

§ 72. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИЧИННОСТИ В ФИЗИКЕ

Представление о причинности и закономерностях, действующих в природе, возникло у человека очень давно. Начавший мыслить человек привыкал ставить перед собой вопросы, почему произошло или происходит то или иное явление, так как знание причины позволяло ему вызвать нужные для него следствия. Возникновение науки привело к научному анализу понятий причины и следствия, а также понятия закономерностей, действующих в природе. Такой анализ начался в рамках древнегреческой философии. В наиболее развитой форме он был проведен Аристотелем, который, как говорилось выше, рассматривал четыре вида причин. Средневековая философия, восприняв философию Аристотеля, ничего нового не прибавила к учению о причинности, только упростила его представления по этому вопросу. Вместе с развитием естествознания и новой философии учение Аристотеля о причинности подверглось изменению. Прежде всего из естествознания было исключено представление о конечных или целевых причинах, а остальные виды причин Аристотеля были сведены к единственному виду, являющемуся известным развитием понятия действующей причины.

Одновременно понятие причины подверглось научному анализу в рамках философии. Так, например, английский философ Гоббс (1588—1679) ввел понятие «полной» и «достаточной» причины, понимая под полной причиной совокупность всех условий и обстоятельств, вызывающих и обеспечивающих появление данного следствия. Спиноза (1632—1677) исследовал вопрос о внешних и внутренних причинах, вызывающих данное явление. Нужно подчеркнуть при этом, что признание строгой детерминированности в явлениях природы было характерным для всех крупных философов XVII в. как материалистического, так и идеалистического направления. Так, например, Лейбниц специально сформулировал строгий принцип причинности в виде принципа достаточного основания. У него этот принцип имел одновременно смысл закона бытия и закона познания.

«Ни одно явление, — писал Лейбниц, — не может оказаться истинным, действительным, ни одно утверждение — справедливым без достаточного основания, почему дело обстоит так, а не иначе»¹⁾.

Только позже среди философов субъективно-идеалистического направления были высказаны мнения либо отрицающие причинность, либо сводящие ее к чисто логической категории, к свойству человеческого мышления. Что же касается естествоиспытателей, в частности

¹⁾ Лейбниц Г. Избранные философские сочинения. М., 1908, с. 347.

физиков, то все они без исключения стояли на позициях детерминизма вплоть до XX в.

Не касаясь вопроса причинности в общефилософском плане, рассмотрим, как развивалось это понятие и связанные с ним вопросы в рамках физики и какие конкретные формы принимало это понятие в рамках этой науки. На первом этапе развития физики понятие причинности было связано с механикой Ньютона. В механике Ньютона особую роль играет понятие «сила» как причина движения. Что же касается движения, понимаемого как механическое движение, то всякое физическое явление, как думал Ньютон и некоторые ученые после него, в конечном счете вызывается силой, будь то движение микроскопических тел или малых частичек, атомов, невесомых жидкостей и т. д. В связи с этим понятия причины и принципа причинности на первом этапе развития физики были связаны с понятием силы. Однако такие простые представления о причинности и принципе причинности в физике начинают вскоре усложняться. Если имеет место не одно тело, а система тел, то силы, действующие на каждое тело, хотя по-прежнему могут рассматриваться как причина их движения, тем не менее сами зависят от взаимного расположения тел в системе, а возможно и от их относительной скорости. Поэтому принцип причинности в механике приобретает новую форму. Теперь под принципом причинности в механике начинают понимать следующее: состояние механической системы в некоторый момент времени t_0 , т. е. значения координат и скоростей тел в этот момент времени и сил, действующих между телами, жестко и однозначно определяют состояние системы этих тел в любой другой момент времени, т. е. координаты и скорости тел этой системы.

Здесь имеет место переход к новой форме причинности или принципу причинности, когда настоящее состояние системы детерминирует, определяет как предыдущее, так и последующее ее состояние. Эту форму причинной связи часто называют «связью состояний».

Принцип причинности в механике в общей форме связи состояний был сформулирован Лапласом в конце XVIII в. Лаплас придал этой формулировке всеобщий характер, полагая, что вся Вселенная является механической системой, образованной из больших и малых материальных тел, между которыми действуют силы, и все изменения происходят в результате механических движений этих тел под действием определенных сил. Приведем известную формулировку Лапласа:

«Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел Вселенной, наравне с движением легчайших атомов: не оставалось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором»¹⁾.

Приведенное высказывание является выражением так называемого лапласовского детерминизма. Однако нужно подчеркнуть, что в настоящее время, когда говорят о лапласовском детерминизме, нередко

¹⁾ Л а п л а с П. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908, с. 9.

понимают несколько различные положения, что вносит определенную путаницу в современную оценку этого понятия. Во-первых, следуя точно формулировке самого Лапласа, под лапласовским детерминизмом понимают утверждение о том, что состояние мира определяется начальными положениями и начальными скоростями всех частиц, составляющих Вселенную, и силами, которые действуют между ними. Назовем это положение лапласовским детерминизмом в узком смысле.

Во-вторых, в более широком смысле лапласовский детерминизм понимают как утверждение о том, что состояние изолированной системы в данный момент точно и однозначно определяет ее состояние в любой из предыдущих и в любой из последующих моментов времени. При этом под системой понимают любую физическую систему, состояние которой определяется не только координатами и скоростями частиц, образующих ее. В этом более широком понимании лапласовский детерминизм действует не только в механике, но, например, также в электродинамике, и не обязательно связан с механическим представлением о Вселенной.

Наконец, говоря о лапласовском детерминизме, нужно различать субъективный и объективный аспекты этого положения. Объективный аспект лапласовского детерминизма — это утверждение об объективной, строгой и однозначной детерминированности в физических явлениях. Субъективный же аспект — это утверждение о предсказуемости состояния системы в прошлом и будущем, если известно ее состояние в данный момент. Можно не признавать детерминизм Лапласа в субъективном смысле, полагая, например, что состояние системы определяется сложным образом большим числом параметров, и одновременно признавать действие лапласовского детерминизма в его объективном понимании.

Понимание детерминизма как лапласовского детерминизма в узком смысле было характерным для классической физики XVIII и большей части XIX столетия. Однако физическая наука не могла ограничиться только таким пониманием принципа причинности, основанным на лапласовском детерминизме в узком смысле. Физика все в большем и большем масштабе исследовала немеханические процессы. Устанавливались все новые и новые законы, связывающие в виде математических зависимостей наблюдаемые и изучаемые величины (температуру, количество теплоты, силу тока и т. п.). При всей механистичности мировоззрения о механическом происхождении изучаемых величин и устанавливаемых закономерностей можно было говорить только теоретически и полагать, что только в принципе полученные в итоге закономерности объясняются (каким образом, пока неизвестно) как результат механического движения каких-то частиц под действием каких-то сил. В связи с этим в физике понятие детерминизма расширяется до утверждения о том, что состояние физической системы в момент t_0 определяет однозначно и точно ее состояние в любой из предыдущих или последующих моментов времени, т. е. принцип причинности расширяется до лапласовского детерминизма в широком смысле.

Возникшую ранее в механике форму причинности как связи состояний распространяют на механику сплошных сред, а также и на

немеханические (оптические, электромагнитные, а также частично и тепловые) явления. Устанавливаемые при этом законы описывают распространение в пространстве каких-либо возмущений с определенной скоростью. Так, в механике сплошных сред рассматривается распространение деформации в упругой среде, в электродинамике — распространение электрических и магнитных полей в пространстве, в теории теплопроводности — распространение теплоты. Принцип причинности в данном случае выражается в математической форме с помощью дифференциальных уравнений в частных производных, в которые входит как независимое переменное время.

Далее принцип причинности в физике также принимает форму так называемой функциональной зависимости. В данном случае устанавливаемые законы выражаются в виде математических соотношений между физическими величинами, не содержащих время в явном виде. Примером может служить закон Ома, согласно которому изменение силы тока в цепи пропорционально изменению напряжения на ее концах. Другим примером является функциональная зависимость между давлением, объемом и температурой идеального газа, выражаемая соответствующим уравнением состояния. Закономерности термодинамики также выражают в форме функциональных зависимостей, которые являются выражением причинных связей, существующих между термодинамическими параметрами, характеризующими термодинамическое состояние вещества.

Конечно, не всякая функциональная зависимость выражает причинную связь. Так, например, функциональная зависимость между площадью круга и его радиусом не выражает причинной связи. Однако если говорить о функциональной связи между физическими величинами, которая в виде математической формулы выражает какой-либо физический закон, то этот закон, эта математическая зависимость являются выражением причинной связи, существующей между физическими величинами.

Нужно подчеркнуть, что физические законы, выражаемые функциональной зависимостью, можно рассматривать как частный или предельный случай законов, выражающих связь состояний, содержащих время. Действительно, если изменение состояния какой-либо физической системы происходит очень медленно, то можно рассматривать каждое из состояний системы в любой момент времени как состояние равновесия. Система при этом как бы теряет чувствительность ко времени, и оно выпадает из рассмотрения. Такое изменение системы, как известно, называется квазистатистическим или квазистационарным. Только для квазистатистических процессов, имеющих место в газе, можно говорить об уравнении состояния газа или только для квазистационарных процессов в электрических цепях можно использовать закон Ома.

Таким образом, можно считать, что так называемая функциональная связь в рамках физики, вообще говоря, сводится к той форме причинной связи, которую называют связью состояний. Эта форма причинных связей соответствует лапласовскому детерминизму в широком смысле.

Вопрос о причинности и ее формах получил дальнейшее развитие в физике в связи с развитием термодинамики и статистической физики. Открытие второго закона термодинамики произвело переворот во взглядах физиков на физические процессы. Он утверждал неустранимую необратимость реальных наблюдаемых физических явлений. Выяснение же этого обстоятельства затрагивало и вопрос причинности. Согласно лапласовскому детерминизму (в широком смысле), настоящее состояние физической системы определяет как будущее, так и прошлое ее поведение или состояние. Однако для необратимых процессов настоящее состояние, строго говоря, определяет только будущее, но не определяет прошедшее. Например, если имеет место процесс распространения теплоты вдоль стержня, то, зная распределение температуры вдоль него в момент времени t_0 , а также параметры, характеризующие систему (стержень), можно рассчитать распределение температуры для любого последующего момента времени. «Рассчитать» в том смысле, что начальное состояние системы точно и однозначно определяет ее состояние в любой последующий момент времени. Но значение начального состояния систем, т. е. в данном случае распределение температуры вдоль стержня в момент времени t_0 , не должно, строго говоря, определять ее распределение в любой из предыдущих моментов времени $t < t_0$. Иначе, настоящее состояние определяет будущее состояние, но не определяет прошлое системы. Этот вывод справедлив для таких явлений, как теплопроводность, диффузия и т. д., но если подходить к вопросу строго, то он действителен для любого реального макроскопического процесса, так как всякий реальный макропроцесс является необратимым. Так, например, если рассмотреть затухающие колебания груза, подвешенного на пружине, то, решив соответствующее дифференциальное уравнение с учетом начальных значений, мы получим, что амплитуда колебаний выражается как функция времени

$$x = x_0 e^{-\delta(t-t_0)} \cos(\omega t + \varphi),$$

где x — отклонение груза от положения равновесия; δ и ω — величины, определяемые параметрами системы; x_0 и φ — соответственно начальная амплитуда и фаза. Но эта формула определяет x , строго говоря, только для времени $t > t_0$ и не законна для определения x для $t < t_0$. Правда, можно предположить, что для $t < t_0$ колебания описываются тем же законом, и определить x по этой формуле. Однако это предположение незаконно, так как при уменьшении времени t начиная с t_0 амплитуда колебаний безгранично возрастает, что, конечно, не имеет физического смысла.

Таким образом, формулировку лапласовского детерминизма в широком смысле в случае необратимых макроскопических явлений, если не учитывать молекулярное строение вещества, следует изменить. Он теперь сводится к утверждению: состояние системы в данный момент времени определяет только ее будущее. Эта формулировка лапласовского детерминизма для необратимых макроявлений аналогична формулировке так называемого принципа причинности в квантовой физи-

ке ¹⁾, согласно которому какое-либо событие оказывает влияние на эволюцию системы лишь в следующие моменты времени или что только прошлое состояние системы определяет ее будущее состояние, а не наоборот. Конечно, под понятием состояния в данном случае подразумевается нечто иное, нежели в термодинамике.

Глубокий смысл того факта, что в термодинамике состояние системы определяет только ее будущее, но не определяет ее прошедшее, раскрывается в статистической физике. В статистической физике выясняются смысл термодинамических закономерностей и причина необратимости макроскопических явлений. При этом в классической статистической физике, с одной стороны, восстанавливается лапласовский детерминизм в общей форме для микропроцессов, а с другой стороны, возникает представление о существовании новой формы причинных связей в области физических явлений. Эта новая форма причинной связи выражается в существовании статистических законов, законов, управляющих поведением определенных физических систем.

Представление о статистических законах в физике возникает и развивается вместе с развитием молекулярной физики. Идею о том, что в молекулярной физике приходится пользоваться статистическим методом, вероятно, впервые четко осознал Максвелл. Он писал:

«Я думаю, что наибольшее значение для развития наших методов мышления молекулярные теории имеют потому, что они заставляют нас делать различие между двумя способами познания, которые мы можем кратко назвать динамическим и статистическим» ²⁾.

Еще более определенно по этому вопросу высказался Н. Н. Пирогов. Он говорил не о разных способах мышления, а о существовании двух форм закономерностей и писал:

«Еще в 1860 году появился знаменательный мемуар Clerk Maxwell'a: *Illustration of the Dynamical Theory of Gases*, мемуар, которому, по-видимому, суждено сделаться одной из исходных точек новой эры естествознания. Если период до шестидесятих годов настоящего столетия справедливо может быть назван Newton'овской эрой, эрой изучения *закономерного*, то с шестидесятих годов проявляется с особой силой почти во всех отраслях естествознания новое направление изучения *закономерностей случайного*» ³⁾.

Но высказывания подобного рода, появившиеся еще в XIX в., не были характерны для многих физиков. Большинство ученых, использовавших статистический метод в физике, рассматривали его лишь как результат невозможности применять на практике обычные методы для расчета поведения очень сложных систем, состоящих из огромного числа частиц. И когда Больцман в семидесятих годах прошлого столетия пришел к идее о статистическом характере второго закона термодинамики, то большинство физиков не согласилось с этим выводом. Однако дальнейшее развитие физики заставило признать существо-

¹⁾ Барашенков В. С. Об экспериментальной проверке принципа причинности. — «Вопросы философии», 1965, № 2, с. 108.

²⁾ С а т р б е л l L., Г а г н е т t W. *The life of James Clerk Maxwell*. London, 1882, p. 436.

³⁾ ЖРФХО, т. 22, 1890, 4. физ., вып. 5, с. 198.

вание в природе статистических закономерностей, отличных от динамических законов. И в 1914 г. Планк уже говорил о действии в физических явлениях статистических законов, управляющих необратимыми процессами. Он писал:

«... не остается никаких сомнений: материя состоит из атомов; теплота есть движение молекул и теплопроводность, равно как и все остальные необратимые процессы управляются не динамическими, а статистическими законами, т. е. законами вероятности»¹⁾.

Таким образом, физика познала новую форму физических законов, а вместе с тем и новую форму причинно-следственных связей.

Статистические закономерности проявляются у систем, которые состоят из большого числа частиц, образующих макротело. Эти закономерности устанавливают соотношения не между величинами, характеризующими сами частицы, а между средними значениями этих величин или величин, образованных с помощью последних. Так, например, в соотношениях статистической физики фигурирует среднее значение кинетической энергии, приходящейся на одну молекулу, или среднее значение импульса, сообщаемого стенкам сосуда в единицу времени, приходящееся на единицу поверхности, а также соответствующие функции распределения, вероятности и т. д.

Соотношения между средними величинами, функциями распределения и т. д. в статистической физике имеют вид однозначных причинных связей. Эти причинно-следственные связи состояний имеют характер однонаправленного лапласовского детерминизма, определяющего только будущее, но не прошедшее. Однако средние значения в статистической физике являются абстракциями. Они точно не равны мгновенным значениям реальных средних величин. И хотя причинно-следственные связи между средними величинами носят однозначный характер, тем не менее в конкретный момент времени в какой-либо конкретной точке пространства действительные средние могут отличаться от идеальных средних статистической физики. В связи с этим действительные причинно-следственные связи с необходимостью предусматривают наличие таких отклонений — флуктуаций.

Таким образом, закономерности, получаемые в статистической физике, являющиеся закономерностями коллектива частиц, хотя и носят характер однозначных причинно-следственных связей в форме связей состояний и выражаются в виде однонаправленного лапласовского детерминизма, тем не менее принципиально приближенные, приближенные в явном виде.

Одновременно с признанием статистических закономерностей для коллектива частиц классическая статистика не отказалась от идеи, что поведение каждой отдельной частицы следует лапласовскому детерминизму. Предполагается, что наряду с действием статистических законов будущее и прошедшее каждой отдельной частицы и всех частиц вместе строго и однозначно определено. При этом следует подчеркнуть, что динамические закономерности, которые определяют инди-

¹⁾ П л а н к М. Единство физической картины мира. М., «Наука», 1966. с. 108.

видуальное поведение частиц, не определяют статистическое поведение коллектива частиц, т. е. статистические законы. С другой стороны, статистический закон, описывающий поведение коллектива частиц, не определяет поведение каждой отдельной частицы.

Таким образом, в классической статистической физике предполагается: во-первых, что поведение отдельных частиц, образующих макротело, подчиняется лапласовскому детерминизму, точнее, лапласовскому детерминизму в широком смысле. Во-вторых, изменение во времени средних значений, функций распределения, вероятностей и т. д., определяемых теоретически, следует однонаправленному лапласовскому детерминизму. И, наконец, изменение реальных средних значений, хотя и с большой точностью, но все же приближенно определяется законами, которые получены теоретически для изменения средних величин, функций распределения и т. п.

Новое в понимании причинности физических явлений принесла квантовая механика. Физики, хотя и признали существование статистических законов в рамках классической физики, все же отдавали первенство динамическим законам. В квантовой механике положение оказалось иным. Состояние микрообъекта в квантовой механике определяется функцией Ψ , которая имеет статистический вероятностный смысл. Значение ее позволяет определить вероятность обнаружить то или иное значение определенной величины при измерении. Для того чтобы исключить субъективный элемент, который вносит термин «измерение», можно сказать иначе. Функция Ψ определяет вероятность того, как проявит себя микрообъект при взаимодействии с макроустройством. Волновая функция Ψ напоминает функции распределения, рассматриваемые в классической статистике, которые также определяют вероятность того, что какая-либо величина, характеризующая классическую частицу, примет определенное значение. Как и функция распределения классической статистики, волновая функция удовлетворяет дифференциальному уравнению в частных производных, уравнению Шредингера, которое жестко и однозначно определяет ее изменение со временем. Больше того, уравнение Шредингера в отличие, например, от кинетического уравнения Больцмана, определяет не только будущее поведение системы, но и прошедшее. Это связано с тем, что уравнение Шредингера, как и уравнения классической механики, обладает свойством обратимости. Таким образом, для функции Ψ справедлив лапласовский детерминизм в общем смысле. Значение функции Ψ в момент t_0 жестко и однозначно определяет значение этой функции в любой предыдущий и последующий моменты времени.

Далее, так же как функция распределения классической статистики дает возможность вычислять средние значения наблюдаемых физических величин, так, зная волновую функцию, можно определять соответствующие средние значения. И так же как функция распределения классической статистики не может дать представления об отдельном элементарном событии, так и волновая функция не определяет однозначно поведения отдельного микрообъекта. Так, например, волновая функция Ψ в общем случае не определяет место на экране, куда попадает отдельный электрон в дифракционном опыте. Однако между кван-

товой механикой и классической статистикой имеется существенное различие в отношении вопроса о причинности и детерминизме. Если в классической статистике кроме статистических законов для коллектива частиц предполагается, что поведение каждой отдельной частицы подчиняется строгой причинности, т. е. здесь действуют строгие однозначные законы динамического характера, подчиняющиеся лапласовскому детерминизму, то квантовая механика таких законов не знает. Поэтому в самом начале развития квантовой механики было высказано мнение, что в элементарных процессах строгая детерминированность отсутствует. Так, например, непосредственно после открытия квантовой механики П. Йордан писал, что хотя «в нашем макроскопическом мире и на самом деле существует причинность, по-видимому, не знающая исключений», тем не менее в элементарных физических процессах встречаются «неполные детерминированности, т. е. чистые вероятности»¹⁾. На пятом Сольвеевском конгрессе, как говорилось выше, за отрицание детерминизма в элементарных процессах высказывались Гейзенберг, Дирак и Паули. После Сольвеевского конгресса положение об отсутствии причинности в микроявлениях все чаще и чаще высказывается в литературе. В 1929 г. Э. Шредингер в речи по поводу избрания его членом Прусской Академии наук назвал вопрос о причинности «одним из самых жгучих вопросов науки»²⁾.

Вопрос о причинности в физике вступил в новую фазу после выхода в 1932 г. книги Неймана «Математические основы квантовой механики». В этой книге Нейман свел вопрос о причинности в квантовой механике к вопросу о возможности существования «скрытых параметров». При этом он доказал, что допущение существования скрытых параметров находится в противоречии с основными принципами квантовой механики. Отсюда Нейман сделал заключение:

«... квантовая механика находится в логическом противоречии с причинностью...» и хотя она не может быть признана вполне завершенной, тем не менее «... в настоящее время не существует ни повода, ни извинения для разговоров о причинности в природе. Действительно, нет опыта, который поддерживал бы наличие причинности, поскольку макроскопические опыты для этой цели принципиально непригодны, а единственная известная теория, которая совместна с совокупностью наших опытных знаний относительно элементарных процессов,— квантовая механика — ей противоречит»³⁾.

Несмотря на то что доказательство Неймана имело условный характер (оно опиралось на допущение об абсолютной истинности квантовой механики), среди большинства ученых и философов распространилось мнение, что Нейман дал строгое доказательство отсутствия детерминизма в элементарных процессах. Об индетерминизме в атомных процессах, как об установленном факте, писали Гейзенберг, Борн, Дирак и целый ряд других ученых и философов. Однако многие круп-

¹⁾ Йордан П. Причинность и статистика в современной физике. — УФН, т. 7, 1927, с. 318.

²⁾ Планк М. Max Planck in seinem Akademische. Ausprachen. Berlin, 1948, S. 118.

³⁾ И. фон Нейман. Математические основы квантовой механики. М., «Наука», 1964, с. 243—244.

нейшие физики были не согласны с выводом об индетерминизме в атомных процессах. Кроме Эйнштейна против этого вывода неоднократно выступал Планк, посвятив вопросу о причинности специально две работы: «Понятие причинности в физике» (1932) и «Детерминизм или индетерминизм» (1938). Планк не допускал мысли об отсутствии строгой причинности в микроявлениях. Когда в 1929 г. Шредингер в своей речи по поводу избрания его членом Берлинской Академии наук примирительно высказался по этому вопросу., Планк немедленно ему возразил. По его словам, примирительное отношение Шредингера к вопросу об индетерминизме заставляет выступить в защиту принципа причинности, несмотря на риск показаться ограниченным реакционером¹⁾. Планк полагал, что признание принципа причинности необходимо для естествознания и физики, в частности он писал:

«Если задачей физической науки считать раскрытие закономерных соотношений между реальными процессами в природе, то принцип причинности неотделим от физики и его принципиальное исключение по меньшей мере вызывает чувство сильного сомнения»²⁾.

Для полного решения вопроса о детерминистическом поведении микрообъекта необходима, по мнению Планка, более полная теория, которая будет основываться на новых принципах или принципе, для чего, возможно, потребуется введение новых понятий и представлений.

«Что будет представлять этот принцип,— пишет Планк,— об этом сейчас еще нельзя ничего сказать. Возможно, для того, чтобы его сформулировать, понадобится ввести совсем новые понятия абстрактной природы, которые будут совершенно чуждыми классической теории». Но работать в этом направлении необходимо, говорил Планк, не считаясь ни с какими трудностями и затратами сил. Возможно, что решение этой проблемы, указывает он далее, произойдет в связи с приведением в согласие волновой механики и теории относительности, которая «построена детерминистически»³⁾.

Против признания индетерминизма высказывался Ланжевен, который назвал рассуждения об отказе от причинности «интеллектуальным развратом»⁴⁾. Противниками индетерминизма были Лауэ и ряд других физиков.

В послевоенное время некоторые ученые вновь неоднократно поднимали вопрос о возможности «причинной» интерпретации квантовой механики или о возможности построения более общей теории микроявлений, в которой можно было бы говорить о причинном поведении отдельной частицы. Так, в 50-х годах американский физик Д. Бом возродил и развил теорию «волны-пилота» де Бройля, о которой говорилось выше⁵⁾. Бом рассматривает макрочастицу как материальную точку, которая находится под действием не только обычных сил, но и испытывает влияние особого рода квантовомеханических сил. Приписывая этим силам особые свойства, такие, например, как способность

1) Planck M. Max Planck in seinem Akademie — Ansprachen, S. 121.

2) P l a n c k M. Wege zur physikalischen Erkenntnis, Leipzig, 1944, S. 265.

3) P l a n c k M. Max Planck in seinem Akademie Ansprachen, S. 318.

4) Л а н ж е в е н Л. Избранные произведения. М., ИЛ, 1949, с. 332.

5) Работы Бом опубликованы в сб. «Вопросы причинности в квантовой механике». М., 1955.

мгновенного действия, конечное значение этих сил на любых расстояниях от их источников и т. д., Бому удалось интерпретировать квантовомеханические закономерности. Однако теория Боме ничего нового по сравнению с обычной квантовой механикой не дала и, имея характер *ad hoc*, не добилась успеха.

В это же время де Бройль возвращается к своей идее «двойного решения», о которой также говорилось выше, и продолжает ее развивать совместно с группой физиков. Идеи, основанные на «теории двойного решения», разрабатываются также в направлении сближения их с идеями Эйнштейна, пытавшегося представить атомную структуру вещества, исходя из представления об особых точках — сингулярностях поля, основываясь при этом на положениях общей теории относительности. Помимо этих попыток дать новую интерпретацию квантовой механики или построить более общую теорию микроявлений в зарубежной литературе появились и появляются высказывания о возможности построения «детерминистической теории атомных явлений» на основе представления о скрытых параметрах. Приведем только один пример такого высказывания, принадлежащий Винеру. Сравнительно недавно он писал:

«Существует также ясное свидетельство того, что квантовая физика рассматривает лишь весьма грубые проявления событий, имеющих значительно более тонкую временную и пространственную структуру.

В дальнейшем квантовые представления в большей степени будут поглощены классической теорией детерминизма, в которой всякая неопределенность возникает из-за нашей неспособности оперировать с явлениями весьма малых масштабов какими-либо методами, кроме статистических. В такой детерминистической теории попросту исчезнут многие существенные трудности»¹⁾.

Среди советских физиков вопрос о причинности в квантовой механике вызвал большие споры и дискуссии. Все они в той или иной форме подчеркивали, что говорить об отсутствии причинности вообще нельзя, так как в микропроцессах действуют статистические законы, которые определяют поведение коллектива, составленного из микрообъектов, и причинность справедлива для средних величин, функций распределения, вероятностей и т. д. Больше того, для этих величин причинность имеет характер лапласовского детерминизма (например, для изменения волновой функции со временем).

Однако единого мнения о причинности в элементарных процессах, о том, «куда попадет электрон в дифракционном опыте», или о том, «отразится ли фотон на границе двух сред или же пройдет во вторую среду», у советских физиков не было. Некоторые полагали, что для элементарных явлений в микромире, таких, как попадание электронов при дифракции, однозначная причинность не имеет места. В данном случае при одинаковых начальных условиях и одинаковых причинах получаются различные следствия. Этой точки зрения придерживался, например, В. А. Фок. Он неоднократно подчеркивал неприменимость лапласовского детерминизма в квантовой механике, понимая под тер-

¹⁾ Вииер Н. Динамические системы в физике и биологии. — В кн.: Горизонты науки и техники. М., «Мир», 1969, с. 43.

мином «лапласовский детерминизм» принцип однозначной причинности. Фок говорил о невозможности предсказания индивидуального явления в квантовой механике, подчеркивая, что эта невозможность имеет смысл не просто технической невозможности, а является объективной. На вопрос: можно ли предсказать в атомной области индивидуальные явления? — он дает однозначный ответ:

«Если справедливо неравенство Гейзенберга, то предсказать индивидуальное явление нельзя» 1).

Микрообъект, по Фоку, обладает «потенциальной возможностью» проявить себя так или иначе при взаимодействии с измерительным устройством, или, другими словами, с макроскопическими приборами. Эта возможность имеет количественную меру, которая определяется соответствующим значением волновой функции. По мнению Фока (поскольку поведение волновой функции строго определяется соответствующими уравнениями), принцип причинности «непосредственно относится к вероятностям, т. е. к потенциально возможному, а не к действительно осуществляющимся событиям» 2).

Советский физик В. Б. Берестецкий придерживается того же взгляда. В статье «Квантовая механика», помещенной в БСЭ, он пишет:

«Следовательно, одинаковые частицы в одинаковых условиях могут вести себя по-разному. А это означает, что поведение фотона при встрече с пластинкой непредсказуемо однозначно» 3). При этом речь, конечно, идет не о «технической» непредсказуемости.

Существовали и другие точки зрения по вопросу о причинности в единичных микропроцессах. Некоторые советские физики полагали, что будет построена более общая теория микроявлений — причинная теория, в которой получит объяснение статистический характер квантовой механики. Так, еще до войны К. В. Никольский в полемике с Фоком по вопросу об интерпретации квантовой механики писал:

«Теория индивидуального процесса, равно как задача о том, «как ведут себя квантовые частицы, когда на них не смотрит макроскопический наблюдатель», остаются до сих пор неразрешенными задачами. Это — основная проблема всей современной теоретической физики, и величайшая ошибка представлять себе дело так, как будто эта проблема не имеет права на существование и квантовая механика — уже законченная дисциплина» 4).

Довольно четко по поводу возможности построения «детерминистической» теории элементарных процессов высказался Я. П. Терлецкий. В 1950 г. в работе «Динамические и статистические законы физики» он писал:

«Допустимо полагать, что в области квантовой механики можно найти такие новые физические величины, непосредственно отображающие реальность, зако-

1) Ф о к В. А. Об интерпретации квантовой механики. — Философские проблемы современного естествознания. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 555.

2) Т а м ж е, с. 557.

3) Б.С.Э. Изд. 3-е, т. 11, с. 574.

4) Н и к о л ь с к и й К. В. Ответ Фоку. — УФН, т. 17, 1937, вып.4, с. 557.

ны изменения которых удовлетворяли бы первой форме физического принципа причинности (имеется в виду форма классического детерминизма.— Б. С.). Это, конечно, не означает какого-либо отрицания квантовой механики, ибо вполне допустимы теории, отображающие процессы не прямо, а через посредство понятий и представлений другой физической области»¹⁾.

Когда появились работы Бома, основанные на представлении о скрытых параметрах, а также работы де Бройля и др., о которых говорилось выше, то Терлецкий явился активным их пропагандистом в Советском Союзе.

За построение «детерминистической теории», основанной на представлении о полевой теории материи, выступил в 50-х годах Я. И. Френкель. Так, в 1950 г. он писал:

«Зарубежные физики видят выход из трудностей, связанных со старой чисто механической концепцией материи, только в отказе от детерминизма и причинности, т. е., в конце концов, в отказе от материализма. В отличие от них советские физики должны искать решение вопроса о дальнейшем развитии теоретической физики на основе философии диалектического материализма. Основным направлением для дальнейшей работы, по мнению автора, является построение монистической полевой теории материи»²⁾.

В более позднее время несколько иную, но похожую точку зрения на проблему статистичности квантовой механики высказывали А. А. Соколов, Ю. М. Лоскутов и И. М. Тернов. Они писали:

«В будущих теориях по существующим данным возможно, нельзя будет предсказать точное значение для координаты и импульса электрона одновременно, но в них, бесспорно, будет дано физическое объяснение тому факту, почему в микромире имеют место статистические закономерности»³⁾.

Далее они высказывают предположение:

«В частности, не исключено, что причины вероятностного характера квантовой механики будут вскрыты с помощью создаваемой нелинейной теории поля, в которой в настоящее время фактически учитывается структура элементарных частиц»⁴⁾

Некоторые советские физики высказывались по поводу возможности построения теории элементарных процессов более осторожно. Так, Д. И. Блохинцев, анализируя в 1952 г. доказательство Неймана о невозможности скрытых параметров в квантовой механике, не отрицал возможность построения теории единичного микропроцесса, основанного на представлении о скрытых параметрах. Он писал:

«Существуют ли такие параметры в Природе? Этот вопрос может быть решен только на пути дальнейшего развития теории и эксперимента. Физически — это вопрос о возможности выделения, изоляции от окружающего мира некоторой его части в терминах иных величин, нежели те, которыми оперирует квантовая механика. *Априорно нельзя ни настаивать на этой возможности, ни отвергать ее*»⁵⁾

1) Терлецкий Я. П. Динамические и статистические законы физики М., Изд-во МГУ, 1950, с. 95

2) Френкель Я. И. Замечания к квантовой теории материи. — УФН т. 42, 1950, с. 69.

3) Соколов А. А. Лоскутов Ю. М., Тернов И. М. Квантовая механика М., Учпедгиз, 1962, с. 145.

4) Там же, с. 146.

5) Блохинцев Д. И. Критика философских воззрений так называемой «копенгагенской школы» в физике. — В кн.: Философские вопросы современной физики. М., Изд-во АН СССР, 1952, с. 381

Однако нужно сказать, что мнение о возможности дальнейшего развития квантовой механики на основе представления о скрытых параметрах принадлежит меньшинству советских физиков-теоретиков. Некоторые из них меняли свою точку зрения на этот вопрос, приближаясь к точке зрения невозможности построения «детерминистической теории микроявлений». Так, по-видимому, Блохинцев менял точку зрения на этот вопрос. В 1960 г. он уже писал:

«Критическое отношение к самим основам современной теории является, по-видимому, самым разумным.

К числу таких основ теории относится и концепция классического детерминизма. Вернее сказать, не так сомнителен сам детерминизм, как сомнительно беззачетное преклонение перед идеалом детерминизма... «Мы должны теперь признать, что в жизни Вселенной нельзя игнорировать элементы азартной игры: если бы мы решили на минуту признать бога или другую направляющую силу, то все же мы были бы обязаны признать, что бог или нечто ему эквивалентное имеет некоторую склонность к азартным играм. Его величество случай пользуется явной благосклонностью Закона и подстраивает нам вещи неожиданные или маловероятные. Более того, можно даже указать область явлений, где он особенно чувствует себя привольно: я имею в виду атомную и молекулярную физику»¹).

Далее Блохинцев поясняет, что же следует понимать под причинностью в квантовой механике:

«Детерминизм в классическом случае (т. е. для нерелятивистского случая. — Б. С.) означает попросту, что состояние системы в предшествующий момент времени полностью определяет ее состояние в последующий момент времени...». Что же касается понятия состояния, то он указывает, что «состояние системы в квантовой теории означает ее принадлежность к тому или иному квантовому ансамблю, который характеризуется волновой функцией»²).

Заметим, что взгляды отдельных ученых на интерпретацию квантовой механики менялись и до сих пор меняются. В связи с этим нельзя быть уверенным, что изложенные в этой книге представления ныне здравствующих физиков и философов не изменились.

Среди советских философов проблема причинности в современной физике также подвергалась и подвергается оживленному обсуждению. У них также нет единого мнения о причинности в элементарных процессах. Некоторые высказываются за признание в данном случае неоднозначной причинности. Так, например, определенно высказывают мнение о том, что в элементарных квантовых процессах отсутствует однозначная причинность, Л. Б. Баженов, К. Е. Морозов, М. С. Слуцкий. Возражая Г. А. Свечникову, полагающему, что причинность всегда однозначна, они пишут:

«... однозначная причинность представляет собой абстракцию, не наталкивающуюся на сколько-нибудь серьезные ограничения в рамках классической физики. Но превращать фиксированные в ней абстрактные моменты непосредственно в саму действительность — значит не от вещей идти к понятиям, а наоборот, от понятий к вещам»³).

¹ Б л о х и н ц е в Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1966, с. 6—7.

² Б л о х и н ц е в Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1966, с. 45—46.

³ Б а ж е н о в Л. Б., М о р о з о в К. Е. и С л у ц к и й М. С. Философия естествознания. М., Изд-во политической литературы, 1966, с. 233.

Иную точку зрения на причинность в квантовой механике в 1960 г. высказал И. В. Кузнецов, за что его так же критиковали выше указанные авторы. Он писал:

«... физическая наука не может однозначно указать, под влиянием каких конкретно причин данный дифрагирующий электрон попадает в определенную область экрана... Но заключение о нарушении в этих случаях принципа причинности не является обоснованным... Дело обстоит, может быть, так же, как в случае с броуновской частицей...» 1).

Таким образом, Кузнецов фактически высказывается за теорию, основанную на представлении о скрытых параметрах. В частности, он ссылается на попытки Бома ввести такие параметры.

Г. А. Свечников, которому принадлежит ряд философских работ, посвященных проблеме причинности, прямо подчеркивал:

«Представление, что одинаковые причины при одинаковых обстоятельствах могут производить разные следствия, противоречило бы самому понятию причинности» 2).

Однако Свечников четко не формулирует свою точку зрения по вопросу о том, как можно совместить это утверждение с объяснением неоднозначности, например, в дифракционных явлениях. Он, например, поддерживает попытки Бома и де Бройля, в связи с чем можно было бы предположить, что он придерживается точки зрения теории скрытых параметров или другой какой-либо «детерминистической» теории. Однако, с другой стороны, он так же положительно отзывается об идеях Фока, который является убежденным противником таких теорий 3). Вообще нужно сказать, что, несмотря на большое количество книг и статей философов, в которых затрагивается вопрос причинности в современной физике, далеко не всегда можно встретить конкретное обсуждение вопроса причинности в элементарных процессах. Часть авторов ограничивается общими рассуждениями об особом характере причинности в микромире, о том, что микрообъект отличается от макрообъекта, о том, что механическая причинность не распространяется на атомные явления и т. д. и т. п. Так, например, в сравнительно недавно вышедшей книге М. Э. Омеляновского «Диалектика в современной физике» 4) проведен философский анализ понятий детерминизма, причинности, закономерности, дана философская критика вывода некоторых зарубежных ученых об индетерминизме, но по существу сбойден вопрос причинности в элементарных процессах, не высказана четкая позиция по вопросу об однозначности или многозначности причинности в элементарном процессе.

1) Кузнецов И. В. Принцип причинности и его роль в познании природы. — В кн.: Проблема причинности в современной физике. М., изд-во АН СССР, 1960, с. 32—33.

2) Свечников Г. А. Категория причинности в физике. М., Соцэкгиз, 1961, с. 32.

3) Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике. М., «Наука», 1971, с. 261.

4) Омеляновский М. Э. Диалектика в современной физике. М., «Наука», 1973 (см. гл. VI).

Такой же упрек можно сделать ряду авторов недавно опубликованного сборника «Современный детерминизм». В этом отношении положительно выделяется статья Б. Я. Пахомова «Необходимость и случайность, возможность и действительность в причинных связях». Автор четко ставит вопрос о причинности в поведении отдельного микрообъекта, совершенно определенно считая, что проблема причинности в квантовой механике до сих пор не может считаться разрешенной. Он, например, пишет:

«Проблема причинности в квантовой механике, как показывает анализ, связана именно с законом причинности, поскольку обнаружилось, что микрообъекты, находящиеся в одном и том же состоянии при одном и том же взаимодействии, могут претерпевать неодинаковые изменения. Возможен ли в природе случайный характер связи между причиной и следствием, когда данная причина при данных условиях у одинаковых объектов поражает любое из множества различных следствий, так что лишь для большой массы событий можно установить статистические отношения между причинами и следствиями»¹⁾.

Сам автор, хотя и отказывается от теории скрытых параметров, отвечает на этот вопрос отрицательно и высказывает ряд идей, на которых мы не имеем возможности останавливаться.

Такая постановка вопроса имеет эвристическую ценность. Здесь не просто утверждается, что в проблеме причинности в квантовой механике все понятно с точки зрения диалектического материализма, а говорится, что эта проблема ждет своего решения.

¹⁾ Па х о м о в Б. Я. Необходимость и случайность, возможность и действительность в причинных связях. — В кн.: Современный детерминизм. М., «Мысль», 1973, с. 182.