

# УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

## ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ В СВЕТЕ НОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ <sup>1)</sup>.

Макс Планк.

### I.

Что мы разумеем под „физической закономерностью“? Физический закон есть положение, устанавливающее твердую, ненарушимую связь между могущими быть измеренными физическими величинами, притом такую связь, с помощью которой одна из этих величин может быть вычислена по измеренным значениям остальных величин. Возможно полное познание физической закономерности есть величайшая цель, к которой горячо стремится всякий физик, независимо от того, оценивает ли он ее только с точки зрения практической полезности, усматривая истинное значение ее в том, что знание закономерности устраняет необходимость производить сложные и трудные измерения, либо, идя дальше ищет в достижении этой цели удовлетворения глубокой внутренней жажды знания и твердой базы научного мировоззрения.

Каким же образом устанавливаются отдельные физические законы и что они собою представляют? Прежде всего, уже существование физической закономерности ни в коем случае не может считаться само собой разумеющимся, так же как вовсе не самоочевидно, что если закономерность существовала до сих пор, то она всегда будет существовать в неизменном виде и в будущем. Несомненно мыслимо, и мы с этим абсолютно ничего поделать не можем, что в один прекрасный день природа обманет наши ожидания, произойдет совершенно неожиданное событие, и, несмотря на все наши усилия, нам так и не удастся внести в возникшую путаницу какой-либо закономерный порядок. В этом случае науке не оставалось бы ничего другого, как объявить себя банкротом. Поэтому наука принуждена признать существование закономерности в природе основным постулатом или предварительным

<sup>1)</sup> Доклад на академических курсах в Дюссельдорфе 14 февраля 1926 г. Die Naturwissenschaften 14, 249, 1926. В русском переводе опущены два первых абзаца, не имеющих отношения к основной теме. Перевел И. Г. Тамм.

условием всего ее дальнейшего развития, или, вместе с Иммануилом Кантом, причислить понятие причинности к изначала данным категориям, без которых познание вообще недостижимо.

Из этого следует с необходимостью, что сущность физической закономерности и содержание физических законов не может быть познано путем одного только размышления, и что единственный путь к этой цели состоит в том, чтобы прежде всего обратиться к природе, собрать возможно большее число возможно более многосторонних наблюдений и данных опыта, сравнить их между собою и обобщить в возможно более простых и объемлющих положениях,—одним словом, обратиться к индуктивному методу.

Так как наблюдение и опыт тем содержательнее, чем точнее лежащие в их основе измерения, то успехи всего физического познания, разумеется, связаны самым тесным образом с усовершенствованием физических приборов и измерительной техники. Как раз новейшая история физики свидетельствует об этом с особенной разительностью. Но одними измерениями дело не исчерпывается. Каждое измерение представляет собой отдельное самостоятельное событие, связанное с совершенно особыми обстоятельствами, прежде всего с определенными местом и временем, так же как и с определенным измерительным прибором и определенным наблюдателем. И если во многих случаях искомое обобщение, так сказать, напрашивается само собой, то существуют и другие случаи, в которых чрезвычайно трудно по разнообразным данным измерения найти общий закон, потому ли, что для этого, повидимому, вообще не открывается никаких возможностей, либо, наоборот, потому, что существует слишком много различных возможностей обобщения, что тоже чрезвычайно неудовлетворительно.

В таких случаях не остается ничего иного, как попробовать ввести известное предположение, так называемую рабочую гипотезу, и посмотреть, что может дать эта гипотеза. Особенно важным признаком пригодности такой гипотезы служит подтверждение ее в тех областях явлений, которые вовсе не принимались во внимание при первоначальной ее формулировке. Ибо в таком случае мы в праве заключить, что формулируемое ею закономерное соотношение обладает более глубоким значением и открывает путь к существенно новому познанию.

Таким образом, целесообразная рабочая гипотеза представляет собой необходимейшее орудие всякого индуктивного исследования. В связи с этим возникает важный вопрос о том, с чего же нужно начинать, чтобы прийти к установлению возможно более пригодной гипотезы? Для этого нет никакого общего рецепта. Ибо для этого даже при наличии наиболее полного и многостороннего опыта ни в коем случае недостаточно одного лишь логического мышления. Здесь может помочь только непосредственная интуиция (*unvermitteltes Zufassen*), счастливая мысль, зачастую скачок мысли, кажущийся вначале чрезвычайно

скачком, — скачок, доступный только живой и самобытной фантазии, направляемой на правильный путь точным знанием фактов, и мощной творческой силе воображения.

В большинстве случаев суть дела заключается в введении известных мыслительных образов, аналогий, устанавливающих связь с известными в других областях закономерными соотношениями и способствующих внесению большего единства в физическую картину мира.

Но как раз за многообещающими успехами в этом направлении часто скрывается опасность. Ибо если отважный шаг действительно удался, если плодотворность введенной гипотезы подтвердилась, то возникает новая задача дальнейшей разработки, выделения ее существенного ядра и выявления путем надлежащей формулировки ее истинного содержания, т.-е. тщательной очистки гипотезы от всего несущественного и излишне привнесенного. Задача эта, однако, вовсе не так проста, как это могло бы казаться на первый взгляд. Ибо мост, созданный счастливым полетом мысли и открывший доступ к новому познанию, очень часто оказывается при ближайшем рассмотрении имеющим только провизорный характер, и его приходится заменять более прочным сооружением, способным противостоять артиллерийскому обстрелу критической логики. Ведь нужно иметь в виду, что каждая гипотеза является продуктом идущей ощутую фантазии, что фантазия оперирует наглядными представлениями (*Anschauung*) и что, хотя без наглядных представлений и нельзя обойтись при построении гипотез, все же при построении рациональной теории, в особенности же при логических доказательствах, они представляют собой для физики орудие весьма сомнительного характера, ибо понятное доверие к некоторым наглядным представлениям и умозаключениям, доказавшим в известных направлениях свою плодотворность, легко приводит к переоценке их значения и к необоснованным обобщениям. Если к тому же принять во внимание, что именно творцы новых плодотворных теорий по соображениям удобства либо по причине известного чувства пиетета обыкновенно не склонны вносить существенные изменения в тот ход мыслей, который привел их к успеху, и что они часто бросают на чашу весов весь свой по заслугам приобретенный авторитет, чтобы поддержать первоначально занятую ими точку зрения, то легко понять, что дальнейшее здоровое развитие теории часто встречается со значительными затруднениями. Примеры тому на каждом шагу встречаются в истории физических наук вплоть до современности. Позвольте мне упомянуть о некоторых наиболее существенных из них.

Первые физические закономерности естественно были установлены в той области, в которой оказались возможными первые точные измерения, а именно измерения пространства и времени, т.-е. в области механики. Легко также понять, что впервые удалось установить закономерные соотношения в тех именно движениях, которые протекают

независимо от случайных внешних сопутствующих обстоятельств и вмешательств, — в движениях небесных тел. Культурные народы востока уже тысячи лет тому назад умели выводить из наблюдений формулы, позволявшие с большой уверенностью рассчитывать на годы вперед движения солнца и планет. С каждым повышением точности измерений было связано улучшение формул. Сводка и сравнение между собой этих формул привели в дальнейшем к теориям Птолемея, Коперника, Кеплера, каждая из которых превосходила предшествующую своей простотой и точностью. Все эти теории дают ответ на вопрос о закономерном соотношении между положением небесного тела, например, планеты, и моментом времени, в который это положение им занимается. Конечно, характер этого закономерного соотношения различен для различных планет, хотя в движении планет можно найти много общих черт.

Такова была постановка вопроса, пока Ньютон не сделал решительного шага, охватив формулы, относящиеся к различным планетам, в одном единственном законе движения, равным образом применимом ко всем планетам и вообще ко всем небесным телам. Достигнуть этого успеха удалось ему лишь потому, что он сформулировал закон движения независимо от того специального момента времени, к которому этот закон применяется, а именно, заменив момент времени дифференциалом времени. Ньютонова теория движения планет устанавливает определенное закономерное соотношение не между положением планеты и временем, а между ускорением планеты и ее расстоянием от солнца. Этот закон, представляющий собою некоторое векториальное дифференциальное уравнение, совершенно одинаков для всех планет. Стало быть, по положению и по скорости планеты в какой-нибудь определенный момент времени можно однозначно рассчитать движение ее для всех времен.

Ньютонова формулировка законов движения представляет собою не только новую форму описания природы, но означает действительный успех в познании закономерностей, связывающих вещи. Это явствует из результатов, полученных при дальнейших применениях этих законов. Они не только превосходят формулу Кеплера по своей точности, например, в том отношении, что дают возможность в полном согласии с измерениями вычислить возмущения, испытываемые эллиптическим движением земли вокруг солнца при ее приближении к Юпитеру, но они объясняют также и движения других небесных тел, как-то: комет, двойных звезд и т. д., к которым формулы Кеплера вовсе неприменимы. Однако наиболее непосредственный, решающий успех принесло теории Ньютона то обстоятельство, что применение ее к земным движениям привело к тем же законам свободного падения тел и колебания маятника, которые были установлены Галилеем путем измерения, кроме того, к объяснению некоторых, без Ньютоновой теории

совершенно непонятных, явлений, как-то: приливы и отливы, поворот плоскости колебания маятника, прецессия оси вращения волчка и т. п.

Каким же путем пришел Ньютон к своему дифференциальному уравнению движения планет? Этот вопрос преимущественно интересует нас теперь. Он пришел к нему вовсе не путем установления непосредственной связи между ускорением планеты и ее расстоянием от солнца и поисков определенного числового соотношения между ними; нет, он пришел к этому уравнению, создав предварительно мыслительный мост, связывающий понятия положения планеты с понятием ускорения, этот мост носит название силы. Ньютон пришел к представлению, что с одной стороны, положением планеты относительно солнца определяется сила притяжения, направленная к солнцу, и что, с другой стороны, эта сила притяжения вызывает определенное изменение количества движения планеты. Понятие силы, как указывает само слово „сила“, несомненно возникло из представления о мускульном ощущении при поднятии тяжести или при бросании мяча. При дальнейшем обобщении представление это применено было ко всем видам изменения движения, в том числе даже к столь значительным, что человеческой мускульной силы далеко недостаточно, чтобы их вызвать.

Неудивительно, что Ньютон приписывал решающее значение этому понятию силы, которое помогло ему достигнуть столь важных успехов, хотя достойно особого внимания то, что понятие это вовсе не встречается в основном законе движения, и что он искал в нем первичную причину всякого изменения движения. Таким образом оказалось, что Ньютонова сила стала главным и основным понятием механики и не только механики, но и всей физики, и что со временем создалась привычка при рассмотрении всех физических явлений в первую голову всегда ставить вопрос о силе, обуславливающей эти явления.

В известном противоречии с этим стоят представления, созданные новейшим развитием физики. Можно спокойно сказать, что в настоящее время Ньютонова сила потеряла для теоретической физики свое основное значение. В современной механике сила является величиной вторичной; ее заменили другим, более высоким и более объемлющим понятием работы или потенциала, при чем сила определяется как падение или отрицательный градиент потенциала.

Как же, однако, — возразят, — возможно считать работу первичным понятием, в то время как при возникновении работы всегда должна предварительно существовать сила, совершающая эту работу? Кто так говорит, тот мыслит не физически, а физиологически. Конечно, при работе, совершаемой при поднятии груза, первичным является сжатие мускулов с сопровождающим его ощущением, и оно является причиной возникающего движения. Однако нужно строго отличать этот физиологический процесс от рассматриваемой нами силы

притяжения, с которой земля воздействует на груз, и которая, со своей стороны, единственно обуславливается потенциалом тяготения.

Права потенциала на первенство по отношению к силе основываются не только на том, что с введением потенциала физические законы принимают более простую форму, но также и на том, что понятие потенциала приложимо в гораздо большей области явлений, чем понятие силы, начиная от области механики вплоть до области учения о химическом сродстве, где о Ньютоновой силе вообще не может быть и речи. Правда, нужно признать, что понятие потенциала не обладает тем преимуществом непосредственного представления (*Anschauung*), которое присуще понятию силы благодаря ее связи с мускульным ощущением, что поэтому устранение понятия силы наносит существенный ущерб наглядности физических законов. Но развитие теории в этом направлении лежит в природе вещей. Ибо физическая закономерность не руководствуется человеческими органами чувств и соответствующей им способностью к наглядному представлению.

В преподавании, по моему мнению, при введении в механику все же всегда будет необходимо исходить вначале из Ньютоновой силы, подобно тому как в оптике исходят вначале из ощущения цвета, а в термодинамике — из ощущения тепла, хотя в дальнейшем эти основные понятия заменяются более точными. Нельзя также забывать, что значение всех физических понятий и законов зиждется для нас в конечном счете все же на их соотношении с человеческими органами чувств. Ведь в этом как раз и состоит характерная особенность физического исследования. Чтобы иметь возможность создать пригодные физические понятия и гипотезы, мы должны прежде всего обратиться к нашей способности представления, непосредственно приуроченной к специфическим восприятиям органов чувств. Единственно из этой способности черпаем мы все наши идеи. Если, однако, мы желаем затем прийти к установлению физических законов, мы должны, по возможности, отвлечься от введенных ранее наглядных представлений и освободить основные определения от всего привнесенного и от всех представлений, не стоящих в логически необходимой связи с измерениями. Сформулировав затем физические законы и выведя из них математическим путем определенные следствия, мы должны в конце концов вновь перевести полученные результаты на язык наших органов чувств, чтобы сделать их пригодными для нас. Таким образом путь этот в известном смысле замыкается, но тем не менее он безусловно необходим. Ибо простота и общность физических законов выявляется лишь после очищения их от всех антропоморфных привнесений.

В теоретической физике много мыслительных мостов и вспомогательных наглядных понятий, подобных описанной мною выше Ньютоновой силе. Я еще упомяну в этой связи только о понятии осмотиче-

ского давления, оказавшемся столь плодотворным в физической химии и введенным в свое время Вант-Гоффом с целью наглядной формулировки физических законов растворов, относящихся, в частности, к точкам замерзания и к упругости паров. Выявить и измерить осмотическое давление можно лишь сравнительно несовершенным образом, ибо для этого необходимы очень сложные приспособления, так называемые полупроницаемые перегородки. Тем достойнее удивления интуитивная проницательность, приведшая этого крупного исследователя, на основании довольно скудных данных наблюдения, к формулировке названного его именем закона. Однако в современной форме этого закона понятие осмотического давления играет столь же незначительную роль, как и понятие Ньютоновой силы в законах движения.

Существуют, однако, мыслительные мосты совершенно иного рода, обладающие высокой степенью наглядности и оказавшиеся весьма ценными при построении плодотворных рабочих гипотез, но вместе с тем, как оказалось, создающие прямые препятствия последующим стадиям развития науки. В особенности один из них заслуживает того, чтобы мы на нем остановились. Подобно тому как привыкли предполагать, что причиной каждого совершающегося в природе изменения является какая-либо сила, подобно этому склонны были представлять себе всякую неизменную, постоянную величину в виде субстанции. Понятие субстанции с незапамятных времен играло в физике значительную, но, как показывает ближайшее рассмотрение, не всегда прогрессивную роль. Легко понять, что всякий так называемый „закон сохранения“ может быть истолкован с точки зрения сохранения субстанции и представление это, несомненно, чрезвычайно способствует наглядности высказываемого положения, а стало быть и облегчает пользование им. Ведь мы едва ли можем составить себе наглядное представление о какой-либо величине, при всех своих изменениях остающейся количественно неизменной, не привлекая представления о движущемся материальном теле. В тесной связи с этим, несомненно, стоит также и стремление свести все вообще происходящие в природе изменения к движениям субстанции, т.-е. к механике. Так, например, излучение и распространение света получило наглядное истолкование в волновом движении субстанциального светового эфира. Идя этим путем, удалось вывести важнейшие законы оптики в полном соответствии с опытом; однако в конце концов наступило время, когда эта субстанциально-механическая теория отказалась служить и затерялась в бесплодных спекуляциях.

И в области учения о теплоте понятие субстанции в течение известного времени оказало превосходные услуги. Тщательная разработка калориметрии в первой половине прошлого столетия совершалась главным образом на основе представления о переносе неизменной тепловой субстанции из более теплого тела в более холодное.

Когда впоследствии было указано, что количество тепла может быть увеличено, например, при трении, теория тепловой субстанции пыталась обороняться, прибегая к добавочным гипотезам, что ей и удавалось в течение известного времени, но все же ненадолго.

В учении об электричестве мы даже при поверхностном рассмотрении встречаемся с опасными последствиями, к которым может привести чрезмерное выпячивание понятия субстанции. Правда, и здесь закон постоянства количества электричества и примыкающее к нему понятие электрического тока и закон взаимодействия заряженных и токнесущих проводников получают чрезвычайно наглядное истолкование на основании представления о тонкой, легкоподвижной субстанции, наделенной определенными силами. Однако эта аналогия прекращается уже при учете того обстоятельства, что необходимо допустить существование двух противоположных субстанций, положительной и отрицательной, которые при соединении полностью нейтрализуют друг друга. Этот процесс нейтрализации, так же как и возникновение двух противоположных субстанций из ничего, во всяком случае немислим в отношении обычных субстанций.

Итак, мы видим, что наглядные представления и вырастающие на их почве воззрения необходимы для физического исследования и что бесчисленное количество раз они снабжали нас ключом к открытию новых путей познания, но что, тем не менее, в обращении с ними нужна большая осторожность даже в том случае, если они оправдывались в течение известного времени. Единственным надежным путеводителем на пути к дальнейшему развитию навсегда остается измерение и то, что логически вытекает из непосредственно примыкающих к нему понятий. Ко всем прочим выводам, и в особенности к тем из них, которые отличаются так называемой непосредственной очевидностью, всегда нужно относиться с известным недоверием. Ибо вопрос о доказательной силе вывода, оперирующего точно определенными понятиями, решается не интуицией (*Anschauung*), а разумом.

## II.

До сих пор мы занимались преимущественно вопросами о том, каким путем приходят к познанию физических законов, теперь же мы обратимся к несколько более близкому рассмотрению содержания и истинной сущности физической закономерности.

Физический закон обычно находит свое выражение в математической формуле, позволяющей рассчитать протекание во времени явлений, происходящих в какой-либо физической системе, подчиненной определенным заданным условиям. С этой точки зрения можно подразделить все физические законы по их содержанию на две больших группы.

Законы первой группы характеризуются тем, что они остаются справедливыми при перемене в них знака времени на обратный; иными словами, всякий, удовлетворяющий требованиям законов, процесс может, не вступая с ними в противоречие, протекать и в обратном направлении. В качестве примеров могут послужить законы механики и законы электродинамики, поскольку мы отвлекаемся от тепловых и химических действий. Каждый чисто механический или электродинамический процесс может протекать и в обратном направлении. Тело, падающее без трения, ускоряется по тому же самому закону, по какому замедляется тело, летящее без трения вверх; условия колебания маятника вправо таковы же, как и влево; волна может распространяться в одну сторону так же, как и в другую, во внешнюю так же, как и во внутреннюю; планета может вращаться вокруг солнца в одном направлении так же, как и в обратном. Вопрос о том, можно ли и каким именно образом можно осуществить в действительности обращение движения, есть вопрос совершенно иной, на котором нам здесь нет нужды останавливаться. Дело идет о самом законе, а не о тех особых данных, к которым он применяется.

Законы второй группы характеризуются тем, что в них знак времени играет существенную роль. Поэтому подчиняющиеся им процессы направлены односторонне, необратимы. К этим процессам относятся все те явления, в которых играет роль тепло и химическое сродство. При трении относительная скорость всегда уменьшается и никогда не увеличивается; при теплопроводности более холодное тело всегда нагревается, а более теплое всегда охлаждается; при диффузии всегда растет смешанность, а не разделяемость диффундирующих веществ. Поэтому необратимые процессы всегда ведут к определенной конечной цели: трение — к состоянию относительного покоя, теплопроводность — к выравниванию температур, диффузия — к полной однородности смеси, тогда как, наоборот, обратимые процессы, поскольку не последует вмешательства извне, не имеют ни начала, ни конца и состоят в вечном „взад и вперед“.

Каким же образом можно объединить оба эти совершенно противоположного вида законы под одной рубрикой, что совершенно необходимо в интересах единства физической картины мира? Во времена прошлого поколения существовало в теоретической физике явственно выдвигавшееся на первый план направление так называемой энергетики, которое стремилось устранить это противоречие, например, тем, что оно проводило полную аналогию между переходом тепла от высшей температуры к низшей и опусканием груза или маятника из высшего расположения в низшее. При этом, однако, оставалось неучтенным то существенное обстоятельство, что груз может также и подыматься, и что маятник, достигнув наинизшей своей

точки, обладает наибольшей скоростью и, вследствие своей инерции, переходит через положение равновесия на противоположную сторону, тогда как, в противоположность этому, поток тепла от теплого тела к холодному становится тем слабее, чем меньшей становится разность температур, и не может быть и речи о переходе через состояние равенства температур под влиянием своеобразной инерции.

Как бы то ни было, всегда останется противоположность между обратимыми и необратимыми процессами, речь может идти лишь о том, чтобы найти совершенно новую точку зрения, которая бы выявила известную связь между разнородными законами, и притом, по возможности, такую, которая каким-либо образом сводила бы законы одной группы к законам другой группы. Какую же из групп нужно считать более простой и элементарной: группу обратимых или необратимых процессов?

На этот вопрос дает некоторый ответ уже чисто внешнее формальное рассмотрение. Помимо переменных величин, подлежащих в каждом отдельном случае особому измерению, каждая физическая формула содержит еще некоторые постоянные величины, которые нужно мыслить определенными раз навсегда и которые придают характерный отпечаток выражаемой формулой функциональной связи переменных величин. При рассмотрении этих постоянных легко убедиться, что в обратимых явлениях при самых разнообразных внешних условиях они действительно всегда остаются одними и теми же, как например, масса, постоянная тяготения, электрический заряд, скорость света. Наоборот, постоянные необратимых процессов, как, например, теплопроводность, коэффициент трения, постоянные диффузии, в большей или меньшей степени зависят от внешних обстоятельств: от температуры, давления и т. д.

Исходя из этих фактов и обстоятельств, естественно считать постоянные первой группы более простыми и соответствующие законы элементарными и далее нерасчленимыми, а постоянные второй группы и соответствующие законы считать более сложными. Чтобы вынести суждение о законности этого предположения, нужно уточнить способ рассмотрения, нужно рассмотреть явления, так сказать, под более сильным увеличением. Если необратимые явления действительно обладают сложным характером, то управляющие ими законы могут быть лишь грубо справедливы, они должны обладать статистическим характером, ибо они имеют значение лишь при макроскопическом, суммарном рассмотрении, т.-е. лишь для средних значений большого числа различных единичных явлений. Чем больше ограничивать число единичных явлений, к которым относятся средние значения, тем отчетливее должны проявляться случайные отклонения от макроскопических законов. Иными словами, если изложенное представление действительно правильно, то при микроскопическом рассмотрении все

законы необратимых процессов — трения, теплопроводности, диффузии — должны оказаться неточными; в отдельных случаях они должны допускать исключения, которые выявляются тем ярче, чем больше утончается способ рассмотрения.

Именно этот вывод и подтвердился с течением времени на опыте во всех отношениях со все возрастающей степенью достоверности, что, конечно, могло удасться лишь с помощью необычайного улучшения измерительных методов. Значительная степень приближения, в пределах которой справедливы законы необратимых явлений, объясняется исключительно колоссальным числом единичных явлений, из которых они обычно состояются. Если мы возьмем, например, жидкость всюду одинаковой температуры, то из макроскопического закона теплопроводности следует, что внутри жидкости не происходит никакого переноса тепла. Однако в сущности это вовсе не так. Ибо теплота обуславливается быстрыми движениями молекул жидкости, а теплопроводность — обменом скоростей, происходящим при столкновении молекул. Однородность температуры состоит, следовательно, не в равенстве всех скоростей, а лишь в равенстве средних значений скоростей в каждом объеме жидкости, содержащем очень большое число молекул. Если же мы возьмем объем жидкости, содержащей сравнительно мало молекул, то среднее значение скоростей этих молекул будет с течением времени испытывать колебания, которые будут тем сильнее, чем меньше выбран объем жидкости. Это положение может в настоящее время считаться фактом, полностью подтвержденным опытом. Одной из наиболее ярких иллюстраций этого положения является так называемое Броуновское молекулярное движение, которое можно наблюдать с помощью микроскопа на маленьких, взвешенных в жидкости пылинках. Под влиянием ударов невидимых молекул жидкости пылинки эти движутся взад и вперед и притом тем сильнее, чем выше температура. Если мы теперь введем предположение, никаких существенных препятствий которому не встречается, что каждый отдельный удар представляет собою обратимое явление, для которого справедливы строгие элементарные законы динамики, то можно сказать, что введением микроскопического способа рассмотрения законы необратимых явлений или, иначе говоря, грубые и статистические закономерности сведены к точной и абсолютной динамической закономерности.

Большие успехи, достигнутые в последнее время введением статистических закономерностей в многочисленные области физического исследования, вызвали среди физиков знаменательное изменение воззрений. Вместо того, чтобы, как прежде в энергетике, отрицать существование необратимых процессов или, по крайней мере, считать их сомнительными, в настоящее время часто пытаются выдвинуть на первый план статистическую закономерность, свести к статистическим

все законы, считавшиеся до сего времени динамическими, в том числе даже тяготение, иными словами, вовсе исключить существование в природе абсолютной закономерности. И действительно, легко понять, что все, что бы мы ни изучали и ни измеряли в природе, никогда не может быть выражено совершенно определенными числами и всегда содержит в себе известную неопределенность, обусловленную неизбежными при измерениях источниками ошибок. Из этого следует, что нам никогда не удастся решить с помощью измерений, абсолютно ли точно справедлив в природе данный закон или нет. К тому же выводу приходим мы при рассмотрении этого вопроса с точки зрения общей теории познания. Если мы с самого начала встретились с невозможностью доказать даже то, что в природе вообще существует закономерность, то тем менее может нам удасться доказать то, что эта закономерность абсолютна.

Итак, с логической точки зрения нужно признать вполне законной гипотезу о том, что в природе существует лишь статистическая закономерность. Другой вопрос — полезно ли это предположение для исследования, и на этот вопрос я хотел бы ответить решительным отрицанием. Прежде всего, нужно принять во внимание, что лишь строго динамическая закономерность вполне удовлетворяет требованиям нашего стремления к познанию, тогда как всякий статистический закон в основе своей неудовлетворителен просто потому, что он не строго справедлив, а допускает в отдельных случаях исключения. Поэтому всегда возникает вопрос: в каких же именно случаях наступают эти исключения?

Как раз этого рода вопросы и являются наиболее сильным стимулом к расширению и уточнению методов исследования. Если признать статистическую закономерность последним, наиболее глубоким видом закономерностей, то принципиально нет никаких оснований искать причины флуктуационных отклонений от какого-либо известного статистического закона. В действительности же именно стремление найти за каждой статистической закономерностью закономерность динамическую, строго причинную, привело к важнейшим успехам в изучении атомистических явлений.

С другой стороны, если имеется закон, который до сих пор всегда оказывался строго справедливым в пределах ошибок измерений, то, конечно, нужно признать, что с помощью измерений никогда нельзя будет окончательно установить, не носит ли он все же статистический характер. Однако существенно важно, приводят ли теоретические соображения к признанию его статистическим или динамическим. Ибо в первом случае будут настойчиво стараться путем непрерывного уточнения методов измерения определить границы приложимости закона, тогда как во втором случае старания эти будут признаны бесплодными, что сэкономит много бесполезной работы. Слишком уже

много усилий потрачено было в физике на решение таких мнимых проблем, чтобы соображения эти можно было считать маловажными.

Исходя из этого, я полагаю, что, во всяком случае в интересах здорового дальнейшего развития, причислить к постулатам физических наук не только существование закономерности вообще, но также и строго причинный характер этой закономерности, что, в сущности, всегда до сих пор и делалось, и считать, что цель исследования достигнута лишь тогда, когда каждая из наблюдаемых статистических закономерностей сведена к одной или нескольким динамическим. Это вовсе не должно умалить большого практического значения статистических закономерностей. Как метеорология, география, социальные науки, так и физика во многих случаях должна работать со статистическими законами. Но так же, как никто не сомневается, что так называемые случайные колебания в климатологических кривых, в статистике населения или смертности в каждом отдельном случае имеют строго причинное происхождение, так и для физика всегда будет иметь строго законный смысл вопрос о том: почему из двух соседних атомов урана один распадается на много миллионов лет раньше другого?

Наука о духовной жизни тоже никогда не сможет обойтись без предпосылок о существовании строгой причинности. Противниками этого воззрения часто выставляется аргумент о наличии у человека свободы воли. Я уже раньше имел однажды возможность дать подробное обоснование тому, что в этом вовсе нет никакого противоречия, что, напротив, свобода человеческой воли вполне примирима со всеобщим господством строгого закона причинности. Так как развитые мною соображения были некоторыми поняты совершенно неправильно и так как этот вопрос, несомненно, представляет значительный интерес, то я попрошу разрешения в кратких словах на нем остановиться.

Закон причинности требует, чтобы как поступки, так и душевные явления и, в частности, волевые мотивы каждого человека в каждый момент времени полностью определялись бы состоянием всего его внутреннего мира в предшествующий момент и воздействиями мира внешнего. У нас нет никаких оснований в каком бы то ни было отношении сомневаться в справедливости этого положения. Ибо вопрос о свободе воли касается вовсе не того, существует ли подобное определенное соотношение, а того, доступно ли это соотношение познанию самого субъекта. Единственно лишь от этого обстоятельства зависит решение вопроса о том, может ли человек чувствовать себя свободным или нет. Лишь в том только случае, если бы кто-нибудь был в состоянии на основании одного лишь закона причинности предвидеть собственное будущее, нужно было бы отказать ему в наличии сознания свободы воли. Однако такой случай невозможен, так как он содержит в себе логическое противоречие. Ибо совершенное познание пред-

полагает, что познаваемый объект не изменяется под влиянием внутренних явлений в познающем субъекте, а эта предпосылка несправедлива, если объект и субъект идентичны между собой. Или, говоря конкретнее, так как познание какого-либо собственного внутреннего волевого мотива есть переживание, из которого может возникнуть новый волевой мотив, то это познание увеличивает собою число возможных волевых мотивов. Установление этого положения представляет собою новое познание, которое в свою очередь может обусловить возникновение нового волевого мотива. Эта цепь следствий может быть продолжена сколь угодно далеко, и нам все же никогда не удастся установить окончательный решающий мотив собственного своего будущего поступка, т.-е. не удастся достичь познания, которое в свою очередь не привело бы к возникновению нового волевого мотива.

Кто сомневается в смысле этого рассуждения и не может понять, почему достаточно интеллигентный ум не может быть в состоянии полностью уразуметь причинную обусловленность своего настоящего Я, тот, в сущности, не должен был бы также понимать и того, почему великан, столь высокий, что он на каждого глядит сверху вниз, не в состоянии посмотреть и на самого себя сверху вниз. Нет, из одного лишь закона причинности даже самый умный человек никогда не сможет вынести решающий мотив своих собственных сознательных поступков. Для этой цели ему необходима иная путеводная нить, а именно нравственный закон, которого не могут заметить ни высочайший разум, ни тончайший самоанализ.

### III.

Но вернемся к физике, в которой нет места подобным усложнениям. Мне хочется еще описать вам важнейшие характерные особенности современной физической картины мира, в которых отразилось стремление привести описанным нами путем все физические явления в строгую причинную связь. Уже поверхностный взгляд открывает громадные изменения, происшедшие в этой картине с начала нашего столетия. Мы в праве сказать, что подобного бурного развития не было со времен Галилея и Ньютона, и мы горды тем, что на этот раз немецкая наука приняла в нем весьма существенное участие. Толчок этому развитию был естественно дан теснейшим образом связанным с успехами техники, необычным уточнением измерительных методов, которое в свою очередь привело к установлению новых фактов и благодаря этому к пересмотру и расширению теории. В особенности две новые идеи придают современной физике характерный отпечаток. Эти идеи выражены, с одной стороны, в теории относительности, с другой — в гипотезе квантов. Каждая из них по-своему плодотворна, но тем не менее они совершенно чужды друг другу и

в известном смысле даже противоположны. Позвольте мне немного рассказать о них, поскольку это позволяет остающееся в моем распоряжении время.

Одно время теория относительности была, можно сказать, у всех на языке. Доводы за и против нее распространились в самых широких кругах, вплоть до ежедневной прессы, где спор о ней велся и специалистами и, еще в большей степени, неспециалистами. В настоящее время в этом вопросе наступило известное успокоение, что ни в ком не может вызвать более искреннего удовлетворения, как в самом основателе теории. Интерес широкой публики, повидимому, до известной степени насыщен и обратился в настоящее время к другим модным темам. Быть может, многие были бы склонны заключить на этом основании, что в настоящее время роль теории относительности в науке в значительной степени уже сыграна. Насколько я могу судить, имеет место как раз обратное. Теория относительности стала в настоящее время столь прочной составной частью физической картины мира, что ее, как и все очевидное, уже больше не муссируют. И действительно, как бы революционно и ново не было воздействие, оказанное основной идеей специальной и общей теории относительности на весь физический мир в первый момент ее появления, все же ее утверждения и ее нападения направлены были, в сущности, вовсе не против основных признанных и подтвержденных законов физики, а лишь против некоторых, правда, глубоко вкоренившихся, но все же носящих лишь характер привычки воззрений; из числа тех, которые, как я пытался пояснить выше, весьма полезны для первого уразумения физических соотношений, но которые должны быть откинuty, если оказывается необходимым обобщить и углубить эти соотношения.

В качестве особенно поучительного примера я приведу лишь понятие одновременности. Наивному наблюдателю ничто не кажется более естественным, как наличие определенного смысла в утверждении, что два события, происходящие в двух отдаленных друг от друга местах, например, на земле и на Марсе, одновременны. Ибо никому не возбраняется в мыслях своих мгновенно перелетать через произвольно большие расстояния и сопоставить непосредственно друг с другом оба события в своем внутреннем созерцании. Нужно, однако, вновь подчеркнуть, что теория относительности несколько не изменила этой истины. Основываясь на ней, каждый, поскольку он располагает достаточно точными измерительными приборами, может с полной несомненностью установить, одновременны ли оба события. И если он правильно произведет измерения времени различными способами, различными приборами, контролирующими друг друга, он всякий раз будет приходить к одинаковым результатам. Постольку все, стало быть, остается попрежнему.

Однако, согласно теории относительности, он не может считать само собой разумеющимся, что другой, движущийся по отношению к нему наблюдатель тоже должен мыслить оба события одновременными. Ибо мысли и представления одного человека не всегда совпадают с мыслями и представлениями другого. Если оба наблюдателя поделятся друг с другом содержанием своих мыслей и представлений, то каждый из них будет ссылаться на свои измерения, и тогда выяснится, что при истолковании своих измерений оба они исходили из совершенно различных предпосылок. Вопрос же о том, какая из предпосылок правильна, также не может быть решен, как и спор о том, кто из обоих наблюдателей находится в покое и кто в движении. Вопрос этот, однако, существенен, ибо ход часов — и в этом нет ничего удивительного — зависит от скорости, с которой часы удаляются от данного места, а отсюда следует, что ход часов обоих наблюдателей различен. Конечный вывод, стало быть, таков, что каждый из наблюдателей с равным правом может утверждать, что именно он находится в покое и что его измерения времени правильны, при чем, однако, один из наблюдателей считает одновременными события, которые, согласно другому наблюдателю, не одновременны. Подобного рода рассуждения предъявляют, конечно, тяжелые требования к нашей способности представления, однако эта жертва наглядностью ничтожно мала по сравнению с неоценимыми преимуществами, связанными с грандиозным обобщением и упрощением физической картины мира.

Кто все же не может освободиться от мнения, что теория относительности в конце концов страдает каким-либо внутренним противоречием, тот должен подумать о том, что теория, содержание которой может быть полностью охвачено одной математической формулой, так же не может быть внутренне противоречивой, как не могут противоречить друг другу два различных вывода из одной и той же формулы. Наши воззрения должны руководствоваться выводами из формул, а не наоборот.

Конечно, последнее слово в вопросе о допустимости и о значении теории относительности принадлежит опыту, и важнейшим признаком плодотворности теории должна считаться самая возможность проверки ее на опыте. До настоящего времени не было установлено никаких противоречий с опытом, что я в особенности желал бы подчеркнуть в противовес некоторым сообщениям, проникшим в последнее время и в широкую публику. Но и тот, кто по каким-либо основаниям считает возможным или вероятным, что противоречия с опытом будут обнаружены, с точки зрения собственных своих интересов, не может сделать ничего лучшего, как принять участие в разработке теории относительности и в дальнейшем развитии вытекающих из нее следствий. Ибо в этом состоит единственный способ опровергнуть ее

с помощью опыта. Эта работа облегчается тем, что положения теории относительности отличаются однозначностью и сравнительной ясностью и что они превосходно поддаются включению в систему классической физики.

Если бы этому не препятствовали соображения исторического характера, то я со своей стороны, ни минуты не колеблясь, причислил бы даже теорию относительности к классической физике. Ибо лишь она в известном смысле увенчала эту физику, одновременно со слиянием пространства и времени объединив с более возвышенной точки зрения воедино понятия массы и энергии, а также тяготения и инерции. Плодом этих новых воззрений является та безупречно симметричная форма, которую отныне приобрели законы сохранения энергии и импульса в качестве равнозначных следствий принципа наименьшего действия этого наиболее объемлющего из всех физических законов, в равной мере царящего и в механике и в электродинамике.

На ряду с этим величественным сооружением чудесной красоты и гармонии как чуждый и угрожающий взрывчатый снаряд стоит гипотеза квантов, успевшая уже провести зияющую брешь сверху донизу через все здание. Гипотеза квантов явилась не в форме монолитной, простой, замкнутой в себе мысли с ясным содержанием, подобно теории относительности, внесшей в известные дотоле физические понятия и соотношения принципиально чрезвычайно значительные, но практически большей частью едва заметные видоизменения. Нет, гипотеза квантов возникла впервые в совершенно специальной области физики в качестве единственного спасительного выхода из серьезных затруднений, с которыми встретилась классическая теория при попытке разобраться в законах теплового излучения. Когда же впоследствии оказалось, что гипотеза эта помимо того непосредственно и как бы шутя решает или по меньшей мере чрезвычайно продвигает решение ряда совершенно иных проблем, например, проблемы фотоэлектрического действия, удельной теплоты, ионизации, химических реакций, представлявших для классической теории ряд определенных затруднений, то очень скоро выяснилось, что ее нужно рассматривать не только как рабочую гипотезу, но и как новый физический принцип основоположного значения, влияние которого проявляется во всех тех случаях, где дело касается тонких и быстрых явлений.

Необходимо, однако, считаться с тем, что гипотеза квантов не только противоречит существовавшим до сего времени воззрениям, — на основании изложенного выше с этим еще можно было бы сравнительно легко примириться, — но что она, как это все явственнее выявляется с течением времени, прямо отрицает некоторые из основных предпосылок, совершенно необходимых для построения классической

теории. Поэтому введение гипотезы квантов равносильно крушению классической теории, а не простому ее видоизменению, как в случае теории относительности.

Конечно, если бы гипотеза квантов во всех вопросах действительно превосходила классическую теорию, либо по меньшей мере была ей равноценна, то ничто не мешало бы целиком пожертвовать всей классической теорией; больше того, на эту жертву необходимо было бы решиться. Однако и в этом отношении дело обстоит вовсе не так, ибо в физике есть области, в особенности широкая область явлений интерференции, в которых классическая теория во всех своих деталях подтвердилась на самых точных измерениях, тогда как квантовая гипотеза, по крайней мере в наиболее простой своей форме, совершенно отказывается служить в этих областях и притом не только в том смысле, что она к ним не применима, но и в том, что она приводит к определенным результатам, не согласующимся с опытом.

Таким образом оказалось, что в настоящее время каждая из двух теорий властвует, так сказать, в своей собственной области, в которой она может чувствовать себя неуязвимой, и что в промежуточных областях, например, в явлениях дисперсии и рассеяния света, разыгрывается с переменным успехом борьба соперников, в которой обе теории оказываются, примерно, равносильными, так что в зависимости от личных склонностей физики пользуются то одной, то другой из этих теорий. Конечно, положение это чрезвычайно неприятно, а на долго и вовсе невыносимо для всякого, кто серьезно стремится обнаружить действительное соотношение вещей.

Для иллюстрации этого своеобразного положения я с вашего разрешения выберу из чрезвычайно обильного наличного материала, полученного путем как экспериментальных, так и теоретических исследований, лишь два совершенно специальных вопроса, связанных с двумя простыми фактами. Представим себе два тонких пучка лучей фиолетового света, полученных с помощью точечного источника света и непрозрачного экрана с двумя маленькими отверстиями. Если путем надлежащего отражения отклонить проходящие через отверстия пучки лучей так, чтобы они встретились на отдаленной белой стене, то вызванное обоими пучками световое пятно на стене окажется не равномерно ярким, а пронизанным темными полосами. Вот один из фактов. Второй состоит в том, что из любого светочувствительного металла, поставленного на пути одного из этих пучков лучей, будут непрерывно вылетать электроны с совершенно определенной и независимой от яркости освещения скоростью.

Если мы станем уменьшать интенсивность источника света, то согласно всем существующим наблюдениям в первом опыте вид полос будет оставаться совершенно неизменным, лишь яркость освещения

будет соответственно убывать. Во втором же опыте скорость вылетающих электронов остается совершенно неизменной, только вылеты их будут происходить более редко.

Как же учитываются эти факты теорией? Первый из них превосходно объясняется классической теорией следующим образом: в каждой точке белой стены, освещенной одновременно обоими пучками лучей, встречающиеся в ней лучи либо ослабляются, либо усиливаются, в зависимости от разности хода соответствующих световых волн. Второй факт столь же превосходно объясняется квантовой теорией следующим образом: энергия излучения падает на светочувствительный металл не непрерывным потоком, а толчками, в форме более или менее многочисленных одинаковых неделимых квантов, и каждый падающий квант вызывает из металла по одному электрону. Напротив, все попытки объяснить интерференционные полосы из теории квантов, либо фотоэлектрический эффект из классической теории до сего времени оканчивались неудачей. Ибо если энергия излучения действительно распространяется в виде неделимых квантов, то испускаемый источником света квант может пролететь либо через одно, либо через другое отверстие в непрозрачном экране, и, стало быть, при достаточно слабой силе света два различных луча никак не могут одновременно встретиться в одной точке белой стены; стало быть, возможность интерференции исключена. Действительно, если совершенно закрыть один из лучей, то полосы интерференции всегда полностью исчезают.

С другой стороны, если излучаемая точечным источником света энергия непрерывно распространяется по все возрастающему объему по всем направлениям, то она должна соответственным образом разрежаться, и нельзя понять, как может электрон при очень слабом освещении приобретать ту же скорость вылета, как и при очень ярком. Предпринимались, конечно, самые разнообразные попытки устранить эти трудности. Наиболее естественная из них состоит, пожалуй, в предположении, что энергия вылетающего электрона заимствуется вовсе не из падающего на металл излучения, а из внутренности металла, так что излучение лишь освобождает заключенную в металле энергию, подобно искре в бочке пороха. Однако не удалось ни обнаружить этот источник энергии, ни даже сделать вероятным самое его существование. Согласно другому предположению, энергия движения электрона заимствуется, правда, из падающего излучения, однако вылет электрона происходит лишь после того как освещение длилось достаточно долго для накопления всей энергии, потребной для сообщения электрону определенной скорости. Во многих случаях для этого потребовались бы, однако, минуты и часы, тогда как в действительности действие излучения часто проявляется значительно скорее.

Чрезвычайно серьезный характер этих затруднений с особенной яркостью выразился в том обстоятельстве, что в последнее время авторитетнейшими лицами было даже сделано предложение пожертвовать постулатом о строгой справедливости принципа сохранения энергии. Этот выход из тупика с известным правом может быть назван отчаянным; правда, в скором времени недопустимость его была доказана специально поставленными опытами.

Тогда как все попытки объяснить с точки зрения классической теории законы эмиссии электронов до сего времени оканчивались неудачей, законы эти и много еще других закономерностей, относящихся к взаимодействию излучения и энергии, сразу же становятся понятными и даже кажутся необходимыми, если принять, что отдельные мельчайшие световые кванты летают в пространстве независимо друг от друга и ведут себя при ударе о материю так же, как и настоящие субстанциальные атомы.

Так как мы, однако, должны остановиться на одном определенном воззрении, то вся проблема, в сущности, заостряется на вопросе о том, расщепляется ли при выходе из источника света излучаемая им энергия так, что одна часть ее проходит через одно, а другая через другое отверстие непрозрачного экрана, или же энергия эта проникает в форме неделимых квантов попеременно то через одно, то через другое из отверстий. Этот вопрос становится перед всякой теорией квантов, и каждая теория принуждена занять по отношению к нему определенную позицию; до сих пор, однако, ни один физик не смог дать на него удовлетворительный ответ.

Иногда высказывалось мнение, что трудности квантовой теории возникают, в сущности, не при распространении излучения в свободном воздушном пространстве, а лишь при взаимодействии излучения с электрически заряженной материей. С этим мнением я не могу согласиться. Ибо в сформулированном выше вопросе речь идет лишь о распространении излучения, и он не имеет никакого отношения к явлениям, вызываемым излучением или порождающим его.

Можно ли, однако, в таком случае вообще говорить об энергии свободного излучения, ибо все измерения относятся ведь к явлениям в материальных телах? Если мы действительно хотим придерживаться строгого смысла принципа сохранения энергии, к чему приводят, в частности, новейшие наблюдения, то всякому полю излучения нужно приписать совершенно определенное, более или менее точно исчислимое количество энергии, которое уменьшается при поглощении и возрастает при излучении. Вопрос идет лишь о поведении этой энергии. И нет сомнения, что для того, чтобы найти выход из затруднительной дилеммы, нам придется решиться на известное расширение и обобщение самых основных предпосылок, из которых мы привыкли исходить в теоретической физике и которые до сих пор

всегда оправдывались. Этот вывод, по крайней мере на первых порах, включает в себе, несомненно, нечто, не удовлетворяющее нашу жажду познания. Но если возможность решения загадки кажется открытой в каком-либо направлении, то одно это уже действует успокаивающим образом; в виду этого я не могу удержаться от искушения в нескольких словах коснуться вопроса о том, в каком именно направлении, быть может, можно было бы найти выход. Радикальным средством обойти все трудности явился бы, без сомнения, отказ от обычного допущения, что энергия излучения так или иначе локализована, т.-е. что в каждом пространственном участке определенного электромагнитного поля в определенное время находится определенное количество энергии. Ибо если отказаться от этого предположения, то решение всей проблемы состоит попросту в отрицании какого-либо определенного физического смысла в вопросе о том, летит ли световой квант через первое или через второе отверстие непрозрачного экрана. Тем не менее этот выход из дилеммы связан, по моему мнению, по крайней мере в настоящее время, со слишком значительными жертвами. Ибо общая величина энергии излучения обладает вполне определенным, могущим быть указанным значением; электромагнитное вертикальное поле луча во всех его пространственно-временных отношениях учитывается классической электродинамикой вплоть до всех оптических деталей в полном соответствии с действительностью; наконец, энергия возникает и исчезает одновременно с полем, и поэтому нельзя так просто отмахнуться от вопроса о том, каким именно образом детальное строение поля определяет в деталях и его энергию.

Если мы решимся войти возможно глубже в рассмотрение этого вопроса, то, чтобы избежать указанной альтернативы, кажется естественным, сохраняя закономерное соотношение между лучом, или, точнее выражаясь, между электромагнитной волной — с одной стороны, и несомой ею энергией — с другой, придать этому соотношению менее простой и менее тесный характер, чем это прилагается классической теорией. По классической теории каждый сколь угодно малый участок электромагнитной волны содержит соответствующее, пропорциональное его величине количество распростирающейся вместе с ним энергии. Если ослабить эту связь, т.-е. если допустить, что энергия волны не связана столь прямым образом с ее мельчайшими элементами, то создается возможность расщепления посылаемой источником света волны на произвольно большое число частей, в смысле классической теории, при чем, однако, энергия волны все же концентрируется в определенных местах в смысле квантовой теории. Первое обстоятельство позволяет объяснить явления интерференции тем, что даже самая слабая волна проходит частью через одно, частью через другое отверстие непрозрачного экрана; второе же обстоятельство позволяет объяснить фотоэлектрический эффект тем, что волна отдает свою

энергию электронам лишь целыми квантами. Как же, однако, можно мыслить часть световой волны без соответствующей ей величины энергии? Несомненно, это в достаточной мере трудно, но по моему мнению это, в сущности, все же не труднее, чем мыслить часть тела без соответствующей ее плотности массы. Мы, однако, как известно, вынуждены принять последнее допущение в виду того факта, что при последовательном объемном раздроблении материя теряет свои простые свойства, масса ее перестает быть пропорциональной занимаемому ею объему и сосредоточивается во множестве отдельных молекул определенной величины. Совершенно подобное может иметь место и в отношении электромагнитной энергии и соответствующего ей импульса.

До сего времени элементарные законы электромагнитных явлений разыскивались обычно исключительно в области бесконечно малого. Все электромагнитные поля делились по пространству и по времени на бесконечно малые части, и все их закономерные свойства и процессы выражались с помощью пространственно-временных дифференциальных уравнений. В этом отношении нам, очевидно, придется пересмотреться с нуля. Ибо выяснилось, что простые закономерности имеют предел при определенной степени дробления, и что при еще более тонких или мелких явлениях возникают некоторые осложнения, принуждающие атомизировать пространственно-временное количество действия, т.-е. принуждающие принять существование элементарного количества действия, или атома действия. И действительно, весьма примечательно и знаменательно, что ни один из законов, в которых играет роль универсальный квант действия, не выражается дифференциальным уравнением, и что все они относятся к конечной пространственной протяженности и к конечному времени, как-то: к определенному периоду колебаний, к полному обращению, к конечному скачку и т. д. Чтобы надлежащим образом учесть это обстоятельство, мы, повидимому, должны, по крайней мере частично, заменить соотношения между бесконечно близкими величинами соотношениями между величинами конечно удаленными. В этом случае дифференциал заменяется разностью, непрерывность — прерывностью, анализ — арифметикой.

Многообещающим начинанием в этом направлении является основание так называемой квантовой механики, приведшей уже в последнее время к значительным успехам в руках геттингенских физиков Гейзенберга, Борна и Иордана. Но лишь дальнейшее развитие покажет, насколько мы можем приблизиться к решению нашей проблемы на пути, который открывается квантовой механикой. Ибо даже прекраснейшие математические спекуляции висят в воздухе до тех пор, пока определенные опытные факты не подведут под них прочной базы, и мы должны верить и надеяться, что искусство экспериментирующего физика, которое принесло уже бесспорное решение столь многих запутанных вопросов, рассеет мрак и в этом трудном случае.

Тогда не останется сомнения, что часть здания классической физики, взорванная приступом квантовой гипотезы, будет отброшена как негодный мусор и будет заменена более подходящим и более прочным сооружением.

---

Мы видели, что физика, лишь одно поколение тому назад причислявшаяся к старейшим и наиболее зрелым наукам о природе, вступила в настоящее время в период бурь и натиска, обещающий стать наиболее интересным из всех когда-либо существовавших. Преодоление этой бури и натиска приведет нас не только к дальнейшему открытию новых явлений природы, но, несомненно, и к совершенно новому проникновению в тайны теории познания. В этой последней области нас, быть может, ожидает много неожиданностей, и может статься, что при этом возродятся и приобретут новое значение некоторые из прежних, преданных ныне забвению воззрений. Поэтому внимательное изучение воззрений и идей наших великих философов может и в этом отношении оказаться весьма полезным.

Бывали времена, когда философия и естественные науки противостояли друг другу чуждо и неприязненно. Эти времена давно миновали. Философы поняли, что нельзя предписывать естествоиспытателю методы и цели его работы, а естествоиспытатели уяснили себе, что исходный пункт их исследований лежит не только в восприятиях органов чувств, и что естественные науки не могут обойтись без философии. Как раз именно новейшая физика со всей определенностью приводит нас к признанию старой истины: существуют реальности, не зависящие от восприятий органов чувств, и существуют проблемы и конфликты, в которых реальности эти представляют для нас большую ценность, чем ценнейшие богатства всего нашего чувственного мира.

---