания работы интерферометра Майкельсона, а также результатов опыта Майкельсона—Морли по обнаружению эффектов «эфирного ветра». Эта теория выступает здесь в гносеологической функции интерпретации экспериментальной ситуации. Однако суть результатов опыта по измерению «эфирного ветра» (которая, оказывается, не зависит от человека) не определяется категориями волновой оптики. Для этой цели служат иные теории — теория «молекулярных сил» Лоренца или специальная теория относительности Эйнштейна. (Конечно, вопрос о том, какая из двух последних теорий адекватна сущности релятивистских эффектов, сам по себе очень важен, но это уже другой вопрос.) Далее. Если обратиться к анализу явления, «красного смещения» в астрофизике, то и здесь мы обнаружим ясно очерченные гносеологически неравноценные уровни использования различных физических теорий. Специальная теория относительности здесь фактически перенимает гносеологическую функцию волновой оптики (в ее отношении к анализу экспериментальной ситуации в опытах Майкельсона—Морли), т. е. функцию теории интерпретирующей, функцию предположения опыта космологии и астрофизики: на основе релятивистского эффекта Допплера она истолковывает явление «красного смещения» как свидетельство движения галактических источников света в направлении от наблюдателя. Однако суть явления «красного смещения», причину разбегания галактик, механизм этого разбегания эта теория не устанавливает. Последнее оказывается задачей уже совершенно других теорий — общей теории относительности, теории гравитации в плоском пространстве и времени или иных альтернатив гравитационной теории Эйнштейна. (Вспомним, наконец, и то, что говорилось выше о спектрометрических измерениях, о движении элементарных частиц в пузырьковой камере, помещенной в магнитное поле, об оптических опытах И. Ньютона.)

Подведем итоги. Гносеологический анализ соотношения теоретического и эмпирического уровней знания указывает путь преодоления различного рода логических и лингвистических парадоксов и «кругов» в физическом

познании, примером которых может служить, казалось бы, противоречивое использование классических понятий, представлений, методов и теорий в структуре квантовофизического знания. Этот путь состоит в различении интерпретирующей и объясняющей функций теоретического осмысления материала наблюдений и экспериментов, в выделении различных языковых слоев в теоретическом описании физических явлений, сама необходимость чего (выделения) вызвана неисчерпаемостью объективной реальности. Ввиду этого и квантовофизические реальность и знание оказываются иерархически структурированными (они не представляют собой некое однородное целое, органически включающее в себя в качестве частного случая классическое физическое знание). Одним из их уровней как раз и является объективно-истинная классическая физическая реальность. Эта реальность имеет фундаментальное значение для субъекта, поскольку она порождена его непосредственно макроскопической практически-познавательной деятельностью в окружающем человека мире. Именно в ее рамках достигаются понимание (интерпретация) и практическое освоение несоизмеримых субъекту и его непосредственному окружению фрагментов объективной реальности.

Заключение: философия, физика и человек

Эта книга посвящена теме единства мира, прежде всего единства человеческого знания о мире, изучаемом физикой. Раскрывая эту тему, автор руководствовался соображением, что такое единство является выражением реальной диалектической взаимосвязи человека со Вселенной, частью которой он является. Человек и Вселенная всегда были предметами, о которых размышляли философы, но эти же предметы изучают многие специальные науки, к числу которых относится и физика (конечно, специально-физическое представление о человеке, например, как о макроскопическом физическом объекте недостаточно, но это не значит, что такое представление ложно или что физика не имеет отношения к человеку). Вместе с тем мы стремились показать, что философия и физика едины также потому, что они являются (хотя и различными) сферами деятельности одного и того же человека — человека как мыслящего существа. Физическая реальность далеко не однообразна в различных ее проявлениях (в мега-, макро- и микромасштабах), но она объединяется единством ее человеческого представления в физической картине мира (хотя различные ученые на одном и том же историческом этапе развития физики, как, естественно, и «усредненные» итоги различных таких этапов, могут формулировать отличающиеся картины). Например, пространственно-временной аспект этой картины формулируется представлениями о пространстве и времени, выработанными человеком на протяжении веков. Хотя у нас есть разные представления о природе пространства и времени, об их структуре, в них, однако, содержится общий компонент, связанный с пространством и временем мира, в котором живет человек. Так же обстоит дело и с логикой. Даже рассуждая о квантовых объектах, поведение которых, казалось бы, просто «нелогично», мы используем логику, «фигуры» которой (В. И. Ленин) являются выражением тысячелетней практики человека. Безусловно, классические и квантовые физические объекты сильно

между собой различаются, но, например, Н. Бор считал, что теории микромира нужны нам прежде всего для того, чтобы лучше понять тот мир, в котором живет человек.

Таким образом, ясно, что тема единства мира имеет человеческие измерения. Ее исследование показывает, в частности, что физика не просто отражает, как в зеркале, некий нечеловеческий мир, но делает это при помощи человеческих понятий и человеческих материальных операций, которые незримо присутствуют и в результатах такого отражения. Результат такого отражения — физическая реальность — оказывается не просто идеальной копией внечеловеческого мира, а конструкцией, имеющей двуединую — материально-идеальную, объективно-субъективную — природу. Ее содержание формируется под воздействием трех источников — объективной реальности (которая в философской абстракции внеположена сознанию человека) и субъективной (т. е. в абстракции — чисто человеческой) материальной и идеальной деятельности. Поэтому мы не можем ни отождествлять физическую реальность с объективной реальностью (в которой человека просто может не быть), ни считать ее полностью умственной конструкцией или материальным творением человека (ибо человек является только частью материальной Вселенной).

Человеческие измерения мира многообразны. В книге речь шла главным образом о гносеологическом измерении, т. е. о роли человека в мире как существа, познающего мир. Кроме этого измерения, существует множество других, и к тому же различные человеческие измерения мира взаимосвязаны. Так, в человеческом познании мира участвуют не только специально-научные понятия физики и математики, но и различные виды материальной практики, представления здравого смысла, философско-мировоззренческие убеждения. Научное познание имеет также личностное, профессионально-этическое, общекультурное, социальное измерения. В свою очередь, результаты этого познания накладывают свой отпечаток на способы материального производства, на художественное творчество и даже на религиозные доктрины. Чтобы проиллюстрировать сказанное, рассмотрим только один пример, который еще раз поясняет отличие физической реальности от реальности объективной.

Для ученых очень важно представление о цели науки. Ясно, что цель — это чисто человеческое понятие, мы не можем приписывать цель неодушевленной физической

природе, т. е. и физической реальности, если мы отождествляем ее с неочеловеченной природой. И тем не менее оказывается, что понятие цели физической науки неразрывно связано с понятием физической реальности. Это мы можем проследить по крайней мере на примере взглядов таких крупнейших физиков, как А. Эйнштейн и Н. Бор. В книге мы показали, что взгляды этих ученых на физическую реальность сильно различаются. Основное различие между ними определяется именно различным пониманием цели науки, физического познания. Эйнштейн полагал, что такой целью является физическая реальность, существующая независимо от физических теорий, от средств нашего познания этой реальности, что физика в ходе своего развития все ближе и ближе приближается к этой цели (или по крайней мере должна приближаться). Он считал, что в указанном только что плане квантовая физическая реальность ничем не отличается от классической физической реальности. И в первом, как и в последнем, случае должны существовать независимые от сознания и человеческой практики объекты и их свойства, подчиняющиеся по возможности простым и гармоничным детерминистическим законам. В отличие от Эйнштейна Бор полагал, что целью физики является объяснение, все более лучшее понимание человеческого опыта (т. е. взаимодействия человека с окружающим его физическим миром). Поэтому-то теории микромира призваны служить пониманию мира, в котором живет человек. Иными словами, если для Эйнштейна целью была физическая реальность, а опыт являлся только средством ее познания, то для Бора все выглядело как бы наоборот: цель — это человеческий опыт, а физическая реальность в ее эйнштейновском понимании только средство, причем даже неадекватное в случае опыта взаимодействия человека с квантовыми объектами.

Не очень задумываясь над этим различием взглядов Эйнштейна и Бора, можно объявить первого ученого материалистом, а последнего — субъективным идеалистом, скажем кантианцем. Но при более глубоком анализе взглядов Эйнштейна и Бора такая их оценка окажется явно недостаточной. В самом деле, что такое «физическая реальность» по Эйнштейну? Это, оказывается, человеческое изобретение, мысленная конструкция, идеал, которому должны удовлетворять физические теории. А раз это идеал, он имеет явное человеческое измерение. Вместе с тем и Бор, ставя во главу угла своего мировоззрения по-

нятия опыта и явления, конечно же, не отрицал существование объективного физического мира. Так что при всем глубоком различии философских взглядов Эйнштейна и Бора, их представлений о цели физики можно найти и общее в этих взглядах и представлениях: они определяются не только объективной реальностью, но и реальностью человека, а точнее, взаимодействием человека и мира.

Одним из результатов взаимодействия человека и мира является развитие человеческого познания. Ясно, что, если бы такого взаимодействия не было, не было бы и развития познания. Современное динамическое взаимодействие человека с миром во многом обязано науке, постоянно перестраивающей систему материального производства и расширяющей горизонты теоретических представлений человека как о самом себе, так и об окружающем его мире. В этой связи сегодня возникает множество новых проблем в осмыслении диалектического единства человека и Вселенной, частью которой он является. И в значительной мере такие проблемы обязаны прогрессу физических наук. Их, эти проблемы, можно было бы разделить — в некотором приближении — на гносеологические (теоретические) и социальные (практические).

Суть первых заключается в том, чтобы объяснить, как возможно становление нового знания о мире. Как это знание становится доступным человеку? Как оно может быть понято? Как обретает смысл? Проблема значения нового знания очень важна для физики, которая сегодня исследует поистине ненаблюдаемые объекты, которым приписываются не воспринимаемые обычными чувствами свойства. Это, например, кварки, гравитоны, глюоны, обладающие такими свойствами, как «цвет», «странность», «очарование». Ясно, что указанные свойства, если мы сопоставим их с тем, что обычно понимается под ними, имеют разве что метафорическое значение; во всяком случае, отсутствует прямая аналогия между «цветом» кварка и, скажем, цветом розы. (Правда, некоторая аналогия все же имеет место: как пучок белого света можно разложить призмой на пучки красного, желтого и синего цветов, так и наблюдаемые адроны, т. е. протоны и нейтроны, в частности, разлагаются в теории на кварки трех этих «цветов».)

Н. Бор, исследуя проблему осмысленности нового знания физики об объектах микромира, неоднократно

подчеркивал, что это знание обретает смысл, будучи человеческой формой понимания мира. Смысл этот задается фундаментальными категориальными формами восприятия — такими, как пространство, время, причинность, непрерывность, объект, а также нашими материальными взаимодействиями с квантовым миром посредством специальных устройств, называемых измерительными приборами. Условиями осмысленности наших суждений о свойствах микрообъектов он считал, во-первых, использование обычного физического языка, в котором только и можно передавать от субъекта к субъекту содержание опыта, и, во-вторых (хотя бы мысленно возможное), использование экспериментальных устройств. Например, суждение о местоположении элементарной частицы обретает смысл не просто в силу наших представлений о пространстве, но тогда, когда можно построить прибор, способный измерять это местоположение. Такой прибор весьма специфичен: он представляет собой обязательно неподвижное, макроскопическое, массивное устройство, ибо он должен, чтобы мы могли говорить о положении, образовывать пространственную систему отсчета. Но такой прибор, очевидно, не годится для измерения динамических (импульсно-энергетических) характеристик микрообъектов, ибо он нечувствителен к кванту действия. Чтобы измерить импульс объекта, нужен иной прибор — прибор, реагирующий на квант действия, но уже не могущий выполнять функции системы отсчета положения микрообъекта в пространстве. Мы, таким образом, конечно, можем полагать, что микрообъект обладает одновременно и положением в пространстве и некоторой определенной скоростью, однако это мнение нельзя обосновать практически, и поэтому оно физически бессмысленно.

Суждение о наличии у физического объекта одновременно точных положения и импульса является, по Бору, можно сказать, рецидивом классической физической реальности. Однако оно бессмысленно в квантовой физике — несмотря на то что Эйнштейн стремился доказать обратное. (Как мы знаем, современное развитие физики свидетельствует здесь в пользу точки зрения Бора: все попытки обнаружить «скрытые свойства» у микрообъектов вроде локальных свойств положения и импульса пока ничего не дали.) Это говорит о том, что выработанные классической физикой представления о реальности являются не ее объективными копиями, а определенными ее идеализациями. Вовсе без этих идеализаций мы не мо-

жем обойтись, поскольку без них мы не можем понять новое, но мы и не можем с их помощью исчерпать все содержание нового. Что же делать в этой ситуации? Как тогда вообще возможно новое понимание?

В ответах на эти вопросы приходится обращаться к философской теории значения. В первом приближении известно, что весь мир — как наблюдаемый, так и ненаблюдаемый — мы можем понять в терминах категорий, т. е. наиболее общих понятий, исследуемых философией. Такие понятия неустранимы, потому что они выражают наиболее общее содержание человеческого опыта, возникли в результате обобщения тысячелетней практики. Но только их одних мало. Когда речь заходит о ненаблюдаемом (не воспринимаемом чувствами непосредственно или вообще) мире, осмысленность суждений о таком мире достигается и за счет использования аналогий и метафор. Рассмотрим, например, происхождение значения понятия «спин». Спин — это внутренний момент движения квантовой частицы. Понять его смысл можно, если уподобить квантовый объект некоему макроскопическому шарiku, вращающемуся вокруг какой-то собственной оси. Тогда мы получаем значение (смысл) слова «спин» по аналогии со значением термина «угловой момент движения», определяющего вполне привычное свойство макроскопического тела, находящегося во вращении (например, глобуса или планеты). Но затем мы — теперь уже метафорически — приписываем возможность наличия подобного свойства и ненаблюдаемым безразмерным (точечным) квантовым объектам. Прямая аналогия здесь просто не проходит, так как непротяженные объекты, согласно обычным физическим представлениям, не могут обладать каким-либо вращательным моментом движения, но метафора позволяет привести в соответствие теорию и опыт, сделать осмысленными квантовофизические утверждения. Очевидно, использование аналогий и метафор в физическом исследовании является еще одним подтверждением человеческого измерения у физической реальности, как бы далеко эта реальность ни отстояла от человека.

Наконец, остановимся на еще одном важнейшем человеческом измерении физики. Это — социальное, общественное значение физического познания. Если выше мы говорили, скорее, о воздействии человека на это познание, о присутствии человека в его результатах, то теперь посмотрим, как эти результаты, в свою очередь, воздействуют на человека, на общество, на среду, в которой он живет.

Известно, что научное знание является производительной силой, значительно изменяющей окружающий человека мир. Оно несет людям не только духовное удовлетворение от познания Вселенной, не только материальные блага и комфорт, но и может порождать протест, вызывать значительные разрушения, наносить вред. Так, познание микромира открыло путь не только развитию электроники, атомной энергетики, квантовой химии, молекулярной биологии, но и созданию самого могучего за всю историю существования человека оружия массового уничтожения. Оно породило множество социально значимых проблем, которые называются глобальными проблемами: от угрозы всеобщей гибели в термоядерной войне до проблем загрязнения окружающей среды, неравномерности социально-экономического развития в различных регионах нашей планеты, «информационно-культурного империализма» (т. е. навязывания с помощью развитых технических средств массовой коммуникации определенных идеологических стереотипов) и противостояния «двух культур» — «гуманитарной» и «технократической». В контексте решения этих проблем поднимаются вопросы о «выживании человечества», о целях и политике науки, об этике ученых и т. д. и т. п.

О чем же говорят такие социально значимые результаты развития науки вообще и физики в особенности? Представляется, что самым главным социально-культурным и мировоззренческим результатом развития физики является установление границ возможностей человеческих познания и практики. В самом деле, сегодня мы знаем благодаря развитию физики и космологии, что как жизнь вообще, так и человеческое существо в частности могут существовать лишь при определенных, достаточно точно установленных значениях небольшого числа чисто физических величин. Эти величины называются универсальными (мировыми) постоянными. К ним относятся масса и заряд электрона, постоянная Планка, гравитационная постоянная, скорость света. Эти величины и соотношения между ними ограничивают саму возможность появления жизни. Однако жизнь на планете Земля все-таки зародилась, а люди не способны изменить значения универсальных констант, так что эти границы практического значения вроде бы и не имеют. И все же знание этих границ практически значимо. Ведь использование физических формул М. Планка $E = h\omega$ и А. Эйнштейна $E = mc^2$ позволило в конечном счете овладеть ядерной энергией,

создать физическую реальность, угрожающую человеку и находящуюся в его руках. Использование этой энергии против человека и является практически значимой границей физического познания. Так что и в этом физика имеет очевидное человеческое измерение.

Из сказанного не вытекает, что физика устанавливает границы развития познания и практики человека вообще. Она указывает лишь, так сказать, «границы снизу», некоторые грани, которые не следует переступать. В этом можно увидеть и ее, физики, поистине гуманитарное значение. Решение же всех связанных с развитием научного познания социально значимых вопросов и проблем марксисты стремятся найти на пути создания «единой науки о человеке». Идти по этому пути вовсе не значит отказаться от использования уже достигнутых научных результатов, в частности от результатов квантовой физики. «Единая наука о человеке» невозможна без физического знания, поскольку человек — это не только социальное, но и биологическое, и физическое, и космологическое существо во Вселенной. Безусловно, особая специфика человека, отличающая его от остального мира, раскрывается только социально-гуманитарными дисциплинами, но все же одни только социология и гуманитарные науки недостаточны для полного понимания природы человека и его возможностей. Как для этого, конечно, недостаточны физика или биология по отдельности. Только вся совокупность наук о человеке и Вселенной позволяет понять феномен человека во всей его полноте. Иными словами, говоря о человеке и о возможности «единой науки» о нем, мы не должны забывать, что человек является частью Вселенной, продуктом ее развития.

Приложение: парадоксы физики микромира

Здесь приводится ряд любопытных примеров из области физики и философии микромира, которые, с одной стороны, показывают необычность квантовофизической реальности, а с другой, свидетельствуют о тесной связи физики и философии. Эти примеры парадоксальны потому, что они говорят о столкновении обычных человеческих представлений о мире с результатами специальных исследований. По необходимости при их изложении придется воспользоваться и специальным символическим аппаратом, характерным для области квантовой физики.

Центральное место в этом аппарате занимает понятие волновой функции, которую обычно обозначают греческой буквой ψ . Волновая функция — это объект, структуру и эволюцию которого описывают квантовые теории. Смысл этого объекта вроде бы ясен из определения: с одной стороны, он является волной, а с другой — функцией. Образ волны ассоциируется, например, с волнами на воде, с невидимыми, но слышимыми волнами звука, с видимыми, но неслышимыми волнами электромагнитного поля, которые называются светом. Функция же — это какая-либо специальная деятельность, например, деятельность органов чувств или деятельность человека, деятельность общественных органов и организаций, производственная деятельность. В математическом представлении деятельность есть отображение совокупности отдельных объектов и отношений между ними на некоторую другую такую совокупность. С точки зрения математики, такое отображение может допускать самые фантастические ситуации: например, прямую бесконечную линию можно отобразить в замкнутую окружность, общество превратить в государство, человека — в машину, и т. д. «Волновая функция» есть специфическое отображение, специфика же ее состоит в том, что связываемое с нею отображение носит «волновой» характер. Грубо говоря, эта специфика заключается в том, что «волновое отображение» превращает совокупности отдельных возможностей квантовых систем в некое единое

образование. При этом дискретность связывается с непрерывностью, часть — с целым, элементы с системой, определенность с неопределенностью, возможность с действительностью. Волновая функция описывает непосредственно не известные из классической физики свойства отдельных объектов, по потенции (диспозиции) объектов проявлять те или иные свойства, подлежащие измерению. Таким образом, она является описанием как бы «свойства свойств».

Существует соблазн объявить волновую функцию чертой совокупного поведения квантовых объектов. Из этого исходила, например, интерпретация волновой функции как описывающей поведение «ансамблей» (квантовых частиц или этих частиц совместно с измерительными приборами) Д. И. Блохинцева. Такой подход основывается на том, что волновая функция имеет смысл распределения амплитуд вероятности поведения квантовых объектов, а вероятностные распределения известны уже из классической статистической физики. Однако поведение квантовых систем и объектов отличается от поведения классических ансамблей «материальных точек» (о чем мы подробно писали в четвертой главе). В поведении объектов квантовой физики больше чувствуются системная связь их возможностей, целостность и неразделимость отдельных квантовых систем на элементы, и потому В. А. Фок распространил применимость волновой функции на отдельные квантовые системы и объекты. Кстати сказать, в квантовой хромодинамике существуют такие физически реальные объекты, которые вообще невозможно выделить из системы, индивидуализировать в классическом физическом смысле слова. Это, например, кварки. Подобные объекты наделяются четкими физическими свойствами (например, дробным электрическим зарядом), которые, однако, не удается экспериментально определить.

И еще одна сложность. Теории классической физики «отражали» имманентные (внутренне присущие) свойства объектов исследования, т. е. такие свойства, которые существуют как бы «сами по себе», независимо от условий и средств человеческого познания природы. В квантовой физике теории, по всей видимости, «отражают» не эти свойства (или не только их), но свойства взаимоотношений исследуемых объектов с физическим миром, в котором живет исследователь. Как мы убедились в главе о пространстве и времени микромира, в представление волновой функции входят параметры классических пространства и

времени. Иными словами, волновая функция осуществляет связь микромира (объектами которого являются атомы, протоны, нейтроны, электроны, фотоны, кварки и т. п.) с макромиром, в котором исследователь микромира создаст свои приборы и теории.

Другим центральным элементом символического аппарата квантовой физики является принцип суперпозиции состояний. Он означает равенство потенциалов, независимость возможностей поведения квантовых объектов, т. е. не относится к актуальным свойствам. Реальность же возможного отличается от реальности действительного. Грубо это отличие можно сравнить с отличием множества элементов от самих элементов.

Однако возможности квантовых объектов проявлять свои свойства, хотя и независимы, все же ограничены. Ограничение накладывает квантовый принцип М. Планка, который выражается, в частности, в соотношениях неопределенностей В. Гейзенберга и в принципе дополнительности Н. Бора (существуют обобщения этих соотношений и принципа, выходящие за пределы квантового принципа).

Таким образом, причины парадоксов, суть которых будет теперь изложена (и это далеко не все парадоксы, которые связаны с познанием микромира), видятся в следующих обстоятельствах: 1) в отличиях классической физической реальности от реальности микромира; 2) в попытках приспособить последнюю реальность к первой, т. е. к реальности, в которой живет человек.

Парадокс № 1. Редукция волновой функции. Парадокс является следствием нарушения принципа суперпозиции квантовофизических состояний, которые представляются волновой функцией, во взаимодействиях микрочастиц. Он заключается в следующем. Если принцип суперпозиции состояний распространить и на мир исследователя, в том числе на приборы, которыми он пользуется, изучая свойства микромира, то тогда физический мир предстанет как мир возможностей. Однако, мы знаем, окружающий нас мир всегда актуален, действителен. Э. Шредингер иллюстрировал этот парадокс следующим примером: «Посадим кошку в стальной сейф вместе с адской машиной (защищенной от кошки). В счетчик Гейгера положена крупинка радиоактивного вещества, столь малая, что за час может распасться один из атомов, но с той же вероятностью может не распасться ни один. Если атом распадется, то счетчик через реле приведет в действие молоточек, кото-

рый разобьет колбу с синильной кислотой. Предоставив всю эту систему самой себе в течение часа, мы скажем, что кошка еще жива, если за это время не распался ни один атом. Первый же распад привел бы к отравлению кошки. ψ -функция всей системы выразила бы это тем, что живая и мертвая кошки (с позволения сказать) смешаны или размазаны в одинаковых пропорциях»¹.

Суть дела в том, что согласно квантовомеханическому описанию сложной системы, состоящей из представителей макромира (кошки) и микромира (атома радиоактивного вещества), ее состояние определяется величиной $\psi_1\Phi_1 + \psi_2\Phi_2$, означающей следующую совокупность возможностей: «атом не распался в течение часа и кошка жива» + «атом распался и кошка мертва». Однако, когда мы проверяем эту совокупность, результат получается всегда однозначный. Иными словами, происходит редукция (сведение) возможностей к действительности. Сам этот процесс сведения физически не описывается, и потому мы заранее не знаем (в отличие от классической физики), что же мы получим в результате измерения. Парадокс связан с тем, что в классической физике понятие состояния отражает внутренне присущие свойства объектов, возможность которых совпадает с их действительностью, а в квантовой физике состояние представляет всю совокупность возможностей.

Парадокс № 2. Волновая функция как «записная книжка наблюдателя». Эту интерпретацию волновой функции придумал математик Дж. фон Нейман, проанализировавший и упорядочивший математический аппарат квантовой механики. Отталкиваясь от высказываний создателей квантовой физики (В. Гейзенберга и Н. Бора — прежде всего), он заключил, что волновая функция относится вовсе не к свойствам объектов микромира, а к знанию человека о состояниях этих объектов. Суть парадокса заключается в том, что квантовая механика описывает, оказывается, не объективный (независимый от сознания человека) микромир, а знание человека об этом мире. Выходит, физические теории относятся, собственно, не к физике, а к «наблюдателю». «Наблюдатель» регистрирует («записывает») результаты измерений над квантовыми объектами, а потом — на основании своих записей и принципа суперпозиций состояний — реконструирует теоретически всю совокупность возможностей объектов микромира, получая таким образом волновую функцию.

Парадокс № 3. Концепция «множественности Вселен-

ной» Эверетта. Этот американский ученый, пытаясь исследовать возможность распространения волновой функции объектов микромира на космологическую Вселенную, пришел к выводу, что Вселенная не единственна и уникальна, а существует сразу в целом бесконечном множестве миров. Ведь квантовая система потенциально характеризуется бесконечным множеством определенных состояний (например, электрон в системе атома обладает целым бесконечным спектром возможных энергетических состояний). Вместе с тем «наблюдатель» (человек, экспериментатор) всегда имеет дело лишь с одной возможностью из этого множества. Эверетт считает, что другие возможности вовсе не «пропадают»: они реализуются в альтернативных и параллельных «наблюдателю» Вселенных. Например, если речь идет о «шредингеровской кошке», то существуют два мира — тот, в котором атом распался и кошка мертва, и тот, где он не распался, а кошка жива. «Наблюдатель» каждый раз имеет дело только с одним из этих миров, но вообще-то, полагает Эверетт, существует много различных Вселенных (столько, сколько указывает волновая функция), а в каждой из них имеется свой «наблюдатель». Ясно, что эта интерпретация, относящая принцип суперпозиции состояний как возможностей к действительному миру (точнее, превращающая мир потенциальностей в мир действительного), выглядит весьма экзотичной. Ведь «наблюдатели» различных Вселенных не могут связываться друг с другом, а их число и их поведение зависят от того, как один из них «расшифровывает» волновую функцию «множественной Вселенной».

Парадокс № 4. Нарушения правил алгебры. В алгебре существует правило, согласно которому произведение сомножителей не зависит от их перестановки, т. е. $a \times b = b \times a$. Однако, если под a понимать положение микрочастицы в пространстве, а под b — ее импульс (т. е. скорость, умноженную на ее массу), то тогда оказывается, что $a \times b = b \times a \pm h$, где h — постоянная Планка (неделимый квант действия). Формально, результат умножения a и b зависит от порядка их определения (измерения). Такую ситуацию алгебра объяснить не может, она может только описать ее в терминах коммутационных соотношений. Объяснение скрывается в физике: измерение одной величины микрочастицы влечет за собой изменение ее состояния таким образом, что результат измерения другой ее величины предсказуем лишь в рамках соотношения не-

определенностей Гейзенберга. Это значит вместе с тем, что алгебраическое правило перестановочности сомножителей относится к вневременному миру абсолютно актуальных величин, но не к порядку действий, совершаемых во времени. Иными словами, обычная алгебра не отражает специфику перехода возможностей в действительность.

Следует отметить, что нарушения алгебраических правил влекут за собой и нарушения вневременных законов логики, о чем мы подробно писали в главе «Логика и физика».

Парадокс № 5. Странности квантовой статистики и вероятности. Об этих странностях достаточно подробно шла речь в главе «Причинность, состояние, вероятность». Здесь мы представим их в резюмированном виде, более выпукло и символично.

А. Нарушение закона сложения вероятностей независимых событий. Это нарушение легко пояснить на примере известного эксперимента рассеяния квантовых объектов (тех же электронов) на экране с двумя щелями. Если на такой экран падает пучок частиц («материальных точек», как в классической физике), то вероятность прохождения частиц через экран должна быть в два раза больше, согласно классической теории вероятности и, вообще, «здравому смыслу», нежели в том случае, когда экран имеет только одну щель. Однако в квантовом случае (в случае электронов) складываются не вероятности прохождения частиц через отдельные щели, а волновые функции (возможности) электронов, которые имеют смысл амплитуды вероятности. Формально, суммарная вероятность определяется величиной $|\psi_1 + \psi_2|^2 = |\psi_1|^2 + |\psi_2|^2 + I$, которая отличается от суммы вероятностей членом I , называемым интерференционным.

Б. Изменение правила вычисления условных вероятностей. В теории вероятности условная вероятность некоторого события a при уже случившемся событии b вычисляется по правилу: условная вероятность равна отношению вероятности одновременного наблюдения событий a и b к вероятности наблюдения события b (которое и является условием). В квантовой физике это не так. Здесь учитывается, что вероятность «одновременного» определения событий a и b существует не во всех случаях. Например, она не существует для одновременного определения положения и импульса микрообъекта. Иными словами, при определении условной вероятности в квантовой

физике снимается абстракция одновременности. Это отвечает здравому смыслу понятия условной вероятности: если мы определяем вероятность события a при условии, что событие b уже случилось, то некорректно вводить в формулу вычисления этой условной вероятности величину, называемую вероятностью «одновременного происхождения событий a и b ».

В. Проекционный постулат Дж. фон Неймана. Данный постулат математически выражает специфику квантово-физической вероятности и вместе с тем ее связь со статистикой измерений, которая всегда описывается классической теорией вероятности. В рамках этой теории приходится принимать, что в процессе определения характеристик квантового состояния происходит так называемая рандомизация («ослучивание»), т. е. переход от одного статистического ансамбля к другому. Это происходит, правда, не всегда, а лишь в тех случаях, когда измеряются «дополнительные» (несовместимые с классической физической точки зрения) величины (например, положение и импульс частицы вдоль одной и той же оси, различные проекции момента импульса или спина).

Нужно заметить, что «странности» квантовой статистики и вероятности, пожалуй, ярче и глубже всех других «страпностей» и парадоксов нашего понимания микромира. Они ухватывают самую суть дела, которую можно выразить так: возможности квантовых объектов шире классических представлений о мире, где возможность, как правило отождествляется с действительностью будущего.

Парадокс № 6. «Квантовые тайны — для каждого». Представим себе лабораторию атомной физики в Корнеллском университете (г. Итака, штат Нью-Йорк, США). Сотрудник этой лаборатории Н. Д. Мермин вместо того, чтобы проделывать реальные измерения с квантовыми объектами, занимается «мысленным экспериментированием» (по сути дела, он осмысливает результаты реальных экспериментов). И вот к чему он приходит.

В лаборатории имеются три «черных ящика», т. е. оборудование, устройство и функции которого недоступны пониманию «человека с улицы», т. е. неспециалиста. Они доступны физика-профессионалу, который, тем не менее, сталкивается со следующей парадоксальной ситуацией, понятной (в том, что она парадоксальна) и «человеку с улицы». Итак, один ящик, помещенный в центре лаборатории, излучает частицы парами в противоположные стороны. Частицы эти являются продуктами, например, ра-

диоактивного распада атомов (это могут быть электроны). Два других ящика, помещенные справа и слева от ящика-излучателя (лучше всего — на одной с ним оси и на равных расстояниях от него), представляют собой детекторы налетающих частиц. Они фиксируют значения компонентов спинов этих частиц в трех размерностях пространства, причем известно, что в каждой размерности компонент спина может иметь только два значения — «спин вверх» и «спин вниз». В каждом измерительном акте детекторы могут измерять только один какой-либо компонент, но в различных актах могут измеряться различные компоненты. Цель совокупности таких измерений заключается в том, чтобы установить корреляции между пространственными ориентировками детекторов и результатами их показаний. Еще раз подчеркнем, что возможностей для показаний только две: измеряется либо значение «спин вверх», либо значение «спин вниз». Как соотносятся корреляции ориентировок детекторов с корреляциями результатов измерений?

Мермин, проанализировав фактическую статистику результатов измерений, обнаружил два типа корреляций: 1) когда детекторы измеряют компоненты спинов на одну и ту же пространственную ось, они срабатывают одинаково, согласованно; 2) когда измеряются различные компоненты спинов, детекторы срабатывают согласованно только в одной четверти всех случаев, показывая в остальных случаях несогласованные результаты. Чем это можно объяснить?

Для объяснения статистики Мермин испытывает гипотезу «инструкций» («скрытых свойств»). Иначе говоря, в центральном ящике-излучателе частиц при распадах атомов вылетающим частицам как бы задается одна и та же «инструкция». Тогда первый тип корреляций вполне объясним: «инструкции», переносимые частицами, вынуждают измерительные приборы (детекторы) реагировать одинаково, согласованно (ведь «инструкции» — одни и те же, а детекторы настроены одинаково — на измерения одного и того же компонента спина). Но вот с объяснением корреляций второго типа на основе указанной гипотезы происходит заминка. Если гипотеза «инструкций» («скрытых параметров или свойств») верна, то элементарные расчеты показывают, что детекторы должны регистрировать совпадения в одной трети всех случаев, а не в одной четвертой, как это следует из анализа реальной статистики. Это и есть «квантовая тайна — для каждого».

Парадокс № 7. Эксперимент Эйнштейна — Подольского — Розена. Об этом мысленном эксперименте мы уже писали в четвертой главе. Главная его цель заключается в том, чтобы доказать неполноту квантовой теории по отношению к «реальности». Реально, считали авторы эксперимента, все физические объекты обладают положением и импульсом. Квантовая механика, однако, не способна определить их одновременно, хотя способна сделать это по отдельности к каждой характеристике. Эксперименты могут устанавливать значения положения и импульса, но квантовая теория не предсказывает эти значения однозначно и одновременно. Возникает вопрос, существуют ли они «на самом деле», т. е. вне и независимо от теоретических и экспериментальных условий и средств их познания. Эйнштейн, будучи детерминистом и реалистом, полагал, что в «физической реальности» эти значения существуют, но квантовая теория просто не в состоянии их описать, так как является неполной теорией.

Вопреки Эйнштейну Бор считал, что такие значения могут существовать только при определенных условиях, а не «сами по себе». Условия же эти устанавливают физические эксперименты: если мы определяем положение микрочастицы, мы должны использовать классический массивный прибор, который формирует систему отсчета, но не реагирует на ее импульс. Существует ли импульс «сам по себе» — это, скорее, метафизический, а не физический вопрос. Физика не может ответить на него, и более того, она указывает обстоятельства, по причине которых на этот вопрос следовало бы дать отрицательный ответ.

В этом споре (Эйнштейна и Бора) совершенно отчетливо столкнулись не только физические представления, но и физика и философия. Философская картина мира у Эйнштейна во многом определялась достижениями классической физики и философии (хотя и не всей философии, ибо, например, еще Эпикур предполагал возможность «свободы воли», а точнее — объективную случайность, на уровне микромира). Бор же, по-видимому, осознал, что картина мира классической науки ограничена не только рамками классических физических представлений, но и участвовавшими в их создании специфически человеческими возможностями познания.

Парадокс № 8. Неравенства Белла. Вопрос о возможности экспериментальной проверки философских посылок классической физической картины мира в плане их при-

менимости к познанию микромира был поставлен и в определенной мере решен американским физиком Дж. Беллом². Белл задался целью выяснить, можно ли дополнить квантовую механику «скрытыми параметрами» так, чтобы она воспротивилась этому дополнению. И это ему удалось. Исходя из некоторых простых алгебраических манипуляций с корреляционными функциями, он вывел ряд неравенств. Корреляционной функцией является величина следующего вида: $\int A(a, \lambda)B(b, \lambda)\rho(\lambda)d\lambda$, где A обозначает результат измерения одного из детекторов, например, в опыте Мермина, B — результат измерения другого детектора из этого опыта, a — ориентацию прибора, измеряющего величину A , b — ориентацию прибора, измеряющего величину B , λ — «скрытый параметр», или «инструкцию», задаваемую в центральном ящике-излучателе, а $\rho(\lambda)$ — распределение таких «инструкций» по всей совокупности результатов измерений. Оказалось, что неравенства Белла, связывающие между собой различные корреляционные функции для разных компонентов спинов, нарушаются, если вычисления этих функций производить по правилам квантовой механики. Чтобы это могло значить?

Может быть, квантовая механика нарушает алгебраические законы? Это так, и мы знаем это из парадокса № 4. Но почему она нарушает эти законы? Может быть, она просто неверная теория? Если последнее предположение справедливо, оно должно подтверждаться экспериментами. Анализ неравенств Белла указывает возможности для их экспериментальной проверки. И эти проверки не подтвердили следствия, вытекающие из анализа неравенств Белла, т. е. свидетельствовали в пользу квантовой механики. Таким образом, опять выдвигается на первый план парадоксальное лицо квантовой физики.

Примечания

Предисловие

1. Фейнман Р. Характер физических законов. М., 1987. С. 117.
2. Ф. Энгельс утверждал, что «с каждым составляющим эпоху открытием даже в естественноисторической области материализм неизбежно должен изменять свою форму» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 21. С. 286), а В. И. Ленин подчеркивал, что «могущественный ток к обществуведению от естествознания шел, как известно, не только в эпоху Петти, но и в эпоху Маркса. Этот ток не менее, если не более, могущественным остался и для XX века» (Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 20. С. 128).

Глава 1

1. Цит. по: Einstein on peace. N. Y., 1960. P. 634.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М., 1976. Вып. 1, 2. С. 23—24.
3. См.: Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. М., 1987. Гл. 1.
4. Э. Мах считал, что атом — это «средство, помогающее изображению явлений, и служит тем, чем служат математические функции» (Мах Э. Научно-популярные очерки. М., 1901. Вып. 1. С. 43).
5. «Трудно, в известной мере как бы на ощупь, через борьбу противоположностей,— пишет М. С. Горбачев,— складывается противоречивый, многообразный в социальном и политическом отношении, но взаимосвязанный, во многом целостный мир» (Горбачев М. С. Перестройка и новое мышление для нашей страны и для всего мира. М., 1987. С. 139). Надо отметить, что мысль о том, что «все мы пассажиры одного корабля — Земли» (Там же. С. 7), о неделимости общей безопасности, которая «может быть только равной для всех или же ее не будет вовсе» (Там же. С. 145), о признании жизненной необходимости «приоритета общечеловеческого как главного императива эпохи» (Там же. С. 149), о том, что «все человечество находится в одной лодке и потонуть или выплыть можно только вместе» (Там же), является как бы лейтмотивом содержания цитируемой книги.
6. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 13. С. 43.
7. И уж, наверно, наиболее далеко идущим гуманистическим взглядом является убеждение в том, что человек ответствен не только за свою судьбу, но и за судьбу Вселенной.
8. Бунге М. Философия физики. М., 1975. С. 34.
9. Там же. С. 41.

Глава 2

1. Гегель Г. В. Ф. Энциклопедия философских наук. М., 1977. Т. 3. С. 334.

2. Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 18. С. 367.
3. Там же. С. 131.
4. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 3. С. 2.
5. Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 29. С. 330.
6. Марков М. А. О природе материи. М., 1976. С. 43, 46.
7. Подробнее см., напр.: Фок В. А. Квантовая физика и классические идеализации // Дialeктика и современное естествознание. М., 1970. С. 122—145.
8. Алексеев И. С. Концепция дополнительности. М., 1978. С. 139.
9. Пахомов Б. Я. Об относительности свойств микрообъектов к виду взаимодействия // Дialeктика и современное естествознание. С. 404—405.
10. Эйнштейн А. Собр. науч. трудов: В 4 т. М., 1966. Т. 3. С. 604.
11. Там же. М., 1967. Т. 4. С. 302.
12. Кант И. Соч.: В 6 т. М., 1964. Т. 3. С. 154—155.
13. Эйнштейн А. Собр. науч. трудов. Т. 4. С. 204.
14. Чудинов Э. М. Природа научной истины. М., 1977. С. 229, 228.
15. «Если мы хотим сравнить результаты современной физики частиц с идеями любого из старых философов,— писал В. Гейзенберг,— то философия Платона представляется наиболее адекватной: частицы современной физики являются представлениями групп симметрии, и в этом отношении они напоминают симметричные фигуры платоновской философии» (Гейзенберг В. Природа элементарных частиц // Успехи физ. наук. М., 1977. Т. 121, вып. 4. С. 665).
16. Zwart P. J. About time: A philos. inquiry into the origin a. nature of time. Amsterdam etc., 1976. P. 105, 104.
17. См.: Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. М., 1987.
18. Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 29. С. 190.
19. Специфическое понятие реальности, возникающее с учетом деятельности познающего субъекта, оказывается полезным не только в физике, но и в биологии. Так, И. Т. Фролов пишет о «своеобразной биологической реальности, связанной с деятельностью познающего субъекта, с особенностями деформирующего воздействия эксперимента на объективную реальность живого (в том смысле, как это понимал Н. Бор с его известным принципом дополнительности)» (Фролов И. Т. На пути к новой науке о жизни // Природа. М., 1973. № 9. С. 23—24).
20. Вообще говоря, эквивалентность следует отличать от тождества, например, как эмпирически неразличимое от логически неразличимого; см. в этой связи: Вазанов В. А., Новоселов М. М. Логика познания и логика абстракций в аспекте интервальной семантики // Логика научного познания: Актуальные проблемы. М., 1987. С. 208—230.
21. Цит. по: Heisenberg W. Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreis der Atomphysik. München, 1969. S. 192.
22. Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 29. С. 183.
23. Мицкевич Н. В. Парадоксы пространства-времени в современной космологии // Астрономия. Методология. Мирозозрение. М., 1979. С. 167.

Глава 3

1. Антология мировой философии: В 4 т. М., 1970. Т. 2. С. 274—275.
2. Там же. С. 507, 509.

3. Цит. по: *Гейзенберг В.* Квантовая механика и беседа с Эйнштейном // *Природа*. 1972. № 5. С. 87.
4. *Борн М.* Физика в жизни моего поколения. М., 1963. С. 163.
5. См.: Там же. С. 158. Применительно к континууму вопрос о наблюдаемости и даже физичности, поднятый М. Борном (и А. Пуанкаре), проявляет свою сложность и сейчас. Вот что мы можем прочесть, например, в «маленькой», по весьма содержательной энциклопедии «Физика микромира» по поводу трудностей метода теории возмущений в современной квантовой теории поля: «Трудности решения уравнений квантовой теории поля порождают не только „технические проблемы“. Метод решения в значительной мере определяет те физические образы, с которыми оперирует теория (выделено нами.— А. П.). Что такое, например, „математические“ частицы и процедура их „облачения“, о которой говорилось выше? (Речь идет о пространственной или, точнее, энергетической структуре элементарных частиц — так пазываемой их „шубе“, состоящей из виртуальных частиц.— А. П.) Но в природе нет никаких „математических“ частиц, все частицы — „физические“, и их должна описывать теория» (*Физика микромира: Маленькая энциклопедия*. М., 1980. С. 94).
6. *Марков М. А.* О природе материи. М., 1976. С. 59.
7. Там же.
8. *Марков М. А.* Современные проблемы общей теории относительности // *Эйнштейн и философские проблемы физики XX в.* М., 1979. С. 272.
9. «Никакие измеримые физические величины,— пишут В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц и Л. П. Питаевский,— не должны меняться при калибровочном преобразовании волновых функций фотонов, участвующих в процессе. Это требование калибровочной инвариантности играет в квантовой электродинамике даже ббльшую роль, чем в классической теории... Оно является здесь, наряду с требованием релятивистской инвариантности, мощным эвристическим принципом» (*Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П.* Релятивистская квантовая теория. М., 1968. Ч. 1. С. 27—28).

Глава 4

1. *Ленин В. И.* Полн. собр. соч. Т. 29. С. 97.
2. Возможно, это обстоятельство в какой-то мере ответственно за возникновение в конце 80-х годов прошлого века «энергетики» Г. Гельма и В. Оствальда (которая одно время конкурировала с молекулярно-кинетической концепцией Л. Больцмана), а также за упорное отрицание физической реальности атомов таким крупнейшим физиком, как Э. Мах.
3. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Статистическая физика. М., 1964. С. 13.
4. Там же. С. 17.
5. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. М., 1976. Вып. 3/4. С. 259.
6. Обоснование объективности случайности и вероятностных представлений в рамках классической статистики можно найти в работах советских философов А. С. Кравца, В. И. Купцова, Ю. В. Сачкова.
Цит. по: *Сачков Ю. В.* Вопросы обоснования вероятностных

- методов исследования в физике // Эйнштейн и философские проблемы XX в. М., 1979. С. 444.
8. *Band W., Park J. L.* New information-theoretic foundations for quantum statistics // *Found. of physics*. N. Y.; L., 1976. Vol. 6, N 3. P. 255. Вместе с тем эти авторы, развивая теоретико-информационное обобщение квантовой статистики, допускают использование в квантовой физике и «субъективной» вероятности в тех случаях, когда неизвестна необходимая совокупность данных для вычисления средних значений наблюдаемых величин в «квантовом ансамбле»; в этих случаях невозможно определить состояние квантовой системы точно, исходя из квантовомеханических законов.
 9. *Bub J., Pitowsky I.* Critical notice // *Canadian j. of philosophy*. Edmonton, 1985. Vol. 15, N 3. P. 550.
 10. *Фейнман Р., Хибс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. М., 1968. С. 13.
 11. *Поппер К. Р.* Логика и рост научного знания. М., 1983. С. 418.
 12. Эта стохастичность порождала споры. Одни физики (например, Д. И. Блохинцев), действительно, связывали ее с «ансамблями», другие (например, В. А. Фок) — с индивидуальными квантовыми объектами. Существуют и иные точки зрения (например, Д. Бома или Л. де Бройля), которые различным образом объясняют стохастичность «скрытыми параметрами». По сути дела, в этих спорах (не обязательно явно) выяснялся и более общий (не обязательно связанный с квантовой физикой) вопрос: как можно приписывать вероятность отдельным объектам, состояниям, событиям, не обосновывая это приписывание статистически? На такую возможность указывает квантовая физика, поэтому выше мы и закавычили слово «ансамбль», используя его в отношении «чистых» квантовых состояний.
 13. *Мякишев Г. Я.* Общая структура фундаментальных физических теорий и понятие состояния // *Физическая теория*. М., 1980. С. 423, 437—438.
 14. *Борн М.* Атомная физика. М., 1965. С. 125—126.
 15. *Эйнштейн А.* Собр. науч. тр.: В 4 т. М., 1966. Т. 3. С. 605.
 16. О неравенствах Белла см., напр.: *Вигнер Е.* Этюды о симметрии. М., 1970. С. 297—302.
 17. См.: *Ленин В. И.* Полн. собр. соч. Т. 29. С. 143.
 18. Советский энциклопедический словарь. М., 1985. С. 965.
 19. The basic experiments in parapsychology // *Comp. a. ed.* by Rao K. R.—Jefferson (N. C.); L., 1984. P. 1.

Глава 5

1. *Аристотель.* Соч.: В 4 т. М., 1981. Т. 3. С. 184.
2. *Пенроуз Р.* Структура пространства и времени. М., 1972. С. 11.
3. *Trautman A.* Theory of gravitation // *The physicist's conception of nature*. Dordrecht; Boston, 1973. P. 183.
4. *Ehlers J.* The nature and structure of space-time // *The physicist's conception of nature*. Dordrecht; Boston, 1973. P. 89.
5. *Ленин В. И.* Полн. собр. соч. Т. 29. С. 231.
6. Подробное рассмотрение таких моделей проводится в уникальной книге: *Вальцев А. П.* Дискретное пространство-время. М., 1965.
7. *Кант И.* Соч.: В 6 т. М., 1964. Т. 2. С. 300.
8. Философское обоснование связи идей дискретности простран-

ства и времени с идеей иерархии физических взаимодействий см. в работах Р. А. Аронова. Это обоснование конкретизирует высказанное Ф. Энгельсом философское положение об «узловых точках материи».

9. Марков М. А. О природе материи. М., 1976. С. 39—40.
10. Подробнее см.: Ахундов М. Д. Концепции пространства и времени: Итоги, эволюция, перспективы. М., 1982. Гл. 3, § 2.

Глава 6

1. Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 18. С. 259.
2. Там же. Т. 29. С. 198.
3. Bub J. On the completeness of quantum mechanics // Contemporary research in the foundations and philosophy of quantum theory. Dordrecht; Boston, 1973. P. 52, 53.
4. Подчеркнем, что Х. Рейхенбах обратил внимание на определенную взаимосвязь логики и причинного объяснения: сохранение основ классического причинного объяснения требует введения особой, трехзначной логики, и, напротив, сохранение обычной двухзначной логики требует изменения причинного объяснения путем изменения топологии квантовофизической реальности. Эта взаимосвязь логики и топологии получила дальнейшую разработку в ряде работ современных логиков и математиков. См. в этой связи: Акчурин И. А. Новые подходы к гносеологическому анализу оснований квантовой теории // Теория познания и современная физика. М., 1984. С. 293—306.
5. Fraassen B. C. van. Labyrinth of quantum logic // Logical and epistemological studies in contemporary physics. Dordrecht; Boston, 1974. P. 243.
6. Бор Н. Избр. науч. тр. М., 1971. Т. 2. С. 528.
7. Ломсадзе Ю. М. Экспликационная аксиоматика квантовой теории // Логические и философские проблемы квантовой теории. Орджоникидзе, 1981. С. 17.
8. Bunge M. Treatise on basic philosophy. Dordrecht etc., 1985. Vol. 7. Pt 1. P. 190.
9. Зайцев Г. А. Алгебраическая структура физики // Физическая теория. М., 1980. С. 219. У Г. А. Зайцева, правда, речь идет не о логико-алгебраическом, а просто об алгебраическом подходе. Однако, как мы увидим далее, алгебры наблюдаемых величин и логики высказываний физических теорий тесно между собой связаны.
10. Bub J., Demopoulos W. The interpretation of quantum mechanics // Logical and epistemological studies in contemporary physics. P. 120.
11. См.: Weizsäcker C. F. von. The preconditions of experience and unity of physics // Transcendental argument and science. Dordrecht; Boston, 1979. P. 123—158.
12. См.: Heelan P. A. Quantum logic and classical logic // Logical and epistemological studies in contemporary physics. P. 318—349.
13. Пуанкаре А. О науке. М., 1983. С. 29.
14. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1986. С. 282.

Глава 7

1. Бор Н. Избр. науч. тр. М., 1971. Т. 2. С. 58.
2. Там же.
3. Там же. С. 406.

4. Н. Бор утверждал: «...описание экспериментальной установки и результатов наблюдений должно производиться на понятном языке, надлежащим образом усовершенствованном путем применения обычной физической терминологии. Это есть просто требование логики, так как под словом „эксперимент“ мы можем разуметь единственно только процедуру, о которой мы можем сообщить другим, что нами проделано и что мы узнали» (Там же. С. 528).
5. *Heisenberg W.* Remarks on the origin of the relations of uncertainty // *The uncertainty principle and foundations of quantum mechanics*. L., 1977. P. 6.
6. *Weizsäcker C. F. von.* Classical and quantum descriptions // *The physicist's conception of nature*. Dordrecht; Boston, 1973. P. 636.
7. *Ibid.*
8. *Dilthey W.* Der Aufbau der geschichtlichen Welt in der Geisteswissenschaften. 5. Auflage. Stuttgart, 1968. S. 82. Дильтея уточнял И. К. Дроузен, который писал следующее: «По объектам и природе человеческих мыслей имеются три возможных научных метода: (философски или теологически) спекулятивный, физико-математический, исторический. Их сущность: познавать, объяснять, понимать» (цит. по: *Apel K. O.* Das «Verstehen» // *Archiv für Begriffsgeschichte*. Bonn, 1955. Bd. 1. S. 172—173).
9. *Heisenberg W.* Tradition in science // *The nature of scientific discovery*. Wash., 1975. P. 219—220.
10. *Mackinnon E. H.* Scientific explanation and atomic physics. Chicago; L., 1982. P. 324, 338.
11. Бор Н. Избр. науч. тр. Т. 2. С. 528.
12. Эйнштейн А. Собр. науч. тр. М., 1967. Т. 4. С. 185—186.
13. Там же. М., 1966. Т. 3. С. 626.
14. Там же.
15. В 1962 г. А. Эйнштейн писал по этому поводу следующее: «Эвклидова геометрия, как и геометрия вообще, сохраняет характер математической науки, так как вывод ее теорем из аксиом по-прежнему остается чисто логической задачей, но в то же время она становится и физической наукой, так как ее аксиомы содержат в себе утверждения относительно объектов природы, справедливость которых может быть доказана только опытом. Однако мы должны постоянно помнить, что та идеализация, которая состоит в утверждении, что в природе действительно существуют неизменяемые масштабы, может оказаться либо совсем неприменимой, либо оправдываемой только по отношению к некоторым определенным явлениям природы. Общая теория относительности уже доказала неприменимость этого понятия ко всем областям, размеры которых не могут считаться малыми с точки зрения астрономии. Быть может, теория квант будет в состоянии показать неприменимость этого понятия на расстояниях порядка размеров атома» (Там же. М., 1966. Т. 2. С. 184).
16. Бор Н. Избр. науч. тр. Т. 2. С. 406—407. Д. Бом считает возможным обобщить этот тезис Н. Бора. «...Ее (т. е. Вселенную. — А. П.), — пишет он, — следует рассматривать как неделимую единицу, а представление об ее отдельных частях может быть хорошим приближением только в классическом пределе. Этот вывод основан на тех же предположениях, которые привели к принципу дополнительности. Именно, что свойства материи представляют собой неточно определенные и противоположные

возможности, которые могут быть полностью реализованы только при взаимодействии с другими системами... Поэтому в микромасштабах объект не имеет каких-то «внутренних» свойств (например, волна или частица), принадлежащих только ему одному; он делится всеми своими свойствами взаимно и органически с системой, с которой он взаимодействует» (Бом Д. Квантовая теория. М., 1965. С. 196).

17. См.: Nagel E. Theory and observation // Observation and theory in science. Baltimore; L., 1971. P. 15—43.
18. Указанное различие было подсказано идеями работы Э. М. Чудинова «Природа научной истины» (М., 1977. С. 106 и далее), в которой проводится различие между интерпретирующей и подтверждаемой теориями в контексте исследования проблематики подтверждения научных теорий.

Приложение

1. Шредингер Э. Новые пути в физике. М., 1971. С. 78—79.
2. Bell J. S. On the Einstein — Podolsky — Rosen paradox // Physics. N. Y., 1964. Vol. 1. N 3.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. О взаимосвязи философии и физики	5
Глава 2. Реальность как научное понятие	24
Глава 3. Реальность и наблюдаемость	50
Глава 4. Причинность, состояние, вероятность	71
Глава 5. Пространство и время в микромире	102
Глава 6. Логика и физика	125
Глава 7. Квантовая теория и классическая физика	148
Заключение: философия, физика и человек	168
Приложение: парадоксы физики микромира	176
Примечания	186

·НАУКА·

Эта книга посвящена теме единства мира, прежде всего единства человеческого знания о мире, изучаемом физикой. Раскрывая эту тему, автор руководствовался соображением, что такое единство является выражением реальной диалектической взаимосвязи человека со Вселенной, частью которой он является.