

500+53

**ФИЛОСОФСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ ЭЙНШТЕЙНА,
ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ЕГО ФИЗИЧЕСКИМИ ВЗГЛЯДАМИ****С. Г. Суворов****I**

1. Введение. Десять лет прошло со дня смерти Эйнштейна, а его личность, его взгляды, его вклад в науку, его толкование эволюции физики все еще остаются и еще долго будут оставаться предметом размышлений и споров физиков и философов, ученых и литераторов, друзей и недругов.

Его изумительные классические работы по теории относительности, по квантовой физике, по статистической физике появились почти одновременно в начале нашего века, в дни его молодости.

С тех пор прошло уже шесть десятков лет. Многое в физике получило свою определенность и может быть точно взвешено на весах истории. Но и теперь еще представляется удивительным, что исходные идеи Эйнштейна, появившиеся в годы переоценки накопленных в физике ценностей, оказались столь глубокими, охватили основные теоретические проблемы физики, показали жизненность и значительность в деле познания природы и уже в наше время легли в основу расцвета новой техники.

Оглядываясь теперь на научный путь Эйнштейна, мы видим грандиозную картину. Движение его ума было мощным как горный поток, который прорвал завал, а из-за накопившегося избытка водной массы стал разливаться в долине сразу по всем низинам, пока вскоре не образовался определенный стрежень, по которому и двинулась вся его энергия в сторону бесконечно далекого моря, никуда не сворачивая со своего пути.

Но не только прямые результаты труда Эйнштейна привлекают к нему внимание. Удивительна и его судьба, в которой проявились цельность и целеустремленность его натуры, но одновременно сфокусировалось много драматических коллизий.

Одна из них вытекала из расхождения взглядов Эйнштейна со взглядами большинства физиков на дальнейшие пути развития физики и пути познания природы. Речь идет о расхождении со взглядами не тех ученых, которые не поняли необходимости идти вперед от классических представлений и не приняли новых идей Эйнштейна, развитых в теории относительности; расхождение и даже столкновение с консервативными взглядами естественно и не представляет собой ничего необычного. Нет, здесь речь идет о расхождении с теми физиками, которые осознали необходимость крутого поворота от старых метафизических представлений, которые признали в Эйнштейне руководителя современной теоретической физики, давшего мощный стимул ее широкому развитию, включая квантовые идеи и квантовую статистику.

Чтобы драматичность и масштаб этой коллизии стали яснее, ниже мы остановимся на том значении, которое Эйнштейн имел для физики в острый, критический период ее отхода от классических методов познания, и затем попытаемся проанализировать те основания, которые привели к этой коллизии.

2. Вклад Эйнштейна в современную физику. Эйнштейн вступил на арену научной деятельности в самом начале XX века, в знаменательный и переломный для физики период. В истории физики этот период характеризуется не только известными открытиями электрона, радиоактивности, развитием кинетической теории газов, спектральных методов и т. п., но и мощным подъемом теоретической мысли. Среди физических теорий, наряду с термодинамикой, получила огромное значение теория электромагнитного поля Максвелла.

Совсем незадолго до того далекую от наглядных представлений теорию Максвелла многие физики встречали с явным скепсисом. Однако к началу XX века эта теория, казавшаяся крайне абстрактной и непонятной, уже показала глубокую связь с реальным миром, с техникой. Ее реальная познавательная ценность выразилась в подтверждении существования предсказанных ею электромагнитных волн (Г. Герц, 1887), в быстром развитии на этой основе радиотехники (А. Попов, 1895), в объединении всех электромагнитных излучений в единую по своей природе шкалу, включая в нее и свет, в раскрытии связи электромагнитных и оптических свойств вещества. В студенческие годы Эйнштейна теория Максвелла уже стала проникать в учебные планы европейских университетов.

Но в этот же период были обнаружены и существенные затруднения теории. Они были связаны с необходимостью применить электродинамику к движущимся заряженным телам. Этой проблемой занимались выдающиеся физики того времени — Лоренц, Пуанкаре, Абрагам, Ланжевен и другие. Занимала эта проблема и молодого Эйнштейна.

Трудности возникали в связи с тем, что теория Максвелла описывала взаимодействие проводника и магнита так, что различались два случая взаимодействия: первый — когда проводник покоится, а магнит движется, и второй — когда ситуация обратная. В случае, когда движется магнит, картина представлялась такой: силовые линии возникающего при движении магнита электрического поля пересекают проводник и возбуждают в нем ток. Когда же магнит покоится, а движется проводник, то, с точки зрения теории Максвелла, электрическое поле не возникает, но в проводнике появляется электродвижущая сила, вызывающая точно такой же эффект. Таким образом, теория Максвелла рассматривала эти два случая как разные, хотя они и не отличаются по их проявлениям.

Это обстоятельство, подмеченное Эйнштейном, было characterized им как несимметричность формы теории в отношении обоих случаев. Тем самым теория неявным образом допускала наличие в природе одной-единственной системы отсчета, по отношению к которой можно установить, что покоится, а что движется. Несимметричность формы теории была неадекватна самому явлению. В самом деле, известно, что для возбуждения тока в проводнике существенно перемещение магнита и проводника лишь *относительно друг друга*.

Это означало, что и электродинамическую теорию следует формулировать так, чтобы ее уравнения были справедливыми для любых систем отсчета, для которых справедливы также и уравнения механики.

Наряду с этим надо учесть и установленный экспериментально факт независимости скорости передачи электромагнитного сигнала (скорости света) от движения его источника.

Именно эти теоретические проблемы и рассматривает Эйнштейн в своей знаменитой работе «К электродинамике движущихся тел» (1905), в которой развиты основы теории относительности. Теория привела к формулировке условий инвариантности электродинамических законов в инерциальных системах. Эти условия состоят в том, что физические величины, которые ранее считались инвариантными (расстояние, время, масса, магнитная и электрическая напряженности и пр.), в действительности оказываются относительными: при переходе к новой инерциальной системе они преобразуются по определенному закону, зависящему от относительной скорости движения системы.

Физическое и принципиальное значение теории относительности огромно. Пожалуй, до того ни одна теория еще не приносила столько новых обобщающих идей. Здесь мы только напомним о важнейших из них.

Оказалось несостоятельным метафизическое представление о наличии абсолютной системы отсчета, абсолютном пространстве и времени. Потерпела крах идея о мировой среде — эфире — специфическом носителе электромагнитных процессов, физические свойства которого физики тщетно пытались определить в XIX веке. Выявилась необоснованность трактовки ряда свойств тел как абсолютных, не зависящих от состояния движения их. Установлена связь массы и энергии.

Теория относительности положила начало представлению о пространственно-временном континууме, физические свойства (метрика) которого определяются находящимися в нем массами. Развивая эти идеи, Эйнштейн создал обобщенную теорию тяготения, показав, что поля тяготения естественно включаются в континуум через изменение его метрики. Теория тяготения Эйнштейна привела к предсказанию новых физических явлений, о чем будет подробнее сказано ниже.

Зародившись как абстрактная теория, которая должна была разрешить теоретические трудности, возникшие в электродинамике движущихся тел, теория относительности в наше время вошла в практику атомных исследований. Без учета ее выводов нельзя конструировать современные ускорители элементарных частиц, невозможно производить расчеты ядерных реакций. Однако это еще не все.

Теория относительности наложила глубокий отпечаток на все другие, настоящие и будущие, физические теории: в предельной области высоких скоростей они должны отвечать ее формальным требованиям. Поэтому наряду с обычной квантовой механикой возникает *релятивистская* квантовая механика, наряду с классической космологией — *релятивистская* космология и т. д.

Теория относительности оказала огромное влияние на самое мышление физиков. Она показала фундаментальную роль обобщения и обобщающих наук. Вместе с нею в физике появился дух новаторства, смело ломающий застывшие взгляды на физические понятия, всегда требующий обобщенного подхода к физическим явлениям.

Но вклад Эйнштейна в физику не ограничивается созданием теории относительности и обобщенной теории тяготения, вместе со всеми обновляющими идеями, которые они несли. Его заслуги огромны и в других областях физики, в которых надо было прокладывать первые тропы. О важнейших из них необходимо здесь рассказать, и не только потому, что они меньше известны широким кругам, но и ввиду особой отрицательной позиции, какая выявилась у Эйнштейна позднее по отношению к тем направлениям в физике, мощный импульс к развитию которых он сам же дал.

Здесь надо прежде всего указать на преобразование, которое Эйнштейн произвел во взглядах на природу света.

Известно, что Планк, проанализировав условия, при которых так называемое излучение абсолютно черного тела должно находиться в равновесном состоянии, установил (1900) связь энергии ϵ и частоты ν света: $\epsilon = h\nu$, где $h = 2\pi\hbar$ — планковская постоянная, равная $6,63 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек. Наличие такой связи удивляло физиков, поскольку она была необычной в аспекте классической физики, согласно которой энергия волны связана с ее амплитудой, а не с частотой.

Но в первые годы эту связь еще не трактовали глубоко. По свидетельству Макса Борна, ее считали своеобразной гипотезой, пригодной лишь для данного случая. Экспериментаторы не проявляли к ней интереса, считая ее «инструментом теоретиков», полезным лишь для того, чтобы свести концы с концами в каком-то сугубо теоретическом вопросе о распределении энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Теоретики эта странная связь энергии и частоты беспокоила: вместе с нею появилась идея о квантованности энергии, но никто не знал, как это понимать. Теоретики не шли далее того, чтобы представить себе механизм, посредством которого осциллятор может испускать и поглощать только определенные порции энергии. Особенные затруднения испытывались при отыскании механизма поглощения, поскольку все еще исходили из представления, что энергия на осциллятор падает непрерывно: по-видимому, каким-то образом она должна накапливаться, прежде чем быть поглощенной. Никто из физиков, в том числе и сам Планк, не подозревал, что из открытия обобщенной формулы излучения абсолютно черного тела могут последовать революционные идеи, которые раскроют перед физикой совершенно новые горизонты.

Решающий шаг сделал Эйнштейн. Он первый осознал основополагающее значение квантовых идей *) и стал рассматривать ряд известных к тому времени затруднений классической физики в свете квантовых представлений.

Одно из таких затруднений представляло явление фотоэлектрического тока (фотоэффект). Фотоэффект был открыт еще Генрихом Герцем, Гальваксом и другими физиками в восьмидесятых годах прошлого века и тогда же был обстоятельно исследован А. Г. Столетовым. Как известно, этот эффект состоит в том, что лучи света, падая на металлическую пластинку, вырывают из нее поток электронов, создающий ток в замкнутом контуре. Столетов нашел закономерную связь фототока со светом, его вызывающим. Оказалось, что сила фототока зависит не от яркости возбуждающего света, как ожидалось в соответствии с законами классической физики, а от цветности падающих лучей, иначе говоря, от частоты падающего на пластинку излучения. Эту закономерность невозможно было объяснить по законам классической физики. Фотоэффект противоречил этим законам. В течение почти двух десятилетий он оставался загадочным явлением.

Эйнштейн рассмотрел теперь это явление в свете квантовых представлений и нашел, что оно получает простое и непротиворечивое объяснение, если предположить, что сам световой поток представляет собой поток квантов (фотонов), несущих энергию, пропорциональную частоте: $\epsilon = h\nu$, как это и соответствует планковскому кванту энергии. Тогда ясно, что энергия, переданная квантом света свободному электрону пластинки, будет зависеть не от яркости света, а именно от его частоты. Найденное ранее Планком соотношение получило в работах Эйнштейна ясный смысл: взаимодействие света с веществом, в процессе которого вещество поглощает или испускает квант энергии, определяется *квантовой струк-*

*) У Эйнштейна были к этому свои основания, о которых будет сказано ниже.

турой самого света, тем, что сам световой поток состоит из потока световых квантов. При этом объяснении отпадает необходимость придумывать для атома специальный механизм, регулирующий испускание и поглощение световой энергии квантами: сама световая энергия прерывна.

В той же работе — «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света» (1905) — Эйнштейн применил квантовые идеи для объяснения правила смещения Стокса в люминесценции, а также к фотоионизации газа; он показал, что во всех подобных явлениях происходит превращение кинетической энергии электрона в световой квант или наоборот. При этом во всех процессах взаимосвязи электронов и света передаваемая энергия излучения пропорциональна частоте и планковской постоянной h . Это уже легко было проверить экспериментально.

Вслед за квантовым объяснением фотоэффекта, явлений люминесценции, ионизации газа Эйнштейн рассмотрел и еще одну загадку, которая не находила решения в аспекте классической физики. Речь идет о теплоемкости твердых тел при низких температурах. Согласно классической физике, на каждую степень свободы сложной физической системы приходится одинаковая доля энергии из находящейся в системе. Зная число степеней свободы физической системы, можно было рассчитать удельную теплоемкость любого вещества; она не должна была зависеть от температуры вещества (закон Дюлонга и Пти). Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы подтверждался экспериментами для доступных в то время не слишком низких температур; это доказывало, что расчеты классической физики имели определенное обоснование. Казалось, что этот закон раскрывает простой и наглядный механизм распределения энергии внутри физической системы и потому является незыблемым. Однако к этому времени уже выяснилось, что при температурах, приближающихся к абсолютному нулю, теплоемкость становится меньше теоретически вычисленной; это отступление становится резким для кристаллических тел, особенно таких, как алмаз. Классическая физика не могла дать объяснения этому факту. И опять для объяснения этой закономерности Эйнштейн применил к внутриатомным и молекулярным связям идею об их квантовой природе. Работы эти были вслед за тем успешно продолжены и углублены Дебаем, Борном, Карманом и другими.

Мы видим, что Эйнштейн чрезвычайно расширил применение квантовых идей, показав их определяющую роль в атомной физике. Тем самым он дал мощный побуждающий толчок многочисленным исследованиям физиков в этом направлении. Становилось ясным, что в свете новых идей должны быть проанализированы и все уже известные физикам трудности, и все вновь открываемые явления. Новые идеи становились генеральной линией развития физики.

Следует подчеркнуть, что для исследований Эйнштейна этих лет характерна одна черта: глубокая связь новых теоретических идей с экспериментом. Сугубо абстрактные методы и гипотезы он применял к практическим проблемам, которые волновали физиков, и сразу вносил в них ясность; при этом он доводил свои теоретические рассуждения до формы, в которой их легко можно было проверить экспериментально. Поэтому вслед за исследованиями Эйнштейна стали появляться в большом числе экспериментальные работы по самым различным проблемам атомной физики. Эти работы неизменно подтверждали его выводы. Они показали, что гипотеза квантов, которая до Эйнштейна рассматривалась только как удобный прием для расчетов в теории излучения абсолютно черного тела, на самом деле есть открытие новой стороны физических

процессов и что на всю атомную физику надо смотреть теперь только с позиций квантовой гипотезы.

До применения квантовых идей непосредственно к атомной структуре физика дошла позднее, в начале второго десятилетия, после знаменитых экспериментальных исследований Резерфорда, вскрывших ядерную структуру атома, и на их основе. В этих исследованиях принимал близкое участие и Нильс Бор, работавший в то время (1912) в группе Резерфорда в Манчестере. Ему принадлежит честь создания первой модели квантованного атома.

Эйнштейн в этот период был полностью поглощен разработкой теории тяготения и участия в исследованиях структуры атома не принимал. Но кто может отрицать, что мощным импульсом, побуждавшим Нильса Бора, было также влияние идей Эйнштейна, убедительно показавшего решающую роль квантовых связей во всей атомной физике? Сам Бор в «Воспоминаниях о Резерфорде...» (1961) писал об истории своих работ: «Это открытие (кванта действия. — С. С.), в особенности в работах Эйнштейна, нашло весьма перспективные приложения в теории теплоемкостей и фотохимических реакций. Поэтому совершенно независимо от новых экспериментальных данных, касающихся строения атома, существовало широко распространенное убеждение в том, что квантовые представления могут иметь решающее значение для всей проблемы атомного строения вещества»). Это убеждение как раз и возникло под влиянием работ Эйнштейна. О широкой распространенности такого убеждения говорит и тот, упоминаемый Бором факт, что попытки применить квантовые идеи к структуре атома предпринимались в то время многими физиками (А. Гааз, Дж. Никольсон, Н. Бьеррум и другие).

Конечно, нельзя сказать, что среди физиков было сразу достигнуто полное единодушие. Были и скептики, и среди них крупные физики — Нернст, Рубенс, Варбург и даже Планк.

Но физика неумолимо развивалась, и шествие квантовых идей уже нельзя было остановить, особенно после успешного их применения к объяснению структуры атомов. А после открытия эффекта Комптона (1923), доказавшего наличие у фотонов импульса, окончательно утвердилась и фотонная гипотеза света.

Но Эйнштейн положил начало не только широкому «квантовому мышлению», он показал также огромные возможности статистических методов физики.

Несколько позднее, чем Гиббс, но, по-видимому, независимо от него Эйнштейн разработал общие методы статистической механики и, что особенно существенно, в форме, которая позволила сразу же приложить их к анализу броуновского движения — хаотического движения мельчайших, видимых в микроскоп частиц, взвешенных в жидкости. На рубеже XX века было высказано немало различных гипотез о причинах движения броуновских частиц. Одна из гипотез состояла в утверждении, что такой причиной является тепловое движение ненаблюдаемых молекул жидкости, которые со всех сторон толкают взвешенную частицу; равнодействующая всех получаемых частицей импульсов не равна нулю, а постоянно и хаотически изменяется вследствие непрерывного хаотического изменения отдельных импульсов. Задача состояла в том, чтобы отыскать связи наблюдаемых величин с ненаблюдаемыми и тем самым обосновать причину процесса. Эйнштейн показал статистический характер этой связи; таким путем он рассчитал размер молекул жидкости, число их в грамм-молекуле и другие параметры. Расчеты Эйнштейна

*) Здесь и повсюду в последующем, если нет оговорок, курсив принадлежит мне.

нашли свое подтверждение. Тем самым он поднял кинетическую теорию вещества с уровня возможной гипотезы до уровня физической, доступной проверке теории.

Выводы из этих статистических работ Эйнштейна имели также существенное методологическое значение. «Я думаю,— справедливо пишет Макс Борн в статье «Статистические теории Эйнштейна» (1949),— что эти исследования Эйнштейна больше, чем все другие работы, убеждают физиков в реальности атомов и молекул, в справедливости теории теплоты и фундаментальной роли вероятности в законах природы». Не лишне напомнить, что это было время (1902—1906), когда некоторые физики отрицали реальность атомов просто потому, что они непосредственно ненаблюдаемы, не даны в ощущениях. Вспоминая об этих своих работах в автобиографии (1948), Эйнштейн сам утверждает: «При этом главной моей целью было найти такие факты, которые возможно надежнее устанавливали бы существование атомов определенной конечной величины». И действительно, он вправе был заключить: «Согласие этих выводов (касающихся определения параметров атомов.— С. С.) с опытом, а также сделанное Планком определение истинной величины молекул из закона излучения (для высоких температур) убедило многочисленных тогда скептиков (Оствальд, Мах) в реальности атомов».

Нужно подчеркнуть и другую сторону проблемы: этими исследованиями Эйнштейна была показана эвристическая роль статистических закономерностей в физике. Впервые обнаружилось, что *статистические закономерности отражают новый тип реальных связей в природе*.

Было естественно, по мере развития квантовых идей в атомной физике, учесть в статистических связях также и квантовые. Путь к этому подходу открывало фундаментальное соотношение Больцмана, связывающее термодинамическую величину — энтропию S замкнутой системы — с вероятностью W ее состояния: $S = k \ln W$, откуда $W = e^{S/k}$. Больцман вывел это соотношение для систем, подчиняющихся законам классической механики. Но статистические закономерности имеют то преимущество, что они обладают огромной общностью, не зависят от природы исследуемых объектов. Эйнштейн применил их к анализу структуры излучения абсолютно черного тела. Соотношение Больцмана он использовал для определения вероятности случайной концентрации полной энергии E в определенной части объема αV , вычислив энтропию S из закона излучения Вина ($h\nu \gg kT$). Эта вероятность равна $W = \alpha^{E/h\nu}$.

Именно этот результат чисто статистических методов привел Эйнштейна к идее, что излучение ведет себя так, как будто оно состоит из совокупности $N = E/h\nu$ независимых квантов энергии величины $h\nu$. Этот вывод был для Эйнштейна настолько убедителен, что он немедленно стал искать прямое его подтверждение в известных физических процессах. Так он пришел к рассмотрению с новой точки зрения уже описанного выше фотоэффекта, загадка которого была наконец разгадана.

Эйнштейн расширял применение статистических методов и в дальнейшем. В статье «К квантовой теории излучения» (1917) он дал вывод закономерности излучения черного тела (формулы Планка), опираясь на картину излучения как чисто статистического процесса. Оказалось, что формула Планка может быть получена этим методом при условии допущения нового вида излучения, происходящего под воздействием окружающего излучателя электромагнитного поля («индуцированное излучение»). В течение ряда десятилетий индуцированное излучение существовало только как «теоретический факт». Лишь в начале пятидесятых годов был предложен способ усиления света и радиоволн, основанный на использовании

индуцированного излучения, а в наши дни оно легло в основу конструирования квантовых генераторов и квантовых усилителей.

Статистический вывод Эйнштейном формулы Планка и теоретическое открытие им индуцированного излучения не только соответствовали духу квантовой физики, но и еще более подтвердили эвристическую ценность статистических методов, их объективный смысл.

Наконец, в начале двадцатых годов Эйнштейн развил и обобщил идеи индийского физика Бозе, который применил статистические методы к фотонам как частицам, рассматривая распределение состояний в совокупности тождественных частиц. Этим методом планковский закон излучения получается непосредственно. Таким образом, квантовая статистика вела к углубленному пониманию объекта этой статистики: физический смысл имеет не счет индивидуальных предметов, а статистика их состояний. Эта специфическая квантовая статистика, названная статистикой Бозе — Эйнштейна (в отличие от квантовой статистики другого типа — Ферми — Дирака), оказалась применимой к особому классу квантовых частиц (фотоны, альфа-частицы, атомные ядра с четным числом нуклонов).

Таким образом, Эйнштейн способствовал обоснованию и широкому внедрению в физику статистических методов.

Естественно, что в это время Эйнштейна занимала проблема сближения двух образовавшихся после открытия фотонов вполне устойчивых картин: одна из них выражалась через непрерывное электромагнитное поле с его динамической закономерностью, другая — через поток фотонов с их статистическими закономерностями. В этом плане он высказал весьма важное соображение о том, что плотность фотонов в световом пучке должна совпадать с плотностью энергии электромагнитных волн в нем. Отмечая этот факт в своей нобелевской речи, Макс Борн, который обосновал статистическую трактовку волновой функции, говорил, что он, Борн, в 1927 г. лишь разработал эту идею Эйнштейна в применении к волновой функции Шрёдингера.

Итак, на крутом повороте развития физики, когда она перешла к более глубокому обобщению электромагнитного и гравитационного полей, а также к изучению атомных процессов, Эйнштейн проявил большую проницательность исследователя, беспримерную смелость мышления, умение преодолевать устоявшиеся догмы. Недаром ведущие физики признали в Эйнштейне своего «знаменосца и вождя» (Борн).

3. Отход от идей квантовой теории. С появлением работ Резерфорда и Бора центр тяжести научных интересов в физике переместился в область исследований квантовых свойств атомных систем. Эйнштейн же, дав мощный импульс основополагающим идеям атомной физики (квантовая структура света, квантование атомных процессов, статистические методы в атомной физике), вновь сосредоточил свою творческую энергию на проблемах, связанных с дальнейшим обобщением идей относительности и теории тяготения.

Между тем уже в конце первой четверти XX века в атомной физике встали свои задачи обобщения. Раскрытые в этот период закономерности атомных явлений и излучения (фотоэффект, эффект Комптона, объяснение атомных спектров, определение потенциалов возбуждения атомов и т. п.) обнаружили квантовые свойства света и энергетических состояний атома. Однако многочисленный экспериментальный материал не был обобщен в единой теории. В свете классических представлений он казался крайне противоречивым. Квантовые свойства полей и микрообъектов выступали лишь как одна из сторон реальности. Эксперимент показывал, что другой стороной ее являлись волновые свойства. Работы де-Бройля, под-

твердившиеся позднее опытами Дэвиссона и Джермера, а также Томсона, показали, что волновые свойства характерны не только для электромагнитного поля, но также и для вещества (для потока вещественных частиц). Хотя оба типа свойств (корпускулярные и волновые) в классическом смысле взаимно противоречат и исключают друг друга, ни одним из них нельзя было пренебрегать при характеристике квантовых явлений. Эта необычная ситуация крайне осложняла их понимание и трактовку. Далее, физики много занимались разработкой методов квантования атомных орбит (Бор, Зоммерфельд и другие); но эти методы покоились на некоторых классических соображениях и имели характер поисков решений применительно к случаю, что было явно неудовлетворительным.

Надо было создать теорию, которая органически включала бы в себя характеристику возможных квантовых переходов систем из одного состояния в другое, объединить в одной обобщенной теории волновые и корпускулярные представления. Таких сложных задач перед физикой никогда еще не возникало.

Эйнштейн в этой работе участия уже не принимал. Он целиком посвятил себя задаче построения единой теории поля, в которой мыслил объединить электромагнитное и гравитационное поля. Этот отход Эйнштейна от актуальных проблем атомной физики вызвал огромное огорчение и сожаление физиков.

Квантовая теория была создана в середине двадцатых годов трудами Бора, Гейзенберга, Борна, Иордана, Дирака, Шрёдингера, Ферми, Паули и других физиков.

Как в свое время теория относительности, обобщая экспериментальные факты в области электродинамики, привела к новой широкой картине мира, раскрыв до того неизвестные свойства пространственно-временного континуума, так это сделала и квантовая механика, развившая ряд новых идей.

Квантовая механика раскрыла специфические свойства квантового объекта, существенно отличающие его от классического твердого тела. Оказалось, что в нем неразрывно связаны волновые и корпускулярные свойства; он не есть нечто неизменное: в зависимости от физических условий он преобразуется, приближаясь больше то к образу волны, то к образу частицы; его особенности находят свое выражение в «соотношении неопределенности» некоторых попарно сопряженных характеризующих квантовый объект величин (например, импульса и координат). Квантовая механика выдвинула статистическое понимание «состояния микрочастиц»; она показала, что статистические закономерности в микромире уже не могут рассматриваться как прием расчета, как мера незнания динамического хода индивидуальных процессов; они представляют собой новую форму взаимосвязей в объекте; классический детерминизм, согласно которому события всегда развиваются однозначно и который исключает случайность, представляет лишь предельный и абстрактный случай *).

Как же отнестись к этим новым идеям Эйнштейн, ученый, необычайно чуткий к логической цельности и логическому совершенству физической теории?

Эйнштейн отказался от пути, по которому пошло большинство физиков, разработавших квантовую теорию.

Он отказался от того пути, развитию которого, как мы видели выше, он сам в значительной мере способствовал, обосновывая квантовые воззрения во всех областях атомной физики, показывая, что квантовые

*) В этой статье нет возможности и необходимости обсуждать трактовку этих проблем отдельными физиками и школами.

задачи следует решать статистическими методами. Это отчетливо проявилось в публичных дискуссиях, в личных беседах, в переписке с друзьями, продолжавшими разрабатывать методы квантовой физики, наконец, в упорном многолетнем стремлении Эйнштейна построить физику на других основах. Из всех этих материалов известно, что Эйнштейн рассматривал статистическое толкование квантовой механики как временную замену знания индивидуальных, однозначно определенных процессов, которое он считал единственно подлинным знанием. Он считал чуждым духу физики также и двойственный, корпускулярно-волновой характер свойств полей и объектов атомной физики; соединение таких свойств в одном объекте он считал, по-видимому, невозможным. Но суть квантовой механики как раз и состоит в том, что она отражает двойственный характер микрообъектов и полей и их статистические закономерности. Отклонить их — значило отклонить всю квантовую механику.

В чем же была причина того, что Эйнштейн, этот бесстрашный новатор в науке, резко критиковал тот путь, на который вступила квантовая физика?

Конечно, наш ответ на этот вопрос может быть более или менее обоснованным только на основе анализа его творческих устремлений. В связи с выяснением этих причин поучительно рассмотреть упрек, брошенный самим Эйнштейном Маху по поводу отказа последнего признать существование атомов и молекул.

Известно, что Мах рассматривал науку как систему упорядочения наших чувственных восприятий, как экономную, мнемоническую запись «фактов ощущений», а не как отражение внешнего мира. Именно такая трактовка предмета познания привела его к отрицанию существования атомов и молекул, которые ведь непосредственно в ощущениях не встречаются. Между тем все развитие науки приводило к выводу о повышении роли *познания через абстракцию*, которая образуется человеком на основе переработки ощущений. Вспомним, что к установлению ряда характеристик непосредственно ненаблюдаемых атомов и молекул самого Эйнштейна привели именно абстрактные статистические методы. Естественно, что он отлично понял причины отрицательной позиции Маха и не мог их принять. В своей «Творческой автобиографии» он писал: «Предубеждение этих ученых (Оствальда и Маха.— С. С.) против атомной теории можно несомненно отнести за счет их позитивистской философской установки. Это — интересный пример того, как *философские предубеждения мешают правильной интерпретации фактов* даже ученым со смелым мышлением и с тонкой интуицией».

Объяснение Эйнштейна справедливо. Но, увы, оно применимо и к негативной позиции самого Эйнштейна по отношению к квантовой механике. Это подметил уже Макс Борн, один из основателей квантовой теории, близкий друг Эйнштейна. В статье «Воспоминания об Эйнштейне», приведя процитированное выше объяснение Эйнштейна, Борн заметил: «Мне кажется, что в квантовой механике это оправдывается в отношении его самого».

И действительно позицию Эйнштейна в физике можно понять только в свете его общефилософской концепции, в свете того, как он понимал единство законов природы и пути его познания, как он понимал связи, существующие в природе, а также предмет исследования физики. Именно этот факт влияния философии на программу и метод физических исследований есть главная причина интереса к вопросу о том, каковы философские взгляды ученого.

Однако вопрос о философских воззрениях Эйнштейна не так прост.

II

4. **Какая же философия вела Эйнштейна?** Как ответить на вопрос о том, какая же философия вела Эйнштейна, кто он по своим философским взглядам — материалист, идеалист или позитивист?

На этот вопрос нельзя дать однозначного ответа: в его трудах можно найти достаточно высказываний в пользу любого направления.

Известно, например, что Эйнштейн высоко оценивал критическую работу Маха в отношении априорных идей Канта или введения Ньютоном в обиход классической физики понятий абсолютного пространства, времени, движения, вообще «метафизических» понятий, которым в опыте, как его понимает Мах, ничего не сопоставляется. Эйнштейн неоднократно заявлял, что концепция Маха помогла ему критически осмыслить исходные положения классической физики.

Неоднократно также Эйнштейн определял теорию как *систему упорядочения наших чувственных восприятий, а не как отражение объективных закономерностей внешнего мира*. Эти формулировки не случайны для Эйнштейна, они встречаются в его работах на протяжении всей его жизни. Так, в лекциях об основах теории относительности, читанных в Принстонском университете в 1921 г., он утверждал, что «понятие и системы понятий ценны для нас лишь постольку, поскольку они облегчают нам обозрение комплексов наших переживаний». В 1936 г. в статье «Физика и реальность» Эйнштейн писал: «В противоположность психологии, физика истолковывает непосредственно только чувственные восприятия и „достижение“ их связи». И далее: «Я считаю, что первый шаг в установлении „реального внешнего мира“ состоит в образовании понятия телесных объектов и телесных объектов различных видов. Из всего многообразия чувственных восприятий мы мысленно и произвольным образом выделяем постоянно повторяющиеся комплексы чувственных восприятий (частично в совпадении с чувственными восприятиями, которые могут истолковываться как знаки чувственного опыта других людей) и мы сопоставляем им понятие телесного объекта». В книге «Эволюция физики» сказано: «С помощью физических теорий мы пытаемся найти себе путь сквозь лабиринт наблюдаемых фактов, упорядочить и постичь мир наших чувственных восприятий».

Наконец, в его автобиографии мы встречаем: «...Всякое наше мышление — того же рода: оно представляет свободную игру с понятиями. Основание этой игры заключается в достижимой при помощи нее возможности обозреть чувственные восприятия. Понятие „истины“ к такому образованию еще совсем не применимо; это понятие может, по моему мнению, быть введено только тогда, когда имеется налицо условное соглашение относительно элементов и правил игры». И далее: «Система понятий есть творение человека, как и правила синтаксиса, определяющие ее структуру... Все понятия, даже и ближайшие к ощущениям и переживаниям, являются с логической точки зрения произвольными положениями, точно так же как и понятие причинности, о котором в первую очередь и шла речь».

Таковы суждения Эйнштейна, в которых несомненно обнаруживается влияние позитивистской философии.

Однако известно и другое. Мы помним, что позитивистские взгляды Оствальда и Маха Эйнштейн назвал философскими предубеждениями, помешавшими им найти правильное истолкование фактам, приводящим к признанию атомов и молекул. Далее. Свое несогласие с идеями квантовой механики, в частности с введением ею статистической закономерности наряду с динамической, Эйнштейн мотивировал тем, что переход

от описания самих вещей к описанию вероятностей появления вещей есть переход к позитивизму. Критикуя аргументацию в пользу квантовой механики, он в «Ответе на критику» (1949) писал: *«Что мне не нравится в подобного рода аргументации, — это, по моему мнению, общая позитивистская позиция, которая, с моей точки зрения, является несостоятельной и которая, по моему мнению, ведет к тому же самому, что и принцип Беркли — esse est percipi (существовать — значит быть воспринимаемым)»*. Эйнштейн считал, что защита статистической трактовки квантовой механики есть защита позитивистских взглядов. Даже в дружеской переписке Эйнштейн выступает против позитивизма. В конце сороковых годов, говоря о желательной встрече с Борном, он писал ему: *«Хотя ты никогда не согласишься с моей точкой зрения, она тебя могла бы позабавить. Я бы тоже получил удовольствие, разбив твои позитивистские философские взгляды»*.

Впрочем, Макс Борн не был согласен с таким обвинением. Комментируя это письмо, Макс Борн говорил Зелигу, издателю и биографу Эйнштейна: *«Эти строки касаются моих взглядов на основные вопросы физики. Я, как и Нильс Бор и Вернер Гейзенберг, защищаю статистическую квантовую механику, в то время как Эйнштейн стоит на позициях классического детерминизма. Вообще же я вовсе не последователь позитивизма»*. Как видим, к позитивистам не хочет быть причисленным и выдающийся физик нашего времени Макс Борн, и он действительно много сделал для того, чтобы развенчать позитивизм в глазах зарубежных ученых *).

Но вернемся к Эйнштейну. Это, конечно, серьезный довод, чтобы не признавать Эйнштейна позитивистом, если он отклонял целое направление в физике, огромное *практическое* значение которого он всегда и безоговорочно признавал, отклонял из-за того, что считал его основу позитивистской. Другое дело, прав ли Эйнштейн, толкуя квантовую физику как по существу своему позитивистскую; в данном случае существенно подчеркнуть, что, отклоняя ее, он руководствовался антипозитивистскими мотивами.

Крайне интересное понимание процесса познания высказано Эйнштейном в статье *«Влияние Максвелла на эволюцию идей о физической реальности»*, написанной к столетию со дня рождения Максвелла в 1931 г. Эту статью он начинает со следующего утверждения: *«Вера в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта, есть основа всего естествознания. Но так как чувственное восприятие дает информацию об этом внешнем мире, или о „физической реальности“, только опосредованно, мы можем охватить последнюю только умозрительными средствами. Из этого следует, что наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными. Мы всегда должны быть готовы изменить эти представления, т. е. изменить аксиоматическую базу физики, — чтобы оправдать факты восприятия логически наиболее совершенным образом. И действительно, беглый взгляд на развитие физики показывает, что она испытывает глубокие изменения с течением времени»*.

Это высказывание по духу близко к материализму, и трудно понять, как Эйнштейн совмещает столь противоположные точки зрения.

Однако он не только их совмещает, но и отлично при этом сознает, какое недоумение может вызвать это совмещение. Но он относит это недоумение за счет философов, которые-де слишком жестки в своих концепциях, представляющих собой, правда, цельную, но все же абстракт-

*) См. С. Суворов, Макс Борн и его философские взгляды, в книге: Макс Борн, Физика в жизни моего поколения, М., ИЛ, 1963; а также: С. Суворов, Проблема «физической реальности» в копенгагенской школе, УФН 62 (2), 141 (1957).

ную схему. Естествоиспытателя же невозможно уложить в какую-либо схему. Его положение, по Эйнштейну, сложнее потому, что он должен считаться с результатами своих исследований и принимать точки зрения, несовместимые в одной системе. В своем «Ответе на критику» он пишет, что философ, однажды додумавшийся до какой-то системы, «...будет склонен интерпретировать богатство идей точных наук в смысле своей системы и не признавать того, что под его систему не подходит. *Ученый же не может себе позволить*, чтобы устремления к теоретико-познавательной систематике заходили так далеко. Он с благодарностью принимает теоретико-познавательный анализ понятий, но внешние условия, которые поставлены ему фактами переживаний, *не позволяют ему при построении своего мира понятий слишком сильно ограничивать себя установками одной теоретико-познавательной системы*. В таком случае он должен систематизирующему философу-гносеологу показаться своего рода беспринципным оппортунистом. *Он кажется р е а л и с т о м* (т. е. материалистом. — С. С.), *поскольку старается представить не зависящий от актов ощущений мир; и д е а л и с т о м* — *поскольку смотрит на понятия и на теории как на свободные изобретения человеческого духа* (не выводимые логически из эмпирически данного); *п о з и т и в и с т о м* — *поскольку рассматривает свои понятия и теории лишь настолько обоснованными, насколько они доставляют логическое представление связей между чувственными переживаниями*. Он может показаться даже *п л а т о н и к о м* или *п и ф а г о р е й ц е м*, поскольку рассматривает точку зрения логической простоты необходимым и действенным инструментом своего исследования» *).

Эйнштейн по разным поводам подчеркивает невозможность для естествоиспытателя придерживаться какой-либо одной философской системы. Отвечая Маргенау по поводу его утверждения о том, что «позиция Эйнштейна... содержит черты рационализма, а также крайнего эмпиризма», Эйнштейн в «Ответе на критику» пишет: «Это замечание совершенно правильно. Откуда происходит эта флуктуация? Логическая система понятий является физикой постольку, поскольку ее понятия и утверждения необходимо приведены в связь с миром переживаний (experiences). Тот, кто желает установить такую систему, встретится с опасным препятствием в виде произвола выбора. Вот почему стараются по возможности прямо и необходимым образом связать свои понятия с миром переживаний. В этом случае взгляды исследователя эмпиричны. Этот путь часто плодотворен, но он всегда открыт для сомнений в силу того, что отдельное понятие и единичное утверждение может выражать нечто сопоставляемое с эмпирически данным в конечном счете *только в связи с целостной системой*. Тогда признают, что *никакого пути от данного в опыте к миру понятий нет*. Тогда взгляды исследователя становятся скорее рационалистическими, потому что он признает логическую независимость системы. В такой позиции возникает опасность того, что при поисках этой системы можно потерять всякий контакт с миром переживаний. *Колебания между этими крайностями кажутся мне неустрашимыми*».

Конечно, нельзя согласиться с неизбежностью для естествоиспытателя выглядеть в глазах философа «беспринципным оппортунистом» и находиться в вечном, неустрашимом колебании между философскими «крайностями». Если философия существует как наука, а не как предвзятая схема, то в ней непротиворечивым образом должны быть обобщены такие категории, как объективный внешний мир, ощущения как информации

*) Курсивная разрядка — выделение Эйнштейна.

о нем, понятия и теории как обобщение информации, представляющие собой образ объективной реальности. Мы убеждены, что такая философия существует.

Но философия Эйнштейна, действительно, не такова, и тот факт, что она не такова, он сам оценивал не как ее недостаток, а *как ее достоинство*. Эйнштейн прав, утверждая, что философию такого естествоиспытателя, т. е. собственно его, Эйнштейна, философию, одни философы (философы-схоласты) будут причислять к позитивистской, другие — к реалистической (материалистической), и одни будут порицать за то, за что другие будут восхвалять. В частности, это можно видеть и по нескольким статьям сборника, посвященного 70-летию Эйнштейна, в котором различные авторы делают попытку анализа философских взглядов Эйнштейна. Например, Филипп Франк, физик и философ, занимавший кафедру теоретической физики в Пражском немецком университете, глава «венского кружка» неопозитивистов, прямо зачисляет Эйнштейна в ряды активных проводников «логического позитивизма». А Бриджмен — физик и философ, главный идеолог операционализма — считает, что при обосновании специальной теории относительности Эйнштейн выступал как операционалист. Среди советских ученых также высказывались самые крайние оценки философских взглядов Эйнштейна. Мы видели, что повод для этих крайних оценок дал сам Эйнштейн, впрочем мало беспокоившийся о них.

Однако правильнее будет рассматривать взгляды Эйнштейна во всей их сложности и постараться понять, откуда эта сложность появилась. И тут он сам дал хороший совет, как относиться к самооценкам ученого. В интересной спенсеровской лекции «О методе теоретической физики» (1933) он говорил: «Если вы хотите кое-что выяснить у физиков-теоретиков о методах, которые они применяют, я советую вам твердо придерживаться одного принципа: *не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их действия*. Тому, кто в этой области что-то открывает, продукты его творческого воображения кажутся ему столь необходимыми и естественными, что он рассматривает их не как создания мышления, а как данные реальности. И ему хотелось бы, чтобы так их рассматривали и другие».

Изучать действия ученых — это справедливый совет. Профессиональная деятельность накладывает глубокий отпечаток на весь образ мышления ученого, да и вообще любого деятеля. Через это окно профессиональной деятельности он видит мир, его внешний облик, его закономерности, способ его постижения. *Чего достиг ученый в науке, как ему представляется путь к этому достижению*, — в этом лежит разгадка его подчас сложного противоречивого мировоззрения. Здесь, по нашему мнению, лежит ключ к пониманию взглядов и самого Эйнштейна, противоречивость которых с точки зрения целостной философии он понимал и сам.

Но в таком случае мы должны будем ответить на вопрос: что же было главным в профессиональной деятельности Эйнштейна?

Вряд ли можно сомневаться в том, что при всех замечательных идеях Эйнштейна в области квантовой и статистической физики, основной стороной его деятельности всегда были (и оставались главными для него самого) развитие теории относительности и его, эйнштейновская, система обобщения и расширения сферы применения этой теории. Электромагнитные и гравитационные поля, еще только становившиеся в годы его юности реальностями для физиков, пространственно-временной континуум, как единая теоретическая основа для всей физики, — вот круг тесно связанных друг с другом проблем, которые с ранних пор и до конца жизни владели Эйнштейном, в развитие которых была вложена его душа и его разум.

Работа над этими проблемами и метод их решения как раз и оказали решающее влияние на взгляды Эйнштейна. Мы должны, следовательно, попытаться рассмотреть вопрос о том, к каким философским идеям могла привести и, по-видимому, привела Эйнштейна его разработка теории относительности и раздумье над ее результатами.

5. Методологические выводы из разработки теории относительности. Отклонение позитивизма и операционализма. В начале века Эйнштейн встретился с необходимостью дать более совершенную, «симметричную» формулировку электромагнитной теории Максвелла. Этого требовали физические факты.

Но построение симметричной электродинамики привело к большим следствиям, выходящим за пределы решения частной задачи, которая ставилась непосредственно. Изменилась не только форма электродинамической теории, изменились и представления о пространстве, времени, длине, длительности и т. д., вообще изменились представления о связи физических категорий. Хотели только приспособить теорию поля к фактам, несколько подправить ее, а пришли к опровержению понятий ньютоновской физики, введенных как априорные. Внеопытные, к выводу о том, что физические величины определенным образом зависят от состояния движения тела по отношению к системе отсчета, в которой это движение выражается.

Экспериментально такие зависимости еще не были установлены. В те времена сравнительно большие скорости, могущие оказать экспериментально уловимый эффект, достигались только у электронов в катодных лучах ($v = 0,1c$). Исследуя отклонение катодных лучей в магнитном поле, Кауфман обнаружил факт изменения массы быстро движущихся электронов; однако из этих экспериментов сам закон изменения массы не был определен. Вопрос о возможном сокращении длин движущегося тела (в направлении движения) уже возник в связи с преобразованиями координат Лоренца.

Все это заставило физиков размышлять над вопросом о причинах изменения параметров тела при его движении. В соответствии с тогдашним образом мышления в то время эти причины усматривали непосредственно в физическом взаимодействии движущегося тела с полем. Выискивался механизм взаимосвязи тела с полем, который мог бы привести к такому изменению. Известна, например, гипотеза сокращения длин тела (в направлении движения) Фитцджеральда, которую поддержал Лоренц; изменение массы пытались объяснить на основе гипотезы об ее электромагнитной природе (М. Абрагам, Дж. Герглюц, П. Герц, А. Зоммерфельд и др.). Существенно, что, встав на этот путь, физики отыскивали для изменения каждого параметра *свой* механизм.

Эйнштейн встретился с этими проблемами при формулировке теории относительности. Вначале он пытался обосновать зависимость физических категорий от скорости движения чисто логически, с помощью мысленного опыта: величина параметров тела есть результат измерений; она зависит от *процедуры измерения*, а процедура измерения различна для тела движущегося и тела покоящегося относительно наблюдателя.

Бриджмен был прав, утверждая, что подход Эйнштейна к определению физических понятий в это время был операционалистским, точнее, именно такое обоснование изменения физических величин через процедуру измерения положило начало целому направлению в философии — операционализму, которое в дальнейшем развивал Бриджмен. Согласно операционализму, любое физическое понятие можно вводить в науку только в том случае, если ему можно сопоставить определенную операцию

измерения, которой и определяется смысл понятия. Казалось, что история физики вполне укладывалась в эту операционалистскую методологию: Ньютон погрешил перед физикой тем, что ввел в нее абсолютные понятия, которым нельзя сопоставить никакой операции измерения (что, впрочем, и Ньютон признавал и сам); Эйнштейн отбросил внеопытные понятия ньютоновской физики и показал, что в соответствии с процедурой измерения изменяются и сопоставленные ей понятия. Теорию можно строить только на основе таких операционально определенных понятий путем связывания их в законы.

Этот операционалистский подход к обоснованию изменения физических величин, к определению понятий вообще довольно широко распространен в физике до сих пор; многие книги, посвященные, в частности, теории относительности, не исключая и эйнштейновских, начинают ее изложение с рассмотрения процедуры измерения, якобы определяющей смысл понятий *).

Но хотя Эйнштейн и дал повод к развитию операционализма, сам он вовсе не последовал ему в своих дальнейших исследованиях, чем и заслужил упрек Бриджмена. Свою статью «Теория Эйнштейна и операционалистская точка зрения» в упомянутом выше сборнике Бриджмен прямо начинает с этого упрека: «В этой статье делается попытка показать, что Эйнштейн в свою общую теорию относительности не перенес те уроки и то понимание, которым он сам учил нас в своей специальной теории относительности». И это действительно так.

Почему же Эйнштейн отошел от операционалистской методологии?

Потому что теория относительности не давала оснований для нее, как не давала она оснований и для позитивизма, и для принципа наблюдаемости, который позднее хотели оправдать ссылками на эйнштейновский метод построения этой теории. Напротив, в теории относительности отражался совсем иной подход к методу определения содержания понятий и к структуре теорий. Размышляя над итогами теории относительности, Эйнштейн, по-видимому, это осознал, что видно и из методов его защиты положений теории относительности, и из его последующих приемов исследования, и из его, правда, более поздних, высказываний. Что это за подход и как к нему пришел Эйнштейн?

Известно, что многие выводы теории относительности подвергались резкой критике вследствие их необычности. Они действительно были необычны. Таков, например, вывод о том, что длина *одной и той же* линейки *различна* в различных инерциально движущихся системах; вызывало недоумение то, что это изменение оказывается *взаимным*, так что длина линейки, покоящейся в системе S и равная в ней единице, будет в инерциально движущейся системе S' укорачиваться точно так же, как длина линейки, покоящейся в системе S' и равная в ней единице, будет укорачиваться в системе S , и притом в том же отношении. Достаточно эти эффекты, в целях наглядности и конкретности, сформулировать при помощи термина «наблюдатели, сидящие в системах S и S' », как описание того, что они «наблюдают», получает крайне субъективистскую форму. Так оно и было, и это в то время вызывало огромное сопротивление физиков и философов.

Вызывали критику необычные выводы о том, что в системе, совершающей путешествие, процессы должны протекать замедленнее, чем в системе, остающейся в это время неподвижной, ввиду чего, скажем, космонавт, летавший к далекой звезде и вернувшийся обратно на Землю, оказывается «моложе» своих сверстников на Земле. Противоречил по-

*) Критика операционализма дана в статье автора «Операционализм», Большая Советская Энциклопедия, изд. 2-е.

вседневному опыту и наглядному представлению новый закон сложения скоростей, изменение массы «благодаря только движению» и т. п.

Все аналогичные выводы теории относительности казались парадоксальными с точки зрения непосредственных восприятий или привычного опыта. Многочисленные попытки связать указанные в теории закономерности поведения каждой физической категории непосредственно с изменением структуры движущегося тела не приводили к положительным результатам. Позднее эти попытки были оставлены.

Все это свидетельствует о трудностях, с которыми было связано развитие новых представлений. Неслучайно у теории относительности на протяжении долгих десятилетий оказывалось немало противников.

Однако выводы теории оправдывались. Физики, и в первую очередь Эйнштейн, все более приходили к заключению, что справедливость новых представлений о природе и изменениях физических категорий может быть подтверждена лишь ссылкой на то, что они являются *логическим результатом релятивистской теории* (как «релятивистский эффект»), которую физики вынуждены были создать, преследуя непосредственно другую цель — обобщить принцип относительности и факт независимости скорости света от движения его источника. Если теория справедлива, то нет необходимости придумывать для объяснения каждого ее следствия свой механизм связей. В частности, обоснование изменений соответствующих физических категорий, которые мы обнаруживаем, относя их к движущейся системе, заключено уже в обосновании самой теории, притом это обоснование справедливо для всех физических категорий сразу.

Таким образом, создание теории относительности подводило Эйнштейна к раскрытию *единства* физических понятий, их *связи с теорией в целом*. Эта связь понятий была адекватным отображением связи физических категорий в самом объекте. Например, изменение длин и длительности в инерциально движущихся системах находит свое объяснение в том, что они существуют не сами по себе, а связаны в некую целостность через *инвариантный интервал*.

Со временем Эйнштейн все более укреплялся в этой позиции. Есть основания полагать, что огромное влияние в этом отношении оказали на физиков и на Эйнштейна, в частности, труды выдающегося математика Германа Минковского. В 1908 г. он опубликовал работу «Основания теории электромагнитных процессов в движущихся телах», в которой пространство и время были обобщены в единый четырехмерный «мир» с псевдоевклидовой геометрией. Идея единства пространства и времени была изложена Минковским в известном популярном докладе «Пространство и время» (1908) Обществу немецких естествоиспытателей и врачей, который он начал знаменитым афоризмом: «Отныне пространство само по себе и время само по себе должны быть низведены до роли теней, и только *некоторый вид соединения обоих должен по-прежнему сохранять самостоятельность*».

В физике проблема связи понятий и теории в такой резкой форме встала впервые. Ньютон вводил некоторые понятия — абсолютные пространство, время, движение, массу и пр. — еще до теории как внешние определения, как условие формулировки законов. У Маха (позитивизм) все понятия выступали как символическое обозначение отличительных признаков некоторого комплекса восприятий, имели мнемоническо-служебную цель и вводились до теории. У Бриджмена (операционализм) понятия должны были прежде всего получить определение через непосредственную операцию измерения, и лишь после того как это оказывалось возможным, они могли быть использованы в теории.

Однако реальное развитие физической теории показало, что содержание физических понятий не может быть определено вне теории, *до теории*. В этом отношении оказались неправы и Ньютон, и Мах, и Бриджмен. Понятия должны выступать как органическая часть теории, которая *в целом* отвечает реальным фактам восприятий, и только через эту целостность отвечают фактам и те категории, которые она использует, — таков вывод, к которому все более склонялся Эйнштейн.

Несомненно, эта идея уже владела Эйнштейном, когда он приступал к разработке теории тяготения, которую он рассматривал как дальнейшее обобщение принципа относительности, как второй этап развития теории относительности.

6. Проблема реформы классической физики под углом зрения ее целостности. Теория тяготения Эйнштейна. Нельзя не видеть различия в задачах, которые ставил Эйнштейн на первом и втором этапах развития физической теории. На первом этапе непосредственно стояла конкретная физическая задача — привести уравнения Максвелла в соответствие с требованием симметрии электромагнитных процессов и с фактом независимости скорости света от движения его источника. В результате Эйнштейн обнаружил, что *разумно построенная теория вскрывает взаимосвязи понятий, о которых вне обобщающей теории и не подозревали*, не подозревали именно потому, что подход к развитию науки был слишком эмпиричен.

Теперь, после получения плодотворных результатов, Эйнштейн уже на всю классическую физику стал смотреть иными глазами, глазами критика. Он увидел, что дело не только в том, что Ньютон включил в физику внеопытные понятия абсолютного пространства, времени, дальнедействующих сил и пр.; о происхождении их и сам Ньютон проявлял беспокойство. Дело в том, что и все другие понятия классической физики были слишком слабо «упакованы» в единой теории, так как возникали они независимо друг от друга из разрозненного опыта. В уже упомянутой лекции «О методе теоретической физики» Эйнштейн говорил: «Ньютон, первый основатель обширной работоспособной системы теоретической физики, был еще убежден в том, что основные понятия и законы его системы происходят из опыта. Его слова *hypotheses non fingo* («гипотез я не строю») можно понять в этом смысле. Действительно, появившиеся в это время понятия пространства и времени не создавали никаких проблем. Понятия массы, инерции и силы и связанные с ними законы казались взятыми непосредственно из опыта. Раз эта база была принята, то и выражение для силы тяготения казалось выведенным из опыта и было основание ожидать то же самое в отношении других сил».

Для Эйнштейна было ясно, что при таком понимании метода образования понятий и законов — из разрозненного опыта — в классической физике неизбежно должны были возникать понятия хотя и различные по происхождению, по их связи с экспериментами, но эквивалентные по природе. Так, «специальная теория относительности» вскрыла эквивалентность массы и энергии. Очевидно, накопление таких понятий, которые позднее оказываются эквивалентными, не есть достоинство метода, в результате которого они возникали; теория, построенная на основе таких понятий, *не может быть совершенной*.

Свою важнейшую задачу Эйнштейн видел теперь в том, чтобы *реформировать классическую физику, навести в ней порядок, удалить из нее понятия, сформулированные вне связи с теорией, а также все излишние эквивалентные понятия*, которые так же не нужны теории, как автомобилю пятое опорное колесо.

Результатом таких методологических установок Эйнштейна явилась разработанная им обобщенная теория тяготения, истолкованная им как «общая теория относительности».

Таким образом, появление этой теории не было вынуждено противоречием существующей теории с каким-либо новым экспериментом. Эйнштейн сам понимал свой путь как *результат требования «внутреннего совершенства» теории, логической стройности общей картины мироздания*. Именно это различие причин возникновения «специальной» и «общей» теории относительности привело к такой ситуации, которую Макс Борн в своей лекции «Физика и относительность» (1955) отмечает в следующих словах: «Специальная теория относительности была открытием в конечном счете не одного человека. Работа Эйнштейна была тем последним и решающим элементом в фундаменте, заложенном Лоренцем, Пуанкаре и другими, на котором могло держаться здание, воздвигнутое затем Минковским». Над проблемами, возникшими в связи с электродинамикой движущихся систем, работали многие физики, в том числе и Эйнштейн, вложивший «решающий элемент» в теорию. А вот «внутренним совершенством» классической теории практически занимался только Эйнштейн. Поэтому Борн и отмечает, что, «в противоположность специальной теории относительности, это была работа одного человека».

Главная идея новой теории Эйнштейна состояла в том, чтобы пространственно-временной континуум, к идее которого привела теория относительности, представить как единую сущность внешнего физического мира.

Что выигрывает от этого физика?

В классической физике все ее законы разрознены, они связывают физические категории, представления о смысле которых возникали в различных экспериментах. В новой физике континуума все физические законы должны быть представлены как свойства этого континуума, как его *метрика*. Это и позволяет улучшить «концептуальный фундамент» физики, удалить из нее излишние понятия, представить ее как единую систему.

С этой новой позиции Эйнштейн рассмотрел закон тяготения Ньютона. Вместо сил тяготения он стал оперировать с полями тяготения; это уже делала и классическая физика, но там это было скорее только «формальным приемом». Поля тяготения Эйнштейн включил в пространственно-временной континуум как его «искривление». Метрика континуума перестала быть евклидовой (точнее псевдоевклидовой), она стала «римановой метрикой». Тем самым из физики были удалены дальнотействующие силы Ньютона, которые всегда считались слабым пунктом ньютоновой физики. «Кривизна» континуума рассматривается как следствие соответствующего «распределения движущихся масс» в нем. Опираясь на идеи римановой геометрии, Эйнштейн ввел меру кривизны пространства-времени (в ковариантной форме) в виде некоторого «тензора кривизны». Для «распределения движущихся масс» в этом континууме он нашел некоторую специфическую меру — «тензор энергии-импульса». Важнейшим результатом всех этих исследований Эйнштейна является установление взаимосвязи между тензором энергии - импульса (распределением движущихся масс) и тензором кривизны пространства-времени (метрикой континуума). Найденное уравнение играет здесь роль, аналогичную роли ньютонова уравнения движения масс в обычном евклидовом пространстве.

Понятия, которыми оперирует в этой теории Эйнштейн, имеют весьма абстрактный характер. Но схема взаимосвязей здесь довольно проста. «Распределение движущихся масс» в континууме определяет его

«кривизну». Кривизна континуума определяет «геодезические линии» в нем — «линии кратчайших расстояний». Кривизна, геодезические линии континуума — это его существенные свойства, они определяют происходящие в нем процессы. Так, массы, не создающие большого поля, перемещаются в континууме только вдоль геодезических линий.

В евклидовом пространстве геодезическими линиями являются прямые. Согласно ньютоновой механике, вдоль этих прямых происходит *инерционное* движение. Но рассмотрение всех других движений требует в ньютоновой механике введения новых физических категорий — сил, определения закона их действия, возникает проблема передачи действия сил на расстояние и т. д. К тому же теория тяготения Ньютона не объясняет полностью все процессы, связанные со взаимодействием масс. Так, например, констатируя наличие вращения перигелия планет, близких к Солнцу (Меркурий), она не приводит к точной величине этого вращения. Теория Ньютона отражает действительность лишь для слабых полей и небольших скоростей масс.

Тот факт, что теория Эйнштейна не требует введения сил тяготения, а взаимодействие масс учитывается в ней через характер искривления пространственно-временного континуума, т. е. через его общее свойство, раскрывает новые возможности теории. В самом деле, общие свойства континуума, раз они найдены, определяют характер любых физических процессов, в нем происходящих. Например, из этого следует, что вдоль геодезических линий континуума должны перемещаться не только массы, но и лучи света; если геодезические линии континуума искривлены, то и распространение света не будет прямолинейным. Это должно обнаружиться в областях континуума, в которых искривление линий достаточно велико, например при прохождении луча вблизи Солнца, где поле тяготения велико сравнительно с полем вблизи Земли. Эйнштейн рассчитал, что луч звездного света, проходя вблизи Солнца, должен испытывать отклонение от прямолинейного пути на 1,75 угловой секунды. Этот вывод теории Эйнштейна был подтвержден во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г., когда две английские экспедиции — одна на западном побережье Африки, а другая в северной части Бразилии — получили фотографии звезд, видимых вблизи закрытого солнечного диска.

Теория Эйнштейна предсказала также смещение к красному концу спектра линий излучения, проходящего в поле тяготения звезд; это смещение особенно заметно при прохождении излучения вблизи звезд, обладающих большой массой, где, следовательно, поле тяготения велико. Теория дала расчет и точной величины вращения траектории Меркурия.

Вообще теория тяготения Эйнштейна точнее, чем теория Ньютона, отображала процессы в области сильных полей при наличии быстро движущихся масс.

Таким образом, несмотря на огромную абстрактность, чуждую мышлению многих физиков того времени, теория Эйнштейна оказалась плодотворной, она подвинула знание природы вперед. Именно в этом сочетании абстрактности и плодотворности лежит причина исключительной мировой славы Эйнштейна как ученого. После подтверждения предсказаний обобщенной теории тяготения об Эйнштейне заговорили как об ученом, который одной только силой своего мышления раскрывает неизвестные до того тайны природы.

Но одновременно успех теории утвердил Эйнштейна в его теоретико-познавательных взглядах. Разработка теории относительности и теории тяготения убедили Эйнштейна в том, какое огромное значение имеет теория, взятая в целом.

Несомненно, что он убедился в этом в ходе исследований, т. е. уже в первом и втором десятилетиях нашего века. Позднее в своем «Ответе на критику» Эйнштейн дважды возвращается к объяснению своей позиции по этому вопросу. На критику Рейхенбаха он отвечает в форме диалога между Рейхенбахом и неким Не-позитивистом (!) и от имени последнего ставит вопрос: «А почему отдельные встречающиеся в теории понятия вообще требуют какого-то отдельного оправдания, если они необходимы только в рамках логической структуры теории и *теория утверждается только в своей целостности?*»

А по поводу упрека Бриджмена в отходе от операционализма Эйнштейн еще более точно определяет свою позицию: «Чтобы логическая система могла рассматриваться как физическая теория, нет необходимости требовать, чтобы все ее утверждения могли толковаться независимо и чтобы они могли быть независимо „проверяемы“ „в операционалистском смысле“; *фактически* это никогда еще не было выполнено ни в одной теории, да и не может быть выполнено вообще. Чтобы некоторую теорию можно было рассматривать как *физическую*, необходимо только, чтобы она вообще заключала в себе эмпирически проверяемые утверждения» (курсив Эйнштейна).

Итак, реформа классической (ньютоновой) теории тяготения, введенная Эйнштейном под углом зрения увязывания физических понятий в единой теории (обобщенной теории тяготения), привела к положительным результатам и подтвердила роль *теории как целостности*. Разъясняя позже фактически реализованную им линию, Эйнштейн уже в явной форме подчеркивает это значение теории.

7. Оценка дифференциального закона как единственной формы причинности. Континуум Эйнштейна с его римановой метрикой явился более обобщенным образом объективной реальности, чем ньютоновы представления, согласно которым разделенные расстоянием массы действовали друг на друга далекодействующими силами, обратно пропорциональными их взаимному расстоянию. Обобщение Эйнштейна явилось успешной попыткой удалить из теории Ньютона некоторые ее слабые стороны, например представление о далекодействующих силах, о независимости метрики и законов движения и другие.

Но вместе с тем Эйнштейн рассматривал себя вовсе не как ниспровергателя классической физики, а только как *реформатора ее, совершенствующего ее основы*.

В теории Ньютона он видел и такие существенные стороны, которые, по мнению Эйнштейна, *должны были остаться неизблемыми во всякой будущей теории*, какие бы общие формы она ни принимала. Он видел гениальность Ньютона в том, что этот основатель классической физики в своих законах движения сумел выразить количественным образом взаимосвязь каждого состояния движения тела в данный момент с его состояниями в предшествующий момент в смежной точке пространства и в последующий момент в другой смежной точке. Пространство, время и движение в физике Ньютона выступали как непрерывные сущности, а связи между состояниями выражались в форме дифференциальных уравнений. Величайшая заслуга Ньютона состояла в том, что он открыл метод дифференциального исчисления, однозначно определяющий взаимосвязи состояний тела в его движении. В ньютоновых дифференциальных уравнениях движения Эйнштейн видел «удовлетворение потребности современных физиков» в причинной связи. Естественно, что заслугу открытия математической формы причинной связи он целиком относил к Ньютону.

В статье «Механика Ньютона и ее влияние на форму теоретической физики» (1927) Эйнштейн писал: «До Ньютона не существовало законченной системы физической причинности, которая была бы в состоянии как-то передать основные черты опытного мира». Законы Кеплера, разъясняя он дальше, давали ответ на вопрос о том, как движутся планеты, но они не удовлетворяли потребности показать причинную зависимость; эти законы выступали как три логически независимых друг от друга правила, «лишенные всякой внутренней связи». Только Ньютон, создав дифференциальное исчисление, дал необходимую форму закону причинной взаимосвязи. *«Дифференциальный закон,— писал там же Эйнштейн,— есть та е д и н с т в е н н а я ф о р м а, которая полностью удовлетворяет потребность современных физиков в причинности.* Ясная концепция дифференциального закона есть величайший духовный подвиг Ньютона». Не столь существен спор о том, кто первый открыл дифференциальное исчисление — Ньютон или Лейбниц,— но существенно то, что для Ньютона открытие дифференциального исчисления было *необходимостью* именно потому, что оно, по Эйнштейну, является адекватной формой причинной связи. Полная причинная концепция была получена после того, как наряду с уравнением движения была введена сила, действующая на массу и определяемая положением всех других масс.

Теория относительности («специальная») не только опиралась на ньютонову динамическую трактовку причинности, но и уточнила ее в одном отношении: она указала, что события M и N могут находиться в причинно-следственном отношении друг к другу лишь в том случае, если эти события разделены промежутком времени, достаточным для передачи действия от места события M до места события N с конечной скоростью, не превышающей скорости света. Это уточнение вводит фактор действия между событиями M и N и подчеркивает связь пространства и времени в одном континууме. Уточненная теорией относительности формулировка причинности использована в ней в качестве исходного пункта для анализа важнейшего понятия теории — одновременности.

Из сказанного следует, что *классическое представление о причинной связи органически входит в самую структуру теории относительности.*

Теория тяготения Эйнштейна в этом отношении не отличается от его теории относительности. И там, и здесь физические процессы выражаются как процессы, происходящие в континууме — некотором *непрерывном пространственно-временном образовании*; только в теории относительности этот континуум имеет евклидову (точнее, псевдоевклидову) метрику, а в теории тяготения — риманову. И там, и здесь уравнения движения представляют собой дифференциальные уравнения, связывающие между собой смежные в пространстве и времени события. Континуумы Эйнштейна с различной метрикой описываются дифференциальными уравнениями в частных производных, что характерно для описания процессов, происходящих в поле. Эти континуумы и представляют собой некоторый непрерывный «полевой» образ. Бесконечно малые непрерывные изменения аргументов в уравнениях с частными производными в принципе ничем не отличаются, как казалось Эйнштейну, от бесконечно малых изменений аргументов в уравнениях с обыкновенными производными. Поэтому Эйнштейн полагал, что его теория тяготения сохраняет неизменными классические представления о физической причинности, согласно которой однозначно связываются события, бесконечно близкие друг к другу в пространстве и во времени. Более того, поскольку единственной реальностью он считал континуум, классическая форма причинной связи представлялась ему всеобщей. Успешные предсказания обобщенной теории тяготения должны были утвердить его в этом убеждении.

8. Рациональные пути построения физической теории. Итак, профессиональный опыт Эйнштейна утверждает его в мысли, что понятия органически связаны с теорией, через нее получают свое содержание и оправдание. А теория отражает мир лишь как целое.

Возникает вопрос: как же строится сама теория?

Мах, служивший Эйнштейну стимулирующим примером критика абсолютных категорий ньютоновой физики, отвечал на этот вопрос просто. Понятие — чисто психическое образование. Характерная черта понятия — это воспоминание о постоянном комплексе восприятий и выделение в нем главных восприятий, по которым вспоминается весь комплекс (абстрагирование, по Маху). Научные теории имеют своей целью «упорядочить» множество фактов восприятий, которые без такого упорядочения невозможно удержать в памяти. Уже в таком процессе, как падение тела, содержится множество фактов восприятий, ибо *каждому* мгновению времени соответствует *своя* высота падающего тела. Чтобы обозреть все эти соответствия, пришлось бы составить бесконечную таблицу. Но такую таблицу нельзя ни исчерпать, ни удержать в памяти! На помощь приходит *упорядочивающая* теория; она сжимает бесконечную таблицу в одну формулу $S = gt^2/2$, дает правило, по которому мы всегда можем найти путь S , пройденный падающим телом для любого заданного момента. «Но это правило, эта формула, этот „закон“, — писал Мах в своем раннем труде „Принцип сохранения работы“, — *вовсе не имеет более существенного значения, чем все отдельные факты, вместе взятые*. Все значение его заключается только в удобстве применения. Оно имеет экономическое значение».

Итак, теория, по Маху, не включает в себе ничего более, чем все отдельные «факты восприятия», она есть только экономичная запись их ради облегчения памяти.

Эйнштейн не мог пойти в этом вопросе за Махом. Он уже увидел в теории нечто большее, чем только сжатую запись «фактов восприятий»: она дает «картину мира», его связи, *которые непосредственно в фактах восприятий усмотреть нельзя*.

Не дает этой картины и теория, построенная на физических экспериментах. Пример такой теории Эйнштейн усматривал в теории тяготения Ньютона. Она дала многое, но ведь Эйнштейну пришлось ее реформировать, поскольку она содержала много понятий, не нужных для обобщенной совершенной теории. Такая теория хотя и имеет «внешнее оправдание», поскольку объясняет опыт, но она «внутренне несовершенна».

Необходимость преобразования классической теории тяготения и успешный опыт построения новой реформированной теории подсказывали ему вывод: непосредственный опыт не ведет к однозначной теории. Эйнштейн уже давно пришел к этому выводу и руководствовался им в теоретической работе, но наиболее резко сформулировал его в «Творческой автобиографии», в которой обозревал пройденный путь: «*Теория тяготения научила меня и другому: собрание эмпирических фактов, как бы обширно оно ни было, не может привести к таким сложным уравнениям (поля тяготения. — С. С.). На опыте можно проверить теорию, но нет пути от опыта к построению теории*» *).

Здесь мы видим и прямую ссылку на свой профессиональный опыт, на свой метод построения теории тяготения (значение профессионального опыта мы подчеркивали выше) и резкое отрицание пути от опыта к построению теории. То, что содержит опыт, и взаимные соотношения опытных

*) См. аналогичное высказывание, приведенное в п. 4, стр. 549.

данных находят свое выражение только в выводах теории; выводы теории действительно должны соответствовать опыту, иначе теория окажется пустой схемой. Здесь опыт выступает лишь как мера оценки теории и лишь *после* того, как теория создана.

Но если от опыта нет путей к построению теории, то каково же ее происхождение?

В лекции «О методе теоретической физики» Эйнштейн говорил: «В том, что такое отражение (опыта — в выводах теории.— С. С.) возможно, состоит единственная ценность и оправдание всей системы и особенно понятий и фундаментальных законов, лежащих в ее основе. В остальном эти последние суть *свободные изобретения человеческого разума*, которые не могут быть оправданы ни природой этого разума, ни каким-либо другим видом априори». Физик отыскивает такие фундаментальные понятия и законы, которые дальше логически несводимы. «Важнейшая цель теории состоит в том,— продолжал Эйнштейн,— *чтобы этих несводимых элементов было как можно меньше и чтобы они были как можно проще*, однако так, чтобы это не исключало точного отображения того, что содержится в опыте».

Здесь мы видим выражение двух важных гносеологических идей, которые Эйнштейн считал выводом из своего метода построения теории тяготения. Первая идея состоит в том, что понятия и теории суть свободное изобретение разума, вторая — в том, что задача теоретика состоит в отыскании несводимых далее простейших элементов, фундаментальных понятий, которые должны быть положены в основу теории.

Идея о том, что понятия и теории суть свободные изобретения разума — не случайное высказывание Эйнштейна. Эту идею можно найти почти во всех его работах, в которых обсуждаются методологические проблемы, начиная со статей периода построения теории тяготения. продолжая книгой «Эволюция физики», написанной для массового читателя, и кончая его «Творческой автобиографией».

Несомненно, что идею о том, что понятия и теории суть свободные изобретения разума, Эйнштейн противопоставлял кантовской идее об априорности знания, желая подчеркнуть этим, что понятия (например, пространства, времени) не даны априори в силу природы разума, а создаются благодаря его *деятельности*. Это противопоставление видно из приведенной выше фразы. Но несомненно также, что он противопоставлял эту идею другой идее, а именно, что понятия и теории являются для нас принудительными в той мере, в какой они являются необходимым следствием анализа экспериментального материала, опыта. Неслучайно поэтому против эйнштейновской трактовки метода конструирования понятий и теорий возражали даже друзья Эйнштейна, несогласные с его трактовкой роли опыта. Например, Макс Борн говорил в докладе «Альберт Эйнштейн и световые кванты» (1955): «Сам Эйнштейн не устает подчеркивать, что не существует однозначного логического пути от фактов опыта к теоретическим системам физики; последние, по его мнению, суть дети свободной фантазии. И все же несомненно, что *ценность теории тем выше, наше доверие к ней тем больше, чем меньше в ней свободы выбора, чем больше ее логическая принудительность*».

Успехи в построении обобщенной теории тяготения Эйнштейн относил за счет *правильного подбора фундаментальных понятий*, положенных в ее основу. Но теперь он и несовершенство ньютоновой физики рассматривает как *результат плохого подбора фундаментальных понятий*. Ньютону и его последователям только *казалось*, что они применяют единственно возможные понятия, связанные с опытом. На самом же деле понятия классической физики имеют не опытное происхождение, а все то же сво-

бодное творчество разума. Но только обычно этот факт не осознается до конца, что и приводит к несовершенной теории. В уже упомянутой лекции «О методе теоретической физики», развивая идею о том, что Ньютон и его последователи рассматривали понятия и законы классической физики как непосредственно связанные с опытом, Эйнштейн продолжал: «Большинство естествоиспытателей тех времен были проникнуты идеей, что фундаментальные понятия и основные законы физики не были в логическом смысле свободными изобретениями человеческого разума и что они могли быть выведены из экспериментов посредством «абстракции», т. е. логическими средствами». Эйнштейн считает эту идею ошибочной, правда, он сознает, что другого понимания в то время быть не могло. *«Ясное осознание неправильности этого понимания по существу принесла только общая теория относительности (опять профессиональный опыт! — С. С.). Эта теория показала, что на фундаменте понятий, сильно отличающемся от ньютонова, можно соответствующий круг опытных фактов объяснить даже более удовлетворительным и совершенным образом, чем это было возможно на ньютоновой основе».*

Подобную же мысль Эйнштейн высказывает и в «Творческой автобиографии»: «Предрассудок, который сохранился и до сих пор, заключается в убеждении, будто факты сами по себе, без свободного теоретического построения, могут и должны привести к научному познанию. Такой самообман возможен только потому, что не легко осознать, что и те понятия, которые благодаря проверке и длительному употреблению кажутся непосредственно связанными с эмпирическим материалом, на самом деле свободно выбраны».

Итак, по Эйнштейну, независимо от того, как Ньютон и его последователи сами понимали истоки теории, фактически они строили ее на фундаменте некоторых свободно выбранных и потому не обязательных понятий; это были понятия абсолютного пространства, времени, движения, материальной точки, тяжелой и инертной масс, дальнодействующих сил, ускорения, инерции, энергии и т. д.

Выводы теории, построенной на этих понятиях, действительно подтверждались опытом. Но теория оказалась несовершенной. В ней некоторые понятия оказались искусственными, органически несвязанными в развитой затем теории, они были только внешними условиями для теории. Некоторые другие понятия оказались попарно эквивалентными друг другу.

Свою обобщенную теорию тяготения Эйнштейн рассматривал как попытку построить другую систему фундаментальных понятий, увязанных в единой теории. Эта теория охватывает тот же опыт. Но фундамент ее очищен, выражаясь языком оптиков, от «привидений», а потому связи в ней, ведущие от фундаментальных понятий к опыту, другие. Эта теория отличается от первой своим «внутренним совершенством»; одного критерия «внешнего оправдания» оказывается недостаточно, ибо теорий, отвечающих этому критерию, т. е. *охватывающих одну и ту же совокупность опыта*, может быть несколько и, возможно, даже множество.

Эйнштейн говорит об этих критериях неоднократно, в частности, в «Творческой автобиографии», где он признает «недостаточную определенность» своих утверждений в отношении критерия «внутреннего совершенства». Ясно, однако, что поиски критерия теории, отвечающей требованию «внутреннего совершенства», это прежде всего поиски наиболее совершенного фундамента теории, исходных категорий и законов, на которые она опирается. Выше уже отмечалось, как понимается этот наиболее совершенный фундамент: конечных несводимых элементов должно быть как можно меньше и они должны быть как можно проще.

В самой последней своей работе, посвященной методам теоретической физики, — во втором приложении к третьему изданию «Сущности теории относительности» (1950) — Эйнштейн писал: «Одна теория отличается от другой главным образом выбором *«кирпичей» для фундамента*, т. е. ни к чему не сводимых основных понятий, на которых построена вся теория».

Эйнштейн указывает дальше, как менялся фундамент физики: «В классической теории (механика) такими основными понятиями являются: материальная точка, сила взаимодействия между материальными точками (потенциальная энергия) и инерциальная система (последняя составляется из декартовой системы координат и временной координаты). С ростом наших знаний об электромагнитном поле к числу основных понятий наравне с материальной точкой (вещество) прибавилось понятие поля, рассматриваемого как второй носитель энергии». Специальная теория относительности «предполагает далее, что мы можем отбросить концепцию материальной точки и иметь дело только с концепцией поля». Общая теория относительности «вовсе отбросила понятие инерциальной системы».

Основную тенденцию эволюции физики Эйнштейн видит именно в улучшении отбора «кирпичей» для фундамента физики. Это является лейтмотивом его (совместно с Инфельдом) книги «Эволюция физики». До теории относительности, пишут в ней авторы, еще можно было утверждать, что между веществом и полем имеется качественное различие; вещество имеет массу, в то время как поле ее не имеет: поле представляет энергию, вещество представляет массу. Теория же относительности, установив эквивалентность массы и энергии, показала, что вещество отличается от поля лишь большей концентрацией энергии. «Но если это так, то различие между веществом и полем скорее количественное, чем качественное. Нет смысла рассматривать вещество и поле как два качества, совершенно отличные друг от друга». На основе качественного отождествления вещества и поля авторы стремятся построить «новую философскую основу» естествознания. Они пишут: «Мы не можем построить физику на основе только одного понятия — вещества. Но деление на вещество и поле, после признания эквивалентности массы и энергии, есть нечто искусственное и неясно определенное. Не можем ли мы отказаться от понятия вещества и построить чистую физику поля? То, что действует на наши чувства в виде вещества, есть на деле огромная концентрация энергии в сравнительно малом пространстве. Мы могли бы рассматривать вещество как такие области в пространстве, где поле чрезвычайно сильно. Таким путем можно было бы создать новую философскую основу [естествознания]. Ее конечная цель состояла бы в объяснении всех событий в природе структурными законами, справедливыми всегда и всюду. С этой точки зрения брошенный камень есть изменяющееся поле, в котором состояния наибольшей интенсивности поля перемещаются в пространстве со скоростью камня. В нашей новой физике не было бы места для поля и для вещества, поскольку *единственной реальностью было бы поле*».

Итак, главная физическая концепция Эйнштейна состоит в следующем. Все процессы, происходящие в природе, должны быть выражены в единой полевой теории. Эта теория свободно конструируется разумом на фундаменте свободно отобранных понятий. Теория должна отвечать определенным требованиям: быть внутренне совершенной, связывать события однозначным образом, приводить к выводам, не противоречащим опыту.

9. Элементы рационализма, позитивизма и кантианства в гносеологии Эйнштейна. Постигание роли теории как целостности, в которой каждая физическая категория играет служебную роль, — большое достижение

современной теоретической мысли. Труды Эйнштейна, — впрочем, не только его — сильно способствовали усвоению этой истины.

Но мы видели, что Эйнштейн отрицал путь от опыта к построению теории. Тот путь, который подсказывал Мах, не мог удовлетворить Эйнштейна. При всей своей высокой оценке маховской критики априорных понятий ньютоновой физики Эйнштейн не мог принять тезис позитивизма о существовании только мира ощущений, о понятиях как психических образованиях, о теориях как экономайной записи все тех же фактов восприятий. Эйнштейн *сам создавал теории*, и вовсе не таким путем, какой указывал Мах; весь профессиональный опыт Эйнштейна выражал внутренний протест против маховского опрощения проблемы происхождения понятий и теорий. Он вел к более глубоким выводам. Если образование теории — не такая опрощенная операция с «фактами восприятий» и «комплексам восприятий», как указывал Мах, а *логический процесс*, в результате которого возникает целостная логическая система, выводы которой совпадают с новыми «комплексам ощущений», то это действительно вселяет «веру в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта», в то, что и теория, и ощущения выражают именно этот мир.

Однако именно то, что подняло Эйнштейна над позитивизмом, привело его к рационализму. В самом деле, вдумаясь в его обоснование того, почему неизбежны колебания между эмпиризмом и рационализмом (см. цитату на стр. 549). Вот Эйнштейн констатирует нечто новое в познании: исследователи приходят к выводу, что «отдельное понятие и единичное утверждение может выражать нечто сопоставимое с эмпирически данным в конечном счете только в связи с *целостной системой*». Но *тогда признают, что никакого пути от данного в опыте к миру понятий нет. Тогда взгляды исследователя становятся скорее рационалистическими*.

Таким образом, Эйнштейн сам признает, что к рационализму его привело именно раскрытие роли теории как целостности. Был ли этот вывод необходим? Вовсе нет. Этот ответ будет обоснован в следующем разделе, а здесь мы остановимся на особенностях эйнштейновского рационализма.

Известны высказывания Эйнштейна, в которых он выражал симпатии к выдающемуся рационалисту XVII века — Спинозе. Но, пожалуй, его метод ближе к рационализму старшего современника Спинозы — Декарта.

Как в наше время Эйнштейн брал за образец научного метода геометрический метод Евклида и математики вообще (Эйнштейн говорит об этом и в лекции «О методе теоретической физики» и в «Творческой автобиографии»), так в свое время и Декарт опирался на геометрический метод (как известно, геометрия была профессией Декарта, он положил начало аналитическим методам в ней). В «Рассуждении о методе для руководства разума и отыскания истины в науках» (1637) Декарт писал: «Те длинные цепи простых и легких рассуждений, которыми обычно пользуются геометры, чтобы дойти до своих наиболее трудных доказательств, дали мне случай представить себе, что все вещи, способные стать предметом знания людей, стоят между собою в такой же последовательности. Если таким образом остерегаться принимать за истинное что-либо, что таковым не является, и соблюдать всегда порядок, в каком следует выводить одно из другого, то нет таких отдаленных вещей, которых нельзя было бы достигнуть, и таких сокровенных, которых нельзя было бы открыть».

В этой рационалистической схеме Декарта все вещи стоят между собой в той же последовательности, что и в геометрии, и в ней логические

следствия его схемы совпадают с опытом. Декарт (как и Эйнштейн в наше время) искал исходные предпосылки познания, из которых он мог бы вывести все знание: «Я старался найти принципы или первые причины всего, что существует или может существовать в мире... Потом я исследовал первые и самые обыкновенные следствия, которые можно вывести из этих причин: и кажется мне, что таким путем я нашел небо, светила, звезды и на них воду, воздух, огонь, минералы и некоторые другие предметы, наиболее общие и простые, а потому и более доступные познанию».

Как известно, Декарт признал невозможным практически провести эту логическую нить до «самых отдаленных вещей», ибо хотя вещи и стоят между собой в геометрической последовательности, эта последовательность в каком-то пункте становится неоднозначной, и какая ветвь из этих последовательностей реализована в природе, — человеческий разум логически не может решить. «Следовательно, обратить их (разнообразные частные следствия. — С. С.) в нашу пользу можно, только восходя от следствий к причинам и производя множество различных опытов».

Декарт верил в рациональную структуру мира, но он признал, что отразить ее в мышлении возможно только в принципе, практически же необходимо восходить от следствий к причинам. Позиция Эйнштейна отличается тем, что в этом вопросе он не шел ни на какие компромиссы. Рационализм Эйнштейна отличен от классического и в другом отношении. В классическом рационализме (Декарта) все следствия выводятся из начальных принципов, они разворачиваются в последовательную цепь, в которой каждое звено вытекает из предыдущего и каждое из них может быть сопоставлено с реальным миром.

Эйнштейн же исходил из того, что физическая теория представляет собой замкнутую логическую структуру и потому может быть проверена только в целом, в ее конечных выводах. Следовательно, теория не разворачивается в последовательную цепь следствий, в которой может быть проверено каждое звено. До получения конечных выводов исследователь творит теорию чисто логически. В самом процессе создания теории разум следует по своим законам; Эйнштейн настойчиво подчеркивает, что теория — свободное изобретение разума; рационализм доведен им до предела.

Что, однако, означают слова «проверка выводов теории»?

При обсуждении *гносеологических* проблем Эйнштейн не выдвигает в качестве решающего критерия познания активное взаимодействие человека с внешним миром, изменение внешнего мира на основе познания. Он сравнивает выводы теории с *миром восприятий*, довольствуясь сознанием того, что восприятия как-то связывают человека с внешним миром. Как относится свободно созданная разумом теория к внешнему миру — это можно судить по тому, как она объясняет, «упорядочивает» мир восприятий, который несомненно вызывается в нас внешним миром. Подтверждение последнего факта Эйнштейн видит не в целеустремленном взаимодействии с внешним миром, а в том, что наши восприятия имеют «надличностный» (или внеличностный) характер, т. е. одни и те же восприятия при одинаковых обстоятельствах присущи не одному человеку, а ряду людей.

Таким образом, по Эйнштейну, теория возникает не из опыта, а свободно изобретается разумом на основе более или менее совершенного отбора понятий — «кирпичей фундамента» — и, минуя внешний мир, *накоротко замыкается* непосредственно с миром восприятий, с тем «надличным», что в нем встречается, объясняет и «упорядочивает» его.

Это замыкание теории непосредственно на «мир восприятий» оставляет большую свободу в конструировании теорий. Эйнштейн рассуждал так: раз теория *в целом* должна отвечать *фактам восприятий*, то части ее

могут быть произвольным, свободным изобретением разума, однако в данной теории необходимыми. Этим он объясняет тот, на первый взгляд парадоксальный, факт, что хотя математика (геометрия) имеет дело с идеализированными объектами (и потому она всегда верна), все же она необходима для познания действительности. Это находит объяснение в следующем положении Эйнштейна, которое он высказал в докладе «Геометрия и опыт» на торжественном заседании Прусской академии наук в 1921 г.: «Геометрия (Г) ничего не говорит о соотношении действительных предметов, и только геометрия вместе с совокупностью физических законов (Ф) описывает это соотношение. Выражаясь символически, мы можем сказать, что проверке опыта подлежит только сумма $(Г) + (Ф)$. Таким образом, в действительности можно по произволу выбрать как (Г), так и отдельные части (Ф); все эти законы являются условными. Для избежания противоречия необходимо только, чтобы оставшиеся части (Ф) выбрать таким образом, чтобы опыт оправдывал совместно (Г) и полное (Ф)».

Идея эта принадлежит Пуанкаре, но Эйнштейн признал, что «такое воззрение Пуанкаре совершенно правильно».

В этой идее, в противоречие с изложенным ранее взглядом на теорию, явно реализуется позитивистский тезис: теория есть система упорядочения чувственных восприятий, и таких систем упорядочения может быть множество. Чтобы это стало очевидным, напомним рассуждения позитивиста Рейхенбаха в его «Philosophical Foundations of Quantum Mechanics» (1946) в связи с обсуждением им вопроса о том, существуют ли в физике ненаблюдаемые. Этот вопрос, говорит Рейхенбах, аналогичен вопросу: существует ли дерево, когда на него перестают смотреть? Ответ, по Рейхенбаху, может быть любым: можно предположить исчезновение дерева либо его удвоение, утроение и т. д., но важно соблюдать одно правило: каждому предположению должна соответствовать такая конструкция физических законов, которая оправдывала бы во всех случаях восприятие *одной* тени. Это будут различные, но правомерные описания ненаблюдаемого; в гносеологии Рейхенбаха они составляют «класс эквивалентных описаний». Что происходит в действительности, для Рейхенбаха несущественно, для него действительность есть только факт данного восприятия (одной тени дерева).

По существу, такого же представления о возможности многих эквивалентных описаний чувственных восприятий придерживается Эйнштейн.

Однако, в отличие от позитивистов, Эйнштейн признает, что чувственные восприятия идут от внешнего мира, который, следовательно, существует. Но сам внешний мир представляется Эйнштейну загадкой. Он находит эту идею — мир есть загадка — очень ценной и указывает, что она идет от Канта. В «Ответе на критику» Эйнштейн пишет: «Я не был воспитан в традициях Канта и довольно поздно пришел к пониманию того действительно ценного, что имеется в его учении, наряду с заблуждениями, которые теперь совершенно очевидны. Оно заключено в утверждении: «реальное нам не дано, а загадано (в виде загадки)». Это, очевидно, означает: для охвата межличного существует умозрительная конструкция, основание которой лежит исключительно в ней самой. Эта умозрительная конструкция относится именно к «реальному» (по определению), и все дальнейшие вопросы о «природе реального» бессодержательны».

Более популярно эта концепция была изложена в книге «Эволюция физики». В ней авторы пишут: «Физические понятия суть свободные творения человеческого разума и не однозначно определены внешним миром, как это иногда может показаться. В нашем стремлении понять реаль-

ность мы отчасти подобны человеку, который хочет понять механизм закрытых часов. Он видит циферблат и движущиеся стрелки, даже слышит тиканье, но *он не имеет средств открыть их корпус*. Если он остроумен, он может нарисовать себе некую картину механизма, которая отвечала бы всему, что он наблюдает, но *он никогда не может быть вполне уверен в том, что его картина единственная*, которая могла бы объяснить его наблюдения. *Он никогда не будет в состоянии сравнить свою картину с реальным механизмом*, и он не может даже представить себе возможность или смысл такого сравнения. Но он, конечно, уверен в том, что по мере того, как возрастает его знание, картина реальности становится все проще и проще и *будет объяснять все более широкий ряд его чувственных восприятий*. Он может даже верить в существование идеального предела знаний и в то, что человеческий разум приближает этот предел. Этот идеальный предел он может назвать объективной истиной».

Теперь перед нами вполне законченная картина мира и путей его познания, как представлял их Эйнштейн. В этой картине действительно отведено место всем философским направлениям — реализму (точнее, материализму) и позитивизму, рационализму и кантианству, и несомненно — элементам ряда других философских направлений. Эйнштейн видел в этом достоинство философских взглядов естествоиспытателя, выражение необходимости для него считаться не с «односторонней философской схемой», а с реальным разносторонним процессом познания.

В этой главе мы проследили, как зарождалась гносеология Эйнштейна из его понимания собственного опыта построения физических теорий. В следующей главе мы рассмотрим вопрос о том, оправдалась ли эта гносеология, когда он стал руководствоваться ею в трактовке уже созданных физических теорий, а также в разработке новых.

III

10. Гносеология Эйнштейна и реальный процесс познания. Опыт и теория у Эйнштейна. Итак, в ходе развития теории относительности и обобщенной теории тяготения Эйнштейн выработал некоторое методологическое оружие, теорию познания естествоиспытателя. Напомним вкратце ее основы.

От опыта нет пути к построению теории. Понятия и теории имеют не опытное происхождение, но и не априорное. Они суть свободное изобретение разума, которое оправдывается только в сопоставлении конечных выводов теории с опытом. Естествоиспытатель отбирает минимальное число простейших «кирпичей» для фундамента» и на этом «концептуальном фундаменте» строит внутренне наиболее совершенную теорию. Непосредственная цель теории — упорядочение наших восприятий. Если это достигается, то мы можем полагать, что построенная нами теория в какой-то мере соответствует внешнему, всегда закрытому от нас миру, соответствует постольку, поскольку восприятия являются следствием протекающих в нем процессов.

Такова схема познания Эйнштейна.

Главное, что отличает метод познания Эйнштейна, — это отрицание пути от опыта к построению теории. Вместе с тем это отрицание является наиболее слабым пунктом его гносеологии.

Но, может быть, это отрицание есть случайная, хотя и повторяющаяся (см. цитаты на стр. 549 и 559), оговорка великого физика, критиковать которую было бы делом недостойным? Разве не известно, что Эйнштейн даже в тот период, когда разрабатывал свои обобщающие теории, опирался на опыт, например на экспериментальный факт равенства

тяжелой и инертной масс? Разве Эйнштейн (совместно с Инфельдом) не показал в «Эволюции физики», как под влиянием открытия новых фактов возникают новые представления и понятия, как в особенности возникло и утвердилось понятие поля — основное в физике Эйнштейна?

Все это несомненно так. И тем не менее ссылка Эйнштейна на опыт отнюдь не изменяет обрисованной выше рационалистической схемы его познания, в которой существенным является отбор «концептуального фундамента» и построение теории на его основе. Иначе говоря, отдельные ссылки Эйнштейна на опыт не означают, что его вывод — «нет пути от опыта к построению теории» — случайная для него оговорка. Это станет ясным, если рассмотреть наиболее общую форму связи физической теории с экспериментом и сравнить ее с той ролью, какую опыт играет в трудах Эйнштейна.

Физическое познание начинается с установления некоторых экспериментальных соотношений, определенным образом связывающих физические категории (понятия, величины) друг с другом (причем сущность категорий в этих соотношениях всегда определяется в свете существующих теорий). Эти экспериментальные соотношения могут казаться (опять-таки в свете существующих теорий) даже противоречащими друг другу. Но поскольку они представляют собой проявления одного и того же типа объектов, необходимо возникает задача: найти логическое условие их совместности, обобщить их. Следовательно, сущность обобщения такого рода состоит в рассмотрении экспериментальных фактов *совокупно* как *единой логически связанной системы*, в отыскании *условий совместности результатов различных экспериментов*. В физике эти условия формулируются в виде математических уравнений или неравенств. Их отыскание, разумеется, трудный и подчас болезненный процесс, иногда затягивающийся на долгие годы. Результатом этого процесса и является *теория*.

Отношение между совокупностью экспериментальных фактов и теорий взаимно. Иначе говоря, теория должна быть таким обобщением экспериментально установленных соотношений, что из нее при определенных условиях должны вновь возникать те же соотношения, которые привели к образованию теории. Но этого требования для подлинной теории недостаточно. Теория не просто суммирует экспериментальные соотношения, которые стали известны исследователю, но она (в полную противоположность Маху) *выходит за их пределы*, раскрывая через них объективные связи природы. И если эти объективные связи действительно раскрыты правильно, то теория неизбежно приведет к раскрытию и таких соотношений, которые существуют в природе объектов, но еще не были известны исследователю. В этом заключается эвристическое значение теории. Она не пассивно суммирует уже известный опыт, а *дает новое знание, расширяет возможности опыта*. Теория есть нечто большее, чем простая сумма единичных опытов.

Именно поэтому в марксистской философии теория с полным основанием рассматривается как *образ* объективной реальности.

Указанный путь обобщения узловых экспериментов есть наиболее общий и глубокий путь образования теории. Он фактически и реализуется во всех плодотворных физических теориях, хотя это не всегда осознается. Таким именно путем создавалась квантовая механика, на чем мы еще остановимся дальше, а также и теория относительности («специальная»). И такое обобщение фактически реализовал сам Эйнштейн, который в те годы еще не выработал своей особой концепции познания и шел стихийным путем. Не следует забывать, что Эйнштейн отталкивался от классической теории Максвелла, в которой уже были обобщены экспериментальные факты в области электромагнетизма, установленные его

предшественниками. Но теория Максвелла оказалась неполным обобщением; необходимо было учесть еще и такие факты, как симметричность (относительность) электромагнитных взаимодействий и независимость скорости света от движения его источника. Это дальнейшее обобщение и выполнил Эйнштейн, что и привело его к теории относительности.

Подобный путь обобщения труден, но он — единственно возможен, и он всегда плодотворен по своим результатам. Мы не можем здесь входить в детальное рассмотрение так понимаемой теории и ее связи с экспериментом, но отметим еще два существенных момента.

Теория опирается на определенный круг *однозначно* установленных экспериментальных соотношений. Условие совместности этих соотношений также всегда *однозначно*. Это означает, что теория выступает как *однозначный образ* внешнего мира как в целом, так и в своих частях. Могут получиться различные формы теории; при уточнении они оказываются *эквивалентными*, как это было, например, в отношении матричной и волновой форм квантовой механики. Процесс обобщения, приведший к теории относительности («специальной»), был настолько однозначен, что к его результату продвигался не один Эйнштейн, но и другие физики, в особенности Лоренц, Пуанкаре. Лоренц вопреки личным симпатиям, как свидетельствует Макс Борн, был вынужден отказаться от механистической идеи о существовании особого носителя электромагнитных процессов — эфира; он же, как известно, вывел существенные для теории относительности уравнения преобразований, получившие его имя, и вынужден был ввести в инерциальных системах «местное время», хотя и не понимал его смысла. Пуанкаре всего несколькими месяцами позже Эйнштейна опубликовал статью «О динамике электрона» (1906), в которой по существу были все необходимые элементы теории относительности. Словом, экспериментальные факты в начале нашего века с неизбежностью подвели всех физиков к однозначному теоретическому обобщению — теории относительности.

Далее. Теория, являющаяся формулировкой условий совместности экспериментальных фактов, в силу своей природы опирается только на установленные экспериментальные соотношения и не предполагает заранее никаких определенных представлений о свойствах объекта или определенных типов связей, действующих в объекте. Последние могут быть получены лишь в результате отыскания условий совместности экспериментов, т. е. в результате выработки физической теории. Это очень важное свойство данного метода образования теорий, ибо оно означает, что данный метод не навязывает исследователю никаких априорных представлений ни об объекте, ни о действующих в нем связях; в силу этого он *является необходимым и наиболее общим способом раскрытия в объекте новых свойств и нового типа связей*, притом его выводы реализуются с принудительной силой, часто вопреки навыкам и психологическому сопротивлению исследователя.

Рассмотрим теперь ту роль, которая отведена опыту в схеме познания Эйнштейна. Эта роль двоякая. Об одной из них Эйнштейн говорит ясно: выводы теории должны совпадать с опытом, без этого теория превращалась бы в пустую схему. Это положение бесспорно. Но это — апостериорная, контрольная функция опыта. Она отбирает адекватные объекту теории среди всех созданных, содействуя тем развитию науки в целом, но она не ведет непосредственно к *построению* теории.

Опыт играет в схеме Эйнштейна и другую роль. В схеме построения теории Эйнштейна нетрудно заметить два этапа: на первом он конструирует «концептуальный фундамент», а на втором — создает на его основе теорию. Но откуда он берет понятия для «фундамента»? Эйнштейн

утверждает, что понятия (как и теория) — продукт свободного изобретения разума. Но, конечно, он не придумывает их произвольно, а фактически *отбирает*, отбирает среди тех, которые по каким-то основаниям уже возникли в физике. Мы не будем здесь исследовать этот процесс возникновения понятий и их последующего закрепления или же отклонения. Эйнштейн (и Инфельд) показали этот процесс в «Эволюции физики». Ясно, что в возникновении физического понятия опыт играет определенную (однако не непосредственную, не в смысле позитивизма или операционализма) роль. У Эйнштейна он играет роль и в отборе понятий для «концептуального фундамента» (равенство тяжелой и инерциальной масс). *Но это совсем не та роль, какую играет опыт, когда отыскивается единственно возможное условие совместности экспериментов.* Эйнштейн прав: *та роль, которую он сам отводит опыту*, не дает ему возможности найти пути от опыта к построению теории. Она вполне совмещается с концепцией теории как продукта свободного изобретения разума, со всеми вытекающими отсюда следствиями, а именно, что одни и те же факты могут отображаться разными теориями, что одна теория отличается от другой различными «концептуальными фундаментами», положенными в основу теории, что помимо критерия «внешнего оправдания» теории существует еще критерий «внутреннего совершенства» и т. п.

Идея множественности теорий, отображающих одни и те же факты, но отличающихся тем, что они построены на основе различных «концептуальных фундаментах», не подтверждается реальным процессом познания. Нет оснований считать, что две теории тяготения — Ньютона и Эйнштейна — относятся к одному и тому же кругу фактов, но только по-разному их «упорядочивают», поскольку-де первая имеет несовершенный «концептуальный фундамент», а вторая — совершенный. Классифицировать эти теории приходится по-иному. Обе эти теории стоят не рядом друг с другом, как неоднократно подчеркивал Эйнштейн, а в определенном отношении друг к другу, и вторая охватывает более широкий круг фактов, чем первая. Теория тяготения Ньютона справедлива только для скоростей, малых сравнительно со скоростью света, и потенциалов, малых сравнительно с квадратом скорости света. Обобщенная теория тяготения Эйнштейна охватывает также и области больших скоростей и потенциалов, а при малых их значениях принимает форму ньютоновой теории. Обе теории представляют собой *различные степени углубления познания природы*. Нельзя, следовательно, утверждать, что «концептуальный фундамент» и сама теория свободно конструируются разумом. Замечание Борна по этому поводу (см. стр. 560) было справедливым.

Нельзя принять и идею о том, что мир есть и навсегда будет для нас загадкой. Если корпус мирового механизма наглухо закрыт от нас и никогда не раскроется, то предъявляемые к теории требования становятся не столь жесткими, поскольку «внешнее оправдание» ее конечных выводов фактически сводится при этом только к той или иной степени «упорядочения» наших восприятий. Эта концепция лишает теорию однозначной достоверности, что неоднократно признавал и Эйнштейн (см. его высказывания, приведенные на стр. 561, 566).

Но реальные знания человека развиваются вовсе не так: сегодня нет никаких теорий, а завтра будет теория, охватывающая весь замкнутый в себе мир, «корпуса механизма» которого мы вскрыть никогда не сможем. Человек создает теории, относящиеся не к миру как целому, а к отдельному кругу явлений природы. При этом он непрерывно взаимодействует с природой, как до создания теории, так и после. Он создает теорию на основе взаимодействия и проверяет свои теоретические выводы о ней через взаимодействие, через практику. В результате этого человек

непрерывно расширяет и углубляет свои связи с природой. Это и есть процесс познания природы. Это и есть раскрытие «корпуса мирового механизма». Только игнорируя это постоянное взаимодействие с внешним миром, исследователь может утверждать, что его теория — продукт свободного изобретения разума. К чему это игнорирование привело на практике самого Эйнштейна, мы увидим позже, а пока рассмотрим, к какому результату оно приводит в самой теории познания.

В логическом аспекте физическая теория представляет собой некоторую связь физических категорий или понятий. Отобрав «кирпичи» для фундамента», Эйнштейн приступает к построению теории, устанавливая некоторую связь между отобранными понятиями. Но какие же типы связей он использует? Только типы связей, выражаемые дифференциальными уравнениями, для поля — в частных производных. Следовательно, гносеология Эйнштейна исходит из заранее определенного типа причинных связей, приписываемых внешнему миру: это — однозначная непрерывная связь событий, смежных во времени и пространстве. Опора на связи этого типа для Эйнштейна неизбежна, ибо других связей он не знает и ему неоткуда почерпнуть знание о них, поскольку он не рассматривает *условия совместности различных экспериментов*. Игнорирование этого метода, раскрывающего реальные связи в природе, и вынуждает Эйнштейна неявным образом постулировать, что внешний мир подчиняется связям именно *указанного типа*.

Выходит, что априоризм, правомерность которого Эйнштейн подверг справедливой критике, стремясь освободить от него классическую физику, выступает в теориях Эйнштейна в новой форме: теперь априорный характер приобретают уже не отдельные физические категории, а *определенный тип закономерных связей*, характерный для классической физики.

Но откуда следует, что мир должен подчиняться именно тому типу связей, который известен исследователю в период разработки им теории или по каким-то причинам наиболее близок его духу? А что если внешний мир и в самом деле обладает закономерностями иного типа, как получить об этом информацию? Не выступает ли здесь принятый метод познания как препятствие познанию?

Это именно так и есть. Это — противоречие, но оно неизбежно для рационализма, как классического, так и современного. Но классический рационализм для своего времени был прогрессивным течением, поскольку он выступал против догм, утверждавших, будто истина дана только в церковных книгах, и выдвигал идею, что творческий разум человека в состоянии прочесть ее в книге самой природы. В наше время богословские догмы преодолены и рационалистическая философия лишь тормозит познание: она не в состоянии раскрыть в природе связи нового типа. И если Эйнштейн на определенном этапе раскрывал их, то, как сказано выше, раскрывал потому, что фактически применял не рационалистический метод познания.

Итак, Эйнштейн признавал опыт, но он недооценивал его гносеологическое значение, его существенную роль в построении теории. Он использовал опыт так, что допускал возможность множественности теорий, описывающих один и тот же круг фактов, и исключал возможность познания объективных связей и свойств нового типа.

В последующих разделах мы рассмотрим метод Эйнштейна в действии.

11. Метод Эйнштейна в действии. Общая теория относительности или обобщенная теория тяготения? Как уже сказано выше, теория относительности («специальная») явилась результатом обобщения экспериментальных фактов. Однако Эйнштейн по-своему истолковал причины

ее появления. В свете сложившейся у него общей концепции он стал рассматривать ее как результат устранения из физики исключительности одной («абсолютной») системы отсчета. К этому его толкала и маховская критика основ ньютоновой механики, критика, которая в то время стала популярной среди физиков. Устранение из физики абсолютной системы отсчета действительно имело место. Но все дело в том, что не теория появилась в результате этого устранения, а оно само явилось существенным *результатом теории*.

Пока дело касается одной, исходной теории, спор о том, что является в ней основой, а что следствием, может показаться схоластическим. Принципиальное различие позиций выясняется при построении новых теорий, когда избранная позиция становится руководящим методом поиска.

Так произошло и в данном случае. Произведенный Эйнштейном переворот реальных соотношений в оценке причин возникновения теории относительности многим показался естественным и убедительным. Самого Эйнштейна этот переворот привел к развитию специфической для него методологии, из которой прямо вытекала задача дальнейшего упорядочения «концептуального фундамента» физической теории.

Она возбудила в нем стремление расширить смысл принципа относительности, сформулировав его как *общий* принцип относительности, охватывающий любые (и ускоренные) системы отсчета; этот принцип он стал рассматривать как важную веху на пути построения рациональной физики.

Но на этой стадии методология Эйнштейна вступила в свой первый конфликт с физикой.

Рассмотрим логику его устремлений и полученные им результаты.

Как сказано выше, Эйнштейн исходил из того, что принцип относительности устранил из физики идею об особом положении некоторой (единственной) абсолютной системы отсчета, в которой формулируются законы физики. Он считал это большим достижением, но все же неполным. На место одной выделенной системы встал целый класс систем, а именно, инерциальных. Все физические процессы в нем протекают одинаково, но все же это — особый класс: вне его находится класс неинерциальных (ускоренных) систем, в которых процессы протекают неодинаково.

Выделение некоторого класса систем (инерциальных) в особую категорию нарушало логическую стройность физического мышления. Эйнштейн полагал, что так же, как нет одной исключительной (абсолютной) системы, так не должно быть и целого класса исключительных систем — инерциальных. Такая ситуация не соответствует и методологическому требованию Эйнштейна, чтобы теория была «внутренне совершенной». Встает задача: в формулировке физических законов освободиться от учета того, что приносят в них неинерциальные системы, найти единую форму для выражения физических законов, назависимую от класса систем отсчета.

Как же это осуществить?

Две теории, созданные Эйнштейном, подсказывают к этому путь — теория относительности и обобщенная теория тяготения. Развивая теорию относительности (принцип относительности для инерциальных систем), Эйнштейн пришел к образу пространственно-временного континуума. Метрика этого континуума имеет псевдоевклидов характер. В этой псевдоевклидовости отражены свойства класса инерциальных систем. Формулируя обобщенную теорию тяготения, Эйнштейн включил поля тяготения в континуум посредством изменения его метрики. Оперирование с метрикой континуума упростило «концептуальный фундамент», освободило его от ряда понятий (дальнодействующие силы, инерциальное движение и т. п.). Законы движения в этом континууме физики

уже научились выражать в общековариантной форме. Возникает вопрос: нельзя ли влияние *неинерциальных* систем на движение учесть тем же методом — через пространственно-временной континуум путем соответствующего подбора его метрики? Если бы это удалось сделать, то проблема *неинерциальных* систем была бы снята, физика имела бы дело только с метрикой континуума, в котором закон движения выражается в общековариантной форме. Это и означало бы, с точки зрения Эйнштейна, что был бы найден «общий принцип относительности». От сформулированного прежде «специального принципа относительности» (как его стал именовать Эйнштейн) «общий принцип относительности» отличался бы тем, что он охватывал бы не только класс инерциальных, но также и класс *неинерциальных* систем. Другими словами, он утверждал бы, что *относительна не только скорость, но и ускорение*.

Такова была задача, поставленная Эйнштейном.

Но возможность выразить влияние *неинерциальных* систем на движение через метрику пространственно-временного континуума могла быть обоснована только в том случае, если бы была доказана эквивалентность полей ускорения полям тяготения. На это и было направлено внимание Эйнштейна.

Однако доказательств эквивалентности произвольных, встречающихся в природе полей ускорения и полей тяготения он не дал. Он указывал на мысленный опыт с закрытым лифтом; наблюдатель в таком лифте не имел бы возможности установить, движется ли его лифт равномерно-ускоренно или же он покоится, но находится в поле тяготения: все физические процессы в обеих ситуациях протекали бы одинаково. Но идеализированный опыт с падающим лифтом доказывает эквивалентность только в частном случае специально подобранных *однородных* полей. В общем же случае, например во вращающихся системах, эквивалентность можно принять только для бесконечно малого, сводимого к точке пространства, в котором поля можно принять за однородные. Иначе это формулируется так: *принцип эквивалентности — локальный принцип*. Для всего конечного пространства, для полей, взятых в целом, эквивалентность нарушается. Принцип неприменим, например, к солнечной системе. Идеализированный опыт с падающим лифтом не может служить аргументом в пользу общего принципа эквивалентности произвольных полей ускорения и полей тяготения.

Неприменимость принципа эквивалентности к конечному пространству вытекает также и из свойств того математического аппарата, посредством которого отображается пространственно-временной континуум. Как известно, он описывается дифференциальными уравнениями в *частных* производных. Такое описание только тогда может быть адекватным физической реальности, когда одновременно определены так называемые граничные или краевые условия. Краевые условия и уравнения в частных производных — неразделимые элементы теоретического отображения физической реальности. Требование краевых условий нельзя игнорировать, это означало бы игнорирование свойств самой физической системы, взятой в целом.

Но краевые условия для произвольных полей ускорения и для полей тяготения всегда будут различными. Например, во вращающихся системах энергия тел на бесконечности стремится к бесконечности, в то время как силы тяготения на бесконечности стремятся к нулю. Для инерциальных сил вращающейся системы нельзя подобрать в природе эквивалентного поля сил тяготения.

Таким образом, идея включить влияние произвольных ускоренных систем в пространственно-временной континуум путем соответствующего

подбора его метрики, аналогично тому, как это делалось для полей тяготения, не могла быть осуществлена, и общий принцип относительности не был доказан. Это означает, что ускоренные системы реально влияют на ход физических процессов, в них происходящих. Ускорение не относительно, как скорость, а абсолютно *).

Возможность же выражения законов движения в ковариантной форме сама по себе еще не влечет за собой утверждения общего принципа относительности **).

Однако Эйнштейн стремился построить рациональную физическую теорию в духе своих методологических идей. Исключительность инерциальных систем, в которых действует принцип относительности, наличие ускоренных систем, в которых он не действует, — это не отвечало духу рациональной физической теории. Ему казалось, что имеется достаточно оснований признать ускорение столь же относительным, как и скорость.

Из этого последовал и парадоксальный вывод о равноправности систем (и даже воззрений!) Птолемея и Коперника. Такое утверждение имеется, в частности, в книге «Эволюция физики». Авторы, Эйнштейн и Инфельд, выражают его здесь в очень яркой форме, ссылаясь на «новейшие физические открытия»; тем самым в руки реакционных клерикальных кругов было вложено очень острое оружие.

Как показано выше, физических оснований для утверждения о равноправности систем Птолемея и Коперника не существует, ибо относительность ускорения не доказана. Что касается воззрений Коперника, то их прогрессивная роль в борьбе за развитие науки, против реакционной церковной идеологии, не подлежит сомнению.

Трудно представить себе, что Эйнштейн, этот выдающийся гуманист нашего времени и искренний противник клерикализма, не понимал прогрессивного значения воззрений Коперника.

И дело, конечно, обстоит не так. Об этом свидетельствует, например, послание Эйнштейна Колумбийскому университету по случаю 410-й годовщины со дня смерти Коперника, написанное в декабре 1953 г., за полтора года до кончины ***). В этом послании Эйнштейн отмечает и вклад Коперника «в освобождение человека от цепей клерикального господства», и тот факт, что «огромное достижение Коперника... проложило путь современной астрономии» и показало несостоятельность «иллюзии о центральном значении самого человека» в космосе.

Идею о равноправности систем Птолемея и Коперника в устах Эйнштейна можно понять только как результат влияния узко профессиональных тенденций во взглядах самого Эйнштейна. Эти тенденции привели его к утверждению, будто ему удалось теоретически обобщить принцип относительности на все ускоренные системы. Эту идею Эйнштейн расценивал как весьма революционную. Но она была выражена в крайне абстрактной форме, и он, по-видимому, искал такой формы ее изложения, которая дала бы возможность широкой публике почувствовать ее революционный смысл. Отсюда и появилось это парадоксальное объявление борьбы воззрений Птолемея и Коперника как бессмысленной в свете современной науки. А общественный резонанс такой акции ученый, увлекшись профессиональными целями, не сумел предвидеть.

*) Следует учесть, что понятие «абсолютность ускорения» имеет иной смысл, чем понятие абсолютности пространства и времени в ньютоновой физике.

**) Эти проблемы обстоятельно рассмотрены в книге В. А. Ф о к а, Теория пространства, времени и тяготения, изд. 2-е, М., Физматгиз, 1961.

***) Опубликовано в 1956 г. в сб. Ideas and Opinions by Albert Einstein, London, 1956.

Эта проблема, Птоломей—Коперник, только прискорбный драматический эпизод, о котором пришлось здесь сказать ввиду большого общественного резонанса, который она получила, появившись в трудах маститых ученых, и особенно поскольку она изложена в столь популярной книге.

В теоретическом же плане нас интересует вывод, какой можно сделать из изложенного выше. Он состоит в том, что нельзя устранить из физики разделения систем на различные классы — инерциальные и неинерциальные, перейти от «частного» («специального») принципа относительности к «общему», доказать относительность ускорения.

Правда, для большинства ведущих физиков эйнштейновская трактовка «общего принципа относительности» не представлялась как очевидное противоречие с развитием науки. Многие физики, пользуясь термином «общий принцип относительности», понимали его не в смысле признания относительности ускорений, а в смысле метода включения различных полей в метрику пространственно-временного континуума. Практически и Эйнштейн применял этот термин в том же смысле. Однако, возникает вопрос, можно ли, следуя этому методу, исчерпать все свойства природы? Сам Эйнштейн отвечал на этот вопрос положительно: он считал, что весь мир — пространственно-временной *континуум*. К этому вопросу мы вернемся в п. 13.

Как бы ни решать эту общую проблему, нельзя, конечно, отрицать, что включение в метрику пространственно-временного континуума полей тяготения и определение характера движения в этом континууме, т. е. разработка Эйнштейном обобщенной теории тяготения — это реальное достижение теоретической мысли, имеющее огромное значение. Возможности обобщенной теории тяготения, по-видимому, еще не исчерпаны. Можно полагать, что ее выводы не ограничиваются теми тремя, на которые указывал сам Эйнштейн (см. п. 6, стр. 556). В своих работах, посвященных релятивистской астрофизике, Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков приходят к заключению, что существенные выводы из нее следуют для теории эволюции звезд, двойных звезд, звездных скоплений.

Несомненно, что с развитием астрофизики эвристическая ценность обобщенной теории тяготения будет повышаться. Однако эта линия развития вовсе не означает реализации той гносеологической идеи, которая побуждала Эйнштейна к работе над «общей теорией относительности», и мы вправе подвести итог сказанному выше: уже на первом этапе применения Эйнштейном его «рационального метода познания» не обнаруживается убедительных доказательств его правомерности.

Но на этом этапе расхождение с реальным процессом познания еще не сказалось со всей очевидностью, не стало доказательным для всех физиков; это в значительной мере связано с тем, что в понятие «общая теория относительности» вкладывался различный и не точно определенный смысл.

Однако это расхождение неминуемо должно было сказаться на следующих этапах развития физики и в других ее областях.

12. Квантовая теория и гносеология Эйнштейна. Можно ли было создать теорию *квантовых* явлений тем путем, который Эйнштейн признал единственно правильным? Безусловно, нет.

Метод Эйнштейна включал в себя правильное положение о том, что теория отображает определенную совокупность явлений внешнего мира только как целое, определяя смысл и содержание используемых в ней понятий (физических категорий). Мы помним, что осознание этого факта привело его к отходу от позитивизма Маха и операционализма

Бриджмена. Но метод Эйнштейна включал в себя также и требование предварительного отбора простейших понятий для «концептуального фундамента», из которого затем должна рационалистическим путем развиваться теория; он заранее предопределял также и тип связей между физическими категориями.

Но как можно было сказать заранее, какие понятия среди выработанных классической физикой могут быть отобраны «для фундамента» и применены в теории квантовых явлений? И можно ли было использовать в ней классический тип связей? Первый период накопления фактов в этой области с несомненностью обнаружил невозможность отобрать заранее исходные понятия и тип связей между ними, чтобы затем строить теорию рационалистическим методом. Это было слишком очевидно. Нужно было искать другой путь к теории. И физики нашли его, не сразу, не без колебаний, конечно.

Если отбросить то субъективное, что привносили и привносят в изложение и трактовку квантовой теории отдельные авторы, и кратко сформулировать объективную суть метода, которым создавалась квантовая механика, то эта суть может быть выражена следующим образом.

В области атомных явлений физики встретились с рядом узловых экспериментальных фактов, необычных и даже странных с точки зрения уже известных классических законов. Исследователь должен исходить из этих экспериментальных соотношений и рассмотреть их совокупно как единую логическую систему. Он заранее не может делать никаких предположений ни о природе физических объектов и их состояниях, ни о характере их взаимосвязей, заранее не может строить никаких определенных моделей исследуемого мира. Он не отбирает «для фундамента» никаких «наипростейших» понятий и не изменяет их смысла заранее, до образования теории; в каждом *отдельном* эксперименте он просто использует уже сложившиеся понятия, понятия классической физики. Чем он еще должен руководствоваться, так это положением, что при определенных физических условиях — когда квантом действия можно пренебречь — любая новая теория должна принимать форму уже испытанной классической теории. Это — так называемый *принцип соответствия*. Но и принцип соответствия не является принципом, навязываемым природе извне, императивно; по существу он тоже выражает опытный факт — достоверность законов классической физики при определенных, «классических» условиях.

Так в результате обобщения узловых экспериментальных фактов атомной физики устанавливается их логическая взаимосвязь, условие их совместности — квантовая теория. Природу физических объектов и их состояний, равно как и природу их взаимосвязей, физик принимает такими, какими они *оказываются в результатах обобщенной теории*. Они, безусловно, уже не те, что были в классических теориях; требование соблюдения «условий совместности», новой совокупности экспериментов, т. е. новая теория, наложило свой отпечаток на природу категорий и связей между ними. Поскольку созданная таким путем квантовая теория подтверждается и последующими экспериментами, предсказывает новые, еще не встречающиеся в лабораториях физиков, и, кроме того, удовлетворяет еще и принципу соответствия, она рассматривается как теория, адекватная внешнему миру, так же как адекватными представляются и все ее составные элементы и установленные в ней взаимосвязи.

Таким образом, в области атомных явлений был применен именно такой метод образования теорий, который позволил раскрыть в природе *новое, позволил выйти за пределы уже известных закономерностей, уже известных представлений о физических объектах и их характеристиках*.

В квантовой механике он привел к выводу о том, что физические свойства объекта должны рассматриваться не как абсолютные, присущие объекту *самому по себе*, а лишь как относительные, определяемые взаимодействием объектов в целостной системе. Тем самым устраняются представления классической физики не только о существовании *систем отсчета с абсолютными свойствами*, но и о существовании *физических объектов с абсолютными свойствами*. В этом смысле квантовая теория продолжает и углубляет деятельность Эйнштейна в области преобразований классических представлений. Квантовая теория обогатила также характеристику *состояния* физического объекта, определяя его по *набору его потенциальных возможностей*.

Точно так же этот метод объективировал *новую форму причинных связей — статистические закономерности*. Последние вытекают здесь из *существа самой теории, подтвержденной практикой*, а не как временная замена «точных» динамических закономерностей, используемая нами в условиях слабости наших знаний.

Здесь для иллюстрации мощности этого метода приведены только некоторые примеры раскрытия нового в природе.

Но такой метод построения теорий и вытекающие из него следствия *никак не укладывались в систему представлений Эйнштейна о структуре мира, о путях его познания, о том, что единственной формой причинной связи в природе могут быть только однозначные связи, отражаемые в «структурных» или дифференциальных уравнениях. Идея континуума*, на которую Эйнштейн опирался и в теории относительности, и в обобщенной теории тяготения, и в разработке единой теории поля, *совместима только с одним, указанным выше, типом причинных связей*. Все это и привело к тому, что Эйнштейн, исходивший из собственного метода построения теорий, не мог согласиться с основными идеями квантовой физики.

Эйнштейн, конечно, приводил свои доводы против принятия квантовых идей. На первый взгляд они даже кажутся убедительными. Но при более внимательном рассмотрении становится ясным, что они опираются на априорные представления о природе квантовых объектов и процессов, а именно это и не разрешает делать метод рассмотрения условий совместности экспериментальных фактов, приводящий к новой теории, к созданию образа новой объективной реальности.

Возражая Бору, Борну, Паули, Гайтлеру и другим, Эйнштейн в «Ответе на критику» указывает на то, что волновая функция не дает *полного описания распада отдельного индивидуального атома*, так как «не содержит в себе никаких указаний *относительно момента времени распада* радиоактивного атома» (курсив Эйнштейна). А ведь «каждый *прежде всего склонен предположить*, — продолжает он, — что индивидуальный атом распадается в определенный момент времени». В этой постановке проблемы явно обнаруживается априорный подход Эйнштейна: картина процесса обрисована прежде, чем создана теория, с позиции этой «наглядной картины» ведется критика новой теории. Здесь доводы и следствия поставлены «с ног на голову».

Мы помним, что квантовая теория появилась в результате отыскания условий совместности экспериментальных фактов в данной области микроявлений, что она предсказала и новые факты, что она даже переходит в классическую (проверенную!) теорию при «классических условиях», что, следовательно, *она*, а не что-либо иное, не какая-либо «наглядная картина» выступает как адекватный образ физической реальности. И вот эта теория приводит к *иной «картине»* распада атома. Согласно теории (которая является обобщением опыта, многочисленные следствия которой подтверждаются опытом же!), время распада и энергия связаны

так, что чем точнее определяется время ($\Delta t \rightarrow 0$), тем неопределеннее становится изменение энергии (соотношение неопределенности: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$). Наши представления о «механизме» распада должны меняться, *они должны соответствовать теории*. Это требование не ново, оно аналогично тому, как Эйнштейн в свое время требовал, чтобы наши представления о структуре жидкости соответствовали проверенной теории броуновского движения. На этом основании мы должны были признать существование атомов и молекул, хотя непосредственно они не наблюдались.

Однако хотя Эйнштейн в свое время и пришел к выводу о необходимости трактовать теорию как целостность, «механизм» радиоактивного распада он рассматривал не в свете его квантовой теории, а на основе привычных представлений, которые для данного случая выступали уже как априорные.

В «Ответе на критику» он описывает небольшую дискуссию между критиком и защитником квантовой механики («физиком-теоретиком»). В уста последнего он вкладывает следующий довод в защиту квантовых идей: «Утверждение о существовании определенного момента распада имеет смысл, если я могу в принципе определить этот момент экспериментально... Вся мнимая трудность получается потому, что нечто ненаблюдаемое выдается в качестве „реального“ (таков ответ физика-теоретика)».

Вот этот предполагаемый ответ (несомненно, что такие ответы встречались) Эйнштейн и назвал (см. стр. 548) позитивистским, ведущим к принципу Беркли: существовать, значит быть наблюдаемым. Но здесь нет логики. Позитивизм утверждает: существуют только мои ощущения, наблюдения, восприятия; они ничего не отражают вне меня («ощущения могут быть похожи только на ощущения же», говорит Беркли). Другое дело утверждение: данному представлению в данной области ничего не соответствует (не соответствует же ничто в реальном мире представлению о черте!). Доводы Эйнштейна против Маха были *убедительны*: атомы были ненаблюдаемы непосредственно, но они *были*, и они наблюдались *опосредованно*, в частности *через теорию броуновского движения*, что и доказал Эйнштейн. Доводы Эйнштейна против квантовой механики *неубедительны* потому, что он хочет заставить верить в существование такого ненаблюдаемого, которое *не находит отражения в теории-образе физической реальности*, а напротив, исключается ею.

Аналогично этому в свое время критиковали соотношение неопределенности координат и импульса квантового объекта: «Нельзя одновременно точно определить координаты и импульс? Ну это только при современной технике; в будущем, когда техника усовершенствуется, координаты и импульсы можно будет измерить абсолютно точно. Нельзя же класть пределы нашему познанию!».

Эта критика исходила из того, что координаты и импульс квантового объекта *всегда существуют в определенно точном значении*, вне связи друг с другом, невозможна только процедура одновременно точного измерения этих значений *при современной технике*.

Но такая критика обнаруживает непонимание того, что квантовая теория (эвристическое значение которой Эйнштейн всегда признавал!) в корне изменила наши представления о квантовом объекте и процессах, происходящих в квантовой области.

Мы помним, какой мощный импульс дал сам Эйнштейн развитию статистических методов физики. Тем не менее всю вторую половину жизни он категорически отрицал их объективный смысл. В письме Максу Борну от 3 декабря 1947 г. он писал: «Мою физическую позицию я не могу для тебя обосновать так, чтобы ты признал ее сколько-нибудь разумной. Конечно, я понимаю, что принципиально статистическая точка

зрения, необходимость которой в рамках существующего формализма впервые была ясно осознана ведь тобой, содержит значительную долю истины. Однако я не могу в эту теорию серьезно верить, потому что она несовместима с основным положением, что физика должна представлять действительность в пространстве и во времени без мистических дальнодействий... В чем я твердо убежден, так это в том, что в конце концов останутся на теории, в которой закономерно связанными вещами будут не вероятности, а факты, как это и считалось недавно само собой разумеющимся. В обоснование этого убеждения я могу привести не логические доводы, а мой мизинец, как свидетеля, т. е. авторитет, который не внушает доверия за пределами моей кожи».

Всю жизнь Эйнштейна беспокоила двойственная, корпускулярно-волновая природа квантовых объектов (так называемый «дуализм»). Он, открывший фотонную структуру света, утверждал теперь, что все дискретные образования — элементарные частицы, атомы, фотоны и т. п. — суть сингулярности («особые области») поля, иначе говоря, они должны быть сведены к полю, в котором действуют дифференциальные уравнения, поскольку ничто, кроме них, по Эйнштейну, не является формой выражения причинной связи. Это прежде всего относится к статистической закономерности. Но современная квантовая электродинамика выявляет статистические закономерности и у поля. Дифференциальные уравнения (максвелловы) электромагнитного поля отражают лишь ту его сторону, которая рассматривается в макроскопической электродинамике, т. е. закономерности в процессах, в которых существенную роль играют изменения *средних значений* переменных. В *микропроцессах* приходится иметь дело с флуктуациями переменных поля около средних значений и с квантованием поля. Поэтому переход к полю не может освободить физику от статистических закономерностей.

Некоторые авторы обсуждают вопрос: не вытекает ли отрицательная позиция Эйнштейна по отношению к квантовой теории из какого-либо прозрения *будущих* путей развития физики, путей, которых еще не видят его соратники, но которые уже раскрылись перед его умственным взором?

Нет, мы видим, что она вытекает из его *методологии*, из его понимания путей построения теории, из его априорной трактовки структуры внешнего мира, из того, что этому миру заранее предопределялся определенный тип связей.

Это отношение к квантовой теории появилось у него не в результате накопления нового экспериментального материала, ставящего под сомнение основы теории, не в итоге каких-либо собственных или даже чужих достижений. Оно появилось вскоре после построения им обобщенной теории тяготения, успех которой он принял за подтверждение «общего принципа относительности» и за обоснование тогда уже выработанной им рационалистической методологии.

Еще 8 марта 1920 г. Эйнштейн писал Максу Борну: «В свободное время я всегда размышлял над квантовыми проблемами с точки зрения относительности. Я не думаю, что эта теория может обойтись без континуума. Однако мне до сих пор не удалось придать осязаемый образ моей любимой идее — *понять квантовую теорию с помощью дифференциальных уравнений*, применяя условия для особых решений». А немного ранее, в том же году (27 января) он писал Борну: «Меня также очень тревожит проблема причинности. Будут ли поглощение и излучение света квантами когда-либо поняты в смысле полной каузальности или же сохранится статистический остаток? Я должен признать, что у меня отсутствует мужество убеждения. Но я очень, очень неохотно отказываюсь от полной каузальности...».

Мир, по Эйнштейну, представляется только в образе континуума, и теория должна выражать его посредством дифференциальных уравнений, которые являются единственной формой каузальной связи, — таков смысл этих писем. Уже в то время в них ярко отразилась вся методология Эйнштейна. В ней ничего не изменилось до конца его жизни.

Теперь эта методология уже явно встала вразрез с основным развитием физики.

13. Единая теория поля как генеральная линия развития физики. Эйнштейн не пассивно критиковал квантовую теорию, он стремился найти другую основу физики. Ему казалось, что его собственный опыт построения теории относительности и теории тяготения подсказывает ему верный путь. Надо найти простейший «концептуальный фундамент» и из него рациональным путем развить все законы природы. Вещество, электромагнитное поле, поле тяготения — не слишком ли много расчленений произвел человек в природе? Природа едина и ее законы должны быть выражены в единой теории.

Эти идеи привели Эйнштейна к выработке собственной генеральной линии развития физики. Можно проследить четыре ступени развития, намеченные Эйнштейном. Первая — формулировка теории электромагнитного поля, инвариантная для всех инерциальных систем, и разработка в связи с этим теории относительности. Вторая — обобщение принципа относительности на все, в том числе и неинерциальные, системы и выработка «общей теории относительности» (точнее — обобщенной теории тяготения). Третья — обобщение полей, электромагнитного и тяготения, на базе последнего и выработка «единой теории поля». Четвертая — обобщение частиц вещества как сингулярностей (особых областей) поля и выработка единой физической теории внешнего мира — континуума. Все другие физические теории из этой схемы выпадают; в лучшем случае они должны быть преобразованы и соподчинены идее: любые закономерности мира суть закономерности континуума.

Первые две ступени были реализованы примерно в 1900—1916 гг., и Эйнштейн приступил к выполнению третьего этапа, над которым работал до конца жизни.

Метод обобщения полей в единой теории поля, если не входить в подробности, состоит в следующем.

По Эйнштейну, поле тяготения определяет геометрическую структуру пространственно-временного континуума, создавая в нем определенную метрику; этот континуум задается набором некоторых функций — компонент $g_{\alpha\beta}$ метрического тензора. В теории тяготения Эйнштейна учитывалось влияние на метрику пространства только тензора энергии-импульса, создаваемого распределением масс. Но электромагнитное поле также создает тензор энергии-импульса; следовательно, и оно должно делать вклад в метрику континуума. Это давало надежду на успех создания единой теории поля. С точки зрения сторонников этой идеи, нужно было только отыскать некоторые дополнительные произвольные функции, описывающие негравитационное поле. Однако не существует никаких объективных указаний на то, как осуществить включение этих новых функций. Самим Эйнштейном и другими авторами предложено несколько вариантов, число которых уже превышает два десятка. Путь формального обобщения оказывается неоднозначным.

В силу этого, как справедливо отмечает известный исследователь «пространств Эйнштейна» А. З. Петров, «все существующие „единые теории“ не вышли за рамки отвлеченных построений, не привели к сколь-нибудь значительным открытиям или следствиям, допускающим экспе-

риментальную проверку. Их эвристическое значение равно нулю» *). Создалась ситуация, напоминающая ту, перед которой в свое время стоял Декарт.

В связи с этим естественно возникает общий вопрос: правомерна ли сама постановка задачи о создании единой физической теории как конечной цели физики, в чем эта цель состоит и каковы пути ее решения?

По Эйнштейну, она состоит в сведении всех типов закономерностей и всех типов объектов к единой закономерности и к единому объекту — обобщенному геометрическому образу, описываемому непрерывными дифференциальными уравнениями, отражающими однозначную связь компонент поля. Так Эйнштейн понимал единство мира, и эта его трактовка в философском аспекте ничуть не глубже механистических трактовок единства мира конца XIX века. Глубже только ее физическая основа.

Но единство мира состоит не в сведении качественных многообразий мира к количественному различию (см. стр. 562), а в том, что многообразные качественные образования в мире взаимно связаны друг с другом и переходят друг в друга при определенных условиях. Если физика прошлого века открыла взаимные превращения различных видов энергии, то в наше время она уже открыла взаимные превращения друг в друга элементарных частиц. С каждым годом раскрываются все большие возможности их взаимных превращений. Можно полагать, что взаимопревращения есть всеобщий закон природы.

Наличие закономерных взаимосвязей и взаимопереходов качественных образований в природе естественно приводит к идее о потенциальной возможности создания единой теории, охватывающей по крайней мере все физические процессы в мире. В самом деле, поскольку в этих превращениях одни физические категории переходят в другие, постольку, по-видимому, возможно в перспективе отыскать такую физическую теорию, которая обобщала бы все эти категории в единой логической системе.

Спор, следовательно, может идти не о самой постановке вопроса о единстве мира, а о трактовке смысла единства и о путях реализации единой физической теории. Очевидно, единая теория должна отвечать ряду требований; здесь мы отметим важнейшие условия ее реализации, как они нам представляются.

Ясно, что единая физическая теория может быть получена не путем рационалистического метода обобщения, при котором все многообразие полей и систем сводится к геометрическому образу-континууму с крайне усложненной метрикой, а путем обобщения, в котором теория появляется как условие совместности разнообразных, но относящихся к единому объекту явлений, или же — для данной задачи — как условие *совместности частных физических теорий*. Это означает, что, строя единую теорию, нельзя игнорировать те теории, в отношении которых уже установлено, что они отражают некоторые реальные процессы мира, хотя эти теории и не укладываются в рационалистическую схему. Единая физическая теория не может игнорировать, например, закономерности, открытые квантовой теорией: квантованность микрообъектов и процессов, их двойственную природу, статистические закономерности, определение состояний через потенциальные возможности и т. д.

Учитывать эти закономерности тем более необходимо, что уже сейчас ясно: сам образ поля, в котором Эйнштейн желает найти убежище, вовсе не снимает всех проблем и трудностей, которые он стремится игнорировать или обойти. Поля непрерывны только в макроскопическом мас-

*) А. З. Петров, Основные этапы развития поля гравитации, Вопросы философии, № 11, (1964).

штабе. В микромасштабе поля прерывны, и Эйнштейн сам был пионером в утверждении квантовой структуры электромагнитного поля.

Теория тяготения Эйнштейна разрабатывалась им как неклассическая теория; но она применима для ограниченных областей пространства, нижний предел которых равен $1,6 \cdot 10^{-33}$ см. «В меньших масштабах существенными должны стать квантовые флуктуации метрики»). Этой возможности Эйнштейн не предусматривал. В порядок дня встал вопрос об экспериментальном установлении гравитационных волн. Эйнштейн не исключал возможности их открытия. Но обнаружение гравитационных волн, несомненно, повлечет за собой открытие квантов полей тяготения — гравитонов.

Открытие гравитационных волн и гравитонов, конечно, требует усовершенствования экспериментальных методов. Оно, несомненно, раскроет новую широкую область фактов, как это было при открытии электромагнитных волн. В частности, оно позволит подойти к решению проблемы энергии гравитационного поля, которая в схеме единых теорий не находит своего решения ввиду того, что энергия не находит здесь своего однозначного выражения и зависит от выбора системы координат.

А. З. Петров справедливо отмечает настоятельную необходимость экспериментальных исследований поля гравитации. «Пока теория будет питаться таким скудным фактическим материалом, как это было до сих пор, ни о какой серьезной физической науке в современном значении этого слова не может быть и речи». — пишет он. Тот же автор отмечает характерную статистику научных работ, показывающую сильное уменьшение числа работ, посвященных формальной разработке «единых теорий», и, напротив, увеличение числа работ, посвященных проблеме энергии поля, анализу основных посылок теории, их физической обоснованности.

Но что означает этот вывод о необходимости увеличения экспериментальных исследований и эта статистика, характеризующая изменение характера исследований, как не признание того, что новая теория должна явиться результатом не спекулятивных методов, а рассмотрения условий совместности, относящихся к проблеме экспериментальных фактов?

Все сказанное означает, что даже проблема гравитационного поля не может быть рассмотрена во всем ее объеме в том аспекте, который предлагает Эйнштейн. Естественно, что этот неклассический аспект не может служить основой для «теории единого поля».

Вообще ни одна какая-либо отдельная теория — будет ли то теория тяготения (как думал сам Эйнштейн), или же теория элементарных частиц, или какая-либо иная — не может быть единственной основой единой физической теории. Но поскольку она может быть только обобщением ряда частных физических теорий — квантовой механики, квантовой электродинамики, теории элементарных частиц, теории ядра, будущей квантовой теории гравитации и пр., — очевидно также, что для обобщенной единой теории должен выполняться специфический принцип соответствия, как и для любой обобщенной теории, но, быть может, в какой-то «разветвленной» форме. Это означает, что при некоторых предельных значениях соответствующих характеристических параметров обобщенная физическая теория должна будет принимать форму тех частных теорий, которые послужили исходными элементами для обобщения.

Ясно, что перспективы такого обобщения еще не очень близки. Известно, с какими пока непреодоленными трудностями встретилась

*) Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков, Релятивистская астрофизика. I, УФН 84 (3), 377 (1964).

квантовая теория полей, которая еще не получила сколько-нибудь законченной формы. Далеко не ясно, достаточно ли вообще известных «узловых теорий», которые могут послужить элементами единой теории. И во всяком случае будет правильным вывод, что единая физическая теория, отображающая все физические процессы природы, никогда не будет замкнутой и завершенной, так как процесс раскрытия новых свойств природы, так же как и процесс их возникновения, никогда не завершается. Единая физическая теория есть только некоторый идеал, к которому можно и следует стремиться, сознавая, однако, что никакая единая теория не может исчерпать богатство мира.

Идея создания единой теории поля Эйнштейн отдал последние четыре десятилетия своей жизни. А в это время перед экспериментальной и теоретической физикой широким потоком возникали многочисленные актуальные проблемы, появлялись новые теории: квантовая механика, физика ядра, физика элементарных частиц, квантовая электродинамика, физика твердого тела и другие. Эти проблемы не занимали Эйнштейна. В бурном потоке открытий новых элементарных частиц, новых полей (электронно-позитронного, мезонного и др.), взаимодействий нового типа Эйнштейн, по-видимому, не видел никакого материала для размышления физика-теоретика об эволюции физики и ее задачах. Не случайно в книге, посвященной эволюции физики, не освещены проблемы ядерной физики; авторы сами мотивировали это тем, что их интересуют только общие идеи физики. Экспериментальный материал ядерной физики не укладывался в их схему эволюции физических идей. По свидетельству И. Е. Тамма, Эйнштейн в одной из частных бесед утверждал, что «уже факт существования электрона должен быть достаточным для построения основ общей теории элементарных частиц» *). Если бы это было так, то из этого следовало бы, что общую теорию элементарных частиц уже можно было построить в 1905 г. — время появления теории относительности. И тот огромный новый материал, который накоплен экспериментальной физикой за последние десятилетия — открытие многих новых элементарных частиц, в том числе и античастиц, открытие их взаимных превращений и их новых свойств (например, четности, странности), — оказывается, не имеет отношения к общей теории элементарных частиц!

Приведенное выше высказывание Эйнштейна, равно как и его отношение к открытиям современной физики, характеризует его рационалистический метод, его крайнюю одностороннюю целеустремленность, его стремление отыскать формальный метод устранения из физики электрона, о котором он в упомянутой И. Е. Таммом беседе сказал, что всегда считал электрон «чужеземцем в стране классической электродинамики». И действительно эти идеи Эйнштейн высказывал еще и в 1909 г. в статье «К современному состоянию проблемы излучения».

Выдающиеся физики, друзья Эйнштейна, высоко ценившие его как ученого, относились скептически к его попыткам создать единую теорию поля. Так из ученого, в котором ранее видели «возжя и знаменосца», Эйнштейн превратился в ученого-одиночку, который не только шел в физике своим путем, но и отрицал ряд основных идей современной квантовой физики, хотя и признавал ее огромные фактические достижения. И отрицал как раз те идеи, развитию которых он сам столь энергично содействовал в ранние годы.

Свое одиночество сознавал и сам Эйнштейн, что он неоднократно отмечал в переписке с друзьями, крупнейшими физиками современности. Он хорошо сознавал и трудности своего пути. Много раз Эйнштейна окры-

*) И. Е. Тамм, Эйнштейн и современная физика, УФН 59 (1), 5 (1956). Это утверждение относится, по-видимому, к концу тридцатых годов.

ляла надежда, что наконец-то он достиг своей цели и единая теория поля создана. Но каждый раз он сам находил изъяны в выполненной работе и снова принимался за трудные исследования. Это продолжалось многими десятилетиями. Какое же мужество, какую убежденность и силу воли должен был проявить стареющий ученый в этой упорной, но не дававшей желанных результатов работе!

Вот как сам Эйнштейн характеризовал результаты этой работы в «Автобиографических набросках» (март 1955 г.): «Со времени завершения теории тяготения теперь прошло уже сорок лет. Они почти исключительно были отданы усилиям вывести, *путем обобщения теории полей тяготения*, единую теорию поля, *которая могла бы образовать основу для всей физики*. С той же целью работали многие. Некоторые обнадеживающие попытки я впоследствии отбросил. Но последние десять лет привели наконец к теории, которая кажется мне естественной и обнадеживающей. Я не в состоянии сказать, можно ли считать эту теорию физически полноценной; это связано с пока еще непреодолимыми математическими трудностями, которые, впрочем, встречаются при применении любой нелинейной теории поля. Кроме того, вообще кажется сомнительным, можно ли из теории поля вывести атомистическую структуру вещества и излучения, а также квантовые явления. Большинство физиков без сомнения ответят убежденным „нет“, ибо они полагают, что квантовая проблема должна решаться принципиально иным путем. Как бы то ни было, нам в утешение остаются слова Лессинга: стремление к истине ценнее, чем гарантированное обладание ею».

Такова его самая последняя оценка своих усилий вывести, путем обобщения полей тяготения, единую теорию поля, которая могла бы образовать основу для всей физики. Эту оценку Эйнштейн дал за месяц до кончины. Она не стимулирует физиков идти по его пути.

14. Заключение. Подведем краткий итог. Теория познания Эйнштейна, выработанная им на основе своеобразной трактовки собственного успешного построения теории относительности и обобщенной теории тяготения, не оправдалась. Высоко оценив значение теории как целостности, поднявшись в этом отношении над гносеологией позитивизма, Эйнштейн не сумел полностью извлечь из этой идеи ее глубокий смысл и даже обеднил ее, так как не понял логической и генетической связи теории с опытом. Оказался неверным его основной тезис о том, что нет пути от опыта к построению теории. Этот тезис привел Эйнштейна не только к отрицанию основных идей квантовой физики, но и к созданию искусственной преграды к познанию связей нового типа в природе. Он привел к развитию рационалистической теории познания и к формулировке программы развития физики, которая оказалась нереализуемой.

Но сам Эйнштейн никогда не предавался унынию. Он твердо верил в свой путь и надежда не покидала его. Этой стойкости духа можно учиться у Эйнштейна.

Стойкость духа... Нельзя не преисполниться глубоким уважением к Эйнштейну как человеку. Высокая моральная чистота Эйнштейна; его глубочайшая преданность науке; его непритязательность в личной жизни; его искреннее презрение к славе, к внешнему благополучию, к деньгам; его душевное отношение к людям и постоянная готовность морально и материально помочь всем, в честности кого он убежден; его жгучая ненависть ко всякого рода бюрократизму; его свободолюбие и бесстрашие, с которым он бросал в лицо правителям обвинения в забвении интересов человечества; его настойчивая борьба против войны как средства решения спорных вопросов между народами и в особенности против

атомной войны, — все это показывает в нем человека большой, благородной души. И все же при всех этих качествах он был крайне индивидуален и одинок. Его бескорыстное служение науке превращало его в глазах мещан и дельцов капиталистического мира, среди которых он жил, в странного чудака; его думы о настоящем и будущем человечества сочетались в нем с наивностью в делах общественно-политических; в философии он подвергался критике с разных сторон. И даже в своей стихии — в физике — он остался на склоне лет одиноким.

Подавляющее большинство физиков не пошло за Эйнштейном до конца. Жизнь заставила их искать другую линию развития физики. Но в их глазах Эйнштейн по-прежнему остается великим физиком нашего времени. То, что он сделал для физики в ее критический переломный период, навсегда сохранит свое значение в ее развитии. Мы не назовем его «беспринципным оппортунистом» в философии. Такого наименования заслуживают те, кто идет на сделку с совестью. Эйнштейн был не таков. Он был убежден в правоте своего пути, но мы не можем не сказать: в теории познания он заблуждался. Выработывая ее, он опирался на слишком узкую базу своего профессионального опыта и слишком односторонне его толковал. Это оказало влияние и на понимание им путей дальнейшего развития физики. Упрек, в свое время адресованный им Маху, может быть возвращен и ему самому: философские предубеждения и ему помешали правильно определить пути познания и перспективы развития физики.

Научный путь Эйнштейна весьма поучителен. Он говорит о необходимости глубокопрофессиональной разработки гносеологических проблем, возникающих в ходе развития современного естествознания. Как бы ни были сложны эти проблемы, они могут быть разрешены, вопреки пониманию Эйнштейна, с позиции *целостной* философии, в основе которой лежит признание внешнего мира и правильное истолкование путей его отображения в сознании.

Эта целостная философия — материализм, поднятый до уровня подлинной науки трудами Маркса и Энгельса, а в нашем веке — Ленина. Богатейший опыт развития общества и естествознания учит нас тому, что метод философского материализма адекватен реальному процессу познания. Нам не нужно искать новой гносеологии. Но мы *обязаны смелее и глубже проникать в суть проблем, которые ставит современное естествознание, и развивать материалистическую гносеологию дальше, как это и завещали нам наши великие учителя.*
