

2

# Современный детерминизм и наука

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
ГОРЬКОГО ПРОФИЛАКТИКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ИНСТИТУТ ИСТОРИИ, ФИЛОЛОГИИ И ФИЛОСОФИИ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО

СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

# Современный детерминизм и наука

---

Т о м 2

Проблемы детерминизма  
в естественных науках



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
НОВОСИБИРСК · 1975

Во втором томе книги «Современный детерминизм и наука» рассматриваются проблемы детерминизма в математике, физике, химии, биологии и других естественных науках. В создании этого тома приняли участие видные ученые — представители естественных и философских наук Советского Союза и ряда зарубежных стран, научные сотрудники и преподаватели вузов. В работе ставятся новые проблемы, обсуждаются дискуссионные вопросы диалектико-материалистической концепции детерминизма в естествознании.

Книга рассчитана на философов и всех, кто интересуется философскими проблемами естествознания.

Редакционная коллегия: акад. Д. К. Беляев, акад. С. Т. Беляев, чл.-корр. АН СССР Ю. Л. Ершов, д-р геол.-минерал. наук Г. Л. Поспелов, канд. филос. наук О. С. Разумовский (зам. отв. редактора), чл.-корр. АН СССР Г. А. Свечников (отв. редактор), канд. филос. наук Р. С. Сейфуллаев, канд. филос. наук В. В. Целищев, акад. Н. Н. Яненко

ч 210

946162





# РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕТЕРМИНИЗМА В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

---

Г. Герц (ГДР)

## КОНЦЕПЦИЯ ДЕТЕРМИНИЗМА В МАРКСИСТСКО-ЛЕНИНСКОЙ ФИЛОСОФИИ И СОВРЕМЕННАЯ НАУКА

### ДОСТИЖЕНИЯ КЛАССИКОВ МАРКСИЗМА-ЛЕНИНИЗМА В РАЗРАБОТКЕ ДИАЛЕКТИЧЕСКОГО ДЕТЕРМИНИЗМА

В. И. Ленин рассматривал детерминизм как одну из основ научного мировоззрения: необходимо, «чтобы философ заботился о целом, охватывающем теорию и практику, основанном на детерминизме мировоззрения...»<sup>1</sup> Детерминизм есть признание обусловленности (причинности и определенности структуры) объектов и процессов объективными связями с другими объектами и процессами. Детерминизм выступает, таким образом, философской теорией объективной взаимосвязи. Этим самым марксистско-ленинская философия отмежевывается от идеалистического отрицания объективной связи, ведущего к признанию чуда, т. е. беспричинных процессов и явлений, вызванных нематериальными, внемировыми причинами.

Механистический (классический) детерминизм ограничивал объективную связь законами классической механики и сводил обусловленность и определенность объектов и процессов к механическим причинам, таким как давление, толчок и т. д. В отличие от этого мы считаем концепцию детерминизма в марксистско-ленинской философии частью диалектического материализма.

Детерминизм является составной частью материалистической диалектики, которую Энгельс определил как «науку о всеобщей связи»<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 18, с. 199.

<sup>2</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 343.

Ядро диалектики составляет теория развития, основные законы которой определяют форму развития как переход от одного качества к другому благодаря количественным изменениям в рамках старого качества, источник развития — диалектическое противоречие и направление развития — отрицание отрицания. Диалектико-материалистический детерминизм как философская теория объективной связи исследует объективные предпосылки процессов развития путем анализа соотношения причинности и закона, условий и форм связей, проявления необходимости в случайном и т. д. Концепция детерминизма, развитая в произведениях классиков марксизма-ленинизма, постоянно подвергается нападкам. К их числу относится отрицание существования объективной случайности, проповедуемое ранее механистическим детерминизмом и приписываемое сегодня нередко диалектико-материалистическому детерминизму. Такой взгляд опровергается достижениями современной физики, особенно квантовой теории. В дальнейшем мы увидим, что наиболее убедительно опровергает эти выпады анализ соотношения динамических и статистических законов.

В качестве аргумента против диалектико-материалистического детерминизма используется также метафизическое отмежевание от исторической необходимости и свободы воли. Против этого выступал В. И. Ленин: «Идея детерминизма, устанавливая необходимость человеческих поступков, отвергая вздорную побасенку о свободе воли, нимало не уничтожает ни разума, ни совести человека, ни оценки его действий. Совсем напротив, только при детерминистическом взгляде и возможна строгая и правильная оценка, а не сваливание чего угодно на свободную волю»<sup>3</sup>.

Вопреки этим нападкам диалектико-материалистический детерминизм доказал свою пригодность служить в качестве научной теории и методологической концепции.

Диалектико-материалистический детерминизм составляет часть научного мировоззрения рабочего класса и его партии. Во-первых, классики марксизма-ленинизма обосновали основные положения диалектико-материалистического детерминизма, а именно признание существо-

---

<sup>3</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 1, с. 159.

вания объективной связи и ее форм, из которых следует выделить закон как всеобще необходимую и существенную связь. Идеалистическое отрицание объективной связи было отвергнуто. В соответствии с данными науки было установлено, что нет такой материальной области, которая не связана соответствующими материальными процессами с другими областями.

Во-вторых, была установлена определенная иерархия отношений. Объективная связь не ограничивается необходимостью, а состоит из необходимых и случайных, существенных и несущественных, возможных и действительных и т. д. связей, которые анализируются в их внутренних отношениях. Так, Энгельс указывал на проявление необходимости в случайности, Ленин показал причинность как простую форму передачи связи.

В-третьих, было отвергнуто метафизическое противопоставление свободы и необходимости. Свобода определяется как разумное решение, основанное на знании дела и объективных законов. Развитие свободы является общественным процессом, переход в «царство свободы» осуществляется в процессе строительства социализма.

В-четвертых, анализ общественного развития привел к установлению определяющего фактора общественного процесса — производственных отношений. Материалистическое понимание истории, введенное Марксом в учение об обществе, позволило определить общественное развитие как закономерный процесс и обосновать исторический детерминизм.

Таким образом, механистический, метафизический характер домарксовского материализма, который в области учения об обществе оказался идеалистическим, был отвергнут. Классики марксизма-ленинизма разработали основные принципы нового, диалектического материализма. Сегодня на их основе должны быть проанализированы достижения науки и новые общественные явления, чтобы прийти к более глубокому пониманию теории объективной связи и защитить основные положения диалектико-материалистического детерминизма от нападок идеалистической и метафизической философии<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Многие советские авторы занимаются дальнейшей разработкой диалектико-материалистического детерминизма. Укажем здесь лишь на работы Б. М. Кедрова, П. В. Коппина, Г. А. Свечикова, В. С. Готта, М. Е. Омеляновского, Ю. В. Сачкова.

Для теории объективной связи важно, что при ее рассмотрении не может быть и речи о признании такой универсальной связи, которой все связано одновременно со всем. Из данных теории относительности следует, что необходимо принимать во внимание конечную величину скорости распространения сигналов и поэтому можно определить объективную связь следующим образом: не существует материальных областей, которые не были бы связаны материальными процессами с другими областями. Это приводит непосредственно к диалектике взаимосвязи системы и элементов, которая весьма существенна для детерминистской точки зрения.

**Система, элемент, процесс.** При анализе объективных связей мы всегда исходим из того, что нельзя обнаружить *все* связи объекта. Для исследования различных ситуаций и описания научных результатов мы негласно используем две предпосылки.

Первая состоит в том, что мы имеем дело с относительно стабильными системами, которые характеризуются связями между отдельными элементами. Такую систему представляет, например, атомное ядро. Элементами этой системы являются нейтроны и протоны, связь между которыми осуществляется пионами. При этом мы можем рассматривать данную систему с точки зрения ее внутренних связей и интерпретировать ее через внутренние взаимодействия. Безусловно, каждая такая система, или каждое атомное ядро, имеет и внешние связи. Но от них мы пока абстрагируемся, чтобы точнее рассмотреть внутренние связи. В эксперименте внешние связи играют, однако, определенную роль, так как лишь воздействием на систему удастся узнать что-либо о ее внутренних связях. Следовательно, наше знание о внутренних связях основывается на теории взаимодействия между внутренними и внешними связями. Возникающие при этом гносеологические трудности мешают изучению внутренних связей. Поэтому в исследовании форм связей мы исходим также из признания взаимодействия между внутренними и внешними факторами относительно стабильной системы.

Гипотеза, утверждающая, что существуют относительно изолированные стабильные системы, у которых

можно рассматривать внутренние и внешние связи, является предпосылкой, которую допускают в любом исследовании и верность которой доказывается достижениями науки. Без этой предпосылки научное познание оказалось бы невозможным. Исследование материальных объектов невозможно также, если бы не существовало относительно изолированных систем. Мы не могли бы тогда абстрагироваться от внешних связей, так как различие между внешними и внутренними связями является скрытым и без наличия относительно стабильных систем не было бы внешних воздействий. При бессистемном построении связей приходим к выводу о скрытой в себе совокупности взаимодействий. В этом случае знание каждого объекта предполагало бы полный охват всех связей в бесконечной Вселенной. Другими словами, такое исследование было бы одновременно исследованием вообще всех прошлых, настоящих и будущих взаимодействий. Подобная мысленная конструкция соответствует механистическому детерминизму, который объявлял все связи необходимыми и поэтому не включал в теоретическое исследование абстрагирование от несущественных связей, столь важное для науки. Однако в совокупности всех взаимодействий объективно существуют относительно изолированные системы, например ядро атома, атом, молекула, макроскопические тела, биологические организмы, человек, общество, планеты и звездные системы. Каждая такая система обладает относительными, присущими только ей закономерностями, которые имеет смысл выделить из совокупности внутренних отношений, причем взаимодействие между внутренними и внешними факторами системы как существенный момент детерминации не может быть оставлено без внимания. Внешние факторы воздействуют на все элементы системы не непосредственно, а опосредованно, через связи системы, поэтому необходимо также рассматривать диалектические связи между различными системами.

Вторая предпосылка состоит в том, что на основе указанного подхода мы можем более тщательно рассмотреть иерархию связей в системе, так как научное познание не преследует цели раскрыть все связи в системе. Можно, например, при рассмотрении нейтрона в ядре указать на то, что «нейтрон» является при тех же

самых существенных условиях представителем всех нейтронов. Эксперимент позволяет выделить вновь и вновь воспроизводимое поведение нейтрона т. е. его всеобщие необходимые связи. Все элементы, носящие единичный характер, которые должны бы содержаться в полном описании отдельного эксперимента, опускаются экспериментатором как несущественные. При анализе эксперимента по расщеплению ядра нас интересует, какие составные части могут быть обнаружены после расщепления, потому что это подводит нас к законам расщепления ядра. Все, что важно для познания закона, должно быть принято во внимание, так как ранее мы абстрагировались от внесистемных связей. При исследовании присущих системе связей мы теперь должны отвлечься от связей несущественных, ликвидировать возможные случайные и посторонние эффекты, чтобы получить существенные воспроизводимые связи в наибольшей чистоте. При этом мы считаем элементы исследуемой системы структурно неизменными и пренебрегаем, возможно, имеющей место сложной структурой элемента. Таким образом, можно исследовать поведение электрона в атоме, где электрон рассматривается как стабильная частица. В этом случае нейтроны, электроны и протоны выступают элементами системы, и законы этой системы охватываются квантовой механикой. Но в то же время мы знаем, что электрон при встрече со своей античастицей — позитроном — превращается в частицы без массы покоя.

Итак, с одной стороны, рассматриваются относительно стабильные системы, элементы которых считаются неизменными, с другой — изменяются как система, так и ее элементы. Поэтому важно найти законы для изменяющихся систем. В физике радиоактивный распад куска урана можно представить как изменяющуюся систему. Известный период полураспада урана дает вероятностное представление о поведении атома. Но нельзя из системного закона определить абсолютно точно изменение элемента. Конечно, можно подвергнуть анализу каждый элемент, но не для того, чтобы определить во всех подробностях его поведение как поведение единичного объекта, а для того, чтобы сами элементы представить снова как систему и найти их системные законы. Эта связь между системой и элементом приводит

к различию между внутренними и внешними отношениями и к выделению существенных внутренних связей системы, точнее, системных законов, определяющих поведение элементов.

Диалектико-материалистический детерминизм как теория обусловленности и определенности объектов связями с другими объектами и процессами исследует объекты, во-первых, как системы или как элементы системы и вскрывает диалектические отношения между элементами системы. Системные законы определяют поведение элементов, но элементы сами могут быть системой. Этим самым, однако, системные законы не отменяются. Связь между элементами системы может быть опосредована существованием частных систем. Во-вторых, системы и элементы рассматриваются не только как стабильные. Системы исследуются в их изменении, так как изменяются отношения системы и элементов. Изменение подчинено определенным законам. Изменения в частных системах и элементах могут происходить в рамках общей системы. Но они могут привести к образованию качественно новой совокупности отношений между элементами, т. е. к новой системе.

**Причинность и закон.** В центре диалектико-материалистического детерминизма стоит понятие закона. Под *законом* мы понимаем объективную всеобще необходимую связь, воспроизводящуюся и существенную, определяющую характер явлений, связь между различными событиями или различными состояниями события. Эта объективная связь отражается в теории, и законом называется чаще всего именно отражение этой связи в теории. В отличие от закона, формулируемого в теории, назовем объективную связь объективным законом. Если мы говорим о том, что каждый процесс причинно обусловлен, то это значит, что для его объяснения не требуется сверхъестественных причин. Каждое событие выступает комплексом материальных взаимодействий. Для определенных явлений могут существовать и идеальные причины. Однако они также не представляют вневмировых и сверхъестественных компонентов материальных взаимодействий, а объяснимы естественным образом. Диалектический материализм подчеркивает, с одной стороны, материальность того, *что* определяет идеальные явления, нормы и т. д., и показывает, с дру-

гой стороны, что идеальные явления есть отражение материальных процессов. Эти связи исследуются в историческом материализме как соотношение общественного бытия и общественного сознания и как определенные отношения между базисом и надстройкой.

Как уже указывалось, невозможно знать все связи объекта. Мы исследуем системные законы, чтобы понять поведение элементов системы. Идеал классического механистического детерминизма как раз состоял в том, чтобы все взаимодействия разложить на причинные связи и вследствие этого считать каждое событие предсказуемым во всей совокупности его сторон. Это выражено наиболее четко у Лапласа: «Мы должны, таким образом, рассматривать нынешнее состояние Вселенной как следствие предыдущего состояния. Ум, которому были бы известны для какого-нибудь 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, объял бы в одной формуле движение величайших тел Вселенной, наравне с движением легчайших атомов; не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором»<sup>5</sup>. Здесь обусловленность событий объясняется при помощи классической физики. Если известны силы и положение макроскопических тел, то на основе знания настоящего состояния можно предсказать любые будущие. Если бы можно было все процессы, в том числе биологические и общественные, свести к механическим отношениям между макроскопическими объектами, то все было бы (при помощи классической механики) предсказуемо. Отсюда следуют выводы о связи причинности и закона.

Если рассматривать данное состояние объекта как причину, а его будущее состояние — как следствие, то последнее определено, согласно Лапласу, только положением объекта в настоящий момент времени и силами, действующими на объект. Этим самым дается упрощенное описание мировой связи. Любое событие

---

<sup>5</sup> Лаплас П. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908, с. 8. Поэтому можно также механистический детерминизм называть лапласовским.



может быть рассмотрено как комплекс причинно-следственных отношений, каждое из которых должно быть исследовано и описано лишь суммой всех отношений. Отсюда вытекает следующий вывод механистического детерминизма: причинностью является изменение состояния, которое можно назвать «ходом событий» и которое определяется целиком законами классической механики. Причинность выступает теперь не причиной следствия вообще, а лишь соответствующей законам классической механики последовательностью изменений состояний. При этом будущее состояние с необходимостью вытекает из настоящего, как настоящее — из прошлого. Поэтому предопределенность событий допускает точное предсказание будущего события.

Диалектико-материалистический детерминизм выступает против такого упрощенного понимания причинной связи. Действительно, во-первых, нельзя все события сводить к механическим отношениям между классическими объектами. Во-вторых, физические объекты сами по себе сложнее, чем предполагала классическая физика: нельзя пренебрегать, например, такими характеристиками объекта, как спин, заряд, четность и т. д. В-третьих, наряду с причинно-следственными отношениями существуют другие связи, которыми механистический детерминизм пренебрегал, например проявление необходимости в случайном, случайное или необходимое осуществление возможности и т. д. В-четвертых, необходимо само представление о причинности освободить от механистической ограниченности и принять во внимание соотношение причинности и закона. В-пятых, существуют различные типы законов. Лишь при учете всех типов связи можно ответить на вопрос: как осуществляется объективная детерминация?

Если избавиться от ограниченного классического понимания причинности, то она оказывается конкретным и фундаментальным опосредствованием связи между явлениями и процессами, причем один процесс (причина) порождает другой процесс (следствие). С действием причины начинается осуществление и следствие. При этом важно исследовать непосредственность порождения следствия причиной. Только в этом случае можно говорить

о причинности. Простая непосредственная необходимость связи между причиной и следствием в виде предельного случая определенных причинных отношений доказывается, когда речь идет о событиях, уже происшедших. Так, между разбитым стеклом и попаданием в него камня существует такая простая непосредственная необходимая связь, что после анализа условий попадания камня можно считать причиной разрушения стекла. Это *непосредственное отношение* — один из признаков причинности.

Здесь обнаруживается одно отличие причинности от закона. Не существует закона, согласно которому стекла бьются из-за бросания в них камня. Закон подразумевает существование всеобще необходимой связи, т. е. необходимость и неизбежность связи должны быть общераспространенными. Это относится к физической закономерности, характеризующей траекторию движения макроскопического тела. Брошенный камень ведет себя согласно этому закону. Определенный закон лежит также в основе связи между кинетической энергией камня и устойчивостью стекла. Мы видим, что анализ единичного события ведет к ряду природных законов, лежащих в основе конкретного процесса. Применительно к рассмотренному событию мысленное воспроизведение исследуемого причинного процесса выступает единством всеобще необходимых отношений, которые проявляются при конкретных условиях в определенной форме. Один закон не определяет этот конкретный процесс, и в то же время этот процесс во всей своей всеобщности не может быть охвачен некоторой совокупностью законов. Траектория движения брошенного камня была лишь одним из возможных вариантов, данных законом. В этом примере простая непосредственная необходимость данного единичного события оказывается осуществлением единственной возможности, выделенной благодаря действию различных законов из совокупности данных возможностей, осуществление которых определяется совокупностью условий. Поэтому мы, вслед за В. И. Лениным, называем причинность *конкретным опосредствованием взаимосвязи*, где под конкретным понимается совокупность существенных и несущественных связей, как она выражается в осуществлении единственной возможности на основе имеющихся условий.

Рассмотренное нами событие — разрушение стекла (следствие), вызванное попаданием камня (причина), — есть лишь *относительно элементарная связь*. Анализ совокупности связей можно вести и глубже, не получая новых результатов в исследовании причинного процесса. Например, учет случайных атмосферных помех, исследование свойств стекла, воздействие частиц пыли на камень и т. д. обнаружат большое число причинных связей, которые, однако, несущественны для рассматриваемого общего процесса. Точно так же исследования структуры камня или орбит электронов в атомах камня не принесут существенных дополнений. Летящий камень и оконное стекло — элементы данной причинной связи, опосредствующей непосредственную конкретную связь между обоими элементами. Эта связь лишь относительно элементарна, так как в ее основе лежат и другие причинные связи, которые, однако, не имеют значения для рассматриваемой.

Противоположность непосредственной, конкретной и относительно элементарной связи, охваченной в причинности как основе каждой объективной связи вообще, отражается категорией закона. Закон означает всеобщую необходимую и существенную связь, позволяющую предсказывать будущее, так как из конкретной причинной связи выбирается единичное и подчеркивается воспроизводимость. В этом смысле мы и отличаем друг от друга категории «причинность», «закон». В иерархии отношений они представляют два полюса процесса познания. Причинность выступает основной формой связи. Каждое событие представляет собой комплекс причинных отношений, причем в каждой системе имеются относительно элементарные отношения. В процессе познания анализируются такие комплексы причинных связей, которые нельзя свести к простой сумме единичных отношений. Но в каждом событии имеются всеобщие необходимые и существенные связи, которые требуется найти при более тщательном анализе. В этом отношении закон выступает результатом процесса познания, который помогает сознательно направлять наши действия при использовании знаний для закономерного изменения природы и общества. Причинность же есть основа существования закона, его сложного взаимодействия в конкретном событии, а также в гносеологическом смысле и для изменения

формулировки закона и открытия новых законов. Поэтому диалектико-материалистическая теория связи не должна останавливаться на анализе основной формы связей (причинность) и важной для познания существенной формы связи (закон), но также исследовать те формы, которые опосредуют отношения между ними.

**Закон и условия.** Во множестве причинных отношений, имеющихсЯ в данном событии, выделяются и рассматриваются лишь определенные причинные связи. Поясним это на примере дорожного происшествия. Мотоциклист в нетрезвом состоянии наехал на барьер с предупреждающим знаком, упал в ров и умер от полученных травм. Это событие представляет собой комплекс причинных отношений с существенными и несущественными связями. Земля, осыпавшаяся при падении водителя, упавшие камни, разбитый барьер и т. п. вызваны большим числом причинных цепей, несущественных для рассматриваемого события. С точки зрения дорожной полиции, исследующей этот случай, существенно то, что содержалось в поведении водителя и в таких факторах, как техническое состояние мотоцикла и обеспечение безопасности движения. Необходимо проверить также, имелся ли предупреждающий знак, был ли он поставлен согласно правилам, а также достаточно ли хорошо был виден. Таким образом, в анализе происшествия отделены собственно причинные связи от таких несущественных отношений, как падение камней и т. п. Снижение способности к вождению мотоцикла из-за опьянения закономерно привело при определенных условиях к смерти водителя. Так как водитель раньше часто ездил по этому участку дороги, то состояние опьянения в тех нормальных условиях, которые он знал, по всей вероятности, не привело бы к несчастному случаю. Ров был вырыт недавно, но предупреждающий знак о нем был уже поставлен. В измененной ситуации, требующей от водителя непредвиденной реакции, понижение способности к вождению выступило причиной несчастного случая. Врач исследует причину смерти, состоящую во внутренних травмах, вызванных падением мотоцикла во рву на водителя, как часть этого причинного отношения. При этом анализ причинности, касающийся таких случайных повреждений мотоцикла, как повреждения лака и т. д., для данного случая несущественны. Однако и каждое конкрет-

ное событие требует тщательного анализа, при котором все части каузального отношения (условия) детально исследуются. Этот анализ проводится всегда на основе уже познанных законов, которые применяются к этому единичному случаю.

Сами условия можно вновь расчленить на каузальные отношения. Так, ров, вырытый в этот же день, — важный момент в исходе определенных каузальных отношений (каузальности). Продажа спиртных напитков вразлив, работа мотоцикла, наличие бензина и т. д. — это также условия, возникшие в результате некоторых причинных отношений. Поэтому мы и определяем *совокупность непосредственных или косвенных каузальных отношений, стоящих в определенных связях с событием, как условия события*. Эти условия, только в совокупности делающие событие возможным, по своей значимости далеко не равноценны. Если бармен поступил неверно, наливая мотоциклисту вино, то, по видимому, потому, что до сих порничего не случалось. Новым было появление рва, хотя и он был достаточно огражден. Несущественные условия — дорожная обстановка, состояние тормозов, свет фар и т. д. — играют подчиненную роль. *Случайное событие* — сооружение рва — *наиболее важный* элемент несчастного случая, прочность же деревянного ограждения, напротив, несущественна, так как и более прочный барьер проломился бы. Итак, мы приходим при исследовании соотношения закона и условий в событии к различным формам взаимосвязи, которые характеризуют это событие как случайное совпадение различных факторов. Здесь играют роль различные законы, которые проявляются в этом процессе в определенных условиях. Под *условиями закона* мы будем понимать *совокупность объектов, свойств и отношений, которые реализуют содержащееся в законе возможное отношение*. Так, в рассмотренном выше несчастном случае действуют и природные законы: сила, с которой мотоцикл упал на водителя, зависит от его массы и ускорения движения мотоцикла. Этот закон содержит возможное силовое воздействие, зависящее от величины ускорения движущейся массы. Эта возможность при определенных условиях становится действительностью.

Представляет интерес снова дифференцировать условия, чтобы развить рассматриваемую нами теорию

взаимосвязи. Уже при характеристике комплекса условий, которые определяют конкретное осуществление закона, указывалось, что надо различать по меньшей мере существенные и несущественные условия. Рассмотрим различные виды условий более подробно.

Закон как всеобщее необходимая и существенная связь (взаимосвязь) существует на основе совокупности каузальных отношений. Конкретное явление, в котором действует закон и характер которого определяется законом, само по себе не дифференцировано на существенные и несущественные, необходимые и случайные, всеобщие, особенные и единичные стороны. Будем называть совокупность условий, необходимых и достаточных для существования закона, *условиями существования* этого закона <sup>6</sup>. Рассмотрим в качестве простейшего примера закона и условий его существования закон падения Галилея:  $h = \frac{gt^2}{2}$ .

Чтобы этот закон мог вообще действовать, необходимы следующие условия: возникновение Земли и существование других макроскопических тел. Свободное падение любого тела должно происходить в относительно «безматериальном» пространстве — вакууме. При этих условиях свободное падение тела происходит по заданному законом падения отношению между высотой падения и силой притяжения Земли. Осуществление этой возможности в единичном случае требует целого ряда условий. Чтобы камень мог свободно падать, он должен освободиться от своего окружения. Его освобождает сила выветривания или вообще воздействие любой другой силы. Здесь речь идет об условиях, необходимых для осуществления содержащейся в законе возможности. Одновременно заданы условия для возникшего при свободном падении отношения между переменными величинами, временем падения и высотой падения, которое выступает хотя и всеобщей и существенной характеристикой, но не всеобщее необходимой. Это отношение воспроизводимо только в определенных условиях: если одно тело падает с одной и той же высоты, то по закону

---

<sup>6</sup> Kröber G. Über das Verhältnis von Gesetz und Bedingungen.— «D. Z.f. Ph.», 1962, 10, S. 1261; Hörz. H. Der Dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft. Berlin, 1971, S. 120.

падения это тело имеет одно и то же время падения. Благодаря этим условиям устанавливаются существенные, а именно определяющие характер этого свободного падения, отношения между временем и высотой падения. Сам же закон дает гораздо больше возможностей, которые могут осуществляться и которые в других условиях, но в рамках этого же закона, ведут к другим отношениям между высотой падения и временем падения.

Итак, совокупность необходимых и достаточных условий для осуществления закона падения, а именно существенные условия, можно дифференцировать дальше:

во-первых, известны *необходимые неспецифические условия существования*. К ним относится существование Земли со свойством земного притяжения, а также макрофизических тел и относительно нематериального пространства. Неспецифические условия еще не осуществляют закон падения, но являются важными предпосылками его осуществления;

во-вторых, *специфические условия существования закона* определяют содержащиеся в законе всеобщие необходимые и существенные отношения. Это наличие различных свободно падающих тел, которые приведены к свободному падению различными конкретными условиями, например выветриванием или воздействием любой другой силы. Единство специфических и неспецифических условий существования закона определяет затем отношение между временем падения, высотой падения и силой земного притяжения. Это отношение имеет место как тенденция в любом свободном падении;

в-третьих, каждое свободно падающее тело отличается от других своими отношениями существования, а это и определяет содержащиеся в законе переменные величины. Так, тело, свободно падающее с высоты 10 м, имеет другое время падения, чем то, которое падает с высоты 20 м. Это обстоятельство можно назвать *специфическими условиями существования второго порядка*. Они устанавливают не только специфику закона, а именно всеобщую необходимую и существенную взаимосвязь, но и сверх того — определенное отношение между переменными величинами, содержащимися в законе. Здесь возможна дальнейшая дифференциация условий существования различных порядков. Так как каждый закон может быть включен в систему законов, в которой тоже есть всеоб-

щие и особенные законы, то законы функционирования системы могут вести вместе с условиями существования первого и второго порядка к особым законам функционирования элементов, а условия существования первого и второго порядка могут быть тогда названы условиями существования законов системы третьего и следующих порядков. Эта внутренняя связь закона и условий в системе должна быть разработана дальше;

в-четвертых, у каждого свободно падающего тела наблюдаются колебания в проявлении выраженной в законе тенденции. Закон задает рамки, в которых определенные отклонения несущественны. Так как мы не знаем абсолютного вакуума в природе и не можем создать его, то всегда будут иметь место определенные несущественные материальные взаимодействия между свободно падающим телом и его окружением, которые оказывают влияние на конкретное течение, осуществление закона. Если содержащаяся в законе взаимосвязь проявляется как тенденция, то сопровождающие условия определяют форму отклонения от закона.

Если сопровождающие условия ведут к существенному изменению содержащихся в законе взаимосвязей, то должна быть исследована взаимосвязь между специфическими условиями этого закона и специфическими условиями, явно влияющими на действие других законов. Если, например, тело при свободном падении значительно отклонится от закона падения, тогда возникает отношение между различными здесь же объективно действующими законами. В таком случае анализ сопровождающих явлений может привести к формулированию новых научных законов.

Существуют процессы, которые определены одним законом. Тогда отношение закона и условий, как мы здесь рассмотрели, выступает в относительной чистоте. Так, свободно падающее в относительном вакууме макроскопическое тело существенно определено законом падения. Если бы это тело мы подвергли еще и микрофизическому анализу, внимательно рассмотрев его структуру и исследовав движение «элементарных» частиц, входящих в состав этого камня, то пришли бы к законам, которые определяют микросостояние макрофизического тела, но для макрофизического анализа свободного падения не имеют значения. Это, однако, не означает,



что законы макрофизических объектов можно просто переносить на микрофизические объекты. Невозможность такого переноса показана современной физикой. Если для движения макрофизического тела можно при помощи законов классической физики предсказать (если точно известны координаты и импульс этого тела в определенный момент времени), когда и где будет это тело, то для микрофизических тел сделать это невозможно. Здесь возникает вопрос, меняет ли это обстоятельство что-либо при анализе соотношения закона и условий.

Рассмотрим прохождение «элементарных» частиц через щель и соотношение закона и условий. Согласно уравнению Шредингера, для поведения частиц после прохождения через щель характерно вероятностное распределение их на экране, которое выполняется тем лучше, чем больше частиц попадает на экран. Какие же условия играют здесь роль? По-видимому, необходимо вначале выделить в качестве неспецифических условий существования наличие «элементарных» частиц, экспериментальной установки и т. д., которые образуют основу упомянутого эксперимента. Специфические условия существования первого порядка заключаются во взаимодействии «элементарных» частиц с их окружением или, возможно, в специфике их структуры. Эта проблема еще окончательно не решена, так как квантовая механика указывает лишь на законы поведения квантовых объектов, а особая природа «элементарных» частиц в связи с этими специфическими условиями существования пока не исследована. Специфические условия существования второго порядка также еще не исследованы. Они заключены в условиях первого порядка. В рассмотренном нами случае специфические условия существования первого порядка определяют существенное поведение совокупности частиц и специфические условия второго порядка — поведение единичных частиц, пока речь идет о выраженных в законе существенных отношениях.

Сопутствующие условия, напротив, есть основа для специфического единичного отношения.

Из нашего рассуждения видно, что различные элементы системы относительно законов системы в своем существенном отношении определены специфическими существенными условиями второго порядка, в то время как недифференцированное конкретное единичное отно-

шение частиц вытекает из сопутствующих условий. Если элементы системы должны представлять собой новую систему с собственными законами, то поведение этих элементов подсистемы будет определено специфическими условиями третьего порядка. Итак, мы видим, что дальнейшее углубление в структуру материи приводит нас снова и снова к новым законам с их собственными условиями существования. Тем не менее существует взаимосвязь между этими качественно различными структурами материи. Специфические условия существования первого порядка для законов системы, подсистемы или частной системы оказываются специфическими условиями существования второго порядка для более общей системы.

Можно рассмотреть в качестве примера элемента простой биологический организм — клетку. Для биологических организмов существуют законы, которые определяют их отношение к окружающему миру. К числу специфических условий существования первого порядка для этих законов относятся взаимоотношения между внутренними и внешними факторами, причем в поведении организма определяющими являются внутренние факторы. Однако чтобы понять поведение организма как целого, нужно познать законы, определяющие поведение клетки. Специфические условия существования первого порядка, характерные для клетки, одновременно оказываются специфическими условиями существования второго порядка для биологического организма, который состоит из большого числа клеток. Биохимия может исследовать еще и элементарные единицы, которые открывают законы их специфических условий существования, входящие затем как условие третьего порядка в действие ранее названных биологических законов. Дальнейшее познание структуры материи ведет нас не только в новые области к новым законам, но и позволяет лучше понять исследуемые законы. На это указывают данные молекулярной биологии, новые взгляды, понятия, представления о поведении биологических организмов, развиваемые современной наукой.

Вместе с тем, как видно на примере молекулярной биологии и физики элементарных частиц, полное исследование условий еще не завершено. При этом речь идет не о непосредственном выделении и анализе сопровож-

дающих условий, которые определяют конкретное поведение единичного объекта в его совокупности, а об открытии новых законов на различных структурных уровнях материи, а также распознавании специфических условий существования различных порядков.

Научное познание законов осуществляется при помощи эксперимента. Объективный процесс протекает в нем при определенных объективных условиях. Но один эксперимент еще не доказывает закона. Чтобы найти закон, необходимо много экспериментов. Тогда в теории анализируемая экспериментом взаимосвязь будет понята посредством синтеза. Это позволит сформулировать научный закон, являющийся отражением объективного закона. Упорядочение условий в эксперименте покажет и условия существования первого и второго порядка, когда сравним различные эксперименты, изменим условия и т. д. Условия второго порядка могут быть охвачены точнее лишь тогда, когда экспериментируют и с ними. Поэтому дальнейшее исследование взаимодействий элементарных частиц имеет значение для формирования единой теории элементарных частиц, которая затем поможет лучше понять поведение элементарных частиц в атоме <sup>7</sup>.

Исследование условий, таким образом, нельзя ограничивать рассмотрением специфических условий существования первого порядка, а следует идти дальше, вглубь, чтобы достичь лучшего понимания изучаемых процессов. Кроме того, во всяком конкретном событии часто действуют многие законы, взаимодействие которых необходимо также исследовать, а для этого при исследовании процессов необходимо идти вширь и рассматривать весь комплекс действующих равноправных факторов.

## СООТНОШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ

На различных этапах марксистской философии развивалось и понятие закона. С этим связано достижение все более правильного понимания диалектики необходимости

---

<sup>7</sup> Hörz H. *Materiastruktur Dialektischer Materialismus und Elementarteilchenphysik*. Berlin, 1971.

и случайности, возможности и действительности. Энгельс в первую очередь отмежеввался от ограничения каузальности механическим представлением о причинности. Он подчеркивал значение случайности, которая определялась им как форма проявления необходимости. В первой половине нашего столетия появилась необходимость (особенно благодаря физике) уточнить понятие закона. Сделать это было необходимо по двум причинам:

во-первых, критиковалось классическое отождествление закона и каузальности. Мы понимаем каузальность как фундаментального, относительно простого, совпадающего по направлению со временем, конкретного посредника взаимосвязи, у которого имеются существенные и несущественные, необходимые и случайные аспекты. Закон, напротив, есть всеобщее необходимое, т. е. производящая и существенная, определяющая характер явления взаимосвязь, которая характеризует тенденцию отношения и проявляется в конкретном процессе как комплекс причинных отношений.

Каждая причинная связь необходима или случайна, существенна или несущественна в первую очередь благодаря ее месту в системе причинных отношений;

во-вторых, необходимо было проанализировать философски имеющиеся в физике типы законов. Если статистические законы в XIX в. рассматривались ограниченно, лишь как группа динамических законов, то статистические законы квантовой механики оказались уже несводимыми к динамическим законам. Например, температура системы как статистическая величина может быть получена посредством определения скорости имеющих в этой системе отдельных атомов или молекул. В квантовой механике поведение единичных объектов также определено статистическим законом, но их будущие состояния не определены настоящими однозначно. Из настоящего состояния вытекает возможность будущих состояний. Сегодня обнаружилось, что деление на динамические и статистические законы не оправдано. Статистические законы существуют в динамических системах. Если статистический закон не может быть сведен целиком к сумме динамических законов, то в системах, в которых существуют статистические законы, проявляются все же многие динамические законы, определяющие массовые отношения.

В связи с этим имеет смысл уточнить понятие закона при помощи соответствующего научного материала.

Под «точным философским высказыванием» мы будем понимать такое сформулированное на основе единичного научного материала расширенное и всеобщее философское высказывание, в котором находит выражение специфика философских принципов данной области. Если теперь уточнить при помощи классической физики всеобщее определение закона, то получим следующее определение динамического закона: закон есть всеобщее необходимая и существенная связь. Объективная основа этого определения — наличие физических объектов, соотнесенных с необходимостью и осуществляющейся возможностью. Это уточненное философское определение имеет, например, значение для закона падения и второго закона Ньютона. Оно имеет значение также для специальной теории относительности в анализе изменения массы при движении со скоростью, близкой к скорости света.

Объект обладает возможностью, которую он должен с необходимостью осуществить при условии действительности закона. Отклонения от выраженной в законе тенденции при осуществлении этой возможности и будут нами отмечены как случайность. Итак, случайность — это форма проявления закона, или необходимого осуществления возможности, короче говоря, форма проявления необходимости. Данное уточненное определение было выработано на основе анализа механики материальной точки, но оказалось все-таки недостаточным при философской интерпретации квантовой механики. И если механистический материализм использовал его для объяснения человека и его поведения, то уже Энгельс указывал, что в истории «конечный результат всегда получается от столкновения множества отдельных волей, причем каждая из этих волей становится тем, чем она есть, опять-таки благодаря массе особых жизненных обстоятельств.

Таким образом, имеется бесконечное количество перекрещивающихся сил, бесконечная группа параллелограммов сил, и из этого перекрещивания выходит одна равнодействующая — историческое событие. Этот результат можно опять-таки рассматривать как продукт одной силы, действующей как целое, бессознательно и безвольно»<sup>8</sup>. Итак, для поведения индивида не суще-

---

<sup>8</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 37, с. 395—396.

ствуует единого закона, дающего ему только возможность, которую он с необходимостью должен осуществить. Поэтому и общественные законы не сводимы к сумме динамических законов, которые однозначно определяют поведение индивида, и встает вопрос, более ли верен в современной физике используемый тип законов, чем тот, который определяет взаимоотношение между общественным законом и индивидуальным поведением? Если это действительно так, то должно быть исследовано значение для общественно-научного познания уточненного, соответствующего статистическому закону, философского определения закона. Одновременно с этим должна быть развита диалектика необходимости и случайности.

Если для уточнения нашего определения закона принять во внимание квантовую механику, то получим следующую формулировку, которая учитывает возможность ситуации, имеющей место, например, в уравнении Шредингера: статистический закон есть всеобщее необходимая и существенная связь, причем для системы элементов имеется ряд взаимосвязанных возможностей, которые осуществляются с необходимостью всеми элементами системы, и отдельный элемент осуществляет одну из данных возможностей. Осуществление определенной возможности случайно, но при соответствующих обстоятельствах может быть связано с вероятностью.

Построенная в соответствии с этим научная теория требует не только сведения статистических законов к динамическим, но и выработки законов для системы элементов, которые так определяют поведение элементов, что тем самым дают сведения о предполагаемом их поведении и вероятности осуществления имеющихся возможностей. При этом единство динамических и статистических аспектов в динамическом законе предстает в новом виде. В статистическом законе задается поведение системы, которое осуществляется с необходимостью через элементы системы (динамический аспект).

В уравнении Шредингера этим определяется распределение интенсивности на экране после прохождения частиц через щель. Для элементов системы имеется ряд возможностей, одна из которых для каждого элемента случайна, но осуществляется с определенной вероятностью (статистический аспект). Этим определяется един-

ство осуществляемых с необходимостью возможностей системы и случайного поведения элементов, для которых существуют определенные вероятности.

Итак, соотношение необходимости и случайности характеризуется уже не только возможной тенденцией и осуществлением этой тенденции, причем закон есть чистая необходимость, а действительный процесс — форма проявления необходимости через случайность. Диалектика необходимости и случайности проявляется как существующая самостоятельно в законе, так как закон определяет вероятности, которые регулируют случайные проявления заданных возможностей в поведении единичных объектов. Так, попадание частицы в определенную точку на экране после прохождения через щель есть случайное осуществление возможностей. Из распределения интенсивности может быть получена вероятность этого осуществления.

Итак, закон охватывает не только однозначные взаимосвязи между настоящим и будущим состоянием единичного объекта, но и характеризует поведение системы объектов, отношений и т. д. Из этого может быть сделан вывод о поведении элементов системы. Здесь возникает проблема, подобная отношению между общественными законами, которые характеризуют изменение общественной ситуации поведением многих людей с противоположными и частично совпадающими интересами, и поведением отдельных индивидов и их групп. Исходя из этого, можно ответить на вопрос, имеют ли статистический характер и общественные законы. Это будет означать, что из закономерно изменяющейся общественной ситуации, которая охвачена законом, вытекает ряд возможностей для поведения индивидов и их групп, которые осуществляются случайно. Для этих возможностей должны быть вероятности их осуществления. При этом вероятности не всегда определяются количественно точно, а могут иметь также характер качественной определенности — большей или меньшей вероятности.

Проверка этого определения в некоторых общественных науках носит характер философской гипотезы. Под философской гипотезой мы понимаем вытекающее из результатов частной науки и их философского анализа предположение о действительной взаимосвязи одной частной науки с другими или о вкладе развивающейся теории в уточнение фило-

софских категорий. В нашем случае речь идет о первом этапе образования гипотезы, о возможной действительности статистического закона в области общественных наук. Гипотеза, что определение закона, уточненного как статистический закон, справедливо и для общественных наук, имеет два аспекта. Речь идет, с одной стороны, о связанных с этими науками концепциях, которые требуют не охвата соответствующих закону отдельных случаев, а перечня твердо установленных законов системы, из которых можно вывести возможности для анализа поведения элементов системы, а с другой — о непосредственной выработке таких статистических законов. Это последнее уже не может быть специфической задачей философии, а является частнонаучной проблемой.

Если «элементарная» частица попала в определенную точку на экране, то вероятность попадания в эту точку равна единице, а вероятность для всех других точек равна нулю. Для частицы существует определенный ряд возможностей: она может быть поглощена или эмитирована, может вызвать цепную реакцию и т. д. Но и при любой возможности ее поведение по-прежнему подчинено определенным законам. Итак, объективный процесс осуществляется как проявление содержащихся в законе возможностей, при этом возникают и новые возможности. Решающими для существования законов выступают объективные условия, которые конституируются поведением объектов системы и окружающей систему средой.

Наше представление о соотношении случайности и закона с необходимостью было уточнено:

во-первых, есть внутрисистемные и внесистемные случайности, причем они могут быть как существенными, так и несущественными; вероятности распределения, вытекающие из статистических законов, допускают события и с совсем малой вероятностью;

во-вторых, внесистемные случайности можно рассматривать как конкретную форму проявления законов или как определенное вероятностью случайное осуществление содержащихся в законе возможностей;

в-третьих, случайность можно рассматривать как форму проявления необходимости, или как несущественные для функционирования системы отклонения, или как непознанные отношения;



в-четвертых, анализ поведения системы ведет к познанию неизвестных связей в терминах теории вероятностей или же к выделению несущественного для поведения системы.

## ДЕТЕРМИНИЗМ И ПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ

Мы рассмотрели различные формы взаимосвязей, таких как отношение необходимости и случайности, возможности и действительности и т. д. Анализ каждого из этих диалектических отношений в отдельности занял бы очень много места. Поэтому мы хотим рассмотреть их лишь в одном аспекте, который всегда приводил в философской литературе к дискуссиям: какие научные предсказания возможны? На этот вопрос необходимо ответить с точки зрения диалектико-материалистической концепции детерминизма.

В 20-х и 30-х годах нашего столетия в статистическом истолковании квантовой теории физика выдвинула интересную философскую проблему. Во многих дискуссиях ставился вопрос: возможны ли научные предсказания? Известный физик Макс Борн попытался в 1928 г. разъяснить новое положение при помощи аналогии. Перед Вильгельмом Теллем, согласно легенде, стояла задача попасть стрелой из лука в яблоко, находящееся на голове сына. Борн писал: «Если бы Гесслер приказал Теллю попасть в атом воды на голове мальчика при помощи  $\beta$ -частицы и дал бы ему вместо лука инструменты лучших лабораторий мира, искусство Телля ему бы не помогло: попадание или промахи оставались бы случайностью. Невозможность точного измерения всех данных мешает определению дальнейшего хода событий»<sup>9</sup>. Упомянутая Борном проблема научного предсказания типична для физики при недостаточном знании исходных данных. В каждой науке встает важная задача: из анализа прошлых и настоящих событий узнать что-нибудь о будущем, чтобы иметь возможность соответствующим образом регулировать наше поведение. Чем точнее наши предсказания, тем лучше мы можем подготовить себя к будущим собы-

---

<sup>9</sup> Born M. Physik im Wandeln meiner Zeit. Braunschweig, 1958, S. 34.

тиям. При этом мы *никогда* не знаем *всех* факторов (существенных и несущественных), которые оказывают влияние на определенный процесс. До прошлого столетия точки зрения по этой проблеме исчерпывались лапласовским детерминизмом. Предопределенность всех событий и потому принципиальная возможность предсказания были центральной идеей механического детерминизма: из каждого начального состояния уже с необходимостью выводилось конечное состояние; в любой картине мира было принципиально возможно познать все факторы. От этой точки зрения, утверждающей необходимость каждого события и отрицающей случайность, физики нашего столетия должны были отмежеваться. Важно напомнить, что еще в прошлом столетии Ф. Энгельс подверг критике механический детерминизм и указывал на существование объективных случайностей в природе и обществе.

Для научного предсказания статистическая концепция имеет большое значение. Ее значение прежде всего выясняется при научном предсказании развития общества и науки (прогноз). Статистические законы позволяют анализировать случайные явления, входящие в закон, и классифицировать остальные случайности. Поэтому статистическая концепция действительности дает лучшее решение, чем концепция динамических законов. Отсюда ясно, что признание случайности только как объективной взаимосвязи сегодня недостаточно для выработки диалектико-материалистической теории связи, которая бы имела значение для прогноза и научных исследований. Необходим анализ отношений между законом и случайностью и классификация случайностей.

Диалектико-материалистический детерминизм выступает философской теорией взаимосвязи. Он объясняет обусловленность и определенность объектов и процессов не сведением всего к первоматерии, постулируя всеобщую мировую теорию, а исследованием объективных отношений, которые составляют взаимосвязь. Он исследует соотношение закона и каузальности, закона и условий, формы взаимосвязей и типы законов, обобщает имеющийся научный материал, из которого возникают эвристические указания для развития специальных дисциплин и философии.

## ДЕТЕРМИНИЗМ И ДИНАМИЗМ

Вопрос о детерминированности природных и общественных явлений явно или неявно всегда был центральной проблемой философии как с точки зрения развития философских направлений, так и с точки зрения борьбы между ними. В развитии детерминизма поворотным моментом явилось возникновение концепции лапласовского детерминизма. Стало быть, можно противопоставить друг другу понятия детерминизма древности и средних веков, возникшие более или менее независимо от опыта, и концепцию детерминизма конкретных специальных наук, основанную на бесспорных результатах механики Галилея и Ньютона.

Следующим решающим шагом явилась марксистская критика метафизического характера лапласовского детерминизма, создание концепции диалектического детерминизма. Классики марксизма не только показали материалистический характер детерминизма Лапласа и его ограниченную адекватность, но и доказали, что эта концепция в первую очередь из-за жесткого метафизического противопоставления категорий, а также из-за отрицания объективной случайности в большинстве случаев не может исполнять роль принципиального метода в рамках материалистической интерпретации.

Критика лапласовской концепции, опирающаяся на результаты современной науки, позволила классикам марксизма сформулировать концепцию диалектико-материалистического детерминизма, охватывающую тотальность явлений.

Наконец, философская интерпретация результатов микрофизики XX в. доказала ограниченную адекватность лапласовской концепции. Были подняты такие проблемы,

исследование и решение которых сделали необходимым и возможным дальнейшее развитие и конкретизацию концепции диалектико-материалистического детерминизма<sup>1</sup>.

В дальнейшем нам предстоит показать и доказать, что материалистическое представление о детерминированности микрофизических явлений влечет за собой признание преобладания динамического характера структуры объективного материального мира. Отсюда следует, что в дальнейшем мы можем ограничиться проблемами детерминированности физических явлений и полученные обобщающие выводы считать присланными в сфере явлений материального мира.

### **ФИЛОСОФСКИЙ СТАТУС КОНЦЕПЦИИ МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКОГО ДЕТЕРМИНИЗМА**

В истории философии концепция детерминизма любого философского направления находится в тесном взаимодействии с решением основного вопроса философии. Проанализируем более детально данное взаимодействие в аспекте концепции диалектико-материалистического детерминизма.

Согласно диалектико-материалистическому решению основного вопроса философии, материя первична, а сознание вторично и имеет материальный характер (как онтологически, так и гносеологически). И хотя марксизм признает имманентное развитие сознания, оно в конечном счете определяется материальными факторами: сознание есть форма движения высокоорганизованной материи, субъективное отражение объективного материального мира.

С этих онтологических и гносеологических позиций однозначно вырисовывается основной принцип концепции диалектико-материалистического детерминизма. Сле-

---

<sup>1</sup> Известно, что ортодоксальное Копенгагенское понимание квантовой механики говорит об индетерминированности микрофизических явлений. Однако «индетерминированность», с точки зрения марксизма, по сути дела, означает отсутствие однозначной детерминированности явлений в лапласовском смысле, т. е. не их неопределенность, а их случайный характер.

довательно, если этот основной принцип определен, дан необходимым образом, если он вытекает из основной позиции марксизма (онтологически и гносеологически) по данному вопросу, то его можно считать аксиомой и сформулировать следующим образом:

**Аксиома I.** *Любое материальное событие, процесс так же, как и любые иные материальные события, могут быть определены другими материальными процессами и только ими.*

Нетрудно заметить, однако, что данная аксиома может приобрести однозначно материалистический характер лишь в предположении справедливости решения онтологической стороны основного вопроса философии в рамках диалектического материализма, т. е. в предположении справедливости материалистического монизма. Что это действительно так, можно доказать на основании следующего. Будем исходить лишь из общего опыта научного познания. При любом исследовании объект исследования (как и некоторое событие) всегда удавалось связывать с наличием других объектов (событий)<sup>2</sup>. Тогда основной принцип детерминизма можно сформулировать следующим образом: любое событие определено другими событиями. Данную формулировку, в зависимости от решения основного вопроса философии, можно понимать по-разному. Если считать, что события идеальны, то можно прийти к концепции идеалистического детерминизма (идеалистический монизм). Если же считать события материальными, то детерминизм приобретает материалистический характер (материалистический монизм). И наконец, в принципе возможно предположение о существовании сферы материальных и идеальных событий, не зависящих друг от друга, тогда концепция детерминизма приобретает дуалистический характер.

Следовательно, если мы хотим избежать двусмысленного толкования и подчеркнуть, что в аксиоме I речь идет о концепции детерминизма (парциального характера), ограниченной только материальными событиями, то необходимо отдельно сформулировать мысль, что любое событие имеет материальный характер (именно таково

---

<sup>2</sup> Так как всякое событие есть прежде всего процесс, то отсюда однозначно вытекает активный характер причины (детерминантов).

диалектико-материалистическое решение основного вопроса философии). Или же необходимо сформулировать концепцию детерминизма так, чтобы все это было отчетливо видно и понятно. Практически сложилось так, что то или иное решение основного вопроса философии обозначает вообще исходную позицию философского направления, например, когда сформулирован основной принцип концепции детерминизма, вопрос о характере событий уже «предрешен».

Что же касается функции концепции детерминизма, то можно сказать следующее: на уровне познавательного процесса в конкретной науке и выявляется эвристическое значение основной позиции материалистической философии в концепции детерминизма. Концепция материалистического детерминизма дает как бы программу для научных исследований; любое объективное явление, событие могут считаться достаточно познанными, если мы обнаружили необходимые и достаточные причины их начала и окончания в форме каких-то других событий.

Концепция материалистического детерминизма, в противоположность дуалистическим и идеалистическим представлениям, не допускает предположения о существовании каких-либо иррациональных факторов, независимых от опыта. Из этого вытекает последовательность процесса познания. Кроме того, концепция материалистического детерминизма выступает исходным пунктом для создания гипотез относительно форм конкретного существования материи, а также взаимного отношения этих форм, т. е. структуры объективного материального мира. Предположение о материальной детерминированности событий воспринимается как общее представление о структуре взаимодействий объективного материального мира.

## ДЕТЕРМИНИЗМ И СЛУЧАЙНОСТЬ

Проблема современного развития концепции детерминизма тесно связана в первую очередь с изучением микрофизических явлений. По существу, речь идет о том, что на микрофизические явления (события) сильно влияют случайные воздействия окружающей среды, и, таким обра-

зом, однозначность лапласовского детерминизма здесь не применима<sup>3</sup>.

Сторонники Копенгагенской школы данное обстоятельство трактуют как неприменимость детерминизма к микрофизическим явлениям, т. е. считают эти явления «индетерминированными». Указанную «индетерминированность» они пытались обосновать по-разному: одни утверждали, что «индетерминированность» микрофизических явлений есть следствие наличия неконтролируемых помех со стороны измерительных приборов (Н. Бор), другие считали, что это есть следствие влияния измеряющего субъекта (П. Йордан) и т. д.

В любом случае суть предполагаемой индетерминированности состоит в том, что микрообъекты подвергаются воздействию среды (подчиняющейся другим законам), детерминативно совершенно *не зависящей* от них. Ниже мы попытаемся показать, что подобные явления, подчиняющиеся другим законам, а также взаимодействия, зависящие от событий в другой сфере, можно считать случайными.

В самом деле, так как, согласно концепции диалектического материализма, мир фактически является гомогенным (материальное единство мира), то и случайности мы вправе считать детерминантами событий (так же, как и необходимые связи).

Признание наличия случайных детерминантов не противоречит основному принципу детерминизма, заключенному в аксиоме I. Их наличие может вызывать лишь небольшие изменения конкретной структуры детерминированности (по сравнению с классической однозначной детерминированностью).

Чтобы более конкретно сопоставить схему детерминированности, которая изложена в аксиоме I, со случайными детерминантами, необходимо детально проанализировать, что же понимается под случайностью и какую роль она играет в осуществлении событий.

Качество вещи определяется некоторыми основными продолжительными взаимодействиями. В этих условиях

---

<sup>3</sup> Относительно принципиально статистического характера микрофизических процессов см., например, в кн.: Müller A. Quantum-mechanics and Physical World-picture. Budapest, 1972, p. 9.

уже одно взаимодействие может вызвать коренное качественное изменение вещи. Какие-либо другие внешние зависимости могут влиять на данную вещь лишь внутри ее основной определенности, и, таким образом, в отличие от предшествующего случая *только моментная конфигурация всей их совокупности решает форму преобладания того или иного взаимодействия.*

Несущественно, что элементы взаимодействий, находящиеся вне сферы основной качественной определенности данной вещи, являются представителями ряда событий, независимых друг от друга. Они связаны с данной вещью лишь взаимодействием и поэтому могут присутствовать в совокупности ее взаимодействий.

В противоположность основным взаимодействиям, которые необходимы в рамках качественной определенности данной вещи, они не находятся в продолжительной связи друг с другом. Наличие или отсутствие предполагаемых взаимодействий влечет за собой разные последствия в зависимости от того, в какой комбинации они находятся с другими взаимодействиями.

Проиллюстрируем сказанное на примере артиллерийской стрельбы, сделав предварительно некоторые замечания. На первый взгляд выбранный пример может показаться странным, так как артиллерийская стрельба — это процесс, созданный искусственно и преследующий практические цели. Возникает вопрос: пригоден ли анализ такого процесса для описания понятия случайности и отражает ли он адекватно ее суть? Мы полагаем, что пригоден, так как выстрел в действительности есть лишь специальный случай бросания тела под углом к горизонту в гравитационном поле. Данный случай отличается от известных из механики лишь тем, что тут свободно выступают те факторы, которыми мы обычно пренебрегаем в целях идеализации. В дальнейшем мы будем говорить о трех из них: угле наклона ствола к горизонту, массе заряда, взрывной силе заряда. Они-то и определяют исход стрельбы, т. е. начальную скорость снаряда. Указанные основные факторы зависят друг от друга (например, в случае меньшей массы заряда необходима большая взрывная сила), но для того, чтобы осуществить выстрел, т. е. бросание снаряда под углом к горизонту как объективное явление, необходимо иметь всю совокупность указанных



факторов (т. е. придать снаряду определенную начальную скорость).

Другие возможные взаимодействия (сопротивление воздуха; ветер; колебания температуры; столкновения, например, с насекомыми и т. д.) не являются необходимыми факторами выстрела. Конечно, при выстреле преследуются практические цели, но на основании того, что выстрел идентичен выбросу тел по наклонной траектории, который возникает и в природных условиях, серию выстрелов мы можем считать природным процессом, а также опытным исследованием явления.

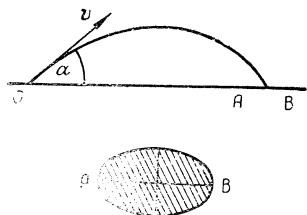
Далее вопрос состоит в том, присущ ли подобный процесс (создающий случайную ситуацию) микрофизическим явлениям? По нашему мнению, различие между статистическими процессами в квантовой механике и классической физике отражает не какую-то существенную разницу в содержании случайных взаимодействий, а главным образом их отличительные «функции»<sup>4</sup>. Следовательно, мы вполне можем принять указанное обоснование концепции случайности.

Итак, гравитационное поле как необходимое внешнее условие при выстреле из орудия мы считаем известным данным; три основных фактора — угол между стволом и горизонтом, масса заряда и взрывная сила — однозначно определяют, что снаряд упадет в определенную область, на так называемый эллипс рассеяния (см. рисунок). Однако куда упадет конкретно каждый снаряд внутри данной области, мы можем говорить только в смысле вероятности. Это зависит в данный момент от комбинации взаимодействий, находящихся вне основной определенности: плотности воздуха, меняющейся на пути движения снаряда; диаметра снаряда, который лишь приблизительно одинаков у всех снарядов, и т. д. Если, производя данный выстрел, установили, что снаряд из-за определенной плотности воздуха попал в конкретную точку эллипса<sup>5</sup>, а это учитывается при следующем выстреле, то из этого еще не следует, что и следующий снаряд попадет туда же. Иногда необходимые факторы,

---

<sup>4</sup> Müller A. Op. cit.

<sup>5</sup> Это, разумеется, лишь предположение, потому что и другие неучитываемые факторы играют роль при каждом выстреле.



в данном случае независимые друг от друга (в нашем примере колебания плотности воздуха и разброс диаметра снарядов), меняются также независимо (т. е. зависят от случайной комбинации факторов).

В действительности существует не два, а множество таких факторов. *Такие взаимодействия, находящиеся вне основной определенности данной вещи, хотя выступающие в каком-то отношении к ней, а также и другие непродолжительные, не зависящие от моментной комбинации и не влияющие существенно на возможные взаимодействия, называются случайностью.*

Очень важно подчеркнуть, что в рассмотренном примере (при наличии трех основных факторов) последствие получается одно и то же, т. е. снаряд каждый раз будет попадать в эллипс рассеяния независимо от того, какие еще влияют факторы. Совокупность основных факторов теснейшим необходимым образом связана с исходом события, поэтому мы и назвали их «основными факторами».

Из данного примера видно, что речь идет о необходимой связи, несмотря на то, что здесь нет и следа однозначной определенности в лапласовском смысле. В данном случае велико не только значение вероятности попадания снаряда (эллипс рассеяния считаем континуумом, бесконечно большим), но этот же эллипс может быть реализован в самых различных комбинациях основных факторов. Однако совокупность случайных взаимодействий не дана нам раз и навсегда, она постоянно меняется, а поэтому и не может детерминировать (определять) конкретный исход событий. Дело в том, что взаимодействие каждого элемента зависит от моментной совокупности возможных взаимных моментов.

Совокупность таких взаимодействий, которые находятся вне основной определенности данной вещи, создает своеобразный чрезвычайно динамичный «тыл», осуществляющий связь данной вещи с постоянно меняющимся качественно многогранным и бесконечным материальным миром. В результате, если даже нами установлена конкретная причина, ответственная за исход выстрела, нет

гарантии, что и в следующий раз присутствие данной причины приведет к тому же результату.

При более конкретном анализе нашего примера можно установить, что в одном случае снаряд летит дальше, потому что он проходит через менее плотный слой воздуха; в следующий раз при прохождении снаряда через менее плотный слой воздуха тот же результат может и не получиться из-за действия противоположного порывистого ветра.

Таким образом, самая существенная разница между необходимыми и случайными взаимодействиями заключается в том, что комплекс взаимодействий, определяющих основной характер данной вещи, является продолжительным комплексом индивидуальных взаимодействий, а случайно появляющиеся взаимодействия составляют внутреннюю часть «тыла».

Следовательно, *необходимые связи, определяющие основной характер вещи, представляют собой индивидуальную изоляцию данной вещи, а случайные взаимодействия для данной вещи означают ее «участие» во всей взаимозависимости и взаимодействиях.*

Именно отношение этих двух типов взаимодействий и решает, является ли данное явление динамическим или статистическим. С этой точки зрения мы и находим существенную разницу между классической и квантовой физикой.

На основании сказанного автоматически получаем ответ на вопрос, можно ли дойти до такого предела, при котором снаряд обязательно попадет в цель, если при подготовке выстрела будем учитывать большее число факторов (уменьшая при этом площадь эллипса рассеяния). При ответе на этот вопрос встречаются две существенные трудности.

Одна из них имеет *практический* характер, а именно огромное число факторов, определяющих исход выстрела. Если в первом приближении обращать внимание на то, что совокупность определяющих факторов может быть бесконечной, один абсолютно точный выстрел потребовал бы непрерывного учета тысяч факторов, что практически невозможно.

Еще более важна, по нашему мнению, другая трудность *принципиального* характера. Она состоит в том, что совокупность (бесконечная) факторов, определяющих

исход выстрела, не является статистической, и даже стационарной, а в соответствии с законами, выражающими единство материи и движения, а также общими зависимостями и взаимодействиями, меняется непрерывным образом; структуру ее определяют изменения, происходящие независимо от исследуемого события. Данные изменения между собой независимы. Таким образом, применяемые здесь коррекции могут иметь только статистический характер, и эта статистичность тем больше, чем больше число определяющих факторов. При этом предполагается, что сущность любого события, любого взаимодействия случайного характера заключается в том, что на конкретный исход данного события существенно влияют взаимодействия, детерминированные факторами, совершенно независимыми от самого события.

Тот факт, что независимые, вообще говоря, друг от друга события вступают во взаимодействия так, что оказывают случайное воздействие на вещь, всей своей конфигурацией влияют на исход события, позволяет сформулировать аксиому II.

**Аксиома II.** *В объективном материальном мире существуют ряды событий, протекающих по независимым законам (цепям причинности).*

Для понимания сути случайности необходимо принять во внимание следующее: в материальном мире не существуют собственно необходимые или собственно случайные взаимодействия. Любое взаимодействие является необходимым или случайным только в одном конкретном отношении. *Благодаря тому, что группа взаимодействий объективно определяет качество данной вещи, т. е. благодаря тому, что взаимодействия вступают между собой в продолжительную связь, другая группа взаимодействий становится случайной.*

Эти же взаимодействия, находясь во взаимозависимости от других явлений или на другом уровне, могут быть элементами других необходимых взаимодействий. Такое понимание случайности подчеркивает объективное диалектическое отношение взаимодействий. Они частично исключают друг друга, так как любое взаимодействие в определенном конкретном отношении или необходимо, или случайно. Вместе с тем они предполагают друг друга, так как необходимая связь определенной группы взаимо-

действий делает другие взаимодействия случайными в данном отношении.

Моментная совокупность случайных взаимодействий, которая в конечном счете ответственна за конкретный исход событий, необходимость изменяет так, что два последовательных события (в нашем случае два последовательных выстрела) не могут быть одинаковыми. Предположение, что комбинация случайных взаимодействий не изменяется, означало бы полную изоляцию данной системы или полное отсутствие движения, внешнего по отношению к системе мира (сюда входит источник случайностей и «тыл»). В действительности, разумеется, это никогда не выполняется.

Для полноты освещения вопроса о случайности необходимо также отметить, что некоторые группы случайных взаимодействий на самом деле появляются как флуктуации необходимых взаимодействий.

Например, величина диаметра снаряда — необходимая характеристика, но какой именно размер осуществляется в границах толерантности — это случайность. Другие группы случайных взаимодействий возникают в результате непосредственной связи с внешним миром за пределами необходимых факторов: например, на своем пути снаряд может столкнуться или не столкнуться с насекомыми.

*Случайные взаимодействия*, поскольку они в каждый данный момент влияют самым обычным образом, в какой-то степени компенсируют друг друга. В рассмотренном случае, например, хотя точное место падения снарядов и не детерминировано однозначно, но теоретически (по максимальной вероятности) можно ожидать рассеяние снарядов вокруг точки падения по определенной закономерности. Таким образом, можно говорить о вероятности конкретного результата относительно каждого выстрела.

Из сказанного следует также и то, что случайные взаимодействия нельзя противопоставлять причинным взаимодействиям, так как случайное изменение тоже имеет свою причину, т. е. может возникнуть некоторая комбинация взаимодействий вне основной определенности данного события.

Очевидно, что соотношения интенсивности устойчивости (во времени) всей совокупности случайных и основных взаимодействий, которые определяют качество

вещи и являются носителями ее индивидуальности, определяют то, в какой степени, до какой глубины случайные взаимодействия влияют на исход исследуемого события.

Классическая физика смогла столь адекватно описать явления в исследуемой области на основании концепции лапласовского детерминизма потому, что в этих областях можно объективно пренебречь влиянием случайных взаимодействий. Трудности же в применении концепции лапласовского детерминизма начали возникать, когда физика перешагнула через границы классического макромира и перешла к изучению взаимодействий более глубокого уровня, где случайные взаимодействия играют значительную роль.

## ДЕТЕРМИНИЗМ И ПРИЧИННОСТЬ

Когда мы говорим о том, что любое событие детерминировано (т. е. его происхождение определено другими материальными событиями), то постоянно принимаем во внимание тотальность данного события. Эту категорию не следует понимать так, будто данное событие в одном конкретном отношении определено, а в другом нет. Детерминированность неразделима и в этом смысле абсолютна. В теории познания тот факт, что детерминированность характеризует тотальность события, влечет за собой существенное следствие: в конкретном познании всегда уловимы только конкретные взаимодействия исследуемого события, которые могут быть необходимыми, случайными, причина-причинными или просто взаимодействиями предполагаемого характера (возможными) и т. д.

Что касается детерминированности *конкретного события* (т. е. детерминированности другими материальными событиями), то само собой разумеется, что она раскрывается тем глубже, чем глубже и шире удастся охватить и раскрыть структуру взаимодействий данного исследуемого события. Но так как структура любого взаимодействия (актуально и потенциально) бесконечна, в конкретном познании она зависима лишь частично, и поэтому наше предположение относительно детерминированности (во время исследования данного явления, несмотря на более возрастающую конкретность) навсегда остается предпо-

ложением гипотетического характера. Общее предположение относительно детерминированности всех явлений, событий в мире (которое мы изложили в своей аксиоме) можно понимать и так, что гипотезы относительно детерминированности некоторых конкретных явлений есть обобщение на философском уровне.

Структура взаимодействий событий есть не что иное, как конкретная форма проявления их детерминированности. В противоположность целостному и абсолютному характеру детерминированности (как категории, характеризующей тотальность событий), любой элемент структуры взаимодействий относителен, характер структуры взаимодействий можно определить только в определенном конкретном отношении.

Не существует необходимых или случайных, а также причина-причинных или возможных взаимодействий вообще. Каждое конкретное взаимодействие оказывается тем или другим в определенном конкретном отношении. Можно сказать так: детерминированность событий означает, что совокупность их материальных взаимодействий эквивалентна их сущности, тотальности.

Явления распределяются лишь внутри этой тотальности (детерминированности) — соответственно их конкретным положениям по сегментам взаимодействий — по необходимому и случайному, а также причина-причинному и возможному.

Анализ детерминированности явлений (событий) не сводится к предположению об общем уровне любого взаимодействия. Анализ структуры взаимодействия событий, т. е. определение причина-причинного, возможного, а также необходимого или случайного характера некоторых взаимодействий, по существу, есть раскрытие формы (структуры детерминированности) конкретного проявления детерминированности. Эти конкретные формы взаимодействия являются как бы «составными элементами» детерминированности.

В соответствии с этим соотношение категорий причинности (причина, необходимость, случайность и т. д.) подобно соотношению категорий детерминированности так же, как соотносительны категории диалектики: противоречие, взаимопроникновение, развитие и т. д. Первые суть конкретное содержание последних, а последние выражают тотальность предыдущих.

## ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР ДЕТЕРМИНИРОВАННОСТИ

Последовательно материалистическое представление о детерминированности микрофизических явлений требует, чтобы в число детерминантов, определяющих протекание данного события, входили и взаимодействия случайного характера. Последнее понятие требует представления о преимущественно динамическом характере детерминированности. *Причинное отношение является взаимодействием событий (процессов), но не вещей.*

Представление о детерминированности и понимание причинной связи как взаимодействия ставят перед нами существенную проблему, а именно проблему соотношения в этом представлении причинных связей: а) хронологических отношений причина-причинности; б) симметричных отношений причина-причинности. На первый вопрос, по нашему мнению, вполне удовлетворительно ответил Г. А. Свечников<sup>6</sup>, поэтому детально займемся вторым вопросом.

Причинные отношения как взаимодействия событий (процессов) можно изобразить следующей схемой:

$$(A_1 \rightarrow A_2) \rightleftharpoons (B_1 \rightarrow B_2).$$

Заметим, что одинарная стрелка, фигурирующая в символе события, а также двойная стрелка, обозначающая взаимодействия, не совпадают, они не идентичны, не эквивалентны, как это обычно принято в логике. Стрелка в данном случае обозначает, что если некоторое событие рассматривается «само по себе», то стрелка указывает порядок состояний, тенденцию изменения состояний, проявляющихся в событии.

Только с учетом отношения причинности, события  $B_1 \rightarrow B_2$  можно считать импликацией, да и то благодаря наличию случайных факторов среди детерминантов в «вероятностной логике». Идентификация двойной стрелки, символизирующей взаимодействие, с эквивалентностью указывает на полную симметрию событий, создающих взаимодействие, и, как мы увидим дальше, понятие о взаи-

---

<sup>6</sup> Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике. М., 1971, с. 136—150.



модействии как причинности тогда становится пустой формальностью.

Возвращаясь к ранее упомянутой в пункте б) проблеме, поставим вопрос: каким образом может возникать необходимая асимметрия<sup>7</sup> причины и следствия в причинных отношениях при взаимодействии событий?

Вспоминая третий закон Ньютона, согласно которому всякое действие имеет равноценное ему по величине противодействие (направление которого противоположно), мы можем полагать, что взаимодействие является симметричным, и, таким образом, нет оснований считать одну сторону причиной, а другую — следствием. Однако ньютоновская динамика занималась взаимодействиями объектов макромеханического характера, считающихся абсолютно индивидуальными. Здесь взаимодействие (сила — противосила) в самом деле симметрично, так как можно пренебречь взаимодействием (т. е. «открытым характером объектов») окружающей среды.

Например, строго говоря, не Земля вращается вокруг Солнца, а оба эти объекта обращаются вокруг общего центра масс<sup>8</sup>. Однако было бы неправильно утверждать, что Солнце с такой же силой притягивает Землю, как последняя — Солнце. К тотальности данного явления, т. е. взаимодействия Солнца и Земли, необходимым образом принадлежит и то, что механическое состояние взаимного притяжения обоих объектов во времени периодически меняется.

В тотальном понятии взаимодействия о симметрии не может быть и речи. В зафиксированной системе относительно общего центра масс Солнце стоит практически неподвижно, а Земля обращается по эллипсу диаметром  $1,5 \cdot 10^8$  км. Причиной данной асимметрии оказывается разница масс этих небесных тел. Здесь уже появляется такой момент, когда от индивидуальных (внутренних) свойств взаимодействующих объектов зависит форма проявления данного взаимодействия у каждого из них.

---

<sup>7</sup> Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике, с. 12. Эта проблема станет еще острее, если вспомнить о том, что в непосредственной причинной связи причина-процесс и следствие-процесс во времени совпадают.

<sup>8</sup> Оба объекта взаимно определяют собственные движения, и с обеих сторон выполняется условие, изложенное в первой аксиоме, что означает наличие определенности материальными факторами.

То же самое можно сказать и в случае микрофизических событий. Здесь появляется дополнительно еще один фактор. В предыдущем примере (динамики Солнца и Земли) сами по себе объекты, если не считать периодического изменения состояний во времени, остаются теми же в период всего взаимодействия (абсолютные индивидуумы), чего никак нельзя сказать про микрообъекты. Известно, например, что в случае микрообъектов от состояния окружающей среды зависит то, какая сторона (дуализм) свойств волновой частицы, характеризующих квантовомеханическое состояние, выделится более определенно, т. е. будет ли данный объект вести себя как волна или как частица (таким образом, микрообъекты можно считать «квази-индивидуумами»). Кроме того, на состояние микрообъектов сильно влияют и взаимодействия<sup>9</sup> случайного характера, вызванные окружающей средой.

В конечном счете в случае микрофизического взаимодействия события  $A$  и  $B$ , являющиеся двумя составными сторонами взаимодействия, не могут считаться хорошо определенным индивидуальным изменением состояния. События  $A$  и  $B$  представляют собой более или менее широкий сегмент объективного материального мира из-за наличия интенсивного взаимодействия («открытого» характера) микрообъектов с окружающей средой.

Эти сегменты из-за случайного характера взаимодействий объективно не являются однозначно ограниченными. Следовательно, на форму конкретного проявления взаимодействий на той или другой «стороне», кроме индивидуальных свойств события, создающего «стороны», влияет и структура взаимодействия с окружающей средой. Следствием этого является статистический характер микрофизической причинности (т. е. более обще, это детерминированность микроявлений).

Взаимодействие причинности симметрично в том смысле, что на протекание события (процесса)  $A_1 \rightarrow A_2$  более или менее влияет его связь с событием  $B_1 \rightarrow B_2$ , и наоборот, одним из детерминантов протекания события  $B_1 \rightarrow B_2$  выступает его взаимодействие с событием  $A_1 \rightarrow A_2$ . Но рассматриваемое взаимодействие несимметрично в том

---

<sup>9</sup> Müller A. Quantum-mechanics and Physical World-picture.

смысле, что оно по-другому (по-разному) проявляется на той или на другой стороне. Именно такого рода асимметрия и делает возможным то, что событие  $A_1 \rightarrow A_2$  можно считать причиной изменения, происходящего в рамках события  $B_1 \rightarrow B_2$  и наоборот. Каждое событие представляет собой тенденцию, определяемую отношением условий и отношений различных причин, и уже относительно этой тенденции другой процесс появляется в качестве причины.

Но возникает вопрос, не является ли противоречием то, что взаимодействие двух событий как причина влечет за собой разные следствия на одной и на другой сторонах (одно и то же событие)? Основной тезис материалистической концепции причинности гласит, что данная причина при неизменных условиях вызывает одни и те же следствия. Противоречие это только кажущееся, так как события, составляющие обе стороны причинной связи, из-за разных индивидуальных свойств<sup>10</sup>, т. е. из-за разной структуры взаимодействия с окружающей средой, имеют различия в условиях. Таким образом, разные последствия причины вполне реальны, даже необходимы.

## ПРЕДДЕТЕРМИНАЦИЯ И ПОСТДЕТЕРМИНАЦИЯ

Поскольку мы принимаем, что случайные взаимодействия данного события (а также их совокупность) могут также считаться детерминантами данного события, то возникает необходимость различать проблемы детерминированности возможных и действительных событий как с точки зрения онтологии, так и гносеологии. В дальнейшем первый случай будем называть преддетерминацией, а второй — постдетерминацией<sup>11</sup>. Необходимость данного различения объясняется следующими соображениями.

<sup>10</sup> Необходимо отметить, что микрообъекты также обладают некоторой индивидуальностью (они имеют различный характер в различных взаимодействиях), может быть, в более «раздавленной» форме по сравнению с объектами классической микрофизики, поэтому мы называем микрообъекты квази-индивидуумами.

<sup>11</sup> Марксисты всегда различали детерминированность возможных и действительных событий в том смысле, что при постдетерминации между событием и его детерминантами существует необходимая связь, а при преддетерминации из-за возможности случайных взаимодействий такой связи нет. Таким образом, изложенное

Согласно концепции детерминизма, развивавшейся классиками марксизма-ленинизма, случайность объективного характера нельзя метафизическим образом, жестко противопоставлять необходимости. То, что в данном событии является случайным, в отношении другого события выступает как необходимость. Необходимость (закон) осуществляется через совокупность случайностей, т. е. в самом процессе протекания событий случайные события тоже играют фундаментальную роль. В то же время материалистический монизм требует, чтобы любое происшедшее событие находилось в необходимой связи с его детерминантами (т. е. с той группой других материальных событий, с которыми связывает данные взаимодействия причина-причинность или случайность). Только таким образом можно исключить роль иррациональных факторов нематериального происхождения. Основная проблема здесь состоит в следующем: каким образом можно связать преддетерминативную роль случайностей с постдетерминированной необходимой связью детерминантов, чтобы не задеть объективность случайности?

Среди попыток решить эту проблему можно встретить концепцию<sup>12</sup>, которая признает объективность случайности, а также существенную роль случайных взаимодействий в протекании событий, но в то же время не отказывается (упорно) от однозначной определенности событий в преддетерминированном смысле. При этом высказываются следующие соображения.

Действительно, на процесс протекания событий, помимо продолжительных, существенных (необходимых) взаимодействий, влияют и возможные случайные взаимодействия. Таким образом, на конечном интервале вре-

---

вполне соответствует нашей концепции. Однако нередко в марксистской литературе исходят из взгляда, согласно которому реализованная случайность теряет свой случайный характер; другими словами, это означает, что необходимую связь между случайными событиями и его детерминантами хотят мыслить, исключая случайность. Поэтому мы в дальнейшем хотели бы показать, что случайность может быть реальной частью необходимости не только потенциально, но и актуально.

<sup>12</sup> В 1967 г. на страницах «Magyar Filozofiai Szemle» («Перспектив венгерской философии») велись дискуссии о сути концепции марксистского детерминизма. Критика рассматриваемой здесь концепции соответствовала нашим предположениям о необходимости различения пред- и постдетерминизма.

мени перед наступлением события (из-за наличия неожиданных случайных взаимодействий) невозможно однозначно объективно показать, каков будет конкретный исход события. Однако совсем иное положение, если рассматривается бесконечно малое время  $dt$  перед началом события. За это время какие-либо новые случайные взаимодействия появиться не могут, и в этом случае имеющиеся детерминанты и предполагаемое событие будут находиться в однозначной зависимости.

Прежде чем перейти к критике этой концепции и изложению наших взглядов, необходимо отметить, что данное рассуждение (о том, что возникшее случайное событие может потерять свой случайный характер) основывается на определенном предположении, которое заключается в том, что случайные взаимодействия «менее материальны», чем необходимые взаимодействия, и, таким образом, в рамках материалистического монизма случайность необходимо *подчинить* необходимости (т. е. детерминированность событий в конечном счете идентична однозначной определенности).

Мы думаем, что подобные рассуждения не обоснованы в принципе, а на практике приводят к непоследовательности. Они не обоснованы потому, что случайные взаимодействия (случайные события), как встреча независимых цепей причинения, также как и необходимые взаимодействия, имеют материальный характер. Таким образом, введение предложенных нами понятий и терминов в концепции детерминизма никак не противоречит материалистическому монизму.

Рассматриваемые рассуждения на практике приводят к непоследовательности, так как, например, состояние микрофизических объектов в данный момент, из-за «открытого» их характера, никак нельзя идентифицировать на одном и том же уровне с детерминантами события. Таким образом, предположение об однозначном характере преддетерминации (в онтологическом смысле) приводит к выводу, что знание окружения данного явления для человека просто невозможно (именно такое сближение однозначной преддетерминации с детерминированностью привело сторонников Копенгагенской школы к агностическим выводам).

Возвращаясь к уже приведенной выше концепции (о существовании преддетерминативной однозначной оп-

ределенности за бесконечно короткое время  $dt$  до наступления некоторого события), необходимо сделать два замечания.

Прежде всего совершенно непонятно выражение: «за бесконечно малое время  $dt$  до начала события». Если  $dt$  в самом деле означает бесконечно короткое время, то новые случайные взаимодействия действительно не смогут включиться в процесс протекания события, и главным образом потому, что за бесконечно малое время данное событие уже не сможет возникнуть. Не существует никаких физических или любых других материальных изменений, которые не протекали бы во времени. Формулировка «бесконечно малое время  $dt$  перед началом события» фактически означает уже наступившее событие. Каким бы ни было коротким время  $dt$ , оно все-таки конечно, и, таким образом, не только данное событие может возникнуть, но смогут вступить в действие и новые факторы. Если же наступление событий сократить до бесконечно малого интервала времени (т. е. события считаем не процессом, а актом, точнее, серией актов, следующих друг за другом не во времени), то придем к противоречию с диалектико-материалистическим представлением о закономерности. Закономерности—это не что иное, как общие тенденции, выступающие в конкретных процессах. Каждое конкретное событие как процесс детерминировано совокупностью необходимых и случайных факторов. Благодаря наличию случайностей конкретное протекание событий (конкретный исход событий) может отклониться в ту или иную сторону, в то же время в процессах подобного типа необходимые взаимодействия, детерминанты одинакового характера придают определенный характер структуре событий. Однако если мы в соответствии с критикуемой здесь позицией сократим связь между событием и его детерминантами до вневременного акта, совершенно непонятной становится роль закономерности в качестве тенденции (т. е. динамически, непрерывно).

Решение данной проблемы, разумеется, состоит в том, чтобы сделать такой вывод относительно объективных случайных взаимодействий материального характера как детерминантов, когда события не считаются однозначно определенными преддетерминативно. Случайные взаимодействия материальны, но это вовсе не означает ослабления требования всей концепции материалистического

детерминизма (определенность явлений материальными факторами и только ими). Однако только таким способом мы можем радикально порвать с концепцией лапласовского метафизического детерминизма, так как принимаем во внимание «открытый» характер объектов, а также объективный характер случайности. Нам кажется, что придерживаться представления об однозначной детерминации — сознательно или нет, это не важно — значит выражать ностальгию по концепции лапласовского детерминизма <sup>13</sup>.

Что же касается постдетерминации, то здесь мы можем сказать следующее. В принципе мы имеем возможность учитывать все случайные и необходимые факторы, принимающие участие в процессе протекания события, постдетерминативно; *тем самым мы устанавливаем однозначную зависимость между конкретным наступлением события и его детерминантами.* Однако тот факт, что однозначная зависимость между событием и его детерминантами существует постдетерминативно, вовсе не означает, что случайные детерминанты теряют при этом свой случайный характер. Вместе с тем на основании постдетерминативной статистической обработки большого количества конкретных событий мы можем сделать лишь вероятностные заключения. Так как законы природы являются по существу общими длительными тенденциями в объективных процессах, то при определении характера законов главным ориентиром является постдетерминативная ситуация. В соответствии с этим *общей формой законов природы принято считать статистические законы.* Тот факт, что, несмотря на однозначный характер связи, существующей постдетерминативно между конкретным событием и его детерминантами, мы можем сделать только вероятностные заключения, указывает лишь на то, что подобное заключение есть субъективное отражение объективного статистического характера законов природы.

Сказанное можно проиллюстрировать ранее приведенным примером выстрела из орудия. Последний, как мы

---

<sup>13</sup> В концепции детерминизма определение события до его появления за бесконечно малое время  $dt$  ограничивается лишь зависимостями состояний вместо зависимости событий (Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике, с. 116—124).

уже видели, есть, по существу, бросание тела под углом к горизонту, которое возможно, когда начальная скорость снаряда, как вектор в гравитационном поле, расположена в диапазоне от 0 до  $90^\circ$ . Следовательно, выстрел вызывается наличием соответствующей начальной скорости, характеризующейся углом между стволом и горизонтом, массы заряда и взрывной силы заряда. Данные факторы постдетерминативно находятся в необходимой связи с результатом выстрела (т. е. местом попадания снаряда в эллипс рассеяния). Если совокупности этих трех детерминантов нет, то не будет и выстрела. Дело обстоит по-другому при наличии тех факторов, которые влияют на протекание событий внутри основной определенности предмета. Если, например, снаряд благодаря тому, что его диаметр оказался меньше нормы, пролетел

большее расстояние, то между происшедшим событием (падение снаряда) и случайным детерминантом (диаметр конкретного снаряда) существует очевидная причинная зависимость. При этом нельзя забывать, что, например, в рассмотренном случае изменения силы ветра (или другие влияния) могут компенсировать возможные отклонения, которые получаются из-за расхождения в величине диаметра. Следовательно, между отмеченными влияниями и конкретными результатами выстрела нет преддетерминативно необходимой связи, несмотря на то, что причиной полета снаряда на более дальнее расстояние, несомненно, оказалось в данном случае несоответствие диаметра снаряда.

Из сказанного видно, что причинную роль некоторых случайных взаимодействий можно анализировать только постдетерминативно, так как могут возникать непредвиденные влияния, и притом таким образом, что полный комплекс причин заранее неизвестен (исключая время  $dt$  перед наступлением события, что, как уже доказано, означает постдетерминацию). Преддетерминативно, главным образом с точки зрения «осуществления» объективных законов природы, причиной можно считать не случайные взаимодействия, а их совокупность в данный момент. Однако в этом случае, как говорилось выше, наступление события мы считаем не процессом, а актом. Между причинами (представляющими собой совокупность случайных взаимодействий) и наступлением события преддетерминативно не существует однозначной связи.



Что же касается общей формулировки детерминизма, из сказанного следует, что детерминанты, играющие определенную роль в протекании события (процесса), нельзя считать гомогенной совокупностью, так как они по-разному «детерминируют» ожидаемое событие. И те, кто не считается с различием детерминантов относительно их роли в формировании данного события, напрасно утверждают, что признают объективную роль случайности в материальном мире (т. е. считают случайность онтологическим понятием). На самом деле различие между необходимостью и случайностью возникает из-за их различной детерминирующей роли.

Следует признать также, что основная причина события, которая и преддетерминативно находится в необходимой связи с его наступлением, несмотря на наличие необходимости, не определяет исход события однозначно. Например, в случае выстрела из орудия детерминирующая роль отмечавшихся трех основных факторов распространяется на результат выстрела таким образом, что снаряды попадают в эллипс рассеяния. Однако, зная лишь эти детерминанты, мы ничего не можем сказать относительно того, куда попадает снаряд внутри эллипса, т. е. почему данный снаряд попал в ту или иную точку внутри эллипса, а не в другую. Эта проблема заставляет обратить внимание на то, что детерминированность явлений не обязательно сопровождается однозначной определенностью. По нашему мнению, ключом к пониманию детерминизма и к его признанию является то, что, *отсутствие однозначной детерминированности преддетерминативно не означает индетерминизм*, а лишь то, что в процессе изменения данного явления играют определенную роль случайные факторы (детерминанты). Концепция однозначной детерминированности построена на идеализации замкнутых систем и применима лишь в ограниченной области. Если мы хотим сформулировать концепцию детерминизма в общем виде, то должны принять в качестве его общей формулы всестороннюю определенность, при этом предполагается признание случайных взаимодействий в качестве онтологических факторов, т. е. существование независимых друг от друга цепей причинения.

В заключение на основании сказанного можно резюмировать, какова «структура» детерминизма, в виде тезисов:

I. Полная определенность данного события одной группой материальных факторов (детерминантов) не обязательно означает наличие однозначных отношений между событием и его детерминантами, так как:

детерминанты по их отношению к событиям могут быть необходимыми и случайными;

необходимые детерминанты определяют исход события (в общем) только в основных его чертах;

конкретный исход события в пределах, установленных основными детерминантами, решается случайными детерминантами.

II. Очень важно различать преддетерминацию и постдетерминацию, так как:

отдельное конкретное происшедшее событие в принципе находится в необходимой связи со своими детерминантами. Однако это не меняет того факта, что часть детерминантов (может быть) имеет случайный характер по отношению к событию;

только при исключении появления случайных факторов несостоявшееся событие может находиться в необходимой связи со своими детерминантами, поскольку:

возможность полного исключения случайности означает полную изоляцию события и его абсолютно индивидуальный характер;

в общем, события материального мира далеко не полностью изолированы, поэтому общей формой преддетерминации следует считать многостороннюю определенность.

III а. Поскольку событие определяется необходимыми детерминантами в такой степени, что объективно можно пренебречь случайными факторами, то имеются абсолютные объекты, и в этом случае появляется возможность однозначного предвидения (классическая механика, лапласовский детерминизм).

III б. Поскольку в пределах необходимой определенности случайные детерминанты влияют на исход события значительно, то мы имеем дело с квази-индивидуумами и в этом случае можно предвидеть «только» вероятное распределение исхода некоторых событий.

## ФИЛОСОФСКИЙ И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ АСПЕКТЫ ПРИНЦИПА ПРИЧИННОСТИ

Все узловые проблемы специальных наук в той или иной мере имеют философский аспект, связанный с осмыслением этих проблем в системе принципов теории, а часто и за ее пределами. Содержание и объем этого аспекта зависят от многих факторов, в частности от степени фундаментальности проблемы, уровня ее разрешимости, а также, по-видимому, и от того, насколько ее решение выходит за пределы данной научной теории.

Если проблема представляет собой лишь частнонаучный аспект, хотя и довольно общий, она решается с помощью частных методов, и философские принципы, хотя и фигурируют здесь как общеметодологические требования, играют преимущественно роль установочных общепринятых положений, не являющихся объектом споров и разногласий. Другая ситуация складывается, когда обсуждаемая проблема настолько фундаментальна, что имеет самостоятельные аналоги в теориях других наук и существует как самостоятельная проблема в философии. В такой ситуации окончательное (или даже частичное) ее разрешение требует взаимного соотнесения различных аспектов.

При соотнесении подобного рода могут возникнуть несколько вариантов следствий:

1) частичное или даже полное совпадение исходных принципов частных научных теорий и философии. В этом случае задача сводится к тому, чтобы подвести под эти принципы новую область явлений;

2) частичное или полное несоответствие названных принципов. Итогом соотнесения может быть или полное

изменение в соотносимых теориях, или изменение отдельных аспектов в каждой или одной из них.

В истории формирования и развития принципа причинности в системе научных теорий и философии материализма отчетливо обнаруживались оба отмеченных варианта. Так, в XVIII в. преобладающей тенденцией была, по-видимому, тенденция соответствия, когда интерпретация причинности строилась целиком на основе законов классической механики и разница между естественнонаучным и философским аспектами состояла лишь в широте охвата: философия пыталась распространить механический принцип причинности на все возможные сферы действительности, результатом чего было утверждение механической картины мира.

Со второй половины XIX в. и особенно в конце XIX — начале XX в. начинает нарастать несоответствие между господствующим механическим принципом причинности и его выражением в ряде частнонаучных теорий. Ломка механической картины мира была связана также с пересмотром содержания принципа причинности как в специальных научных теориях, так и в философии. Марксистская философия, как известно, поставила вопрос о пересмотре механического принципа причинности значительно раньше, чем об этом встал вопрос в естествознании.

В течение XX в. соотношение естественнонаучного и философского аспектов не оставалось неизменным. Так, в 20—30-х годах в связи с разработкой теории квантовой механики обсуждению подвергались принцип объективности, составляющий основание причинного объяснения мира, затем идея однозначной связи причины и следствия (объект дискуссии и на сегодняшний день). На современном этапе в связи с ростом математизации естественнонаучных теорий объектом дискуссий стала идея генетической связи причины и следствия, которая на языке философии называется производительностью. Ряд авторов<sup>1</sup> предлагают отказаться от этого свойства причинной связи, как от антропоморфного наложения на познание. Продолжает дискутироваться временной аспект причин-

---

<sup>1</sup> Карнап Р. Философские основания физики. М., 1971, 390 с.; Hutfen E. The Language of Modern Physics. London, 1956. Среди советских авторов этих взглядов придерживается Л. Б. Баженов.

ности: в связи с исследованиями физики микромира есть предложение, с одной стороны, отказаться от классической интерпретации причинности как связи прошлого и настоящего во времени, с другой — внести изменение во временной порядок причины и следствия, включив категорию будущего.

Этот далеко не полный перечень спорных вопросов, возникших в связи с успехами естествознания, диктует необходимость детального исследования и сопоставления естественнонаучного и философского аспектов для того, чтобы выявить, какие новые коррективы, вносимые в принцип причинности отдельными науками, следует включить в содержание философского принципа, а какие следует отнести лишь к частнонаучным аспектам.

В нашей философской литературе на важность этого исследования уже указывалось в ряде работ, в частности Г. А. Свечников<sup>2</sup> неоднократно отмечал необходимость детального исследования содержания философского принципа причинности и тех изменений, которые предлагается в него внести.

В данной статье мы попытаемся дать анализ естественнонаучного и философского аспектов принципа причинности, руководствуясь положением о том, что соотношение этих аспектов определяется соотношением частнонаучных и философских категорий. Критерий различия и единства отмеченных категорий выступает одновременно критерием различия и единства двух аспектов принципа причинности. Прежде чем начать изложение поставленных вопросов, необходимо уточнить терминологию, что для рассмотрения нашей темы особенно важно.

Общеупотребительны понятия: категория причинности, закон причинности, принцип причинности. Часто, излагая специфику причинно-следственной связи, все особенности причинного взаимодействия подводят под категорию причинности. Нам это представляется не совсем точным, ибо противоречит пониманию категории как сокращенного выражения специфики тех или иных свойств, сторон.

---

<sup>2</sup> Свечников Г. А. Принцип причинности в современной физике. — В кн.: Философские вопросы современной физики. М., 1969, с. 199—209.

Развернутое изложение сущности причинного взаимодействия и специфики его познания дает концепция причинности, соединяющая в себе онтологический и гносеологический аспекты. Эта концепция оперирует не только категориями причины и следствия, но подключает и другие категории: необходимость, случайность, возможность, действительность, закономерность и т. д., что недопустимо в рамках категории причинности, ибо последняя есть лишь одностороннее, сжатое выражение специфики причинно-следственной связи.

Принцип причинности в философии есть система требований, сформулированных на основе концепции причинности и работающих как своеобразные правила отбора, запрещающие или допускающие то или иное описание и предсказание явлений, ту или иную форму выражения причинной связи.

В частнонаучных теориях принцип причинности связан с философским принципом косвенно, через соответствующие теории, а непосредственно он выступает системой требований, определяющих форму описания явлений на языке данной науки, а также причинную формулировку законов.

Наглядное представление о единстве и различии понимания принципа причинности в философии и специальных науках может дать сравнение понятийных аппаратов, которые используются для причинного описания явлений. Единство дает нам философский аспект, различие — естественнонаучный.

Понятийный аппарат философской концепции причинности включает в себя, как известно, следующие фундаментальные категории:

- 1) движение — взаимодействие — развитие;
- 2) производительность — закономерность — необходимость, возможность — действительность;
- 3) обусловленность;
- 4) асимметричность причинной связи и ее необратимость во времени;
- 5) всеобщность.

Перечисленные категории не исчерпывают всего понятийного аппарата принципа причинности, а являются узловыми категориями, к которым подключается еще целая сеть философских понятий, обеспечивающих в конечном счете целостную концепцию. Например, причин-

ная связь характеризуется как момент универсального взаимодействия и момент развития. Стало быть, здесь необходима категория структуры, которая должна выразить механизм перехода от причины к следствию, от одного структурного уровня к другому.

Причинное описание в физике осуществляется с помощью различных понятийных аппаратов в зависимости от того, какой структурный уровень физических взаимодействий он характеризует. Поэтому есть смысл выделить причинное описание в макро- и микромире. В классической механике в основе принципа причинности лежит идея механического взаимодействия физических тел, непременным условием которого является силовое воздействие одного объекта на другой. Категория силы — это основная категория механического принципа причинности. Она выступает как конкретное выражение причины изменения движения объектов и как понятие, с помощью которого формулируются причинные законы классической механики: закон инерции, второй и третий законы движения и т. д. Формулировка принципа причинности в классической механике существенным образом связана также с понятиями «состояние системы» и «однозначная связь состояний», выражаемая в форме динамических законов.

Непосредственно в содержание принципа причинности входит категория однозначности. Поскольку это понятие представляет собой объект дискуссии не только в физике, но и за ее пределами, имеет смысл проанализировать его сущность.

Как всякая категория, понятие однозначности имеет онтологический и гносеологический аспекты. Онтологический смысл понятия однозначности состоит в том, что оно выражает наличие такой формы зависимости объектов, при которой каждое состояние объектов в любой данный момент строго и необходимо обусловлено совокупностью взаимодействий в предшествующий момент (начальным состоянием). На языке принципа причинности это утверждение о равенстве, тождественности причин и следствий: нет ничего в причине, чего не было в действии. Часто этот тезис критикуют как метафизический, противоречащий принципу развития. С этим можно согласиться только отчасти, если рассматривать тождественность причин и следствий как абсолютную. Но это же

утверждение можно рассматривать как своеобразную формулировку законов сохранения, а тождественность — как относительное равенство причин и следствий. В таком плане понятие однозначности характеризует чрезвычайно широкую закономерность, присущую объективным процессам внешнего мира.

В гносеологическом плане идея однозначности получила несколько одностороннюю интерпретацию, а именно как утверждение о возможности абсолютно точно в неограниченном временном интервале предсказать любое последующее состояние системы, зная ее начальное состояние. Такая интерпретация однозначности получила, как известно, название лапласовского детерминизма. Не останавливаясь на критике этого, безусловно, одностороннего представления, отметим лишь, что приблизительно в таком плане оно утвердилось в классической механике и получило конкретное выражение в понятии динамической закономерности. Таким образом, динамическая закономерность в классической физике выступает весьма общей формой выражения необходимых однозначных связей состояний объектов, в том числе и причинных связей.

Естественно, что однозначность на языке классической механики с самого начала выражала лишь внешнее тождество связанных состояний системы, что обусловлено спецификой самой науки, абстрагирующей от структуры взаимодействующих объектов.

Еще одно понятие, которому так же, как и идее однозначности, суждено было стать объектом обсуждения, — это понятие линейного взаимодействия. Линейность взаимодействия — необходимая предпосылка механического принципа причинности. Буквальный смысл линейности существенным образом связывается с возможностями выразить причинную связь на языке определенной математической модели в форме дифференциальных уравнений. Известно также, что неперенное условие линейности — действие правила аддитивности. Однако впоследствии понятие линейности, как и однозначности, претерпело некоторые изменения и широко употребляется за пределами математики и механики.

Классическая электродинамика внесла некоторые изменения в причинное описание физических явлений, выразив механизм причинения на языке близкодействия. Понятие силы в неявном виде все-таки сохранилось.



Теория относительности дала классическую формулировку принципа причинности, четко выразив, что допускает и что запрещает причинное описание. В квантовой механике, по общепризнанному мнению<sup>3</sup>, принцип причинности получил более всестороннее и углубленное выражение, чем в физике макромира. Это проявилось в том, что некоторые категории претерпели существенное изменение (например, понятие силы получило обобщенное выражение в категории взаимодействия), некоторые утратили свое значение совершенно, а также появился ряд новых категорий. К числу последних относятся понятия квант действия как выражение прерывности причинной связи и вероятность, характеризующая статистичность взаимодействия квантовых объектов, их особую корпускулярно-волновую природу. Последнее обусловило отказ от идеи однозначности, выраженной в форме динамических законов, и переход к описанию причинных взаимодействий в форме статистических законов. Существенное значение в причинном описании приобрели понятия симметрии и асимметрии.

Как обобщение специфики причинного взаимодействия в физике микромира и его математического описания возник термин «микропричинность» и соответственно «принцип микропричинности».

В системе химических наук, изучающих структурный уровень материи, связанный с особенностями химического взаимодействия, ни принцип причинности в целом, ни отдельные его аспекты не выступают объектом дискуссий. Поэтому, вероятно, в работах по философским проблемам химии проблема причинности также не анализируется.

Вместе с тем не вызывает сомнения, что теоретическая химия должна иметь специфический категориальный аппарат для описания причинных явлений. В частности, в основе всех химических изменений лежит понятие взаимодействия как активного агента. В этом смысле критический упрек сторонников вероятностной причинности<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Вопросы причинности в квантовой механике. М., 1955, 335 с.; Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики. — В кн.: Философские вопросы современной физики. М., 1959, с. 212—236; Блохинцев Д. И. Пространство и время в микромире. М., 1970, 260 с.

<sup>4</sup> Философия естествознания. М., 1966, с. 212.

по поводу того, что было бы натяжкой описывать гомеопольярную химическую связь в молекуле  $H_2$  в терминах «производства» одного явления другим, верен лишь отчасти, если под причинной связью подразумевать одностороннее воздействие одного явления на другое. Но если в качестве активного агента брать взаимодействие, то наличие производительности в химических реакциях неизбежно. По-видимому, отсутствие споров по данному вопросу в самих химических науках и обусловлено в первую очередь тем, что наличие производительности представляется как само собой разумеющееся.

Какие же категории участвуют в причинном описании химических процессов?

Любое изменение химических свойств возникает лишь в результате взаимодействия. Поскольку химический структурный уровень материи представляется как сложный и многоступенчатый, то естественно, что за каждый структурный уровень ответственны виды химических взаимодействий (ядерно-электронный, атомный, молекулярный и т. д.). Нас в данном случае интересуют более общие понятия, на языке которых выражается причинная связь всех химических процессов независимо от уровня их организации. Прежде всего две наиболее общие химические категории составляют основание причинного описания:

1) химические взаимодействия как неперенное условие и активный агент любого изменения на любом структурном уровне химической формы материи;

2) химическая связь как выражение результата следствия взаимодействия атомов. Согласно современным представлениям, химическая связь образуется в результате перераспределения валентных электронов взаимодействующих атомов (перехода электронов от одного атома к другому или образования общих пар электронов).

Различны типы взаимодействия и формы химической связи: ковалентной, ионной, донорно-акцепторной, водородной и других, которые, в свою очередь, ответственны за образование тех или иных свойств химических веществ и их структуру.

Механизм процесса причинения выражается с помощью категории химической реакции. При любой химической реакции происходит перераспределение электронов во взаимодействующих атомах, изменение пространственно-

го расположения атомов и старых связей. Иными словами, химическая реакция есть форма, в которой происходит переход от одного качества к другому. Сокращенно химические реакции записываются в виде химических уравнений, отражающих взаимодействие исходных веществ и его результаты — продукты реакции. В этом смысле химическое уравнение является своеобразной моделью причинных связей.

Существенную конкретизацию причинное описание получает в понятиях «энергия активации», «активированный комплекс», от которых зависит скорость и характер протекания реакции. Вместе с тем понятие энергии активации представляется своеобразной мерой, определяющей энергетические возможности и направление той или иной реакции.

Содержание принципа причинности было бы неполным без понятия прямых и обратных реакций. Последнее выражает возможность возвращения к исходным продуктам при наличии определенных условий, важнейшее из которых — закон сохранения вещества. На языке причинного описания обратные (или обратимые) реакции выражают относительный характер деления явлений на причины и следствия. Следствие (продукт реакции) может при соответствующих обстоятельствах стать причиной и привести к возникновению исходных веществ.

При анализе понятийного аппарата принципа причинности в химии следует учитывать так же, как и в физике, разнообразие структурных уровней химических взаимодействий, их неравноценность с точки зрения категории сложности. Это особенно важно для системы химических наук, которые являются своего рода стыковыми, изучающими механизм перехода от неживой природы к живой. Поэтому естественно, что для ряда химических наук (органическая химия и др.), которые ближе стоят к биологии, категориальный аппарат причинного описания должен быть богаче и сложнее, в частности он должен отразить свойства автокатализа, способность ряда химических веществ совмещать в себе функции катализаторов и реагентов и т. д.

В системе биологических наук важнейшей категорией, с которой существенно связано причинное описание живых систем, выступает понятие активности, отражающее направленное изменение организмов в их приспособлении

к условиям внешней среды. Понятие активности шире понятия причинения, но, безусловно, включает в себя в качестве основания положение о причинном взаимодействии как основе жизнедеятельности и развития видов, о причине как производительном, порождающем начале. Целесообразность живых организмов считается своеобразной формой выражения причинности в живой природе. Известны взаимоисключающие крайние точки зрения на целесообразность: одна с креном к механизму, другая — к телеологии. Современная кибернетика дала детальное естественнонаучное объяснение принципа целесообразности, начало которому положил, как известно, Ч. Дарвин.

Кибернетика разработала новые категории, имеющие фундаментальное значение для причинного описания живых систем и выяснения механизма целесообразности. Это прежде всего категории обратной связи и информации. Рассмотрим коротко каждую из них в аспекте нашей темы.

Категория обратной связи, по общепризнанному мнению <sup>5</sup>, есть своеобразное отражение циклической причинной связи, регулирующей жизнедеятельность живых систем. В широком смысле слова понятие обратной связи употребляется для обозначения конкретного взаимодействия (взаимная активность взаимодействующих компонентов). Для выражения специфики взаимодействия живых систем на отмеченное понятие обратной связи налагаются дополнительные условия, в частности функции информации, управления, организации, которые являются основой функционирования самоорганизующихся, самоуправляемых систем. В этом смысле понятие (или принцип) обратной связи выражает более сложный механизм причинения по сравнению с прямыми причинными цепями, ибо здесь предполагается направленная активность причины и следствия, которая определяется программой, или кодовой моделью будущих действий, обуславливающей существование системы или ее изменение в определенном направлении.

Категория информации также выполняет важную функцию в причинном описании явлений, поскольку перенос структуры от причины к следствию имеет всегда информа-

---

<sup>5</sup> Фролов И. Т. Органический детерминизм и телеология. — «Вопросы философии», 1970, № 19, с. 36—48.

ционный аспект. В этом смысле понятие информации выражает один из существенных моментов динамики причинения, от полноты которого зависит глубина знания и точность предсказания событий.

В связи с категорией информации получают дальнейшую конкретизацию такие существенные компоненты принципа причинности, как понятие однозначности и асимметрии<sup>6</sup>. С точки зрения информационно-характеристики однозначная причинная связь имеет место, когда в причине содержится полная информация о следствии. Когда же информация неполная, понятие однозначности по отношению к причинно-следственной связи не работает. Считают, что в этом случае между причиной и следствием осуществляется многозначная связь, которая на языке физики получила название вероятностной причинности, а в биологии — статистической причинности. Мы не согласны с самой концепцией вероятностной причинности, но нас в данном случае интересует не столько эта концепция, сколько соотношение понятий однозначной и многозначной связи. Их различие представляется в данном случае лишь в гносеологическом плане — степенью полноты информации, а поскольку полнота информации — величина относительная, то и различие между однозначной и многозначной связью очень условно. Вместе с тем вряд ли можно найти достаточно устойчивый критерий, с помощью которого всегда можно определить, какая информация полная, а какая нет. Однако попытка выразить однозначную связь через информацию нам представляется бесполезной, ибо понятие однозначности приобретает конкретно-содержательный характер по сравнению с идеей однозначности в классической механике.

Различие информационного содержания причины и следствия можно рассматривать как один из аспектов асимметричности причинно-следственной связи, дополняющий асимметрию во времени, свойственную всем формам причинения.

Особое место занимает принцип причинности в математике. Здесь, как известно, причинное описание осуществ-

---

<sup>6</sup> Урсул А. Д. Природа информации. М., 1968, 287 с. Нам кажется, что мысль автора о тесной связи однозначной и многозначной форм причинности с характером и полнотой информации весьма интересна с точки зрения относительности их противопоставления.

ляется на языке функциональной связи. Сложность ситуации состоит в том, что понятие функциональной зависимости представляется чрезвычайно общим, выражающим помимо причинных связей ряд других корреляций. Широкое использование математического моделирования в разных науках, особенно в физике, дало возможность выразить на языке математических функций широкий круг причинных связей. В чем особенность этой формы причинного описания в математике? Прежде всего, это одна из немногих специальных наук, где идея производительности не выражена непосредственно. Функциональная связь констатирует лишь наличие взаимного соответствия переменных величин, так что изменение одной из них ведет к определенному изменению другой. Иными словами, процесс причинения предполагается, но не включается в математическую модель. По-видимому, это обусловлено спецификой математического моделирования, выражающего лишь количественный аспект разнообразных связей объективного мира, в то время как процесс причинения — это прежде всего порождение чего-то качественно определенного, специфического.

Не случайно, что асимметричность во времени функциональной связью не учитывается, ибо временная характеристика — это прежде всего качественная характеристика процесса развития.

Иными словами, математическая функция как чрезвычайно общая модель применительно к причинным связям может выразить регулярность связи, необходимую зависимость одних компонентов отношения от других и точную количественную форму этого отношения. Математическая модель приобретает познавательное значение лишь при соотнесении с объективным аналогом, т. е. той или иной конкретной формой причинной связи, а поэтому не может заменить традиционного причинного описания, выражаемого категориальным аппаратом специальной науки даже в том случае, когда этот аппарат подвергается существенной математизации.

Математическая модель может быть представлена как самостоятельная лишь на уровне математического знания, поскольку ее аналогом выступают абстрактные величины, являющиеся объектом исследования математики, в естественных науках она может иметь содержательное значение лишь в соотнесении с моделями и принципами этих наук.

Относительно математической функции можно сказать то же самое: она может описывать причинные связи лишь тогда, когда входит в содержание принципа причинности, сформулированного для данной теории в качестве ее необходимого элемента. Как и все другие компоненты принципа причинности, математическая модель может работать как правило отбора, допускающего или запрещающего ту или иную форму математического описания, например запрещающего такие модели, которые давали бы бесконечные значения для конечных физических величин.

Именно к такому заключению приходит Ю. М. Ломсадзе<sup>7</sup>, обстоятельно проанализировав возможности математического выражения принципа микропричинности. Так, рассматривая три различные математические формулировки, он выделяет одну из них в качестве основной, поскольку она наиболее полно охватывает *физическое* содержание принципа причинности, не включая ничего лишнего<sup>8</sup>, но даже и эта формулировка не может быть принята как достаточно полная и единственная.

Отсюда следует, что математическое моделирование причинных связей, хотя и занимает в силу своей количественной всеобщности особое место в системе естественных наук, все-таки не может заменить собою частнонаучных форм причинного описания. Оно может работать лишь вместе с ними и на их основе.

Мы довольно кратко рассмотрели узловые понятия, составляющие основание причинного описания в различных естественных науках. Теперь остается сопоставить категориальный аппарат частнонаучных и философского принципов причинности, что позволит более детально представить их различие и единство, а также устранить неопределенности, возникающие в результате нестрогого употребления терминов. Мы будем проводить это сопоставление в том же порядке, как изложили узловые категории философского принципа причинности в начале статьи.

Исходная сетка категорий принципа причинности (движение — взаимодействие — развитие) входит в содержание всех частнонаучных принципов с той лишь разницей, что

---

<sup>7</sup> Ломсадзе Ю. М. О проблеме причинности в современной теории частиц. — В кн.: Гносеологические аспекты измерений. Киев, 1968, с. 24—36.

<sup>8</sup> Там же, с. 34.

каждый из них включает в себя те формы взаимодействий, которые характерны для изучаемого данной наукой структурного уровня материи. Философская категория взаимодействия синтезирует все естественнонаучные аспекты, выделяя общие черты и исключая частные. Например, запрещение сверхсветовых скоростей не имеет смысла для взаимодействия живых систем, социальных процессов, где взаимодействия совершаются со значительно меньшими скоростями. Поэтому было бы ошибочным включать эту закономерность частнонаучного порядка как всеобщую в характеристику взаимодействия на философском уровне.

Спорно также положение о всеобщности информационных свойств у взаимодействующих систем. Некоторые авторы<sup>9</sup> считают, что информационные свойства присущи всем системам живой и неживой природы, другие полагают, что лишь самоорганизующиеся и самоуправляемые системы обладают способностью передавать информацию.

В данном случае для нас неважно, какая точка зрения окажется верной. Интерес представляет другая сторона этого вопроса: как свойство, раскрытое специальными науками, по мере его изучения получает статус всеобщности и становится объектом исследования во всех науках, а также и в философии? Какие при этом черты остаются частными и каков критерий их классификации?

Логично предположить, опираясь на данные науки, что детальное изучение сущности информации имеет тенденцию представить ее всеобщим свойством всякого взаимодействия, поскольку всякий взаимодействующий объект характеризуется определенным типом разнообразия и, стало быть, обладает определенной информацией. Если принять эту точку зрения, то причинную связь как определенную форму взаимодействия также следует рассматривать как информационную связь не только применительно к живой природе и обществу, но и к неживой природе. Тогда правомерно ставить вопрос об информации как философской категории и о включении ее в содержание принципа причинности. При этом следует четко разграничить частнонаучный и философский аспекты самого понятия информации, которые, естественно, не могут полностью совпадать.

---

<sup>9</sup> Бриллюэн Л. Л. Научная неопределенность и информация. М., 1966, 271 с.; Урсул А. Д. Природа информации.



Генетический аспект принципа причинности выступает объектом дискуссии как в самой философии, так и в ряде естественных наук, особенно в физике.

Как известно, основное возражение против идеи производительности связывают с антропоморфностью самого понятия и, в силу этого, с несовместимостью его с современным понятийным аппаратом науки. Напомним, что в философской литературе эти аргументы часто встречаются в работах известных представителей неопозитивизма: Рассела Б., Франка Ф., Карнапа, Хаттена и др. При этом критика всегда связывается со ссылкой на современную физику (теоретическую физику) и математику, где идея производительности не обнаруживается столь отчетливо, как в повседневном опыте.

Мы попытаемся дать анализ понятия производительности с точки зрения его антропоморфности и всеобщности.

С общепhilosophической точки зрения идея производительности выражает конкретную форму активности материи, т. е. способность материальных систем в процессе взаимодействия производить различного вида изменения. Поскольку понятие изменения, в свою очередь, составляет содержание движения, то термины «активность», «производительность», являясь выражением определенных аспектов понятия движения, не более антропоморфны, чем последнее.

Рудольф Карнап отмечал<sup>10</sup>, что сам термин причинения предполагает наличие намерения, субъективного стремления что-то делать, творить, порождать, а это искажает сущность взаимодействия в природе, где отсутствует фактор осознанности. Конечно, перечисленные понятия в какой-то степени антропоморфны, но этим недостатком страдает почти весь понятийный аппарат науки. В частности, понятия связи состояний и функциональной зависимости, предлагаемые взамен термина производительности, не менее антропоморфны: термин «состояние» может выражать внутреннюю определенность человека — состояние здоровья, психическое состояние, умственную напряженность; понятие функции также многопланово, в частности оно употребляется для обозначения человеческой деятель-

---

<sup>10</sup> Карнап Р. Философские основания физики, с. 256—260.

ности, должностного назначения, определенного вида обязанностей. По-видимому, так обстоит дело с большинством научных понятий, и в этом нет особой беды, ибо всякое познание есть прежде всего человеческое познание, проведение аналогий между тем, что известно и неизвестно, между видами человеческой деятельности и формами изменения исследуемого объекта.

Понятие производительности в философии также выступает своеобразным аналогом различных видов активности, изучаемых различными науками. Таковы понятия: силового воздействия в классической физике; напряженности в электродинамике; рождения пар частиц, их взаимного превращения как результата взаимодействия в физике микромира; реакционной способности элементов, химической реакции как проявления этой способности веществ во взаимодействии; активности организма как выражения жизнедеятельности самоорганизующихся, самовоспроизводящихся систем в биологии; управления, организации, информации в кибернетике. Таким образом, термин «производительность» имеет непосредственный аналог во всех современных научных теориях и видах практической деятельности человека, понятийный аппарат которых формируется на основе научно-технического мышления, а не на остатках донаучного, элементарного мышления первобытного человека. Поскольку философия представляется наукой о всеобщем, в ее понятийном аппарате должны отражаться не только законы познания, но и поведение такой сложной системы, как человеческое общество.

Термин «производительность» нельзя убрать даже из ряда специальных наук, где он в явном виде не всегда обнаруживается, в частности из теоретической физики, где преобладающими моделями физических взаимодействий выступают математические модели.

Мы уже рассматривали черты математических каузальных моделей, особенность которых состоит в том, что они приобретают содержательность, самостоятельное значение лишь при соотнесении с конкретными физическими свойствами физической системы. Поэтому имеет смысл представить математические модели как особую форму отражения причинных связей на языке математики, а форма отражения, как и формулировка законов, не обязательно должна включать свойство производительности непосредственно, тем более, что последнее помимо количественного

аспекта включает качественные черты, которые не фиксируются в математической модели.

Таким образом, понятие производительности, составляющее сущность философского принципа причинности, непосредственно отражает фундаментальное свойство всех материальных систем — свойство активности, которое, в свою очередь, служит своеобразным выражением неуничтожимости материи. По объему и содержанию это философское понятие отличается от своих аналогов в специальных научных теориях тем, что, во-первых, отвлекается от конкретной формы активности (сила, напряженность, контакт и т. д.), а во-вторых, содержит в себе в конкретной форме идею неуничтожимости материи в целом.

Рассмотрим следующее фундаментальное понятие принципа причинности — положение о необходимой связи причины и следствия. Оно также выступает объектом дискуссии в своей конкретной формулировке как идея однозначности. Часто термин однозначной причинности употребляется и на уровне философского знания как синоним необходимости. Здесь мы опять встречаемся с тем случаем, когда частнонаучное понятие употребляется на уровне философской категории, хотя само по себе отождествление необходимости и однозначности нам представляется неверным. Необходимость как философская категория — сложное понятие, включающее идею закономерности, существенной связи явлений, представляющих собой единство качественных и количественных характеристик.

Утверждение о необходимом характере связи причины и следствия и означает, что при определенных условиях действия причины неизбежно и закономерно возникает следствие со строго определенными качественными признаками. Поскольку каждое качество предполагает (в рамках допускаемой им меры) известное количественное разнообразие, то допустимо также количественное разнообразие следствий, возникающих в результате действия одной и той же причины, причем качество остается одним и строго определенным. Например, из множества семян произрастает определенный вид растений, положим, береза или сосна, но с различными индивидуальными количественными особенностями. Аналогичную интерпретацию можно дать опыту с дифракцией электронов в квантовой механике: поочередно летящие электроны с необходимостью вызывают одно и то же следствие — вспышку на экране, но в

рамках определенного количественного разнообразия, связанного с попаданием в разные точки экрана.

Таким образом, понятия однозначной и многозначной связи представляют собой лишь различные количественные аспекты одной и той же необходимой связи, а поэтому их нельзя ни противопоставить последней, ни полностью отождествлять (однозначность и необходимость). Отождествление однозначности и необходимости тем более недопустимо, что сам термин однозначность употребляется в ряде научных теорий (кроме физики) очень нестрого. Так, в биологии в понятие однозначной и многозначной причинности вкладывается онтологический смысл: наличие в генетической цепи развития организма полного воспроизведения свойств исходных форм (однозначная связь) или нарушение этой строгой повторяемости за счет появления новых признаков и исчезновения старых (многозначная связь).

В кибернетике понятия однозначной и многозначной причинности рассматриваются в зависимости от полноты информации, которую содержит причина о следствии.

Таким образом, утверждение философского принципа причинности о необходимой связи причины и следствия оказывается более строгим и четким, чем понятие однозначности. Что касается понятий однозначной и вероятностной причинности, используемых рядом наук, и особенно физикой, то их можно рассматривать лишь как модели причинного описания, входящие в содержание принципа причинности той или иной специальной теории, но не философии. Поскольку на уровне философского знания понятие необходимости включает в себя однозначную и многозначную связи как разные аспекты, поэтому нет никакой надобности проводить в философии дифференциацию, представляющую эти аспекты как самостоятельные или выходящие за рамки необходимости.

Понятие обратной связи как выражение взаимноактивного, хотя и неравнозначного, воздействия причины и следствия не вызывает больших разногласий, но все-таки нуждается в уточнении. Дело в том, что само по себе понятие обратной связи употребляется давно и в различных науках, но строго научное обоснование, существенно отличающееся от обычного употребления, оно получило в кибернетике, автоматике, радиотехнике. В философии это

понятие часто используется в широком и в узком смысле, что ведет иногда к путанице.

Вместе с тем в плане специальных наук понятие обратной связи нельзя свести к понятию причинной, ибо, во-первых, оно включает в себя целую цепь причинения, а во-вторых, оно шире и богаче по содержанию, нежели понятие причинности. Поэтому принцип обратной связи представляется как самостоятельный принцип, включающий в себя помимо причинности понятия управления, регулирования, организации, информации и т. д. Кроме того, следует учитывать, что даже в различных специальных научных теориях — кибернетике, автоматике, радиотехнике — понятие обратной связи неодинаково, оно имеет разную научную нагрузку. Поэтому, естественно, нельзя экстраполировать некоторую конкретную интерпретацию обратной связи на все области и включать ее в содержание философского принципа причинности.

Мы затрудняемся предложить какой-либо вариант в решении данного вопроса, ибо если предпочесть более широкое понятие обратной связи (как взаимное воздействие, или взаимодействие)<sup>11</sup>, то утрачивается специфическое содержание самого понятия «обратная связь», а то, что остается, вполне может быть выражено термином «взаимодействие». Вместе с тем сказать, что причинная связь осуществляется по принципу обратной связи, верно только для определенного вида взаимодействующих систем. По всей вероятности, здесь необходимо детальное исследование и сопоставление различных вариантов, прежде чем включать этот аспект в философское содержание принципа причинности.

В содержание принципа причинности прочно вошло понятие асимметрии, которое фигурирует почти во всех научных теориях. В частнонаучном плане асимметрия представляется во множестве аспектов: пространственной ориентации, соотношении структур, направленности изменения, передачи информации и т. д. Общим для всех этих аспектов оказывается то, что свойство асимметрии всегда характеризует различие, разнородность, нетождественность явлений. Именно на основании этой общности в ряде

---

<sup>11</sup> Клаус Г. Кибернетика и философия. М., 1963, с. 170. Автор считает, что на уровне философии обратная связь тождественна взаимодействию.

философских работ<sup>12</sup> предлагается включить понятия асимметрии и его антипода — симметрии — в число философских категорий.

Мы затрудняемся категорически высказаться «за» или «против» этого предложения, ибо с точки зрения всеобщности эти понятия, безусловно, подходят. Но возникает некоторое сомнение: достаточно ли они специфичны на философском уровне, не дублируют ли они категорий тождества и различия? Пока что отчетливо представляется лишь один факт: понятие асимметрии значительно удобнее, компактнее, чем другие, выражает специфику причинности, связанную с нетождественностью структур причины и следствия, однонаправленностью изменения, нелинейностью. И поэтому независимо от того, будет ли эта категория принята как философская, ее можно включить как общее понятие в содержание принципа причинности.

Важным моментом причинности выступает положение о всеобщности причинной связи и о всеобщности характеризующих ее свойств. Оно существенно отличает философский аспект принципа причинности от частнонаучных форм его выражения. Это отличие состоит в том, что частнонаучный аспект оперирует ограниченным понятием общности и опирается в своих доказательствах на частные или относительно общие законы. На уровне философии создается возможность на основании синтеза множества частных аргументов получить дополнительные логические доказательства той или иной идеи, придав ей всеобщий характер. Так, в основу философского принципа причинности положена идея неуничтожимости и неисчерпаемости материи, что в общем плане ни в одной специальной теории не содержится, но на что опирается каждая научная теория как на исходное положение.

Принцип причинности включает в себя такие категории, которые являются всеобщими в количественном и качественном плане. Иными словами, каждая категория принципа причинности имеет аналог в категориальном аппарате частных наук. Этот аналог, как правило, выражает лишь один аспект всеобщего свойства, поэтому следует очень осторожно оперировать частными понятиями и не торопиться возводить их в ранг всеобщих.

---

<sup>12</sup> Готт В. С. Симметрия и асимметрия. — В кн.: Некоторые категории диалектики. Ростов, 1963, с. 48—57.

Содержание философского принципа относительно устойчиво по сравнению с частными его формулировками, т. е. с естественнонаучным аспектом, что, конечно, не препятствует обновлению категориального аппарата самого принципа. Однако нельзя забывать, что не всякое обновление оправдано. Простое включение новых терминов без четкого их осмысления с точки зрения специфики предмета философии может лишить принцип причинности его всеобщности, и он перестанет работать как общеметодологический принцип, хотя по форме будет состоять из новых категорий.

## РАЗДЕЛ II. ПРОБЛЕМЫ ДЕТЕРМИНИЗМА В ФИЗИКЕ

---

А. Поликаров (НРБ)

### ДЕТЕРМИНИЗМ И ИНДЕТЕРМИНИЗМ В ФИЗИКЕ

С появлением квантовой механики мнения физиков по вопросу о детерминизме резко разошлись. В новой ситуации некоторые физики (Гейзенберг, Борн, Нейман, Дирак, Йордан) считают, что детерминизм опровергнут. Другие же (Эйнштейн, Планк, Шредингер, де Бройль), наоборот, опровергают индетерминизм и продолжают придерживаться принципа детерминизма. Как объяснить существование столь разных концепций при одних и тех же эмпирических данных и одной и той же теории? Очевидно, что речь идет о разных толкованиях, имеются в виду (явно или неявно) разные концепции детерминизма (пока не делается разницы между детерминизмом и концепцией причинности)<sup>1</sup>. Вместе с тем используются разные аргументы — преимущественно эмпирические или преимущественно теоретические, в том числе и философские. В отношении последних речь идет не только о конфронтации между материалистической и идеалистической постановкой вопроса, ибо в рамках этих основных философских направлений существует контroversия детерминизма и индетерминизма. Проблема состоит в переходе от явления к сущности, или в субординации фактов: означает ли детерминизм частный случай

---

<sup>1</sup> См. концепции М. Шлика, П. Дирака, А. Папа (срав. Поликаров А. Относительность и кванты. М., 1966, с. 396; Он же. Методология научного познания. Ч. I. София, 1972, с. 148—149).



индетерминизма, приблизительное (мнимое) отражение действительности соответственно ограниченной сфере действительности или же, наоборот, индетерминизм есть только проявление более глубокого детерминизма. Эта проблема связана с вопросом о том, чему следует отдать приоритет — эмпирическим данным или теории, непосредственно известному или исследовательской программе. Как видно из схемы П. Феврие, различаются два типа детерминизма и два — индетерминизма (фактический и в принципе), которые сведены к трем разновидностям: кажущийся детерминизм, скрытый детерминизм и индетерминизм по существу<sup>2</sup>:

Детерминизм	$\left\{ \begin{array}{l} \text{фактический} \\ \text{в принципе} \end{array} \right\}$	$\begin{array}{l} \Rightarrow \text{кажущийся детерминизм} \\ \Rightarrow \text{скрытый детерминизм} \end{array}$
Индетерминизм	$\left\{ \begin{array}{l} \text{фактический} \\ \text{в принципе} \end{array} \right\}$	$\Rightarrow \text{индетерминизм по существу}$

Уже в древности против концепции (нашедшей отражение в произведениях Гомера) произвольного вмешательства богов в судьбу людей (крайний индетерминизм) сформировался детерминистический взгляд (Гераклит, Демокрит). В противовес строгой детерминированности у Демокрита, Эпикур допускает и придает большое значение первичным (на современном языке «статистическим») отклонениям «атомов». Аналогичным образом осуществляется переход от учения Аристотеля о причинности к учению классической механики (Галилей, Ньютон), который означает сужение мнимой области значимости старой концепции и фактическое расширение действительной значимости новой концепции. Впоследствии за произвольными на первый взгляд отклонениями определенного класса явлений были установлены статистические закономерности. Если случайность отрицает необходимость, то законы случайности, как утверждает Ф. Казель, выступают, в свою очередь, отрицанием отрицания<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Fevrier P. *Determinisme et indeterminisme*. P., 1955, p. 10.

<sup>3</sup> Cazelle Ph., *La Nouvelle Critique*. Mars 1971, p. 42; Bitsakis E., *Physique contemporaine et materialisme dialectique*. P., 1973, p. 171.

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМЫ ОТНОШЕНИЯ ДЕТЕРМИНИЗМА И ИНДЕТЕРМИНИЗМА

Обычно считают, что определенная концепция детерминизма формируется в рамках классической физики (механики). В дальнейшем при возникновении новых физических дисциплин (статистической физики, квантовой механики, квантовой теории поля) концепция подвергается проверке, т. е. либо подтверждается, либо опровергается в этих новых областях (в данном случае предполагается эмпирический характер концепции). Опровержение ее означает переход к противоположной, или индетерминистической, концепции и ограничение значимости первоначальной концепции. Основная проблема состоит в том, является ли значимость детерминизма всеобщей или ограниченной. Всеобщая значимость детерминизма означает, что данная его формулировка *D* находит подтверждение во всех областях (теориях) физики и применима к любой новой области, т. е. в теории поля, статистической физике, квантовой физике и т. д. имеет место та же детерминистическая структура, что и в области классической динамики. Мы, однако, не можем быть уверены в подобном *progressus in infinitum*, так как не существует гарантий, что во всякой новой области детерминизм (в своем первоначальном виде) обязательно будет подтвержден. Вот почему особенно интересен случай, когда некоторая теоретическая система не входит в принятую детерминистическую схему.

**Разнообразие детерминистических концепций.** На самом деле в рамках такого общего понятия, как детерминизм, неизбежно существует несколько различных его понятий. В классической физике мы отметим следующие: *D<sub>a</sub>* — интуитивное (рабочее) понятие о строгой или однозначной определенности протекания явлений данными факторами, соответственно зависимость одних величин от других, обладающих при этом широкой значимостью (для целого класса явлений). Детерминизм в физике проявляется на уровне: а) эмпирических исследований, когда устанавливается зависимость, по которой изменяются определенные величины (ха-

рактизирующие данное явление) во времени (эмпирические законы); б) теоретических исследований, когда устанавливаются общие законы или уравнения движения в данной области и, в более общем виде, детерминистическая структура физических теорий;

$D_b$  — кинематическое понятие, дающее описание данного движения таким образом, что устанавливается связь между его последовательными состояниями, и позволяющее предвидеть будущее состояние тела или системы <sup>4</sup>;

$D_c$  — ньютоновское (динамическое) понятие, при котором в тех же целях используется уравнение динамики, т. е. однозначная последовательность в состоянии движения объясняется действием определенных сил;

$D_d$  — понятие о действии на расстоянии (в рамках динамики Ньютона), тесно примыкающее к детерминизму;

$D_e$  — лапласовское (сингуляристическое, холистическое) понятие, предполагающее предопределенность событий во Вселенной (т. е. их подчинение законам механики, которые познаваемы), — так называемый «лапласовский демон», которому известны координаты и импульсы всех частичек и который в состоянии решить систему всех уравнений;

$D_f$  — максвелловское понятие, согласно которому разница между двумя событиями не зависит от разницы моментов времени или мест, когда и где они происходят, а только от разницы сущности, конфигурации или движения рассматриваемых тел <sup>5</sup>;

$D_g$  — понятие о непосредственном пространственном контакте, или смежности (contiguity), причины и действия, предполагающее непрерывность последовательности событий в данной детерминистической цепи <sup>6</sup>;

---

<sup>4</sup> Born M. Natural Philosophy of Cause and Chance. N. Y., 1964, p. 9.

<sup>5</sup> Максвелл К. Материя и движение. М., 1924, с. 11.

<sup>6</sup> Born M. Natural Philosophy of Cause and Chance, Feigl H. Notes on Causality. — In: Feigl H. and Brodbeck M. (eds.). Readings on the Philosophy of Science. N. Y., 1953.

$D_h$  — статистическое понятие как детерминированность статистических средних величин<sup>7</sup>;

$D_j$  — «двунаправленная» детерминированность прошлым и будущим (Уилер, Фейнман)<sup>8</sup>.

Следует отметить, что названные (физические) концепции детерминизма не изолированы от философской концепции и в общем являются философско-физическими. Типична в этом отношении концепция Лапласа, в которой механицизм находит свое крайнее выражение. Однако он пронизывает всю классическую механику и относится также (хотя и в неявном виде) к другим концепциям. Кроме того (в философском отношении), эти понятия можно толковать в духе эмпиризма или априоризма, конвенционализма или же как условно (функционально) априорные. Критика подобного рода концепций происходит опять-таки на философской основе (Юм и др.).

Разные детерминистические понятия можно рассматривать в соотношении перехода (исторически, логически). Так,  $D_j$  охватывает  $D_a$ ,  $D_b$ ,  $D_c$ ,  $D_e$ , а  $D_h$  есть более общее понятие, чем  $D_c$ . Последнее можно рассматривать как вариант  $D_b$ , а  $D_e$  представляет собой экстраполяцию  $D_c$  для бесконечного множества материальных точек, т. е. можно полагать, что в общую причину каждого детерминированного события входит прямо или косвенно все прошлое Вселенной. При этом можно отметить неудовлетворительность  $D_d$  и  $D_c$ , а также ограниченную значимость  $D_c$ . Если какая-либо концепция ( $D_x$ ) не находит подтверждения, то научная мысль обнаруживает тенденцию к другому, более общему взгляду ( $D_y$ ).

**Возможность изменения физического детерминизма.** Существующие концепции ( $D_i$ ) периодически подвергаются изменению или переформулировке ( $D_i^*$ ) с тем, чтобы они отвечали новым ситуациям. Так, наряду с упомяну-

---

<sup>7</sup> Exner E. Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften. Leipzig — Wien, 1922, Kap. IV; Good I. J. A Causal Calculus.—«Brit. J. Phil. Sci.», 1960—1961, vol. 11, p. 305 (1961—1962), vol. 12, p. 43; Сунпес П. Вероятностная теория причинности.—«Вопросы философии», 1972, № 4, с. 90—102.

<sup>8</sup> Boodin J. E. Revolution in Metaphysics and in Science.—«Phil. Sci.» (1938), vol. 5, p. 269; Berenda S. W. The Determination of Past by Future Events.—«Phil. Sci.» (1947), vol. 14, p. 13; Good I. J. Two-way Determination.—In: Good I. J. (ed.) The Scientist speculates. L., 1962, p. 314.

тыми уже детерминистическими понятиями можно наметить еще некоторые, а именно:

$D_a^*$  — совокупность динамических и количественных законов<sup>9</sup>;

$D_b^*$  — функция Грина о распространении сигнала из одной точки в другую<sup>10</sup>;

$D_c^*$  — плюралистическое (дистрибутивное) понятие, согласно которому есть события, вызванные только ограниченной частью прошлого Вселенной. Нагель, например, определяет детерминизм как зависимость изменения в состоянии систем от их внутренней структуры, внешних условий и начального состояния<sup>11</sup>;

$D_c^{**}$  — задача Коши, или теорема математической теории гиперболических дифференциальных уравнений об однозначной связи значений функции движения и ее производной от их значений в некий начальный момент<sup>12</sup>. Отметим, что, говоря о несостоятельности детерминизма, Гейзенберг имеет в виду это понятие (закон причинности), а именно что будущее состояние может быть вычислено на основе нынешнего;

$D_c^{***}$  — однозначная зависимость (в теории поля) величин состояния (обладающих физическим смыслом) от их значений в первоначальный момент при условии использования так называемых собственных координат<sup>13</sup>;

$D_e^*$  — крайний вариант лапласовского детерминизма — для конечной Вселенной, т. е. при крайнем числе материальных точек (или системе уравнений)<sup>14</sup>;

---

<sup>9</sup> Feigl H. Notes on Causality, p. 409; Stegmüller W. Das Problem der Kausalität.— In: Probleme der Wissenschaftstheorie. Wien, 1960.

<sup>10</sup> Блохинцев Д. И. О причинности в современной теории поля.— В кн.: Современный детерминизм. Законы природы. М., 1973, с. 365—366.

<sup>11</sup> Nagel E. Determinism and Development.— In: The Concept of Development. Minneapolis, 1957, p. 17.

<sup>12</sup> Иордан П. Причинность и статистика в современной физике.— «Успехи физич. наук», 1927, т. 7, с. 320.

<sup>13</sup> Hilbert D. Gesammelte Abhandlungen. Bd. III. Berlin, 1935, S. 275.

<sup>14</sup> Popper K. Indeterminism in Quantum Physics and in Classical Physics.— «Brit. J. Phil. Sci.» (1950), vol. 1, p. 117, 173.

$D_h^*$  — ослабленная версия детерминизма, в смысле отсутствия жесткой связи последовательных состояний<sup>15</sup>.

Названные до сих пор понятия сформировались независимо (исторически или логически) от квантовой механики. С ее возникновением предлагаются новые понятия и дефиниции или же подчеркиваются некоторые существующие, причем одни из них — с целью ослабления позиций детерминизма (и его опровержения), другие — с противоположной целью. Здесь можно отметить следующие понятия:

$D_a^{**}$  — тезис о существовании (физических) законов, соответственно, как исключение событий, не подчиняющихся каким-нибудь законам (Витгенштейн, Шлик, Рассел)<sup>16</sup>;

$D_h^{**}$  — вероятностный детерминизм<sup>17</sup>;

$D_h$  — предсказуемость, принципиальная предсказуемость или возможность предсказания (Борн, Бриллюэн, Поппер и др.);

$D_h^*$  — приблизительное предсказание;

$D_h^{**}$  — последовательность конвергентных описаний, которые сходятся к предельному описанию таким образом, что вероятности, соответствующие этим описаниям, стремятся к достоверности<sup>18</sup>;

$D_l$  — объективная детерминированность (независимо от ее познаваемости)<sup>19</sup>;

$D_m$  — детерминизм, относящийся к потенциально возможному<sup>20</sup>;

$D_n$  — детерминизм в познании<sup>21</sup>.

---

<sup>15</sup> Nernst W. Zum Gultigkeitsbereich der Naturgesetze.—«Die Naturwiss.», 1922, vol. 10, p. 493.

<sup>16</sup> Рассел Б. Человеческое познание. М., 1957, 555 с.

<sup>17</sup> Strauss M. Statistik und Probabilistik in der Quantenphysik.—«Wiss. Z. Humboldt-Univ», Berlin, 1963, vol. XII, p. 387.

<sup>18</sup> Reichenbach H. Selected Essays. L.—N. Y., 1959, p. 96.

<sup>19</sup> Planck M. Where is Science Going? L., 1933.

<sup>20</sup> Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики.— В кн.: Философские проблемы современного естествознания. М., 1959, с. 212—236.

<sup>21</sup> Cassirer E. Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik.— In: Zur modernen Physik, Darmstadt, 1957; Jeans J. Physics and Philosophy. Cambridge, 1943, p. 210.

Во всех этих концепциях подразумевают замкнутые системы<sup>22</sup>. Каждое понятие имеет свою область значимости. Как правило, новые понятия применимы к более широкой области и ведут к ограничению значимости старых. Большинство упомянутых концепций можно систематизировать, с одной стороны, по признакам однозначной или статистической зависимости, кинематического или динамического описания, а с другой — как относящиеся к отдельным системам или физическому миру, допускающие непосредственное действие или действие на расстоянии и т. д. с соответствующими разновидностями (табл. 1).

Ряд авторов возражают против отождествления детерминизма с предсказуемостью<sup>23</sup>. Дефект понятий  $D_i$  и  $D_h$  состоит в том, что они разрывают действительность и познание.  $D_i$  имеет характер общего философского тезиса или постулата в духе априоризма, который не находит частнонаучного подтверждения.  $D_a^{**}$  является весьма общим, и его следует конкретизировать. В результате можно считать, что  $D_d$ ,  $D_e$ ,  $D_e^*$  и  $D_j$  отпадают, а в концепции детерминизма предполагаются  $D_i$ ,  $D_h$ , а также  $D_g$  и  $D_f$ . В качестве определения детерминизма можно принять, что в общем случае состояние физических систем зависит (однозначно) от их начального состояния и способа описания процессов. Кроме того, целесообразно различать детерминизм и причинность. Детерминизм следует отнести к определенному типу изменений физических объектов во времени, который, как правило, причинно обусловлен, но может быть и беспричинным (инерциальное движение) или рассматриваться независимо от причин (кинематически). Иначе говоря, существуют случаи детерминированных, но беспричинных процессов (соответственно, описаний) и обратные случаи причинно обусловленных, но недетерминированных (случайных) явлений, т. е. детерминизм и причинность — это перекрещивающиеся понятия. Тогда концепции, согласно которым детерминизм и причин-

---

<sup>22</sup> Havas P. Relativity and Causality. — In: Bar-Hillel (ed.). Logic, Methodology and Philosophy of Science. Amsterdam, 1965.

<sup>23</sup> O'Connor D. J. Determinism and Predictability. — «Brit. J. Phil. Sci.», 1957, vol. 28, p. 310; Ducasse C. J. Determinism, Freedom and Responsibility. — In: Hook S. (ed.) Determinism and Freedom, N. Y.—L., 1968, p. 166; Weiss P. Common Sense and Beyond, p. 234.

Зависимость	Описание	Понятие	Часть	Целое	Непосредственное действие		Действие на расстоянии
					пространство	время	
Однозначная	Кинематическое	$D_b^*$					
	Динамическое	$D_a^*$	$D_c, D_c^*, D_c^{**}, D_c^{***}, D_e^*$	$D_e$	$D_g$	$D_j$	$D_d$
Конвергентное описание		$D_h^{**}$					
Статистическая (вероятностная)	Реальное	$D_h^*$	$D_h, D_h^*, D_h^{**}$				
	Потенциальное						

ность совпадают или же одно из них является более общим, можно рассматривать как результат абсолютизации аспектов (частичного) совпадения или (частичного) несовпадения между ними.

**Изменение и нарушение данной детерминистической концепции.** Рассмотрим более подробно вопрос: до каких пор переформулированные концепции ( $D_i^*$ ) можно считать видоизменениями в рамках концепции  $D_i$  и когда они выходят за рамки этой концепции и переходят к противоположной или индетерминистической концепции? В решении этого вопроса существуют две крайние возможности, или два толкования — фальсификационистское и адаптивное, известные соответственно как попперовское и дюгемовское. В первом толковании концепция фиксирована строго, и любое отклонение от первоначальной схемы означает отказ от  $D$ , т. е. переход к индетерминистическому взгляду<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Popper K. Conjectures and Refutations. N. Y., 1968.



Концепция Дюгема (второе толкование), наоборот, предполагает возможность подходящего изменения или обобщения понятия детерминизма (в  $D^*$ ,  $D^{**}$  и т. д.) так, чтобы оно включало и всевозможные новые случаи. Тогда любое отклонение от видового понятия детерминизма остается в рамках (подлежащих неограниченному смещению) родового понятия. В противовес первому толкованию, где любое отклонение есть опровержение, здесь опровержения нет вообще.

Обычно отмечают асимметричность подтверждения и опровержения определенной теории некоторым фактом: подтверждение не доказывает истинности теории, а несогласие с фактом опровергает ее. Дюгем возражает, что факт опровергает не теорию в целом, а отдельную ее гипотезу. В соответствии с этим путем видоизменения теории ее можно привести в согласие с противоречащим ей фактом<sup>25</sup>. В духе этой концепции Куайн придерживается того мнения, что подобное усовершенствование совокупности гипотез, содержащихся в теории, всегда возможно<sup>26</sup>. Этот тезис Дюгема — Куайна имеет характер программы и притом довольно радикальной, которую, однако, нельзя доказать. Более того, можно привести ряд более или менее убедительных контрпримеров, выявляющих ограниченные возможности подобной программы. Значительный интерес в этом отношении представляют указанные Грюнбаумом случаи, при которых имеет место опровержение определенной гипотезы<sup>27</sup>.

Первая концепция исключает существенные, или революционные, изменения в науке, стремясь подвести их под общие концепции, подлежащие неограниченным изменениям. Вторая концепция обладает только видимостью революционности, поскольку даже самые незначительные изменения истолковываются как революционные. В обоих

---

<sup>25</sup> Duhem P. The Aim and Structure of Physical Theory, N. Y., 1962.

<sup>26</sup> Quine W. V. O. From a Logical Point of View. Cambr.-Mass., 1953.

<sup>27</sup> Grunbaum A. Can we ascertain the Falsity of a Scientific Hypothesis?— In: Mandelbaum M. (ed.). Observation and Theory in Science. John Hopkins Press, 1971; Grunbaum A. Space, Time and Falsifiability.—«Phil. Sci.», 1970, vol. 37, p. 469; Grunbaum A. The Falsifiability of a Component of a Theoretical System.— In: Feyerabend P. and Maxwell Gr. (eds.). Mind, Matter and Method. Minneapolis, 1966.

толкованиях всевозможные изменения приведены к одинаковому знаменателю: или все они существенны, или все в одинаковой мере несущественны. В таком случае в науке нет революционных изменений по существу, так как, по Попперу, таким характером обладает любое изменение, а по Дюгему — Куайну, — ни одно из них. Это и есть ахиллесова пята обеих крайних концепций. Концепция Дюгема (1906 г.) сформировалась до того, как (ему) стали известны революционные изменения в современной физике (теория относительности, квантовая теория), показывающие невозможность приспособления старых теорий к новым областям, в том числе и невозможность самой схемы Дюгема иметь более чем ограниченную значимость. В схеме Поппера, наоборот, абсолютизируются революционные изменения, осуществленные этими теориями, но совершенно неправомерно к ним приравнивается отвержение любой гипотезы в результате несоответствия ее с каким-нибудь фактом. Поскольку любая идея или концепция имеет свои предшествующие формы, *опровержение одной концепции в действительности означает своеобразное продолжение* (в духе дюгемовского подхода) *противоположной концепции*. С этой точки зрения подход Дюгема следует считать более общим. При этом для самого индетерминизма имеет место сказанное выше о детерминизме, а именно, что это опять-таки не есть строго фиксированная концепция, а различные версии, подлежащие, кроме того, изменениям. Приведем некоторые понятия:  $I_a$  — крайний индетерминизм, поддерживающий концепцию недетерминированности (в каком-нибудь смысле) любых явлений. Сюда можно отнести контингентализм (Пирс, Бурту), тихизм (Джемс);  $I_b$  — отсутствие сходимости в описании (антитеза  $D_i^{**}$ );  $I_c$  — индетерминизм, связанный с неустойчивостью некоторых форм движения (в различных вариантах)<sup>28</sup>;  $I_d$  — статистическая, или вероятностная, зависимость<sup>29</sup> (то же самое, что и  $D_j$  или  $D_j^{**}$ );

<sup>28</sup> Popper K. Conjectures and Refutation; Бопп М. Физика в жизни моего поколения. М., 1963, с. 285; Hoering W. Indeterminism in Classical Physics.—«Brit. J. Phil. Sci.», 1969, vol. 20, p. 247.

<sup>29</sup> Mises V. R. Über die kausale und statistische Gesetzmäßigkeit der Physik.—, «Erkenntnis», I, 1931; Бом Д. Причинность и случайность в современной физике. М., 1959, 248 с.

$I_e$  — частичный индетерминизм, согласно которому *не все* события «детерминированы во всех подробностях, т. е. существуют события (как бы редки они ни были), которые полностью не детерминированы»<sup>30</sup>. Существование явлений, не подчиняющихся законам, допускает Штегмюлер<sup>31</sup>. Рейхенбах считает, что в физике детерминизм — просто лишний постулат<sup>32</sup>. Абсолютизируя лапласовский (сингулярный) детерминизм, уже цитированный Доттерер считает, что любая другая детерминистическая концепция включает элемент индетерминизма и относит сюда следующие виды индетерминизма<sup>33</sup>:

$I_f$  — не признающий действия на расстоянии;

$I_g$  — не признающий непосредственную причинную связь между отдаленными во времени событиями;

$I_h$  — плюралистический индетерминизм, частично признающий независимость различных причинных цепей.

Ряд авторов (Эйнштейн, Рассел, Шлик) обращали внимание на невозможность крайнего индетерминизма. Такая концепция противоречит фактам и внутренне противоречива;  $I_e$  лишена эмпирической основы, а  $I_f$  оказывается явной натяжкой;  $I_c$  можно аппроксимировать, т. е. она соответствует  $D_h^*$ ,  $D_k^*$ . Тезис Рейхенбаха не верен для каждого понятия детерминизма.  $I_g$  и  $I_h$  — разумные формы детерминизма, а  $I_d$  отвечает  $D_h$  (соответственно  $D_h^{**}$ ). Вразрез с оспариванием детерминистического (или каузального) характера статистической закономерности Полак считает, что она по своему характеру наиболее близка к динамической, поскольку в ее основе находится наложение реальных движений огромного количества дискретных частиц, входящих в статистический ансамбль. Возможность рассмотрения такого ансамбля основана на экспериментально подтвержденном представлении о механическом, однородном и независимом (на длине свободного пробега) движении каждой из частиц, входящих в ансамбль. Поведение физических классических ансамблей описывается в статистической механике гамильтоновыми урав-

<sup>30</sup> Popper K. Conjectures and Refutation, p. 120, 121.

<sup>31</sup> Stegmüller W. Das Problem der Kausalität.

<sup>32</sup> Reichenbach H. Направление времени. М., 1962, 396 с.

<sup>33</sup> Dotterer R. Indeterminismus. — «Phil. Sci.», 1938, vol. 5, p. 68—72.

нениями с помощью тех же (по форме и существу) функций, которые применяются в классической механике<sup>34</sup>. В целом можно установить тенденцию к отказу от крайних и переходу к частичным (умеренным) формам индетерминизма.

В то же время становится ясным, что не всякая версия индетерминизма выступает антитезой любой разновидности детерминизма, а в общем случае между обоими множествами понятий наблюдается частичное перекрытие, или взаимное проникновение. Следовательно, в данном случае речь идет не о простой дилемме, а о более сложных отношениях, делающих иногда дилемму вопросом дефиниции (даже чисто вербальной). В связи с этим стоит отметить утверждение о том, что «большая часть индетерминизмов предпосылает значительную детерминацию; иные версии детерминизма допускают значительную индетерминированность»<sup>35</sup>. К аналогичному выводу приходит и А. Ивин<sup>36</sup>. Он различает пять логически возможных концепций детерминизма и столько же индетерминизма, причем две из них совпадают. Другие авторы идут дальше, поддерживая принципиальное равноправие между детерминизмом и индетерминизмом вообще. Такой взгляд можно встретить уже у Маха, который считал, что правильность позиций детерминизма или индетерминизма нельзя доказать. Однако он учитывал то обстоятельство, что в исследовательской работе каждый ученый — детерминист. В наше время П. Феврие утверждает, что каждую существенно индетерминистскую теорию можно сопоставить с детерминистской теорией, имеющей не подлежащие измерению параметры, и наоборот. Эти два вида теорий имеют одно и то же физическое содержание, но понятие физической системы не обладает одинаковым значением<sup>37</sup>.

Если предпочесть позитивистский подход к разработке физических теорий, то в теорию нельзя допустить физические сущности, не подлежащие измерению, и платой за это будет индетерминизм. Если же мы не при-

---

<sup>34</sup> Полак Л. С. Вариационные принципы механики. Их развитие и применение в физике. М., 1960, с. 364 — 365.

<sup>35</sup> Dotterer R. Indeterminism, p. 60.

<sup>36</sup> Ивин А. А. О логическом анализе принципов детерминизма. — «Вопросы философии», 1969, № 10, с. 88 — 89.

<sup>37</sup> Fevrier P. Determinisme et indeterminisme, p. 288.

нимаем индетерминизм, то должны допустить, что некоторые физические сущности не подлежат измерению. Иначе говоря, для этих двух различных версий физических теорий существенно эмпирическое (операциональное) или теоретическое (конструктивное) определение функции состояния <sup>38</sup>.

Поскольку в своей основе научная теория содержит конструктивные понятия, то следует отбросить позитивистское ограничение, а также равноправие этих двух версий. В этом смысле случай детерминистического построения является более общим.

Мюниц считает, что действительность не детерминирована и не индетерминирована, а это только два различных способа ее описания <sup>39</sup>. Объективный мир может быть детерминированным, индетерминированным, детерминированным и индетерминированным (в разных областях) и, наконец, ни детерминированным, ни индетерминированным. Познание мира, в свою очередь, может быть детерминистическим, индетерминистическим, а также детерминистическим и индетерминистическим (для разных областей). Итак, существует 12 соотношений детерминизма и индетерминизма, и 9 из них имеют смысл и поддерживаются учеными (табл. 2).

В духе принципа отражения в теории познания следует отвергнуть как несостоятельные все концепции (неоднородные), допускающие (коренное) несоответствие между объективным положением вещей и его познанием. Тогда остается рассмотреть (однородные) концепции *a.1*, *b.2* и *c.3*. По отношению к *c.3* снова возникает вопрос о субординации, т. е. о возможности ее сведения к *b.2* или к *a.1*. Что касается *b.2*, то эта концепция лишь на первый взгляд кажется последовательно индетерминистической, а в действительности в ней предполагается однозначная, или детерминистская, связь между объективной и субъективной индетерминированностью, т. е. она внутренне противоречива.

---

<sup>38</sup> **Fevrier P.** Logical Structure of Physical Theory. In: **Henkin L., Suppes P., Tarski A.** (eds.). The Axiomatic Method. Amsterdam, 1959, p. 388.

<sup>39</sup> **Munitz M.** The Relativity of Determinism.— In: **Hook S.** (ed.). Determinism and Freedom.

Познание	Действительность			
	детерминированная	индетерминированная *	частично детерминированная	ни детерминированная, ни индетерминированная
Детерминистическое	$a.1 \quad D_e, D_1$ $D_h, D_a^{**}$	$b.1$ $D_h^*$	$c.1$ $D_h^*$	$d.1$ $D_n$
Индетерминистическое	$a.2$ $I_d$	$b.2$ $I_a, I_c$	$c.2$ $I_e, I_h$	$d.2$
Частично детерминистическое	$a.3$ —	$b.3$ —	$c.3$ $(D \wedge I)$	$d.3$ —

\* Weiss P. Common sense and beyond.

Фальсификационистский подход означает отбрасывание детерминизма и переход к индетерминизму, соответственно от  $D_h$  к  $I_c$ , т. е. в этом случае произвольно абсолютизируются определенные формы детерминизма и индетерминизма. Но также легко перейти от несостоятельности крайних форм индетерминизма ( $I_a, I_b$ ) к подходящей форме детерминизма. Подобное отбрасывание одной концепции и переход к противоположной (с некоторой преемственностью)<sup>40</sup> возможны при переходе от донаучной к научной концепции, в нашем случае при переходе от аристотелевской к ньютоновской концепции или от концепции действия на расстоянии к принципу близкодействия. При дальнейшем развитии, когда отмечается неудовлетворительность определенной формы детерминизма, переходят к другим формам (подход Дюгема). Это так называемый *программный детерминизм*<sup>41</sup>, которого придерживаются

<sup>40</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 23, с. 21.

<sup>41</sup> Popper K. Conjectures and Refutations, p. 126.

Эйнштейн и другие ученые, причем они полагают, что всегда возможно осуществить перевод физических теорий в детерминистский вид (в разных вариантах)<sup>42</sup>. Такой подход проводится в ряде работ, в частности в появившихся недавно статьях Д. Блохинцева, Хр. Христова и др.<sup>43</sup> Это не означает отказа от специфики детерминизма в различных областях или различной каузальной структуры. Сами изменения могут быть усовершенствованием некоторых концепций или заменой одной концепции другой (тоже детерминистской).

Здесь возникает вопрос: когда различие между двумя концепциями детерминизма можно считать несущественным и когда существенным? Различие может быть существенным, когда относится к основной идее, принципам, понятийной системе, проблемам и методам и приводит к изменению концепции детерминизма на физическом, логическом и философском уровне. Решающим может оказаться различие в области значимости (validity) сопоставляемых концепций. Вариации одной и той же концепции возникают при приблизительном совпадении этих областей, в то время как случай значительного различия (т. е. когда первоначальная концепция оказывается предельным случаем новой) следует отнести к переходу от одной концепции к другой<sup>44</sup>. В нашем случае расширительные концепции детерминизма включают черты умеренного индетерминизма. Такой подход применим и к концепции индетерминизма, причем квантовомеханический индетерминизм рассматривается нами как продолжение индетерминизма в классической механике. Так, уже Мизес настаи-

---

<sup>42</sup> Подобного взгляда придерживался М. Шлик (Schlick M., *Gesetz, Kausalität und Wahrscheinlichkeit*. Wien, 1948, S. 32) К нему впоследствии присоединился Ф. Франк (Философия науки. М., 1960, с. 397), который предполагал, что будущее детерминировано, причем остается установить вид этой детерминированности (т. е. соответствующую версию детерминизма).

<sup>43</sup> Блохинцев Д. И. О причинности в современной теории поля; Христов Хр. Я. Въпросът за детерминизма в съвременната физика. — В кн.: Съвременна физика. Насоки на развитие. Методологически проблеми. София, 1973.

<sup>44</sup> Поликаров А. Методология на научното познание. Ч. II. София, 1973, с. 241—245; Polikarov A. *Science and Philosophy*. Sofia, 1973, p. 34—38.

вают на мнимом детерминизме классической физики<sup>45</sup>. Любопытно отметить, что подобную попытку делает и Поппер<sup>46</sup>, причем вразрез со своим фальсификационизмом.

Нетрудно установить, что часть детерминистических понятий поляризуется в два класса: некоторые из них ( $D_a, D_a^*, D_h, D_h^*, D_h^{**}, D_k, D_l, D_m$ ) вводятся с тем, чтобы сохранить детерминистическую концепцию, т. е. осуществить адаптацию или преемственность в этих понятиях (подход Дюгема); другие ( $D_c^{**}, D_e, D_e^*, D_k$ ), наоборот, естественно увязываются с фальсификационистским подходом. Существенно то, что детерминистический принцип имеет эвристическое значение: он направляет исследовательскую деятельность к нахождению закономерностей и причинных связей, соответственно научных объяснений, в то время как индетерминизм осуждает ее на пассивность<sup>47</sup>.

**Проблема детерминизма в квантовой механике.** Формирование квантовой механики (в качестве нового типа физической теории), в особенности толкование ее в духе концепции дополненности, привело к конфликту с принципом причинности, точнее, с его конкретизацией в физике (физическая концепция причинности), или, по крайней мере, дало повод рассмотреть более углубленно соотношения между ними. При каждом измерении в квантовомеханической области получаются разные значения измеряемой величины. Последовательность этих значений случайна, в то же время они образуют набор возможных значений, который может быть определен теоретически. Полученные значения приводят к новым значениям волновой функции. Последние образуют ряд, отдельные значения которого не определены предварительно, а случайны и, следовательно, не могут быть предсказаны. В то же время использование классических понятий импульса, энергии, координат пространства, времени и т. д. (с учетом вытекающего из соотношения неопределенности ограничения) не только возможно, но и необходимо, поскольку измерению доступны именно эти (классические) вели-

---

<sup>45</sup> Mises V. R. *Über die kausale und statistische Gesetzmäßigkeit der Physik.*

<sup>46</sup> Popper K. *Conjectures and Refutations.*

<sup>47</sup> Nagel E. *Some Notes on Determinism.* — In: Hook S. (ed.). *Determinism and Freedom*, p. 199.



чины. Сложившаяся ситуация дала возможность осмыслить и реализовать различные способы преодоления возникающего конфликта, начиная с отрицания квантовой механики, принципа причинности (вообще или же ограничивая его значимость в микрофизике), самого конфликта и кончая реинтерпретацией квантовой механики, концепции дополнительности или принципа причинности и соотношения между ними.

Когда признают индетерминированность квантовых процессов, имеют в виду следующее:

а) невозможность вычисления или предсказания будущего поведения (состояния) единичного объекта по подобию объектов (материальных точек и т. д.) классической динамики;

б) отсутствие *причин*, обуславливающих различные данные о канонических переменных при последовательных измерениях в системе (условия в этом случае полагаются одинаковыми)<sup>48</sup>.

Эти два пункта не всегда четко разграничиваются, так как чаще всего не отличают детерминизм как обусловленность вообще от детерминизма как причинной обусловленности или индетерминизм как неопределенность от индетерминизма как отсутствия причинности (акаузальность). Понимая детерминизм как совпадающий частично с причинностью или являющийся ее определенным аспектом (а если угодно, и наоборот), мы считаем, что намеченные два пункта заслуживают отдельного рассмотрения.

## РАЗНОВИДНОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО ДЕТЕРМИНИЗМА.

### ДЕТЕРМИНИСТСКИЙ ХАРАКТЕР ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

При рассмотрении проблемы детерминизма мы считаем существенными прежде всего следующие вопросы: описание движения, в частности уравнений движения в различных областях физики, их характера и в особенности устойчивости их решения;

---

<sup>48</sup> В первом случае вектор состояния меняется непрерывно в течение времени, согласно уравнению Шредингера, а во втором — прерывисто (так называемое сжатие, коллапс или редукция волновой функции), согласно вероятностным законам.

информация (сведения, данные) о состоянии физической системы, в частности о начальном состоянии.

**Описание движения.** Движение (изменение, взаимодействие) физических объектов можно описать различными способами:

- а) уравнением движения;
- б) статистически или стохастически (вероятностно);
- в)  $S$ -матрицей.

Общий вид уравнений движения (в различных областях: динамике, физике поля, квантовой физике)

$$\frac{\partial E}{\partial t} = f(E_0, t), \quad (1)$$

где  $E$  — функция состояния. Она находится в зависимости от начального состояния  $E_0$ , т. е. от  $E$  в момент  $t_0(t=0)$ , и от времени  $t$ .

Вместо уравнения движения можно исходить из принципа стационарного действия или из другого вариационного принципа, из которого можно получить уравнения движения. Заслуживают внимания два случая, а именно: когда функция состояния  $E$  измерима непосредственно (операциональное понятие) и обладает непосредственным физическим смыслом или же когда она является конструктивным понятием, т. е. не имеет эмпирического значения. Процессы бывают статистическими, нестатистическими, или же они могут происходить на статистической основе и соответственно быть описаны вероятностно — в общем случае уравнением движения статистического фазового ансамбля

$$\frac{\partial w}{\partial t} = [Hw], \quad (2)$$

где  $w$  — фазовая плотность вероятности,  $H$  — функция Гамильтона, а  $[ \ ]$  — скобки Пуассона <sup>49</sup>.

Здесь существенно, что статистическое распределение подчиняется определенной закономерности, т. е. имеем дело с устойчивостью частоты <sup>50</sup>. Налицо, кроме того, определенная зависимость между последовательными состояни-

---

<sup>49</sup> Терлецкий Я. П. Статистическая физика. М., 1966, с. 41—43, 117—118.

<sup>50</sup> Хинчин А. Я. Метод произвольных функций. — В кн.: Философские вопросы современной физики. М., 1952, с. 522—538.

ями, т. е. состояния определяются с некоторой вероятностью, не зависящей от протекания процесса в предшествующем периоде (процессы Маркова).

Движение или результат движения можно описать и иным способом, например с помощью матрицы рассеяния ( $S$ -матрицей). Такой подход представляет особый интерес, поскольку обладает общезначимостью; кроме квантовой теории он в последнее время находит применение и в других областях <sup>51</sup>.

**Информация о состоянии.** Целесообразно отличать логическую структуру уравнений движения соответствующей физической теории от согласованности этих уравнений или абстрактной теории с эмпирическими данными <sup>52</sup>. В общем случае состояние, по Планку, характеризуется определенным классом мгновенных значений измеримых величин, отвечающих следующим требованиям: 1) если известно значение этих величин в определенное время, то на основании теории можно определить их значение в любое другое время; 2) указанный класс является наименьшим удовлетворяющим требованию 1) <sup>53</sup>.

Информация о состоянии задается одним из следующих способов посредством эмпирически измеримых величин:

а) с помощью канонических переменных, т. е. не зависящих друг от друга переменных. Это обобщенные координаты ( $q$ ) и обобщенные импульсы ( $p$ ) или другие переменные. Количество этих переменных равняется  $2s$ , где  $s$  — число степеней свободы системы;

б) одной из групп канонических переменных, соответственно обеими в рамках соотношения неопределенности Гейзенберга. Совокупность результатов измерения этих переменных выступает устойчивым статистическим распределением. Однозначная зависимость между последовательными соотношениями предполагает, в частности, устойчивость движения по отношению к определенному критерию, т. е. корректность задачи <sup>54</sup>;

с) если условие не выполнено, то мы имеем дело с так называемыми возмущениями в начальных условиях.

<sup>51</sup> Лакс П., Филлипс Р. Теория рассеяния. М., 1971, 312 с.

<sup>52</sup> Pap A. Analytische Erkenntnistheorie. Wien, 1955, S. 131.

<sup>53</sup> Planck M. Wege zur physikalischen Erkenntnis. Leipzig, 1944, S. 328.

<sup>54</sup> Меркин Д. Р. Введение в теорию устойчивости движения. М., 1971, 312 с.

Отметим, что различные описания движения и соответствующие данные о состоянии в известной степени специфичны для различных физических объектов (систем). Разумеется, приведенное расчленение способов описания движения и задания информации начального состояния не является единственным, но оно оправданно (отвечает специфике подхода к различным физическим теориям) и дает возможность классифицировать формы детерминации в физике.

**Набор концепций физического детерминизма.** Сочетанием различных возможностей описания движения и состояния можно получить возможные концепции детерминизма (табл. 3).

В табл. 3  $D_1$  — детерминизм в классической динамике (или электродинамике), характеризующейся уравнением (1);  $D_2$  — детерминизм в статистической физике, согласно уравнению (2);  $D_3$  — детерминизм в квантовой механике, согласно временному уравнению Шредингера;  $D_4$  — так называемая микропричинность, или микродетерминированность, в квантовой теории поля. Посредством  $d$  обозначена статистическая детерминированность (устойчивость) результатов измерения канонических переменных в квантовомеханической области).  $I_1$  означает неустойчивость движения и обычно рассматривается как индетерминизм. Однако такие случаи с некоторыми ограничениями также подлежат приближительным решениям<sup>55</sup> и в такой же степени (для определенного интервала времени и данной точности) могут быть отнесены к детерминизму ( $D_5$ ). И, наконец,  $I_2$  описывает так называемую макроскопическую причинность, или макродетерминацию, в квантовой теории поля ( $D_6$ ), при которой акаузальные функции при определенном условии аппроксимируют причинную функцию<sup>56</sup>.

Итак, налицо в общей сложности шесть разновидностей детерминистской концепции. Они образуют своеобразную

---

<sup>55</sup> Тихонов А. Н., Иванов В. К., Лаврентьев М. М. Некорректно поставленные задачи. — В кн.: Дифференциальные уравнения с частными производными. М., 1970, с. 224—238.

<sup>56</sup> Блохинцев Д. И. Пространство и время в микромире. М., 1970, 260 с.

Информация о состоянии	Описание движения		
	дифференциальное уравнение	статистическое	Сматричное
классически-определенная	$D_1$	$D_2$	
квантово-определенная	$D_3 (d)$		$D_4$
с возмущениями или нелокальностью	$(D_5)$ $I_1$		$(D_6)$ $I_2$

последовательность в том смысле, что при снятии или введении определенных ограничений между ними могут установиться переходы. Самой общей или наименее строгой является форма  $D_5$ , переходящая при условии устойчивости в  $D_1$ . (Аналогичный переход от  $D_6$  к  $D_4$ .) При снятии ограничения, существующего из-за соотношений неопределенностей, осуществляется переход от  $D_3$  к  $D_1$ .

Приведенные замечания позволяют внести дальнейшие уточнения, например возможность описания движения при помощи уравнений конечных разностей (которые могут при определенных условиях перейти в дифференциальные уравнения), а также интегрально-дифференциальных уравнений. Следует, кроме того, принять во внимание различные возможности представления взаимодействия в квантовомеханической области.

В теоретической системе квантовой механики состояние квантового объекта характеризуется волновой функцией  $\Psi$ , не являющейся непосредственно измеримой величиной (и даже величиной с непосредственным физическим смыслом; таким смыслом обладает модуль квадрата этой функции). Она вычисляется на основе данных о паре канонических переменных с их специфическими неопределенностями, соответственно из точных значений одной из групп этих величин. Между значением волновой функции  $\Psi_0$  в определенный момент ( $t_0$ ) и следующими ее значениями ( $\Psi_t$ ) существует однозначная зависимость, выра-

жаемая временным уравнением Шредингера:

$$\Psi_t = \Psi_0 e^{-\frac{2\pi i}{h} (t-t_0)H}, \quad (3)$$

имеющим в квантовой механике такой же статус, как и уравнения движения (Лагранжа) в классической механике.

Отсюда следует, что о неопределенности можно говорить только с точки зрения ситуации в классической механике. Говоря специфическим языком квантовой механики (языком  $\Psi$ -функции), мы имеем дело с другой определенностью, в том смысле, что описание при помощи волновой функции — наиболее полное из возможных описаний. Это положение Рейхенбах называет синоптическим принципом<sup>57</sup>.

**Сопоставление с некоторыми из существующих концепций.** Введенные нами выше понятия  $D_1—D_6$  ( $I_1$  и  $I_2$ ) можно сопоставить с некоторыми из известных концепций. Так,  $D_1$  соответствует группе концепций  $D_c$ ,  $D_j$ ,  $D_h$ ,  $D_b^*$ ,  $D_c^{**}$ ,  $D_c^{***}$ ;  $D_2—D_h$  и  $D_h^*$ ,  $D_3—D_h^{**}$  и  $D_m$ ,  $D_5—D_h^*$ , и  $I_1—I_c$ . Такое сопоставление позволяет преодолеть тенденцию ограничения детерминизма до  $D_c$  (и возможного его сведения к  $D_e$ ), а также обратную тенденцию его предельно широкого понимания ( $D_a^*$ ). При узком понимании детерминизма (как  $D_c$  или  $D_e$ ) остальные разновидности попадают в категорию индетерминизма. Например, ряд физиков считают дифференциальный закон единственной и вполне удовлетворительной формой причинного объяснения<sup>58</sup>. При этом детерминизм понимается равнозначным причинности (или причинному объяснению). В других случаях некоторые из этих разновидностей ( $D_2$ ) обозначаются как статистический детерминизм. В таком смысле Н. Бор, например, упоминает о статистическом характере формального аппарата квантовой механики как о «естественном обобщении описания классической физики». Подобным же образом марковские процессы рассматриваются иногда как обобщение детерминированных процессов. На основании этого говорят о двух видах детерминизма: динамическом и статистическом.

<sup>57</sup> Рейхенбах Г. Направление времени, с. 248.

<sup>58</sup> Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. IV. М., 1967, с. 83.

## ДЕТЕРМИНИЗМ И КОНЦЕПЦИЯ ПРИЧИННОСТИ В ФИЗИКЕ

Измерение канонических переменных, как известно, дает, вообще говоря, различные значения. Между последними не существует детерминированной связи, так как они не представляют регулярной функции во времени, случайны. Однако распределение этих значений подчиняется определенной закономерности, и в этих рамках можно говорить о статистической детерминированности. Иными словами, в случае распада радиоактивных атомов можно утверждать, что он не целиком индетерминирован в том смысле, что он статистически детерминирован. Но означает ли это, что он является причинным? Как стоит вопрос о причинности в данном случае? В связи с рассматриваемым вопросом следует вкратце остановиться на специфике причинности по сравнению с детерминизмом (в физике).

**Детерминизм и причинность.** Детерминизм относится к изменению систем во времени (движение), при котором на первый план выступает обусловленность или связь (функциональная). При этом мы не интересуемся процессом порождения действий (т. е. собственно причинением), однонаправленностью этих процессов, передачей причинных воздействий или отдельными случайными явлениями. Наоборот, существенными характеристиками причинности выступают: порождение действия причиной, их одновременность, однонаправленная необратимость, пространственная непосредственность, передача с конечной скоростью (которая не может превышать скорости света), однозначная обусловленность и обратное воздействие. Эти характеристики относятся и к отдельным случайным явлениям<sup>59</sup>. Отношение детерминации, согласно Августинскому, обладает свойствами: однородностью, двучленностью, временной относительностью и однозначностью, т. е. универсально<sup>60</sup>. Из отмеченных свойств специфическим для детерминизма оказывается лишь первое, так

---

<sup>59</sup> Кузнецов И. В. Причинность.— В кн.: Философская энциклопедия, т. 4. М., 1967, с. 370; Taylor R. Causality.— In: The Encycl. of Philos., vol. 2. N. Y.— L., 1967, p. 56.

<sup>60</sup> Августинек Зд. Физический детерминизм.— В кн.: Закон, необходимость, вероятность. М., 1967, с. 134.

как остальные Августинек считает присущими и причинности. Мы полагаем, что можно указать на нюансы и в некоторых других характеристиках.

Рассмотрим альтернативные понятия причинности, которые приводит Вартофски <sup>61</sup>:

- a) инвариантная связь (ассоциация) одного с другим;
- b) причинное основание: необходимое условие, достаточное условие и необходимое и достаточное условия. Здесь имеется в виду порождение действия причиной и равенство причины и действия;
- c) случайная и необходимая причинная связь;
- d) отношение функциональной зависимости;
- e) одно-однозначное, много-однозначное и много-многозначное .причинное отношение;
- f) обратно-действенная причинность;
- g) причинное отношение как непосредственное действие, действие на расстоянии и под влиянием.

Нетрудно заметить, что собственно к причинности в смысле порождения (пункт *b*) имеют отношение концепции, изложенные в пунктах *c*, *f* и *g*, тогда как концепции, изложенные в пунктах *a* и *d*, относятся к детерминизму. Концепция, изложенная в пункте *e*, имеет интересную особенность: как одно-однозначная и много-однозначная связь она характеризует причинность, а как одно-однозначная и одно-многозначная (о которой у Вартофского не говорится) — детерминизм. Концепция о много-многозначности не имеет отношения ни к причинности, ни к детерминизму.

**Концепция физической причинности.** Каждая физическая теория способствует конкретизации этой концепции. Так, исходя из закона сохранения импульса Ньютона, причинами ускорения тел можно считать силы. Тогда инерционное движение оказывается беспричинным (не противоположным, а безразличным по отношению к причинности), что приводит к необходимости определенного изменения в формулировке принципа причинности. Согласно этому принципу, у к а ж д о г о явления имеется причина в том смысле, что справедливость принципа причинности ограничена или же что он с п р а -

---

<sup>61</sup> Wartofsky M. Conceptual Foundations of Scientific Thought. N. Y.— L., 1968.



ведлив для изменений по отношению к определенному, принятому первичным, стационарному (неизменному), соответственно беспричинному, процессу (фону)<sup>62</sup>. В этом, впрочем, классическая динамика не отличается, по существу, от атомистической философии Демокрита. Это вытекает из однородности пространства и времени и изотропности пространства (которой придерживается Нетер и которая выполняет роль основного постулата в аксиоматическом построении динамики Хамеля)<sup>63</sup>.

С точки зрения превращения форм энергии в эквивалентные отношения причинность можно рассматривать как обмен энергией, подчиненный формуле: причина равна действию. Эта концепция типична для Р. Майера и его последователей<sup>64</sup>. В таком же духе Г. Братоев отстаивает концепцию о взаимобратимом логическом отношении причинности, симметрии и сохранения<sup>65</sup>. Он приходит к выводу, что «с физической точки зрения содержание принципа причинности исчерпывается синтезом симметрии пространства и времени, с одной стороны, и принципом близкодействия — с другой. То обстоятельство, что причинный принцип связан с определенным типом (геометрической) симметрии, определяет специфический способ, при помощи которого он входит в систему физики, а фундаментальная роль геометрической симметрии соответствует его всеобщему характеру»<sup>66</sup>.

Существенно также внесенное теорией относительности уточнение о том, что скорость передачи причинных воздействий не может превышать скорости света.

---

<sup>62</sup> Можно говорить также о поиске причин для поддержания определенных стационарных состояний.

<sup>63</sup> Hamel C. Die Axiome der Mechanik.— In: Handbuch der Physik. Bd V. Berlin, 1927, S. 6—7.

<sup>64</sup> Справедливо отмечается, что идею равенства между причиной и действием физика унаследовала от греческой философии. Поддержанная Иоганном Бернулли, эта идея была применена Ньютоном при формулировании третьего закона движения.

<sup>65</sup> Братоев Г. Квантовая механика и причинность. Соффия, 1970, с. 189.

<sup>66</sup> Необходимо, однако, отметить, что в духе такого понимания в космологической модели неоднородной и неизотропной Вселенной следовало бы допустить наличие дополнительных причин или ограничить справедливость принципа в этом случае (см. Братоев Г. Квантовая механика и причинность, с. 220).

При  $S$ -матричном подходе требование причинности формулируется так: всякое происшедшее в системе изменение может оказать влияние на поведение системы в прошлом, во времена, предшествовавшие данному событию <sup>67</sup>.

Впоследствии был разработан метод дисперсионных соотношений (между действительной и мнимой частью матричных элементов матрицы рассеяния), при которых причинность играет существенную роль. Эти соотношения можно вывести из основных положений квантовой теории поля и условия микропричинности <sup>68</sup>.

Представления об асимметрической направленности или необратимости причины и ее действия пробовали связать с необратимостью, проистекающей из закона энтропии <sup>69</sup>. При этом, однако, следовало бы иметь в виду, что речь идет о различных понятиях необратимости, что обратимые в термодинамическом отношении превращения так же необратимы, как и причинно-следственные цепи.

Какие из приведенных характеристик физической причинности остаются в силе и в квантовой механике и какие специфические черты вносит квантовая механика в этот вопрос?

Прежде всего процесс измерения предполагает существование причинной связи; это признают все представители квантовой механики. Наряду с этим при квантовых процессах остается в силе закон сохранения энергии. Здесь, как было уже отмечено, справедлива детерминистская схема изменения волновой функции во времени, хотя и в абстрактном (конфигурационном) пространстве. Наконец, возможность истолковать редукцию волновой функции во взаимодействии как процесс физический (предложение Яноши) исключается. Это нарушило бы требование причинности, так как подобный процесс происходил бы со сверхсветовой скоростью.

**Проблема причинного объяснения результатов измерения канонических переменных в квантовых объектах.** С точки зрения причинности открытым остается вопрос о статусе статистического ряда канонических переменных в микромире. Если признать ненадежность попыток из-

---

<sup>67</sup> Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантованных полей. М., 1957, с. 143—145.

<sup>68</sup> Там же, с. 379.

<sup>69</sup> Терлецкий Я. П. Статистическая физика, с. 192—193.

бавиться от так называемого «ортодоксального» толкования квантовой механики, то особый интерес представляет вопрос о том, как следует понимать детерминизм и причинность в физике. И наоборот, если зафиксировать определенную версию детерминизма и причинности, то все внимание следует направить на подходящее переустройство самой квантовой механики так, чтобы она удовлетворяла упомянутой точке зрения. Вообще здесь намечаются три основные концепции, а именно:

а) программа-максимум, цель которой — причинное нестатистическое объяснение на уровне микромира;

б) программа-минимум, чья задача сводится к причинному объяснению статистического распределения (его можно принять как первичное, т. е. не сводимое к скрытой нестатистичности);

в) концепция, согласно которой мы имеем дело с беспричинной статистикой.

В основе первой концепции лежит представление о фундаментальном характере причинной обусловленности так называемого динамического типа (или чего-то в этом роде), при которой всякое явление или изменение должно иметь свою подлежащую раскрытию причину. Такой концепции придерживались, как известно, Планк и Эйнштейн, а в дальнейшем и ряд других физиков и философов. Эйнштейн пришел к выводу, что квантовая механика дает описание ансамбля систем, а не отдельных систем, для которых описание при помощи волновой функции неполно, так как оно не дает представления о реальном состоянии системы <sup>70</sup>. Утверждение, что средняя продолжительность жизни какого-либо радиоактивного атома не обусловлена причинно, он считал просто бессмысленным <sup>71</sup> и высказывал убеждение в том, что события в природе подчиняются некоему закону, связывающему их гораздо точнее и теснее, чем мы предполагаем это сегодня, когда говорим, что одно событие есть причина другого <sup>72</sup>. В связи с этим Эйнштейн полагал, что мы не остановимся на уровне субпричинности, а дойдем в конце концов до сверхпричинности <sup>73</sup>. В то же время, как это

---

<sup>70</sup> Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. III. М., 1966, с. 529, 621.

<sup>71</sup> Там же, т. IV, с. 156.

<sup>72</sup> Там же, с. 157.

<sup>73</sup> Там же, с. 110.

видно из других его высказываний, он учитывал возможность существования рациональной науки и при отказе от строгой причинности, ибо даже этот отказ привел к важным достижениям в области теоретической физики<sup>74</sup>.

Рассмотренная программа может быть реализована различными способами, начиная со сведения квантовой механики к классической и кончая использованием новых физических концепций. В этом последнем смысле Эйнштейн ставит задачу нахождения средств для определения, отличных от тех, которые существовали до сих пор (материальная точка, поле)<sup>75</sup>.

Идея ограниченной справедливости принципов квантовой механики (принципа суперпозиции и линейности уравнений движения) встречается у таких авторов, как Яух, Вигнер, Янассе и другие, допускающих возможность раскрытия инфраструктуры этой теории<sup>76</sup>.

В концепции б) рассеяние в значениях измеряемых величин связывается с обуславливающими их (случайными) причинами (типа броуновского движения). Подобные объяснения не отменяют статистического характера этих данных и вообще не касаются содержания квантовой механики, но пытаются подвести причинный фундамент под недетерминированность (или под статистическую детерминированность) наблюдаемых данных. Сюда, в частности, относятся попытки объяснить сложное поведение микрообъектов как результат взаимодействия с вакуумом (Э. И. Адирович, М. И. Подгорецкий, А. А. Соколов, В. С. Туманов и др.)<sup>77</sup>.

Известно, что даже авторы, которые отрицают или ограничивают справедливость принципа причинности, также предлагают причинное (по существу) объяснение отклонения от однозначной причинной связи. Так, Бор считает причиной изменения состояния квантового объекта при измерении то обстоятельство, что описание лю-

---

<sup>74</sup> Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. III. М., с. 107—108.

<sup>75</sup> Там же, т. III, с. 624.

<sup>76</sup> Jauch J. M., Wigner E. P., Yanasse M. M. Some Comments Concerning Measurements in Quantum Mechanics.—«Nuovo Cimento», vol. 48, B, p. 144.

<sup>77</sup> Адирович Э. И., Подгорецкий М. И. О взаимодействии микросистем с нулевыми колебаниями электромагнитного поля.—«Журнал эксперим. и теор. физики», 1954, т. 150, вып. 26, с. 150—152.

бого физического явления следует относить к экспериментальному устройству<sup>78</sup>. В этом смысле концепцию дополнительности он рассматривает как разумное обобщение идеи причинности<sup>79</sup>.

Вариантом подобной концепции оказывается взгляд, согласно которому в квантовой механике происходит переименование двух причинных цепей, соответственно двух видов детерминизма, а именно: физического процесса и процесса измерения. Французский философ Брюншвик утверждает, что из гейзенберговского принципа неопределенности ни в коем случае не следует крах детерминизма; он только означает, что на современном этапе нашей экспериментальной техники нас не может удовлетворить простая и догматическая форма детерминизма, интересующегося лишь действительностью, но не познанием. Соотношение неопределенностей означает только то, что детерминизм наблюдаемого явления сам по себе есть не что иное, как абстракция, так как это соотношение неотделимо от детерминизма, управляющего актом наблюдения<sup>80</sup>.

Обосновывая (или хотя бы выясняя) правдоподобность третьей концепции, полезно сослаться на параллель принимаемого здесь «беспричинного фона» и первичного беспричинного характера инерционного (прямолинейного равномерного) движения в классической механике, а также инерционного (геодезического) движения тел в общей теории относительности. В этом — один из наиболее существенных уроков по отношению к концепции причинности: раскрытие возможности существования беспричинных движений (т. е. не имеющих характера изменений). Таков характер только изменений по отношению к этим движениям. По аналогии «игру случая» при измерении канонических переменных микросубъектов

---

<sup>78</sup> Подробно см. М. А. Марков. О природе физического знания. — «Вопросы философии», 1947, № 2, с. 140—176. Зависимость наблюдаемого явления от средства наблюдения (по аналогии с теорией относительности и в расширенном смысле) некоторые авторы обозначают как относительность. Однако подобная аналогия имеет условный характер (см. Нейман Дж. Фон. Математические основы квантовой механики. М., 1964, с. 242).

<sup>79</sup> Бор Н. Избр. научные труды, т. II. М., 1971, с. 205.

<sup>80</sup> Brunschwig. Science et la prise de conscience. — «Scientia», 1934, vol. 55, p. 334. Цит. по Сапек М. Philosophical Impact of Contemporary Physics. Princeton. N. Y., 1961. p. 296.

можно принять за что-то первичное для микромира в том смысле, что здесь «флуктуации» не только недетерминированы, но и беспричинны (акаузальны)<sup>81</sup>.

Итак, трудности, связанные с физическим детерминизмом, оказываются, в сущности, трудностями, связанными с определенным его пониманием. Их можно преодолеть, расширив это понимание, в соответствии с современным состоянием вопроса. Здесь мы предложили уточненный взгляд на детерминизм, охватывающий совокупность (не исключających друг друга) концепций. По существу, это полный набор концепций, извлеченный из характеристик, определяющих физический детерминизм. Вместе с тем правомерно различать концепции детерминизма и причинности. Констатация акаузального характера результатов измерения канонических переменных у квантовых объектов или, соответственно, невозможность причинного их истолкования рассматриваются как нарушение принципа причинности. При соответствующем (уточненном, более узком) понимании этого принципа (по аналогии с постановкой вопроса в ньютоновой динамике), как относящегося к определенным изменениям, акаузальный характер результатов указанных измерений просто остается вне сферы причинности и, следовательно, ей не противоречит.

---

<sup>81</sup> Поликаров А. Относительность и кванты, с. 451—453.

**ФОРМЫ ВЫРАЖЕНИЯ ПРИНЦИПА  
ПРИЧИННОСТИ В ФИЗИКЕ**

Проблема причинности в физических явлениях всегда была и остается одной из центральных методологических проблем физики, причем то или иное ее решение имеет существенное значение для решения более общей философской проблемы — проблемы причинности вообще.

Наибольшую остроту проблема причинности в физике приобрела в связи с созданием и развитием квантовой теории. Уже при возникновении квантовой теории стало ясно, что она не содержит в себе строгого детерминированного описания отдельных элементарных явлений. Это сразу же дало основание некоторым ученым высказать мнение о том, что в элементарных процессах строгая детерминированность отсутствует. Так, непосредственно после открытия квантовой механики П. Иордан 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»<sup>1</sup>.

Со всей остротой вопрос о причинности в элементарных процессах впервые был поставлен на 5-м Сольвеевском конгрессе в 1927 г. Здесь мнения по этому вопросу резко разделились. С одной стороны, представители старшего поколения физиков (Г. Лоренц, П. Ланжевэн, А. Эйнштейн и др.) продолжали отстаивать точку зрения, что в природе нет процессов, в которых бы не действовал строгий и однозначный детерминизм. С другой стороны,

---

<sup>1</sup> Иордан П. Причинность и статистика в современной физике.—«Успехи физич. наук», 1927, т. 7, с. 318.

более молодые физики (В. Гейзенберг, П. Дирак, В. Паули) высказывали мнение, что в микроявлениях строгий детерминизм не действует. Например, Дирак говорил, что в единичных микроявлениях «природа делает выбор»<sup>2</sup>. Гейзенберг полагал, что в этих явлениях «наблюдатель сам делает выбор»<sup>3</sup>. Паули также склонялся к мнению, что в атомных процессах отсутствует причинная обусловленность.

После Сольвеевского конгресса положение с вопросом о причинности в микроявлениях все чаще и чаще дискутируется 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»<sup>4</sup>.

Вопрос о причинности в физике вступил в новую фазу после выхода книги Дж. Неймана «Математические основы квантовой механики»<sup>5</sup>. В этой книге Нейман свел вопрос о причинности в квантовой механике к вопросу о возможности существования так называемых «скрытых параметров». При этом он доказал, что допущение существования скрытых параметров противоречит остальным принципам квантовой механики. Отсюда Нейман сделал заключение, что «квантовая механика находится в логическом противоречии с причинностью» и хотя она не может быть признана вполне завершенной теорией, «в настоящее время нет ни повода, ни оправдания для того, чтобы говорить о причинности в природе, ибо ее существование не опирается на опыт, так как макроскопические явления для этого принципиально непригодны, а единственная известная теория, совместимая с нашим опытным знанием, — квантовая механика — противоречит ей»<sup>6</sup>.

Начиная с этого момента вопрос о причинности в единичных атомных явлениях свелся к вопросу о возможности существования в них скрытых параметров. Этот

---

<sup>2</sup> *Electrons et Photons*. Paris, 1928, p. 262—263.

<sup>3</sup> Там же, с. 264.

<sup>4</sup> Planck M. *Was Planck in seinen Akademie — Ansprachen*. Berlin, 1948, S. 118.

<sup>5</sup> Neumann J. *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin, 1932.

<sup>6</sup> Neumann J. *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, S. 173.



вопрос обсуждался многими выдающимися физиками, однако и сегодня его нельзя считать решенным. Вместе с тем вопрос о причинности в единичных атомных процессах продолжает возбуждать дискуссии и по-прежнему остается одним из самых актуальных методологических вопросов физики и философии.

Рассмотрим, как складывалось понятие о причинности в физических явлениях и какие конкретные формы принимало это понятие в физической науке, включая и современную физику.

Прежде всего следует отметить, что, когда начала развиваться физическая наука, представления о причинности и закономерностях, действующих в природе, уже существовали. Зачатки таких представлений возникли очень давно, вероятно, еще у первобытного человека, т. е. в те времена, когда не только физики, но ни науки, ни философии вообще не существовало. Первобытный человек уже понимал, что одно явление или действие, вызывает другое определенное явление или действие, например трение одного куска дерева о другой при определенных условиях вызывает их нагревание и может быть причиной появления огня и т. д. И хотя такие представления у первобытных людей были смутными и неясными, они оказались тем зародышем, из которого впоследствии выросло сознательное представление о причинности. В философии древних греков, а также в Индии и Китае уже отчетливо высказывается принцип причинности (хотя в несколько различных формах) как всеобщий принцип, которому подчиняются все действия в природе.

Новый этап в развитии учения о причинности и закономерности начался вместе с образованием экспериментальной науки о природе — естествознания. Это было время, когда, с одной стороны, образовывались естественные науки, отпочковываясь от философии, а с другой — возникала новая философия. Новая философия, хотя еще и не всегда последовательно, отказывалась от решения конкретных естественнонаучных вопросов, которые стали предметом изучения естественных наук, а естественные науки не ставили перед собой цели исследования самых общих закономерностей, действующих в природе, человеческом обществе и познании. Однако возникновение естественных наук и новой философии не означало разрыва между ними.

И естествознание, и философия развивались в тесной связи между собой. Одна из особенностей этой связи заключалась в том, что целый ряд общих философских понятий и положений, высказанных в рамках философии, получали конкретные выражения в естественных науках. Вместе с тем открываемые естествознанием конкретные закономерности и естественнонаучные понятия обобщались философией. Так, понятие материи, возникшее вместе с появлением натурфилософии и развивавшееся дальше в новой философии, получало конкретные выражения в физике в виде определенных моделей: различного рода атомных моделей, «невесомой материи» (вроде теплорода), «материи тяжести», эфира и т. д. В свою очередь, конкретные представления о материи у физиков оказывали влияние на общее понятие материи в философии. Революция в физике, происшедшая на рубеже нашего столетия, заставила отказаться от конкретного представления о материи. Наивысшее достижение в общем философском понимании материи было сформулировано В. И. Лениным и сводилось к пониманию материи как «объективной реальности, данной нам в ощущении».

Физик изучает лишь наиболее простые формы материи, используя по-прежнему конкретные представления о материи как о веществе и поле: вещество (элементарные частицы, обладающие массой покоя) и поле — так конкретизируется в современной физике общее понятие материи. Так же обстоит дело с понятием причинности, принципом причинности и понятием закономерности в природе. Понятие причинности, закономерности в природе, возникшее в натурфилософии, после появления естествознания и новой философии продолжало развиваться как философская категория. Наряду с ним в физике возникло и развивается более конкретное представление о причинности и закономерности. Это конкретное представление относится к общему философскому представлению так же, как конкретное представление о физических формах материи к общему представлению о материи в философии.

Не касаясь развития общего философского понятия о причинности, рассмотрим теперь, как конкретно развивалось представление о причинности и закономерности в рамках физической науки.

Первоначально, на первом этапе развития физики, понятие причинности связывалось с механикой, что было

вполне естественно, так как из всех разделов физики механика начала развиваться раньше и уже в XVII в. Ньютон сформулировал основные понятия и законы механики, затем Эйлер, Даламбер, Лагранж и др. разработали аппарат аналитической механики. Особое положение механики среди других естественных наук определило и то, что понятие причинности в физике приобрело первоначально механическую окраску: понятие причины связывалось с понятием силы, а понятие о принципе причинности — с постановкой основного вопроса в механике. Понятие силы в физике было введено Ньютоном, который понимал под силой причину механического движения: если на тело действует сила, то тело приходит в движение. При этом изменение скорости, или ускорение, определяется помимо величин, характеризующих само тело, силой, которая рассматривается как внешняя причина, вызвавшая движение тела или изменившая его движение. Но, согласно механическому взгляду на природу, все явления сводятся в конечном счете к механическим движениям тел, в том числе и мельчайших частиц — атомов. Поэтому сила стала рассматриваться Ньютоном и его последователями не только как причина механического движения, но и как причина движения и изменения вообще.

Ставя задачу для будущих исследователей, Ньютон писал: «Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы, рассуждая подобным же образом, ибо многое заставляет меня предполагать, что все эти явления обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел, вследствие причин, покуда неизвестных, или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга. Так как эти силы неизвестны, то до сих пор попытки философов объяснить явления природы остались бесплодными»<sup>7</sup>.

Таким образом, сила в механике Ньютона (да и в физике в целом) приобрела смысл основной причины движения, а вместе с тем и изменения вообще, поскольку всякое изменение представлялось возможным свести к ме-

---

<sup>7</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии. — «Известия Николаевской Морской академии», Пг., 1915—1916, вып. IV и V, с. 3.

ханическим движениям тел и частиц, их образующих. Принцип же причинности приобрел форму жесткого и однозначного детерминизма.

Однако такое простое представление о принципе причинности в физике скоро начало усложняться. Если мы имеем не одно тело, а изолированную систему тел, то силы, действующие на каждое тело, хотя они по-прежнему могут рассматриваться как причины 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, а вместе с тем в физике вообще, приобретает новую форму: состояние системы тел в некоторый момент времени  $t_0$  и силы, действующие между телами, определяют жестко и однозначно состояние этой системы тел в любой другой момент времени — как последующий, так и предыдущий. В данном случае виден переход к новой форме причинности, или к новой форме причинных связей, названной «связью состояний».

Следует отметить, что не все ученые склонны считать связь состояний за одну из форм причинных связей. Так, М. Бунге<sup>8</sup> видит существенное отличие причинной связи от связи состояний. Г. А. Свечников также различает причинную связь и связь состояний<sup>9</sup>. Это различие, по его мнению, состоит в том, что в случае причинной связи мы говорим о взаимодействии одного объекта с другим, в случае же связи состояний — о взаимодействии разных состояний одной и той же системы. Однако Г. А. Свечников не проводит китайской стены между понятиями причинности и связи состояний, считая их однопорядковыми, и даже говорит об «единстве причинности и связи состояний».

Различие между причинностью и связью состояний относительно и зависит от постановки вопроса. Так, в случае механической системы, если мы ставим вопрос об изменении состояния лишь одного тела системы, то можем «забыть» о существовании других тел и рассматривать их действие на данное тело как наличие некоторой силы, изменяющей состояние данного тела и выступаю-

---

<sup>8</sup> Бунге М. Причинность. М., 1962.

<sup>9</sup> Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике. М., 1971, с. 117.

щей по отношению к его изменениям как причина. Но если мы станем рассматривать всю систему в целом, то скажем, что данное состояние этой системы детерминирует ее последующие состояния. Конечно, и здесь можно говорить о силах, действующих на тела, как о причинах их движений, но такое рассмотрение уже будет терять смысл, поскольку сами эти силы будут также определяться положением всех других тел, а возможно, и их относительными скоростями. И если мы пожелаем теперь искать причину движения тел в системе, т. е. причину изменения их состояния, то должны будем признать, что этой причиной оказывается не что иное, как их предыдущее состояние, относительное положение и, возможно, их относительные скорости, а не силы, действующие между телами, так как сами эти силы определяются состоянием тел.

Причинность, как и связь состояний, выражает взаимодействие в природе. В. И. Ленин, приводя слова Ф. Энгельса, писал: «Причина и следствие суть представления, которые имеют значение как таковые, только в применении к данному отдельному случаю, в его общей связи со всем мировым целым, эти представления сходятся и переплетаются в представлении универсального взаимодействия, в котором причины и следствия постоянно меняются местами; то, что здесь или теперь является причиной, становится там или тогда следствием и наоборот...» «Следовательно,— добавляет Ленин,— человеческое понятие причины и следствия всегда несколько упрощает объективную связь явлений природы лишь приблизительно отражая ее, искусственно изолируя те или иные стороны единого мирового процесса»<sup>10</sup>.

Таким образом, разница между понятиями причинной связи и связи состояний, хотя и имеет место, относительна. И мы считаем возможным рассматривать связь состояний в физике как форму причинных связей.

Идея о всеобщем характере механической причинности была сформулирована Лапласом в конце XVIII в.: «Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдоба-

---

<sup>10</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 18, с. 160.

вок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, объял бы в одной формуле движение величайших тел Вселенной, наравне с движением легчайших атомов; не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором»<sup>11</sup>. Несмотря на то, что формулировка так называемого лапласовского детерминизма хорошо известна, его нередко трактуют по-разному.

Во-первых, следуя высказыванию самого Лапласа, под механическим детерминизмом понимают утверждение о том, что состояние мира определяется начальными положениями и начальными скоростями всех частиц, составляющих Вселенную, и силами, действующими между ними. Назовем это положение лапласовским детерминизмом в узком смысле.

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

Наконец, говоря о лапласовском детерминизме, нужно различать субъективный и объективный аспекты. 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 времени. Можно не признавать детерминизм Лапласа в субъективном смысле, например полагая, что состояние определяется очень большим или даже, что не дает возможности предсказания, бесконечным числом параметров, и признавать действие лапласовского детерминизма в его объективном понимании.

---

<sup>11</sup> Лаплас П. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908, с. 8.

Принятие детерминизма лишь как лапласовского детерминизма, в узком смысле, было характерно для классической физики XVIII и большей части XIX столетий. Однако физическая наука не могла ограничиться только таким пониманием принципа причинности. Физика все в большем масштабе начинала исследовать немеханические процессы, при этом устанавливались все новые и новые законы, связывающие в виде математических зависимостей наблюдаемые и изучаемые величины, такие как температура, количество теплоты, сила тока и т. д. И при всей механистичности мировоззрения о механическом происхождении изучаемых величин и устанавливаемых закономерностей можно было говорить только чисто теоретически, полагая, что только в конечном счете полученные закономерности объясняются (каким образом, пока неизвестно) как результат механического движения каких-то частиц под действием каких-то сил.

В связи с этим понятие детерминизма в физике расширяется до утверждения о том, что состояние физической системы в момент времени  $t_0$  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.

Прежде всего возникшая ранее в механике форма причинности как связи состояний распространяется на механику сплошных сред, а также и на немеханические явления: оптические, электромагнитные и частично тепловые. Устанавливаемые при этом законы описывают распространение в пространстве каких-либо возмущений с определенной скоростью. Так, в механике сплошных сред исследуется распространение деформаций 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 независимая переменная время.

Наряду с этим принцип причинности в физике принимает форму так называемой функциональной зависимости, когда устанавливаемые законы выражаются в виде

математических соотношений между физическими величинами, не содержащих время в явном виде.

Примером таких законов может служить закон Ома, согласно которому изменение силы тока в цепи пропорционально изменению напряжения на ее концах:  $I = \frac{V}{R}$ , где  $I$  — сила тока,  $V$  — напряжение на концах участка цепи, а  $R$  — сопротивление этого участка цепи. Здесь причинная связь выражается так: изменение силы тока — следствие, изменение напряжения — причина.

В качестве другого примера можно привести функциональную зависимость между давлением  $p$ , объемом  $V$  и температурой  $T$  идеального газа. В данном случае функциональная зависимость этих трех величин выражена уравнением состояния идеального газа:  $pV = RT$ , где  $R$  — константа. Здесь в качестве причины могут выступать один или два параметра, характеризующих состояние идеального газа, а следствием будут соответственно два или один из оставшихся параметров: например, изменение температуры влечет за собой изменение давления и т. д.

Наконец, все закономерности термодинамики выражаются в форме функциональной зависимости, и эти функциональные зависимости выражают причинные связи, существующие между термодинамическими параметрами, которые характеризуют термодинамическое состояние вещества.

Так же, как связь состояний, функциональную зависимость не всегда считают выражением принципа причинности. Например, Бунге полагает, что для понятия причинности обязательно наличие активности причины, т. е., по его мнению, причинная связь — это такая связь, в которой можно различить активную и пассивную стороны. С этой точки зрения не всякая функциональная связь относится к причинной связи.

Конечно, не всякая функциональная зависимость есть выражение причинной связи. Так, функциональная зависимость между площадью круга и его радиусом не выражает никакой причинной связи. Но если мы говорим о функциональной связи между физическими величинами, которая в виде математической формулы выражает какой-либо физический закон (например, закон Ома или закон всемирного тяготения и т. д.), то этот закон, эта



математическая зависимость выражают причинную связь, существующую между физическими величинами.

Нужно подчеркнуть при этом, что подобного рода законы можно и следует понимать не просто как законы равновесия, а как законы, указывающие на изменение той или иной физической величины при изменении другой величины. В этом смысле физический закон, выраженный функциональной зависимостью, можно рассматривать так же, как частный или предельный случай законов, выражающих связь состояний и содержащих время. Действительно, если изменение состояния какой-либо физической системы происходит очень медленно, то каждое из этих состояний можно рассматривать как состояние равновесия, изменение системы тогда как бы теряет чувствительность ко времени и время выпадает из рассмотрения. В этом случае изменение системы называется квазистатическим, или квазистационарным.

Рассмотрим, например, электрическую цепь, содержащую сопротивление и самоиндукцию, и пусть в цепи когда-то давно был включен источник ЭДС (электродвижущей силы). В этом случае величина электрического тока в цепи будет определяться законом Ома и оставаться постоянной. Изменим теперь значение ЭДС. В цепи возникнут затухающие колебания электрического тока, и сила тока, вообще говоря, уже не будет определяться законом Ома. Сила тока в какой-либо момент времени будет зависеть не только от параметров системы, но и от ее значения в какой-либо из предыдущих моментов времени, и, таким образом, мы теперь имеем случай причинной связи, называемой связью состояний. Наконец, пусть ЭДС также изменяет свою величину, но это изменение происходит очень и очень медленно. Тогда в каждый момент времени мы можем рассматривать силу тока постоянной и полагать, что она определяется с помощью закона Ома (несмотря на то, что ЭДС и сила тока непрерывно изменяются). В этом случае время перестает играть какую бы то ни было роль, процесс становится квазистатическим (как бы состоящим из состояний равновесия) и принцип причинности выражается уже не в форме связи состояний, а в форме функциональной связи.

Таким образом, случай причинной связи, выражаемой функциональной зависимостью, можно рассматривать как предельный (или частный) случай причинной связи,

выражаемой связью состояний, конечно, с той оговоркой, что речь идет о функциональной зависимости между физическими величинами, выражающей какой-либо физический закон.

Итак, мы рассмотрели простейшие формы, в которых выражается принцип причинности в физике. Все они фактически сводятся к той форме, которую называют связью состояний и которая соответствует лапласовскому детерминизму в широком смысле.

Новые формы причинности в физике появились вместе с развитием термодинамики и статистической физики. Открытие второго закона термодинамики произвело целый переворот во взглядах физиков на физические процессы. Этот закон утверждал принципиальную необратимость всех наблюдаемых физических процессов, что в известном смысле усложняло вопрос о причинности. Действительно, ведь согласно лапласовскому детерминизму (в широком смысле) настоящее состояние физической системы определяет как будущее, так и прошедшее ее поведение или состояние. Для необратимых же процессов оказалось, что настоящее состояние системы, строго говоря, определяет только будущие, но не прошедшие состояния.

Например, при исследовании процесса распространения теплоты вдоль стержня, зная распределение температуры вдоль этого стержня в момент времени  $t_0$  и параметры, характеризующие нашу систему (стержень), можно рассчитать распределение температуры для любого последующего момента времени. Мы говорим «рассчитать» в том смысле, что начальное состояние нашей системы точно и однозначно определяет состояние ее в любой последующий момент времени.

Но значение начального состояния системы, т. е. в данном случае распределение температуры вдоль стержня в момент времени  $t_0$ , не позволяет, строго говоря, определить ее распределение в какой-нибудь из предыдущих моментов времени  $t < t_0$ , следовательно, настоящее состояние определяет будущее, но не прошедшее состояние этой системы. Сделанный 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 необратим.

Например, если мы рассмотрим затухающие колеба-

ния груза, подвешенного на пружине; то решив соответствующее дифференциальное уравнение с учетом начальных значений, получим, что амплитуда колебаний выражается как функция времени  $x = x_0 e^{-c(t-t_0)} \cos(\omega t + \varphi)$ , где  $x$  — отклонение груза от положения равновесия,  $c$  и  $\omega$  — величины, определяемые параметрами системы, а  $x_0$  и  $\varphi$  — начальная амплитуда и фаза. Эта формула определяет  $x$ , строго говоря, только для времени  $t > t_0$  и не пригодна для  $t < t_0$ . Правда, можно предположить, что для времени  $t < t_0$  колебания происходят по тому же закону, но это предположение будет неправомерным, так как при уменьшении времени  $t$  от  $t_0$  амплитуда колебаний безгранично возрастает, что, конечно, не имеет смысла.

Таким образом, лапласовский детерминизм в широком смысле в случае необратимых макроскопических явлений, если не учитывать молекулярного строения вещества, требует изменения и сводится к утверждению: состояние системы в данный момент времени определяет только ее будущее, но не определяет ее прошлое.

Эта формулировка лапласовского детерминизма для необратимых макроявлений аналогична формулировке так называемого принципа причинности в квантовой физике<sup>12</sup>, согласно которому какое-либо событие оказывает влияние на эволюцию системы лишь в последующие моменты времени или что только прошлое состояние системы определяет ее будущее состояние, а не наоборот. Конечно, под понятием состояния в данном случае подразумевается совсем другое, нежели в термодинамике, но это другой вопрос, на котором мы остановимся позже.

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

---

<sup>12</sup> Барашенков В. С. Об экспериментальной проверке принципа причинности. — «Вопросы философии», 1965, № 2, с. 108.

в существовании статистических законов, управляющих поведением определенных физических систем.

Представление о статистических законах возникает и развивается вместе с развитием молекулярной физики. Впервые идею о том, что в молекулярной физике приходится пользоваться статистическим методом, вероятно, четко осознал Максвелл: «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»<sup>13</sup>.

Еще более определенно по этому вопросу высказался малоизвестный русский физик Н. Н. Пирогов, работы которого по статистической физике относятся к 80—90-м годам прошлого столетия. Пирогов уже говорит не о разных способах мышления, а о существовании двух форм закономерностей: «Еще в 1860 году появился знаменательный мемуар Clerk-Maxwell'я: *Illustration of the Dynamical Theory of Cases*, мемуар, которому, по-видимому, суждено сделаться одной из исходных точек новой эры естествознания. Если период до шестидесятых годов настоящего столетия справедливо может быть назван Newton' овской эрой, эрой изучения *закономерного*, то с шестидесятых годов проявляется с особой силой почти во всех отраслях естествознания новое направление изучения *закономерностей случайного*»<sup>14</sup>.

Однако высказывания подобного рода, появившиеся в XIX в., не были характерными для взглядов большинства физиков, которые, используя статистические методы в физике, рассматривали их лишь как результат невозможности применять на практике обычные методы для расчета поведения очень сложных систем, состоящих из огромного числа частиц. И когда Больцман в 70-х годах прошлого столетия пришел к выводу о статистическом характере второго закона термодинамики, то большинству физиков эта идея показалась неприемлемой. Тем не менее последующее развитие физики заставило признать существо-

---

<sup>13</sup> Campbell L., Garnett W. The life of James Clerk Maxwell. L., 1882, p. 436.

<sup>14</sup> «Журнал русского физико-химического общества», 1890, т. 22, вып. 5, с. 198.

вание в природе статистических закономерностей, отличающихся от строго причинных динамических законов. И в 1914 г. Планк должен был заявить о действии в физике статистических законов, управляющих необратимыми процессами, «что 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»<sup>15</sup>.

Таким образом, физика познала новую форму физических законов, а вместе с тем и новую форму причинно-следственных связей. Статистические закономерности проявляются у систем, состоящих из большого числа частиц. Эти закономерности устанавливают соотношения не между величинами, характеризующими сами частицы, а между средними значениями величин, образованных с помощью последних. Например, в соотношениях, устанавливаемых в статистической физике, фигурируют среднее значение кинетической энергии, приходящейся на одну молекулу, или среднее значение импульса, сообщаемого стенкам сосуда в единицу времени и приходящегося на единицу поверхности, а также соответствующие функции распределения, вероятности и т. д.

Соотношения, устанавливаемые между средними величинами, функциями распределения в статистической физике, имеют вид однозначных причинных связей. Эти причинно-следственные связи выражаются опять-таки в форме связей состояний и имеют характер однонаправленного лапласовского детерминизма, т. е. детерминизма, определяющего только будущее, но не прошедшее. Однако средние значения, с которыми мы имеем дело в статистической физике, есть абстракции, не равные значениям реальных величин. И хотя причинно-следственные связи между средними величинами носят однозначный характер, в каждый момент времени в конкретной точке пространства действительные средние (например, действительная измеряемая температура) могут отличаться от идеальных средних статистической физики. В связи с этим действительные причинно-следственные связи с необходимостью предусматривают наличие таких отклонений (флуктуаций).

---

<sup>15</sup> Планк М. Физические очерки. М., 1925, с. 76.

Таким образом, закономерности, получаемые в статистической физике и являющиеся закономерностями коллектива частиц, хотя и носят характер однозначных причинно-следственных связей в форме связей состояний и выражаются в виде однонаправленного лапласовского детерминизма, оказываются принципиально приближенными (в явном виде).

Одновременно с признанием статистических закономерностей для коллектива частиц классическая статистика не отвергла того, что поведение каждой отдельной частицы следует лапласовскому детерминизму, т. е. предполагается, что наряду с действием статистических законов будущее и прошедшее каждой отдельной частицы и всех частиц вместе строго и однозначно определяется их начальными состояниями. При этом следует подчеркнуть, что динамические закономерности, определяющие индивидуальное поведение частиц, никак не определяют статистическое поведение коллектива частиц, т. е. статистические законы. Вместе с тем статистический закон, описывающий поведение коллектива частиц, никак не определяет поведение каждой отдельной частицы.

Таким образом, в классической статистике предполагается, во-первых, что поведение отдельных частиц, образующих макротело, следует 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, в-третьих, изменение реальных средних значений приблизительно определяется законами, которые получены теоретически для средних величин, функций распределения и т. д.

В квантовой механике представление о статистических закономерностях изменилось. Несмотря на то, что в классической физике ученые признали существование статистических законов, первенство они отдавали динамическим законам. В квантовой механике положение оказалось обратным. Так же, как и в классической статистике, в квантовой механике устанавливаются соотношения между средними значениями величин, функциями распределения, вероятностями и т. д. и законы изменения этих величин во времени. Эти законы подобны законам классической статистики и удовлетворяют лапласовскому детерминизму в широком смысле.

Действительно, основное уравнение квантовой механики — уравнение Шредингера — однозначно и жестко определяет в любой момент времени значение функции  $\Psi$ , которая в данном случае аналогична функции распределения классической статистики, если известно ее значение в некоторый начальный момент времени  $t_0$ , причем не только для будущего, но и для прошедшего. Зная функцию  $\Psi$ , можно вычислить теоретически для любого момента времени значение средних величин и определить их изменение во времени (как и в классической статистике). Вычисленные средние значения приблизительно будут равны средним значениям реальных величин. Но далее начинается расхождение между классической статистикой и квантовой механикой. Если в классической статистике предполагается, что кроме статистических законов для коллектива частиц для каждой из них действуют строгие однозначные законы динамического характера, выражающиеся лапласовским детерминизмом в широком смысле, то квантовая механика таких законов не знает. В квантовой механике не существует динамических законов для каждого элементарного объекта или процесса. Другими словами, нет никаких скрытых параметров, как это полагал Нейман.

Принцип причинности в квантовой механике много раз иллюстрировался на разных примерах. Многие из них хорошо известны, однако мы все-таки приведем характерный пример с опытом по дифракции электронов. Рассмотрим прохождение электронов через малое отверстие. Пусть каждый электрон описывается плоской волной и все они обладают одним и тем же импульсом (это можно себе представить, если предположить, что все электроны излучаются накалившимся катодом и проходят одну и ту же разность потенциалов). Проходя через экран с малым отверстием, электрон попадает на другой экран, покрытый флуоресцирующим веществом, и в месте попадания дает вспышку. Хотя каждый электрон с точки зрения квантовой механики описывается одной и той же волновой функцией, имеет одно и то же начальное состояние и затем подвергается одному и тому же воздействию со стороны экрана с отверстием, разные электроны попадают в разные точки второго экрана. Таким образом, в данном случае одинаковые причины приводят к разным следствиям, т. е. отсутствует постоянная причинно-следственная связь

между начальным состоянием электрона и его появлением на экране в определенной точке. В данном случае, однако, действует статистический закон: если через отверстие пройдет очень много электронов, то они дадут на флюоресцирующем экране картину, подобную дифракционной картине, которая наблюдается при прохождении пучка световых лучей через малое отверстие.

Можно рассмотреть и другие подобные примеры, скажем, отражение электрона от границы, на которой имеет место скачок напряженности электрического поля (пример, аналогичный отражению световых лучей от поверхности раздела между веществами с разными показателями преломления). Здесь одни электроны будут проходить данную границу, а другие отразятся от нее, причем какой из электронов отражается, а какой проходит через границу, ничем не определено. Но для множества электронов, как и в первом примере, будет действовать статистический закон, который определяет с какой-то точностью отношение числа электронов, прошедших и отраженных от границы раздела.

Подобные примеры вызвали высказывания о том, что в элементарных процессах отсутствует причинность.

Какие же взгляды на вопрос о причинности в квантовой механике существуют в настоящее время?

Прежде всего следует отметить, что, как и раньше, некоторые ученые и философы из ситуации в квантовой механике делают идеалистические выводы об отсутствии объективной причинности вообще. Мы не будем останавливаться на их позиции, так как всякий непредубежденный человек, знакомый с физикой, понимает, что это неверно, поскольку причинность для средних величин, функций распределения, вероятностей остается и в квантовой механике. Более того, она имеет характер строгого лапласовского детерминизма.

Таким образом, речь будет идти только о причинности в элементарных процессах типа «куда попадает электрон» в дифракционном опыте. Существуют две противоположные точки зрения. Первая, наиболее распространенная, признает, что для элементарных процессов указанного типа однозначная причинность отсутствует: при одинаковых начальных условиях и одинаковых причинах получаются разные следствия. Почему? Иногда говорят, что этот вопрос не имеет смысла, что нельзя пред-



ставлять электрон как частицу, что он не является дробинкой и т. д., но все это попытки уйти от ответа на трудный вопрос.

В указанном опыте электрон может быть каким угодно объектом, как и его взаимодействие с экраном. Поскольку мы считаем, что все электроны поставлены в одинаковые условия (а квантовая механика именно так и считает), то появление каждого из них на экране должно быть в одном и том же месте, если действует принцип однозначной причинности. Однако в данном случае, как показывает опыт, этот принцип не действует.

О том, что в элементарных процессах не действует принцип однозначной причинности, говорит, например, В. А. Фок. Он неоднократно подчеркивал неприменимость лапласовского детерминизма в квантовой механике, понимая под термином «лапласовский детерминизм» принцип однозначной причинности. В. А. Фок отмечал невозможность предсказания индивидуального явления в квантовой механике, причем не просто техническую, а объективную невозможность. На вопрос, можем ли мы предсказать в атомной области индивидуальные явления, он дает однозначный ответ: «Если справедливо неравенство Гейзенберга, то предусмотреть индивидуальное явление нельзя»<sup>16</sup>.

Микрообъект, по В. А. 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 В. А. Фока (поскольку поведение волновой функции строго определяется соответствующими уравнениями), принцип причинности «непосредственно относится к вероятностям, т. е. к потенциально возможным, а не к действительно осуществляющимся событиям»<sup>17</sup>.

В книге «Принципиальные вопросы квантовой механики» Д. И. Блохинцев высказывает фактически ту же точку зрения на причинность в квантовой механике. В параграфе «Иллюзия детерминизма» он пишет, что

---

<sup>16</sup> Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики. — В кн.: Философские проблемы современного естествознания. М., 1959, с. 555.

<sup>17</sup> Там же.

в современных условиях критическое отношение к основам современной теории является, по-видимому, самым разумным. К таким основам теории относятся и концепция классического детерминизма. Вернее сказать, не так сомнителен сам детерминизм, сколько безотчетное преклонение перед идеалом детерминизма, и далее: «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»<sup>18</sup>.

Далее Блохинцев поясняет, что следует понимать под причинностью в квантовой механике: «Детерминизм в классическом случае означает попросту, что состояние системы в предшествующий момент времени полностью определяет ее состояние в последующий момент времени». Что же касается понятия состояния, то он поясняет, что «состояние системы в квантовой теории означает ее принадлежность к тому или иному квантовому ансамблю, который характеризуется волновой функцией»<sup>19</sup>. Здесь так же, как и у В. А. Фока, строгая причинность в классическом смысле действует для волновой функции, которая дает статистическую, или вероятностную, характеристику системы.

Противоположную точку зрения по вопросу о причинности занимали физики старшего поколения: Планк, Лауэ, Лоренц, Эйнштейн и др. Все они, по сути дела, стояли на точке зрения существования скрытых параметров в широком смысле слова, т. е. полагали, что существуют пока еще неизвестные параметры, которые управляют индивидуальным движением квантовых частиц, в частности движением электронов к экрану в указанном выше опыте. В настоящее время на точке зрения скрытых

---

<sup>18</sup> Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1966, с. 6—7.

<sup>19</sup> Там же.

параметров стоит Л. де Бройль и его ученики, которые пытаются построить «детерминистическую» квантовую теорию. Можно указать и на других ученых, придерживающихся этой или подобной точки зрения.

За скрытые параметры, по существу, высказывается Н. Винер. В сборнике, посвященном прогнозам развития науки, он пишет: «Существуют также ясные свидетельства 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 исключительно из-за нашей неспособности оперировать с явлениями весьма малых масштабов какими-либо методами, кроме статистических. В такой детерминистической теории попросту исчезнут многие существенные трудности»<sup>20</sup>.

Некоторые физики считают, что вопрос о причинности в элементарных процессах остается неясным. Так, по-видимому, думал советский физик Л. И. Мандельштам: «Существуют ли основания утверждать, что нельзя дополнить или перестроить квантовую механику таким образом, чтобы сохранились те ее стороны, которые так блестяще оправдали себя в применении к истолкованию и предвидению физических явлений, и чтобы в то же время она не содержала соотношения неопределенностей»? И отвечает: «На так поставленный вопрос трудно ответить... Я думаю, что на вопрос, поставленный в такой общей форме, ответа никто дать не может»<sup>21</sup>.

Фейнман, один из видных современных физиков, указывает среди проблем, над которыми следует подумать, проблему доказать, что вероятностная интерпретация функции  $\Psi$  есть единственная последовательная интерпретация этой величины. «Мы и наши измерительные средства составляем часть природы и, следовательно, должны в принципе описываться функцией, удовлетворяющей детерминистическому уравнению. Почему же мы можем предсказать лишь вероятность того, что данный эксперимент приведет к некоторому определенному результату? Отку-

---

<sup>20</sup> Винер Н. Динамические системы в физике и биологии. — В кн.: Горизонты науки и техники. М., 1969, с. 43.

<sup>21</sup> Мандельштам Л. И. Полн. собр. соч., т. 5, с. 413—414.

да возникает неопределенность? Почтinet сомнения, что она возникает из необходимости усилить эффекты одиночных атомных событий до уровня, доступного наблюдению с помощью больших систем. Детали же должны изучаться только на основе предположения, что  $|\Psi|^2$  есть вероятность, а последовательность этой гипотезы уже доказана. Было бы интересно показать, что нельзя предложить *никакого другого* последовательного истолкования этой величины»<sup>22</sup>.

Среди советских философов также существуют различные мнения по вопросу о причинности в квантовой механике, хотя многие философы и не высказываются по данному вопросу с полной ясностью.

Л. Б. Баженов, К. Е. Морозов и М. С. Слудский определенно считают, что в элементарных квантовых процессах однозначная причинность отсутствует. Они критикуют Г. А. Свечникова за то, что он полагает причинность всегда однозначной, и пишут: «... однозначная причинность представляет собой абстракцию, не наталкивающуюся на сколько-нибудь серьезные ограничения в рамках классической физики. Но превращать в ней абстрактные моменты непосредственно в саму действительность — значит не от вещей идти к понятиям, а наоборот, от понятий к вещам»<sup>23</sup>.

Иначе считает Г. А. Свечников. «Представление, что одинаковые причины при одинаковых обстоятельствах могут производить разные следствия, противоречило бы самому понятию причинности»<sup>24</sup>.

Можно привести еще много высказываний по вопросу о причинности в квантовой механике, но в этом нет необходимости. Укажем лишь, что если в приведенных нами высказываниях дается определенный ответ на проблему причинности в квантовой механике, то во многих других исследованиях этот вопрос, по существу, запутывается в общих рассуждениях и цитатах из произведений классиков марксизма-ленинизма.

В заключение статьи рассмотрим высказываемое мнение о том, что не только в квантовой механике, но и в

---

<sup>22</sup> Р. Фейнман, А. Хибс. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М., 1968, с. 35.

<sup>23</sup> Баженов Л. Б., Морозов К. Е., Слудский М. С. Философия естествознания. М., 1960, с. 233.

<sup>24</sup> Свечников Г. А. Категория причинности в физике. М., 1961, с. 32.

классической физике следует отказаться от строгого и однозначного детерминизма. Такого мнения придерживаются, например, М. Борн<sup>25</sup>, Л. Бриллюэн<sup>26</sup>, Д. И. Блохинцев<sup>27</sup>.

В одной из статей Борн исходит из того, что при рассмотрении какой-либо задачи в классической механике мы всегда можем практически задать начальные значения лишь с определенной точностью. Это приводит к тому, что для определенных механических систем небольшая неточность в начальных значениях приводит к большой неопределенности в состоянии системы за конечный промежуток времени. Для пояснения этой мысли Борн рассматривает простой пример.

Частица движется без трения по прямой линии (ось  $X$ ) при отсутствии каких-либо сил и упруго отражается в конечных пределах ( $x=0$ ,  $x=l$ ). Таким образом, частица всегда находится в данном интервале  $(0, l)$ . Пусть теперь начальные значения координаты и скорости частицы известны с точностью  $\Delta x_0$  и  $\Delta v_0$ . Очевидно, что с течением времени неопределенность в координате частицы будет возрастать и наконец с некоторого момента времени эта неопределенность станет больше  $l$ . В результате этого говорить о предсказуемости положения частицы, зная начальные значения с точностью  $\Delta x_0$  и  $\Delta v_0$ , уже не имеет смысла: частица может находиться в любом месте оси  $X$  между 0 и  $l$ . «Иначе,— пишет Борн,— конечное положение является недетерминированным»<sup>28</sup>. Так как практически никогда нельзя задать начальные значения абсолютно точно, то всегда существует такое время, после которого движение данной частицы будет, так сказать, абсолютно недетерминированным, т. е. неопределенным.

Нам представляется, что рассуждение Борна неправильно. Дело в том, что Борн говорит о возможности или невозможности предсказания, т. е. рассматривает субъектив-

---

<sup>25</sup> Борн М. Действительно ли классическая механика детерминистична.— В кн.: Физика в жизни моего поколения. М., 1903, с. 285—293.

<sup>26</sup> Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М., 1966, 271 с.

<sup>27</sup> Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики, 160 с.

<sup>28</sup> Борн М. Физика в жизни моего поколения. М., 1903, с. 289.

ный аспект принципа причинности. Его рассуждения не относятся к объективной стороне этого принципа. В классической механике, а речь идет именно о классической механике принимается, что начальные значения механической системы объективно имеют в любой момент времени абсолютно точные значения. И существование точных начальных значений не зависит от того, с какой степенью точности они нам известны. Таким образом, объективный аспект лапласовского детерминизма никак не опровергается рассуждениями Борна. Далее, существует принципиальная разница в неопределенности положения частицы, о которой говорит Борн, и неопределенности в квантовой механике. Неопределенность, с которой мы устанавливаем начальное положение и скорость классической частицы, можно сделать сколь угодно малой. В квантовой же механике точность, с которой могут быть определены эти величины, ограничена соотношением Гейзенберга.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ПРИЧИННОСТЬ В ФИЗИКЕ

Исследование категорий взаимодействия и причинности представляет собой важную задачу, актуальность которой определяется тем, что ни одна проблема современной науки не может быть решена без глубокого диалектического представления об этих категориях. Цель настоящей статьи — выяснить соотношение категорий взаимодействия и причинности, что приводит к решению вопроса о временном характере причинно-следственных отношений. Прежде чем рассматривать соотношение указанных категорий, дадим их краткую характеристику.

Взаимодействие выступает атрибутом материи, оно имманентно присуще всем вещам и явлениям материального мира. Все материальные образования изначально существуют благодаря различным взаимодействиям и в силу своей внутренней природы неизбежно связаны и взаимодействуют между собой. Движение материи нельзя рассматривать иначе, как взаимодействие вещей и явлений материальной действительности, как всеобщее универсальное взаимодействие.

Взаимодействие, являясь атрибутом материи, выступает как некий принцип деятельности, характеризующий импульсы самодвижения и развития всех явлений мира. Ф. Энгельс отводил взаимодействию материальных объектов решающее место в природе, считая его источником, основной и конечной причиной существования и изменения всех без исключения материальных образований. Сущность движения материи выражается во взаимодействии материальных объектов. Поэтому рассмотрение различных явлений должно сводиться к изучению взаимодействий и их диалектического характера. В. И. Ленин обратил внимание на важность диалектического подхода к рассмот-

рению «телесной субстанции» не как мертвой массы, а как субстанции, имеющей в себе «деятельную силу, не знающий покоя принцип деятельности»<sup>1</sup>.

Приведем теперь краткую характеристику причинности. «Причинность — генетическая связь явлений, в которой одно явление — причина, при наличии определенных условий неизбежно производит, порождает другое явление — следствие (или действие)»<sup>2</sup>. Характерная, существенная черта причинности — порождение одного явления другим в процессе взаимодействия. Такое представление о причинности в философской литературе в основном общепризнано. Однако по вопросу о временном характере причинно-следственных отношений существуют три точки зрения:

- 1) причина предшествует следствию;
- 2) причина и следствие существуют одновременно;
- 3) причина как предшествует следствию, так и существует одновременно с ним.

Следует сказать о попытке решить временную проблему причинно-следственных отношений с помощью других категорий диалектики, т. е. путем расширения категориального аппарата научного исследования. Так, немецкий философ Г. Лессер в исследовании временного аспекта причинно-следственных отношений исходит из рассмотрения движущейся материи: «... из диалектико-материалистического понимания движения следуют временные отношения причины и следствия. Мы исходим поэтому при рассмотрении временного отношения причины и следствия из единства и тесной связи каузальности и материального движения»<sup>3</sup>.

Однако такой подход к рассмотрению временного характера причинно-следственных отношений не дает возможности однозначно решить данный вопрос из-за недостаточной информационной емкости категории движения. Временной характер причинно-следственных отношений следует рассматривать на основе диалектико-материалистического понимания взаимодействия как сущности движения материи. Только диалектический подход к взаимодей-

---

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 29, с. 68.

<sup>2</sup> Философская энциклопедия. т. IV, с. 370.

<sup>3</sup> Lesser H. Das zeitliche Verhältnis von Ursache im Wirkung. — «Deutsche Zeitschrift für Philosophie», 1965, Н. 3, S. 323.



ствию позволит решить вопрос о временном характере причинно-следственных отношений.

В диалектическом материализме исходным пунктом при анализе категории причинности выступает положение о самодвижении материи, представляющем собой взаимодействие материальных объектов. Признание объективности, всеобщности и необходимости универсального взаимодействия составляет основу анализа причинности. Категория причинности получает реальный смысл только в том случае, если она рассматривается не сама по себе, а как производное от более широкого понятия — взаимодействия. Правильная трактовка причинности может быть дана лишь при рассмотрении универсального взаимодействия, его диалектического характера. Основой причинности выступает взаимодействие, структура которого определяет структуру причинно-следственных отношений. Взаимодействие — это не только сущность движения материальных образований, но и сущность их временного бытия.

В чем выражается диалектический характер взаимодействия? Взаимодействие ответственно не только за связь одновременно существующих материальных образований, но и за их существование во времени. Любой материальный объект имеет свою историю, и взаимодействие элементов его структуры осуществляется во времени, а точнее говоря, дает само время. В силу этого нельзя рассматривать взаимодействие только как одновременное отношение материальных объектов, поскольку это приводит к трудностям объяснения процесса развития и к пониманию времени как чего-то внешнего по отношению к материи. При характеристике взаимодействия необходимо обратить внимание и на такую его черту, как последовательность. Взаимодействие как материальный процесс представляет собой диалектическое противоречие одновременности и последовательности. Одновременность и последовательность — это две характеристики взаимодействия, неразрывно связанные между собой и постоянно переходящие друг в друга. Одновременность взаимодействия выражает относительную устойчивость материальных образований (систем), в то время как последовательность обуславливает их непрерывное изменение. Мир материальных объектов в силу указанной противоречивости взаимодействия находится одновременно в стационарном состоянии (покое) и движении, развитии. Поэтому представляются ограниченными

следующие высказывания: «... взаимодействие может иметь место лишь тогда, когда системы существуют одновременно»<sup>4</sup>, «... понятие взаимодействия... неприменимо... к процессам, развертывающимся во времени»<sup>5</sup>

Положение о том, что взаимодействовать могут только тела, существующие одновременно, тривиально и не учитывает самого процесса движения материальных объектов. Взаимодействие проявляет свое содержание через бесчисленные изменения материальных объектов, и бессмысленно говорить о каких-то процессах, развертывающихся во времени, исключая данные изменения. Само понятие процессов, развертывающихся во времени, предполагает изменения, вызванные определенными взаимодействиями.

Отмеченная противоречивость взаимодействия находит свое отражение в причинности, в понятии единства одновременности и последовательности причин и следствий. Из диалектического характера взаимодействия следует, что причина как предшествует следствию, так и существует одновременно с ним. Как это понимать? Причина и следствие существуют одновременно в том смысле, что при действии причины уже начинает возникать следствие. Превращение одного явления в другое представляет собой развивающийся во времени процесс, при котором новое явление (следствие) сосуществует с угасающим явлением (причиной) в течение всего материального процесса взаимодействия. Причина существует одновременно со своим следствием, это значит: пока нет следствия, причина не становится действительной причиной.

Причина предшествует следствию, во-первых, в том смысле, что явление, выступающее как носитель причины, существует прежде как таковое, а затем уже порождает что-то новое. И во-вторых, в процессе становления нового причина, угасая, порождает следствие. Причина в процессе становления следствия выступает всегда как активно действующий фактор. Это было подмечено Гегелем при характеристике двусторонней природы причины: причина в одном случае действует в «самой себе», т. е. объект — носитель причины — сохраняет свою качественную определенность, устойчивость, а в другом случае действие при-

<sup>4</sup> Жбанкова И. И. Проблема взаимодействия. Минск, 1971, с. 19.

<sup>5</sup> Марс К. Причинность и взаимодействие. — В кн.: Диалектика и современное естествознание. М., 1970, с. 262.

чины сказывается вовне, в порождении следствия. Если допустить, что причина существует в одно время, а следствие — в другое, то в этом случае причинная связь невозможна. Если же, наоборот, мы признаем только одновременность причины и следствия, то совершенно неясно, как может следствие быть порождено несуществующим явлением.

Признание единства одновременности и последовательности как двух противоречивых моментов взаимодействия снимает многие трудности в рассмотрении временного характера причинно-следственных отношений и позволяет объяснить процесс развития, действие следствия на причину и т. д. Метафизически разрывая одновременность и последовательность во взаимодействии и полагая одновременность единственной существенной чертой взаимодействия, мы неизбежно приходим к метафизическим воззрениям на причинность, признанию либо только одновременности причины и следствия, либо предшествования причины следствию.

Общий недостаток этих двух концепций состоит, во-первых, в том, что не рассматривается время становления следствия как проявления сущности взаимодействия. Когда мы говорим о временном изменении, то речь идет о субстанциальном изменении, связанном с взаимопереходами между существованием и несуществованием, бытием и небытием. Последнее может быть вызвано только взаимодействием материальных образований. Следовательно, факт течения времени, факт временной длительности нельзя устранять при характеристике взаимодействия. Сам процесс взаимодействия внутренним образом определяет продолжительность существования материальных образований, темп их развития, смену одних явлений другими. Во взаимодействии это находит отражение в единстве одновременности и последовательности, а в причинности — в предшествовании причины следствию и их одновременности.

Признание только предшествования причины следствию или только их одновременности исключает движение и развитие материи. В условиях одновременного существования причины и следствия не может быть никакого порождения, возникновения, т. е. движения материи, поскольку признание одновременности причины и следствия приводит к выводу, что все бесчисленное множество эле-

ментов цепи причинения существует одновременно, хотя на самом деле этого нет. Концепция одновременности причины и следствия отражает лишь начало и конец процесса, но не учитывает сам процесс получения результата. Игнорируя последовательный характер взаимодействия, невозможно объяснить смену одних явлений другими, находящимися в причинной зависимости, т. е. бесконечность цепей причинения.

Так, А. Поликаров придерживается мнения об одновременности причины и следствия, отрицая процесс переноса и превращения материи и движения во временной последовательности: «Если мы рассматриваем причину в связи с движением материи, то становится ясным, что процесс переноса и превращения движения не может происходить во времени, а происходит одновременно в том смысле, что действие одновременно угасает с угасанием причины (независимо от того, как долго этот процесс продолжается)»<sup>6</sup>. В противном случае, как отмечает А. Поликаров, нарушаются законы сохранения.

Ограниченность концепции предшествования причины следствию состоит в том, что на ее основе нельзя объяснить передачу материи и движения по цепям причинения: окончание действия причины не есть начало следствия. Да имеем ли мы вообще право в этом случае говорить о действовании причины? Как нам представляется, этого делать нельзя, поскольку любое действие причины, неизбежно предполагая, обуславливая следствие, происходит в течение определенного времени. Так как скорость распространения взаимодействия всегда конечна, причина и следствие существуют одновременно, хотя это и не исключает момента предшествования причины следствию, о чем свидетельствует сам факт скорости переноса действия и становления нового материального образования.

Кроме того, абсолютизация предшествования причины следствию приводит к абсолютизации активно действующего фактора взаимодействия, что в классической механике равносильно абсолютизации понятия силы, а в конце концов и признанию первотолчка. Признавая предшествование причины следствию, невозможно объяснить обратного действия следствия на причину, что ведет к метафизи-

---

<sup>6</sup> Polikarow A. Über Kausalität in der Physik.—In.: Naturwissenschaft und Philosophie. Berlin, 1960, S. 199.

ческому отрыву следствия от причины, к игнорированию связи причинности с взаимодействием.

Благодаря тому, что причина предшествует следствию и существует одновременно с ним, происходит перенос материи и движения по цепям причинения и становления следствия. Процесс переноса материи не противоречит ни факту предшествования причины следствию, ни факту их одновременного существования, поскольку последние есть отражение двух противоречивых моментов самого процесса взаимодействия.

Любой процесс изменения связан с угасанием причины и возникновением следствия. Однако нельзя при этом забывать, «что причина в своем угасании, в действии, снова возникает и что действие, исчезая в причине, равным образом вновь возникает в ней». Это было подчеркнуто В. И. Лениным при конспектировании Гегеля<sup>7</sup>. Хотя причина и следствие с разных сторон характеризируют процесс изменения, из этого не следует, что они строго одновременны. Перед тем и после того, как начнется и закончится процесс изменения, тело как носитель причины всегда предшествует телу — носителю следствия. Сказанное справедливо и для самого процесса становления нового материального образования с той лишь разницей, что в последнем случае причина и следствие еще и одновременны. Время становления следствия, связанное с переносом материи и движения, свидетельствует как о предшествовании одних материальных образований другим, так и об их одновременном существовании.

В силу одновременности причина и следствие находятся во взаимозависимости, взаимосцеплении. Но связь причины и следствия дает нечто большее, чем одновременность; благодаря этой связи, взаимодействию причины и следствия осуществляется связь прошлого и настоящего, настоящего и будущего. Одновременность причины и следствия возможна лишь на основе их последовательности. Само понятие взаимосвязи причины и следствия предполагает их одновременность, поскольку связь — отношение, предполагающее одновременное существование по крайней мере двух материальных объектов. Но спрашивается: как понимать одновременность? При ответе на данный вопрос, как показала теория относительности, необ-

---

<sup>7</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 29, с. 144.

ходимо учитывать скорость распространения взаимодействия.

Взаимодействие материальных объектов зависит от их расположения в пространстве и времени. Хотя взаимодействие и выступает атрибутом материи, не все материальные образования могут взаимодействовать между собой. О возможности их взаимодействия говорит скорость распространения взаимодействия. Конечность же этой скорости свидетельствует о том, что взаимодействуют только объекты, находящиеся внутри светового конуса. Понятие скорости распространения взаимодействия предполагает неразрывную связь, зависимость таких атрибутов материи, как пространство, время и взаимодействие.

Скорость распространения воздействия выступает важнейшей характеристикой того материального процесса, который лежит в основе причинности. Это понятие позволяет прийти к выводу, что причина предшествует следствию и существует одновременно с ним. Действительно, сама скорость течения любого процесса свидетельствует о том, что, во-первых, все явления последовательны, и, во-вторых, что одновременность событий может быть установлена только на основе рассмотрения скорости распространения взаимодействия.

Признавая только одновременность как основную черту взаимодействия, А. И. Уемов отрицает предшествование причины следствию: «Поскольку всякая причина и действие находятся во взаимодействии, то этот факт противоречит не только обязательному предшествованию причины действию, но и допущению отдельных случаев такого предшествования и вообще всякому отделению во времени причины от своего действия. Единственная точка зрения на временное отношение причины и действия, согласующаяся с их взаимодействием, — это та точка зрения, согласно которой они всегда одновременны»<sup>8</sup>.

Рассмотрение временного аспекта причинно-следственных отношений должно, конечно, происходить на основе взаимодействия, но игнорировать при этом диалектику взаимодействия не следует.

Любой процесс становления предполагает предшествование порождающего порожденному. Для характеристики

---

<sup>8</sup> Уемов А. И. О временном отношении между причиной и следствием. Иваново, 1960, с. 45—46.

причинности, однако, этого недостаточно, поскольку причинность, во-первых, не представляет собой простую совокупность порождающего и порожденного и, во-вторых, процесс порождения нового не происходит мгновенно. Если причинность выражает становление нового, то ее нельзя свести к простой совокупности порождающего и порожденного. Сам процесс становления обуславливает связь порождающего и порожденного. Мы, конечно, не отрицаем этим факт предшествования причины следствию, поскольку для того, чтобы возникло порожденное, необходимо прежде всего наличие порождающего. Производительный характер причинности предполагает предшествование причины следствию и их одновременность. Бытие порождающего и порожденного неизбежно обуславливает одновременность причины и следствия и их последовательность. Процесс становления нового материального образования обусловлен взаимодействием, основные черты которого — одновременность и последовательность, что и находит свое отражение как в предшествовании причины следствию, так и в их одновременности.

Противники концепции одновременности причины и следствия ставят своим оппонентам вопрос: как понять связь, существующую между событиями во времени? Как объяснить, что одно звено «одновременности причины-следствия» связывается с последующим? С точки зрения концепции предшествования причины следствию, казалось бы, данные вопросы решаются автоматически. Однако это только видимость, поскольку данная концепция также приводит к отрицанию движения и развития. На поставленные вопросы нельзя ответить ни с позиций концепции одновременности причины и следствия, ни с позиций концепции предшествования причины следствию.

Я. Ф. Аскин при рассмотрении временного характера причинно-следственных отношений исходит из взаимодействия, но тем не менее отрицает одновременность причины и следствия: «Взаимодействие причины и следствия не только не дает основания рассматривать их как одновременные, но наоборот, именно потому, что мы рассматриваем действующим не только то явление, которое представляет собой причину, но и то явление, которое составляет следствие, не можем признать их одновременность без того, чтобы вообще не отказаться от их характеристики как

причины и следствия»<sup>9</sup>. По мнению Я. Ф. Аскина, признание одновременности причины и следствия вообще ведет к устранению последних, поскольку не дает возможности объяснить процесс становления нового материального образования. Действительно, признавая только одновременность причины и следствия, нельзя охарактеризовать процесс переноса материи и движения по цепям причинения, поскольку наличие цепей причинения свидетельствует о последовательности явлений, о предшествовании одних событий другим. Кажется странным, что можно отрицать одновременность причины и следствия, признавая их взаимодействие. В данном случае возникает противоречие, поскольку, с одной стороны, признается предшествование причины своему следствию, а с другой — утверждается, что причина и следствие всегда взаимодействуют между собой. Выход из этой ситуации один: признать, что причина предшествует следствию и существует одновременно с ним. Это вполне согласуется с диалектикой взаимодействия материальных объектов.

Сторонники концепции предшествования причины следствию в своих доказательствах часто ссылаются на конечность скорости распространения взаимодействия. Так, С. Ш. Авалиани пишет: «...причинность есть передача действия, процесс. Между тем современной физикой установлено и не вызывает никакого сомнения то, что всякая передача действия, всякий процесс нуждается во времени, нет мгновенной передачи действия; это значит, что не может быть движения без времени (и наоборот), т. е. мгновенного движения. Отсюда следует, что причина всегда предшествует следствию, она раньше следствия»<sup>10</sup>.

Из естественнонаучного факта, что всякая передача действия происходит в течение определенного времени, нельзя сделать вывода о невозможности одновременного существования причины и следствия. Само понятие скорости распространения взаимодействия (не имеет значения, какой) предполагает предшествование причины следствию и их одновременность. Признание бесконечной скорости распространения взаимодействия приводит к отрицанию передачи материи и движения по цепям причинения,

<sup>9</sup> Аскин Я. Ф. Время и причинность. — «Вопросы философии», 1966, № 5, с. 81.

<sup>10</sup> Авалиани С. Ш. Очерки философии естествознания. Тбилиси, 1968, с. 213.



поскольку в этом случае к одному мгновению сводится и предшествование причины следствию, и их одновременность. Только понятие конечной скорости распространения действия выражает диалектику процесса взаимодействия, находящую свое отражение в причинности. Из временной длительности взаимодействия вытекает не только последовательность во времени причинно-следственных отношений, но и одновременность причин и следствий.

Г. А. Свечников временной аспект причинно-следственных отношений также анализирует с помощью категории взаимодействия, признавая предшествование причины следствию и их одновременность: «...существуют разные соотношения между причиной и следствием во времени в зависимости от вида причинных связей. В случае опосредованного воздействия одной вещи на другую причина предшествует своему следствию. В случае непосредственного взаимодействия (а также одностороннего воздействия) начало действия причины совпадает с началом становления следствия, а конец действия причины — с концом становления следствия»<sup>11</sup>. Как нам представляется, независимо от того, рассматриваем ли мы опосредованное или непосредственное взаимодействие, временное отношение причины и следствия не изменится. Об этом свидетельствует скорость распространения взаимодействия и ее конечность. Единство одновременности причины и следствия и предшествования причины следствию есть отражение противоречивого характера взаимодействия.

Причинность характеризуется, таким образом, единством двух моментов: 1) причина предшествует следствию, 2) причина существует одновременно со своим следствием. Эти два момента причинности неравнозначны. Одновременность причины и следствия носит относительный характер, а предшествование причины следствию — абсолютный. Неравноправие указанных моментов обусловлено самим характером становления нового явления, а в конечном счете — диалектической природой взаимодействия. Абсолютный момент выражает элемент активности, действительности взаимодействия, в то время как относительность отражает момент покоя, устойчивости во взаимодействии материальных объектов.

---

<sup>11</sup> Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике. М., 1971, с. 143.

Взаимодействие представляет собой единство и борьбу таких противоположностей, как одновременность и последовательность. Взаимообусловленность, взаимоисключение и взаимопроникновение этих противоположностей обуславливает стационарность Вселенной и ее развитие. Кроме того, единство и борьба этих противоположностей определяют такую черту взаимодействия, как направленность. Асимметричность взаимодействия обуславливает движение любого материального образования от прошлого к настоящему и будущему.

Между причиной и следствием имеется определенная внутренняя направленность, не устранимая ни при каких обстоятельствах. Действие причины происходит по вполне определенному направлению (от того, что есть, к тому, что будет) и находит отражение в необратимости причинно-следственных отношений. Факт необратимости причинно-следственных отношений в теории относительности выражается в том, что явление В, представляющее следствие явления А, оказывается происходящим абсолютно позже, чем явление А. В свою очередь, явление А совершается абсолютно раньше, чем явление В. Здесь «абсолютно раньше или позже» выступает необходимой характеристикой причинности, но недостаточной. Предшествование причины следствию — главная существенная черта причинности. Однако нельзя в рассматриваемом случае необратимость причинно-следственных отношений полностью отождествлять с фактом предшествования причины следствию. В этом случае во внимание принимается только причина и результат ее действия, сам же процесс действия остается в тени. Как мы уже отмечали, процесс становления нового материального образования представляет собой отношение между тем, что уже есть, и тем, что возникает. А это отношение немислимо как вне предшествования порождаемого порожденному, так и вне их одновременности. Необратимость причинно-следственных отношений оказывается возможной только на основе одновременного существования причин и следствий.

В силу конечной скорости распространения взаимодействия одновременность взаимодействующих объектов снижается их последовательностью и наоборот. Необратимость причинно-следственных отношений отражает асимметричность взаимодействия.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ СИММЕТРИИ,  
[СОХРАНЕНИЯ И ПРИЧИННОСТИ  
В ВАРИАЦИОННЫХ ПРИНЦИПАХ ФИЗИКИ**

В начале XX в. одно из ведущих мест в физических теориях заняла проблема взаимосвязи таких элементов, как сохранение, симметрия, экстремальность и причинность, причем первые три элемента были объединены благодаря теоремам Э. Нетер в единую инвариантно-вариационно-консервативную систему, образующую основу структуры современных физических теорий.

В советской литературе, посвященной вопросам истории и методологии физико-математических наук, наиболее интересные исследования различных аспектов этой проблемы были предприняты Л. С. Полаком, В. П. Визгиным и др.<sup>1</sup> Имеются также работы, принадлежащие философам (И. В. Кузнецов, Б. Г. Кузнецов, В. С. Готт, М. Э. Омеляновский, А. Ф. Перетурин, Г. А. Свечников, В. Г. Иванов и др.), которые частично или полностью касаются этой проблемы<sup>2</sup>. Она широко

---

<sup>1</sup> Полак Л. С. Вариационные принципы механики. Их развитие и применение в физике. М., 1960, 599 с.; Визгин В. П. Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике. М., 1972, 239 с.

<sup>2</sup> Кузнецов И. В. Взаимосвязь физических теорий и развитие современной физики элементарных частиц.— В кн.: Философские проблемы физики элементарных частиц. М., 1962, с. 5—18; Кузнецов Б. Г. Принципы классической физики. М., 1958, 323 с.; Свечников Г. А. Категория причинности в физике. М., 1961, 245 с.; Готт В. С. Философские вопросы современной физики. М., 1972, 415 с.; Готт В. С., Перетурин А. Ф. Симметрия и асимметрия как категории познания.— В кн.: Симметрия, инвариантность, структура. М., 1967, с. 3—70; Разумовский О. С. Философское значение экстремальных закономерностей.— Там же, с. 230—260; Моллаков В. М. Проблема причинности и вариационные принципы классической механики. Диссертация. М., 1963; Ассеев В. А. Выражение единства физики в принципе наименьшего действия.— «Философские науки», 1971, № 6, с. 79—87; Иванов В. Г. Детерминизм в философии и физике. Л., 1974, 182 с.

освещается и в многочисленных работах за рубежом<sup>3</sup>.

Данная проблема составляет часть более широкой проблемы в рамках диалектико-материалистической концепции детерминизма, а именно проблемы единства и взаимосвязи сохранения, симметрии и детерминации в законах физики. В современной марксистской философской литературе этой проблеме уделяют все большее внимание, что вызвано, с одной стороны, необходимостью философского анализа современных физических теорий с целью их дальнейшего развития и обогащения, а с другой — необходимостью углубления и расширения концепции детерминизма в философии диалектического материализма.

Следует заметить, что взаимосвязи таких элементов, как сохранение и симметрия; сохранение, симметрия и инвариантность; сохранение и причинность; сохранение и экстремальность; экстремальность и причинность исследованы достаточно подробно, но до сих пор нет еще философских, методологических работ, посвященных взаимосвязи симметрии и детерминации, взятых в более широком плане, чем чисто физические проблемы. Определенный интерес представляет идея поставить на первое место свойства симметрии и вывести из них законы сохранения и свойство экстремальности. В данном подходе свойство симметрии играет роль исходного свойства<sup>4</sup>. Что же касается вопросов взаимосвязи сохранения, симметрии и детерминации, взятых в целом, то значительный интерес здесь представляет идея болгарского философа Г. Братоева о наличии взаимообратимого логического отношения причинности, симметрии и сохранения<sup>5</sup>. В отличие от других авторов, уделяющих внимание перечисленным проблемам, взятым по преимуществу порознь, Г. Братоев пытается

---

<sup>3</sup> Вариационные принципы механики. М., 1959, 932 с.; Вейль Г. Симметрия. М., 1968, 191 с.; Вигнер Е. Этюды о симметрии. М., 1971; 318 с.; Фейнман Р. Характер физических законов. М., 1968, 232 с.; Поликаров А. Относительность и кванты. М., 1966, 499 с.; Братоев Г. Квантовая механика и причинность. София, 1970, 319 с.; Hörz H. Materiestruktur. Berlin, 1971, 394 S.; Шмутцер Э. Симметрии и законы сохранения в физике. М., 1974, 159 с.

<sup>4</sup> Wenzlloff B. Symmetrien als allgemeine, objektiv determinierende Prinzipien physikalischer Struktur und Bewegungsgesetze. — «Wiss. z. Humboldt — Univ. Berlin. Math-naturwiss. Reihe», 1963, Bd 12, № 3, S. 403—405.

<sup>5</sup> Братоев Г. Квантовая механика и причинность, с. 189.

раскрыть указанную взаимосвязь в тесном диалектическом единстве и целостности, а не как изолированные моменты, отражающие те или иные стороны пространственно-временных отношений, динамических взаимодействий физических объектов и связей детерминации.

Если теперь вернуться к той конкретной задаче, которую мы ставим, то видна возможность приблизиться к решению некоторых важных проблем концепции детерминизма через обнаружение взаимосвязи симметрии, сохранения, экстремальности и причинности, которая находит выражение в экстремальных (вариационных) принципах в физике. При этом важнейшее значение мы придаем обнаружению структуры их взаимосвязи в целом.

Методологическую основу решения проблемы составляют принципы несотворимости и неуничтожимости материи и движения, а также самодвижения материи, которые выражаются в основных положениях диалектико-материалистической концепции детерминизма. В соответствии с ними движение выступает внутренне присущим материи атрибутом, а не привнесено извне, движение есть результат всеобщего взаимодействия качественно дифференцированной материи, ее частей (самодвижение). Понятия причинности, необходимости, закономерности и т. д. отражают разные стороны, свойства этого универсального взаимодействия. В свою очередь, физические законы сохранения, как это показано Ф. Энгельсом, суть проявления принципов несотворимости и неуничтожимости материи и движения. Таким образом, существует тесная взаимосвязь детерминизма и законов сохранения материи и движения, которая на уровне физических форм движения проявляется определенным образом.

К анализу поставленной проблемы можно подходить с различных сторон и разными способами. Наиболее простой способ — рассмотреть историю развития научных представлений о взаимосвязи сохранения, симметрии, экстремальности и причинности. Можно следовать также той логической схеме связи этих элементов, которая уже нашла отражение в структуре современных физических теорий. Наконец, можно попытаться вникнуть в объективную схему, структуру взаимосвязи этих элементов в самой природе на основе научных данных. При использовании любого из названных подходов должны быть

приняты во внимание остальные и их общая взаимосвязь в соответствии с теорией познания диалектического материализма.

Рассмотрим коротко каждый подход.

Исторический анализ показывает, что к идее взаимосвязи рассматриваемых элементов научное познание продвигалось через последовательное установление взаимосвязи сохранения (инерции, в первую очередь) с причинностью, позже была установлена связь инерции и сохранения с экстремальностью, наконец, в начале XX в. была осознана связь сохранения и симметрии<sup>6</sup>.

В составе современной физической теории (в логико-теоретическом плане) можно обнаружить последовательные ступени теоретического обобщения рассматриваемой взаимосвязи по схеме:

а) сохранение и симметрия; б) сохранение и экстремальность; в) сохранение и причинность.

Таким образом, логика теоретического анализа этой проблемы обычно выглядит как последовательное восхождение от принципов и законов сохранения и симметрии к обнаружению и фиксации причинности (вообще к детерминации).

Можно предположить, что объективное отношение всех этих элементов носит несколько иной характер, и одну из своих задач мы видим в том, чтобы попытаться раскрыть это отношение и взаимосвязь.

Исходя из современных научных представлений наиболее фундаментальными свойствами движущейся материи выступают универсальное взаимодействие и взаимосвязь явлений природы, а также единство устойчивости и неустойчивости материальных систем. Последнее может быть понято, с одной стороны, как относительность стабильности и локализованности материальных систем и присущих им явлений и, с другой — как абсолютность изменяемости, движения вообще в процессе взаимодействий. Универсальное взаимодействие и взаимосвязь в целом мы отражаем в понятии детерминации, а устойчивость и неустойчивость характеризуем понятиями симметрии и асим-

---

<sup>6</sup> В настоящее время связь сохранения и симметрии привычна для физиков, но еще в начале XX в. это было новостью (Вейль Г. Симметрия. М., 1968, с. 21).

метрии, инвариантности, сохранения и несохранения (включая превращение). Экстремальность (в том виде, как ее отражают прежде всего интегральные формулировки вариационных принципов) проявляется, на наш взгляд, лишь как итог, результат, суперпозиция совокупного действия всех перечисленных выше более фундаментальных свойств и закономерностей движущейся материи.

Видимая «простота» и «экономность» природы, отражаемая вариационными принципами в физике, есть, по-видимому, проявление лежащих глубже более фундаментальных свойств и закономерностей, о которых говорилось выше. Они первичны по отношению к «простоте» и «экономности», а не наоборот. Простота и экономность, выражаемые экстремальными принципами, выступают сложными продуктами действительной простоты, заложенной в самом фундаменте свойств и объективных законов движения материи. Сегодня, однако, рано еще утверждать, что достигнуто полное понимание этих принципов, а ясно лишь то, что «простота» природы, выраженная на уровне вариационных принципов в физике, отнюдь не есть простота в последней инстанции.

После предварительных замечаний и соображений перейдем непосредственно к вопросу о взаимосвязи и единстве сохранения, симметрии, экстремальности и причинности. Выберем самый легкий для нас путь: будем следовать истории развития научных представлений. Этот путь, по-видимому, и дидактически наиболее легок.

Рассмотрим в первую очередь взаимосвязь инерции, сохранения и причинности.

Принцип инерции, согласно которому всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения при отсутствии внешних сил, был первым точно сформулированным законом сохранения<sup>7</sup>. Открытие инерции Галилеем оказалось важной вехой развития не только классической механики, но и физики вообще, поскольку принцип инерции — фундаментальное выражение устойчивости материального движения.

---

<sup>7</sup> Связь причинности и сохранения, включая инерцию, обсуждалась еще в начале века (см., например, Мейерсон Э. Тождественность и действительность. СПб. 1912, 498 с.). Одной из последних работ по этому вопросу является книга «Современный детерминизм. Законы природы». М., 1973, 527 с.

Следующий этап в развитии учения об инерции связан с появлением картезианской физики. Декарту принадлежит установление количественной меры движения и формулировка принципа сохранения количества движения. В системе законов природы Декарта принцип инерции занимает первое место. Простейшим является движение по прямой, и принцип инерции, по Декарту, не требует каких-либо дополнительных объяснений <sup>8</sup>.

Решающим этапом явилась разработка учения об инерции Ньютоном. Одностороннее кинематическое представление об инерции, свойственное картезианской физике, было преодолено на основе динамических представлений, тесно связанных с учением о материи, движении, пространстве, времени и причинности. Инерция в ньютоновской физике выражает момент активности взаимодействующих тел через понятие силы и выступает как определенная сторона реального движения. Позже Эйлер высказал важное предположение, что основание инерции лежит в самой внутренней природе тел <sup>9</sup>.

Мерой инерции выступает масса тела. Теоретическим выражением учения об инерции служат первый и второй законы Ньютона, причем формально первый закон можно рассматривать как частный случай второго при условии, что  $F=0$ . Однако по своему физическому смыслу и логическому содержанию эти законы взаимно дополняют друг друга, раскрывая свойство инерции в целом.

Учение об инерции изменилось существенным образом с момента создания классической электродинамики и теории относительности. Выяснилось, что если закон инерции применим лишь для характеристики свойств вещественных тел, то понятие инерции как характеристика общего физического свойства сохранения состояний применимо для всех физических объектов. Понятие инертной электромагнитной массы, введенное Дж. Томсоном, отнюдь не сводится к понятию механического взаимодействия, а отражает взаимодействие электрического и магнитного полей электрона в процессе его движения (в соответствии с преобразованиями Лоренца). В настоящее время установлено, что полную «физическую» массу элементарных частиц обуславливают не только электромагнит-

---

<sup>8</sup> Декарт Р. Избранные произведения. М., 1950, с. 485—487.

<sup>9</sup> Эйлер Л. Основы динамики точки. М.—Л., 1938, с. 69.



ные, но и другие взаимодействия. При этом должны быть учтены релятивистские эффекты, вытекающие из специальной теории относительности (СТО), а также взаимосвязь массы и энергии по формуле  $E=mc^2$ .

Применительно к пространственно-временному континууму представление об инерции получило дальнейшее обобщение в общей теории относительности (ОТО). Это обобщение также опирается на представление о движении тел в однородном и изотропном пространстве-времени за счет взаимодействий. Утверждением ОТО, эквивалентным закону инерции Ньютона, выступает закон сохранения четырехмерного импульса в отсутствии внешних сил, т. е.  $p=\text{const}$ .

Общая теория относительности рассматривает инерцию как свойство, эквивалентное тяготению, в итоге же инерция получает геометрическое истолкование: движение по инерции — это движение по геодезическим линиям в искривленном пространстве-времени. Как отмечает М.-А. Тоннела, «эквивалентность между силами инерции и силами тяготения основывается на геометрической структуре мира, а влияние материальных тел проявляется не в том, что они создают силы, а в искривлении пространства»<sup>10</sup>.

В целом, однако, нельзя утверждать, что ОТО окончательно выяснила природу инерции и тяготения, а также соотношение между ними, хотя принцип инерции можно понимать в обобщенном смысле и применять ко всем известным формам движения материи<sup>11</sup>.

Оценивая проблему взаимосвязи инерции и причинности, М. Бунге пишет: «Принцип инерции, сформулированный Галилеем, Декартом и Ньютоном, является явно непричинным, так как он утверждает, что некоторый тип изменения, простейший из всех, не требует действующей (внутренне присущей или движущей) причины, то есть, для того, чтобы оно сохранялось, не требуется силы или внешнего принуждения»<sup>12</sup>. Это высказывание в известной мере обедняет классический принцип инерции, так как

---

<sup>10</sup> Тоннела М.-А. Основы электромагнетизма и теории относительности. М., 1962, с. 301.

<sup>11</sup> Проблема причинности в современной физике. М., 1960, с. 142—143.

<sup>12</sup> Бунге М. Причинность. М., 1962, с. 132.

игнорирует высказанную Эйлером мысль о связи инерции (сохранения состояния) с «самой природой тел».

Указанное вовсе не означает, что Бунге в решении этого вопроса становится на сторону индетерминизма. Он лишь констатирует отсутствие в данном случае причинных отношений<sup>13</sup>. Но эта констатация применима только к определенному кругу явлений на определенном уровне абстрагирования. В связи со сказанным приведем ряд соображений, имея в виду также и те, которые содержатся по этому вопросу в современной литературе.

Во-первых, основой причинного описания механического движения служат первый и второй законы Ньютона лишь в своей совокупности, причем второй закон успешно выполняет в теории функцию причинного описания.

Во-вторых, закон инерции представляет собой закон сохранения, а именно сохранения импульса для изолированного тела, другие же законы сохранения, в свою очередь, выражают общую сохраняемость материи и движения. Но материя есть *causa sui*, а это снимает вопрос о причинах сохранения. Движение же неотделимо от материи. Это означает, что мы можем ставить только вопрос о том, чем обусловлен тот или иной вид движения в рамках определенной физической теории. В связи с этим вопрос о причинах инерционного движения в классической механике не ставится и не может быть поставлен, ибо сам закон инерции лежит в основе причинного описания лишь механических явлений. Предположение же Маха о том, что свойство инертности любого тела определяется его взаимодействием со всеми телами Вселенной, спорно и не подтверждается известными фактами.

В-третьих, силы инерции в их динамическом, а не кинематическом аспекте обнаруживают себя только при наличии изменения состояния за счет внешних сил, т. е. при наличии внешней детерминации. В физике Ньютона ускорение соотнесено к абсолютному пространству. Это последнее и выступает в механике Ньютона в роли перво-причины по отношению к инерции. Соответственно в ОТО эту функцию выполняет пространственно-временной континуум (искривления континуума), а его физическую суть составляют взаимодействие, взаимная обусловленность

---

<sup>13</sup> Поликаров А. Относительность и кванты. М., 1966, с. 398.

свойств указанного континуума и распределение движущихся масс.

Наконец, в-четвертых, мы выделяем в реальном движении причинную и не причинную компоненты лишь с помощью абстракции. На самом деле они (свойства инерции и силовое воздействие) не отделимы друг от друга. В законе инерции отражен идеальный случай «обрыва» всех связей, что практически не имеет места <sup>14</sup>.

Таким образом, принцип инерции выражает фундаментальное свойство всей материи — ее самодвижение, а не одно из свойств движения — консервативность, как это нередко трактуется в литературе. Он отражает наличие взаимодействий материальных тел и свойств пространственно-временного континуума как форм существования движущейся материи. Познав эти взаимодействия, мы раскроем и природу инерции <sup>15</sup>.

Рассмотрим теперь единство и взаимосвязь других физических законов сохранения и причинности. Важнейшие из них — законы сохранения энергии, количества движения (импульса), момента количества движения (углового момента) и электрического заряда. При этом мы не будем рассматривать приближенные и локальные законы сохранения (законы сохранения странности, изотопического спина, четности), которые не выполняются строго при слабых взаимодействиях в микропроцессах. Кроме того (что важнее), мы должны учесть другое обстоятельство: в формировании и интерпретации вариационных принципов в физике решающую роль сыграло установление их связи главным образом с такими законами сохранения, как закон инерции и закон сохранения энергии. Заметим при этом, что в ОТО энергия и импульс связаны воедино и вместо отдельных законов сохранения появляется единый закон сохранения энергии-импульса <sup>16</sup>. Поэтому мы ограничимся рассмотрением связи закона сохранения энергии с причинностью, допуская некоторую хро-

---

<sup>14</sup> Проблема сохранения и принцип инерции (философские аспекты). — «Учен. зап. Латвийского гос. ун-та», Рига, 1970, т. 128, с. 224—239.

<sup>15</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 546.

<sup>16</sup> Паули В. Законы сохранения в теории относительности и в атомной физике. — В кн.: Современные проблемы физико-химии и химической технологии, сб. II. М., 1938, с. 23, 25.

нологическую неточность, так как связь законов сохранения механической энергии (сохранения «живых сил») с экстремальностью фиксировалась до появления в конце XIX в. закона сохранения и превращения энергии. Указанную связь мы намерены рассмотреть несколько позже.

Взятые в целом законы сохранения в физике утверждают неизменность количественных значений некоторых физических величин с течением времени в любых (или в некоторых классах) процессах. Если абстрагироваться от всего многообразия конкретных законов сохранения, то мы придем к обобщенному принципу сохранения, который выражает причинность применительно к изолированным системам: *causa aequat effectum*<sup>17</sup>. В законе сохранения энергии эта сторона наиболее важна и составляет объективную общую характерную черту всех конкретных законов сохранения. Это обстоятельство нашло отражение в реальном ходе истории возникновения и развития конкретных законов сохранения. Так, Р. Майер, формулируя закон сохранения и превращения энергии, сознательно опирался на данное положение, т. е. исходил из принципа причинности.

Анализируя последний вопрос, М. Планк писал: «Та сравнительно чрезвычайная быстрота и легкость, с которой закон столь огромного значения, как закон сохранения энергии, после преодоления первых трудностей стал достоянием умов, объясняется не только многими отдельными индуктивными доказательствами, но большей частью также и представлением о его внутренней связи с законом причины и действия»<sup>18</sup>.

Несколько слов о понятии энергии. Обычно считают, что энергия есть чисто количественная мера движения. Но движение «вообще» — это абстракция, а в действительности существуют качественно специфические виды дви-

---

<sup>17</sup> Принцип «причина равна действию» есть лишь одно из проявлений общего принципа причинности и выполняется в строго определенных условиях функционирования изолированных физических систем, когда мы проводим учет динамических характеристик взаимодействий (массы, энергии, импульса и т. д.). В других условиях можно видеть, что малые причины вызывают большие следствия и наоборот. Эти варианты не относятся к обсуждаемой проблеме. В общем случае, на наш взгляд, причина эквивалентна следствию.

<sup>18</sup> Планк М. Принцип сохранения энергии. М., 1938, с. 36.

жения, что находит, в частности, отражение в единицах измерения энергии или работы. Указанные виды движения материи в процессе взаимодействий материальных систем преобразуются друг в друга так, что при отображении их количественной меры (энергии) в одних и тех же единицах обнаруживается равенство, баланс, сохранение. Энергия, следовательно, выступает как количественная мера качественного превращения движения. Но существуют также процессы простого переноса движения, без его качественного видоизменения. Энергия здесь выступает как количественная мера качественно специфического движения. Таким образом, энергия в целом оказывается количественно-качественной характеристикой движения. Поскольку же причинно-следственные отношения глубоко связаны с качественными превращениями и переносом субстанции и движения, то это также дает основание связывать причинность и закон сохранения и превращения энергии между собой.

В самом деле, причину, как и следствие, можно сопоставить с разными формами энергии: причина — данная форма энергии, следствие — превращенная или перенесенная (в пространственно-временном смысле) энергия. Причине свойственно ее затухание в ходе возникновения и нарастания следствия (в цепи причинения). Аналогичным образом обстоит дело с исходной и превращенной энергиями. Что касается процессов переноса энергии, то указанную взаимосвязь можно интерпретировать как убыль данной субстанции (носителя энергии) в фиксированной области  $A$  пространства в данное время  $t_1$  и возрастание ее (субстанции и энергии, перешедшей из  $A$ ) в области  $B$  в момент времени  $t_2$ . При этом, отмечает А. Поликаров, вектор энергии и импульса можно рассматривать как меру причинного действия. Изменения, при которых эта мера остается постоянной, не имеют физических причин<sup>19</sup>. Что касается концепций существования временного интервала между причиной и следствием, то в указанных процессах об этом говорить не имеет смысла. Сказанное не означает, однако, что в природе и обществе не может быть подобных отношений.

Существуют также физические процессы, при которых небольшие энергетические воздействия влекут за собой

---

<sup>19</sup> Поликаров А. Относительность и кванты, с. 405.

высвобождение несопоставимо большого количества энергии (ядерные превращения). С точки зрения детерминизма такие процессы интерпретируются как «малые причины — большие действия», но и они подчиняются закону сохранения энергии. Как пишет А. Поликаров, в названных процессах можно выделить два этапа. На первом этапе малая причина вызывает малое действие. На втором — включаются некоторые (потенциальные) запасы энергии, причем мы снова имеем равенство между этими запасами и вызванным действием <sup>20</sup>.

Рассмотрим более сложную цепочку взаимосвязи, а именно: между сохранением, экстремальностью и причинностью.

Вариационные принципы механики, прежде всего принцип Эйлера — Мопертюи, дают возможность непосредственно получить закон инерции в механике.

Для изолированного от внешних воздействий тела  $v = \text{const}$ , что означает или состояние покоя ( $v = 0$ ), или равномерного и прямолинейного движения. Но принцип наименьшего действия Эйлера — Мопертюи при отсутствии внешних сил содержит требование экстремума для  $\int v ds$ , что также дает состояние покоя ( $v = 0$ ) или равномерного движения по прямолинейной траектории (когда  $v \neq 0$ ). Поскольку же, как мы видели, закон инерции отражает каузальные отношения, то в таком случае и экстремумы «действия» суть такие реальные состояния материальной системы, где уже произошло, завершилось превращение внешнего каузального отношения из возможного в действительное, из набора потенциально существующих причин определенные вызвали эффект-следствие в виде прямой (вообще геодезической) траектории движения тела. Важная роль при этом принадлежит условиям.

Г. Герц в своей попытке создать новую систему механики положил закон инерции в основу системы и сформулировал общий экстремальный принцип в дифференциальной форме: каждая свободная система пребывает в состоянии покоя или равномерного движения вдоль прямейшего пути <sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> Поликаров А. Относительность и кванты, с. 406.

<sup>21</sup> Вариационные принципы механики. М., 1959, с. 525.

Аналитически принцип Герца в случае идеальных связей сводится к требованию минимума для  $\sum_r m_r \left( \ddot{x}_r - \frac{X_r}{m_r} \right)^2$ , где выражение в скобках есть мера отклонения от свободного движения под действием внешней силы («принуждение» по Гауссу),  $\ddot{x}_r$  — ускорение,  $X_r$  — сила. В этом принципе, как отмечал сам Герц, находят обобщенное выражение законы инерции классической механики. Они приведены Герцем к форме, которую ему удалось интерпретировать геометрически в виде утверждения: свободное движение материальной системы совершается по геодезической линии (в евклидовом пространстве)<sup>22</sup>. В силу сказанного о соотношении инерции и причинности, принцип Герца фактически есть попытка геометризовать причинную связь, выделить свойство ее направленности.

Движение материальной точки в обобщенном четырехмерном пространстве ОТО при отсутствии внешних сил также отображается в соответствующем экстремальном принципе:  $\delta \int_{\tau_1}^{\tau_2} ds = 0$ , где  $ds$  — элемент траектории в обобщенном пространстве ОТО. В данном случае геодезическая линия отображает кинематические аспекты инерционного движения (и соответствующих связей детерминации).

Все это означает, что справедливо и следующее утверждение: направление действия причины на следствие (вообще детерминации) при определенных условиях (связях, как говорят в аналитической механике) имеет геодезический характер. Следовательно, *развитие цепи причинения во времени в определенных условиях является экстремальным*.

Особенно важна для физики связь закона сохранения энергии (в релятивистском варианте — энергии-импульса), экстремальности и причинности в принципе наименьшего действия Гамильтона. Формулировка этого принципа утверждает, что из всех возможных движений системы, для которых осуществляется экстремум действия, реализуется то движение, в котором нет нарушения закона сохранения энергии. По сути дела, принцип наименьшего действия есть одно из возможных выражений закона со-

<sup>22</sup> Вариационные принципы механики. М., 1959, с. 518–525.

хранения и превращения энергии в части постоянства количества энергии и условий, определяющих превращение.

Но принцип наименьшего действия — экстремальный, а не только минимальный принцип. В природе могут быть также стационарные процессы или такие, в которых «действие» максимально. Однако никакого противоречия с законом сохранения и превращения здесь нет<sup>23</sup>. Точно так же нет никакого противоречия и с принципом причинности, если правильно учесть условия протекания процесса.

Посмотрим теперь, каковы же математические формы выражения единства и взаимосвязи сохранения, экстремальности и причинности?

В физической теории динамическая закономерность обычно выражается в виде дифференциальных уравнений, первые интегралы которых интерпретируются как выражения соответствующих законов сохранения. Найти интегралы дифференциальных уравнений движения — значит найти математическое выражение закономерного, устойчивого, сохраняющегося, инвариантного. Тем самым оказывается обнаруженным закон движения (данного процесса в данной задаче, а не вообще).

Для целей физической теории наибольшую ценность представляют интегральные, а не дифференциальные формулировки экстремальных принципов, так как они отображают движение материальных систем за конечный промежуток времени и инвариантны к преобразованиям координат. Но эти формулировки являются просто компактными выражениями целых систем дифференциальных уравнений. И если уравнения выражают динамическую закономерность, то это соответственно отражается и в содержании интегральной формы экстремальных принципов. Л. С. Полак в связи с этим пишет, что «следовательно, везде за пределами собственно механики, где имеет место каузальная связь такого типа, должен действовать и принцип Гамильтона»<sup>24</sup>.

Разбирая данный вопрос, М. Бунге делает довольно тонкое и убедительное замечание: «Дифференциальные

<sup>23</sup> Перетурин А. Ф. Ф. Энгельс о законе сохранения и превращения энергии. — «Учен. зап. Читинского пед. ин-та», 1959, вып. 4, с. 450.

<sup>24</sup> Полак Л. С. Вариационные принципы механики. Их развитие и применение в физике, с. 364.



уравнения не являются отображением ни становления вообще, ни причинности в частности; иногда им может быть приписан причинный смысл с помощью специально для этого придуманных семантических правил, но это может быть сделано с равным успехом и по отношению к другим типам математических объектов»<sup>25</sup>.

Действительно, взятые сами по себе любые типы математических уравнений, если они не соотнесены к определенному физическому содержанию (смыслу), никакой причинности не выражают, а выражают лишь самые общие пространственно-временные или даже только абстрактные количественные отношения и связи между объектами любой природы. Они не чисто пустая, как считает М. Бунге, а лишь чрезвычайно абстрактная форма. Научные абстракции, по словам Ф. Энгельса, суть «сокращения, в которых мы охватываем, сообразно их общим свойствам, множество различных чувственно воспринимаемых вещей»<sup>26</sup>. Причинность же охватывает более конкретные формы связи и имеет разнообразные конкретные формы своего проявления. Отражение причинности (как и других связей — функциональных, связи состояний и т. д.) в этих уравнениях лишь возможно, но не обязательно, поэтому о причинности безотносительно к «физике» здесь говорить вообще не приходится.

Что касается собственно интегральной формы экстремальных принципов, то, включая в себя функции Лагранжа или Гамильтона (в квантовой механике соответственно операторы Лагранжа или Гамильтона), имеющие смысл и размерность энергии, эти принципы оказываются воплощением закона сохранения энергии; имея же вид определенных интегралов по такому параметру, как время, они описывают течение физических процессов на конечных интервалах времени, что выступает необходимым условием выражения направленности процессов причинения.

После всего сказанного необходимо остановиться на взаимосвязи сохранения и причинности с симметрией. Вообще понятие симметрии характеризует существующий в объективной действительности порядок, пропорциональность и соразмерность между составными частями целого,

---

<sup>25</sup> Бунге М. Причинность, с. 106.

<sup>26</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 550.

определенное равновесное состояние, относительную устойчивость<sup>27</sup>.

В физике принято выделять две формы симметрии: геометрическую и динамическую. Е. Вигнер добавляет к ней третью—симметрию перекрестных отношений (кросс-симметрию)<sup>28</sup>. Геометрические симметрии выражают свойства пространства и времени: их однородность, изотропность пространства, пространственную четность, эквивалентность инерциальных систем отсчета. Динамические симметрии выражают свойства определенных физических взаимодействий. Обе эти формы взаимосвязаны, что вытекает из единства таких атрибутов материи, как пространство, время, движение<sup>29</sup>. Тем не менее выделять их в теоретическом анализе и исследовать независимо друг от друга не только возможно, но и необходимо.

Идея взаимосвязи и единства сохранения и симметрии — одна из самых фундаментальных в современной физической теории. Ее суть в том, что с каждым законом сохранения можно связать определенную симметрию.

Впервые на основе принципов пространственно-временной симметрии вывел основные законы сохранения в классической механике Лагранж. При этом Лагранж опирался на обобщенный им принцип наименьшего действия. В результате ему удалось установить взаимосвязь «симметрия — сохранение» для евклидовой группы пространства.

Вторым шагом в решении данной проблемы явились работы Софуса Ли, причем дальнейшее развитие физики показало, что непосредственным обобщением лиевской формы взаимосвязи «симметрия — сохранение» выступает его квантовомеханический аналог. Особое значение лиевский вариант приобрел благодаря тому, что включил в основы физической теории групповые представления.

В целом, однако, до начала XX в. представление о данной взаимосвязи, как об очень общей и самостоятельной закономерности, отсутствовало. Оно возникло лишь в связи с развитием релятивистской физики, и его сознательная формулировка принадлежит Ф. Клейну, создателю «Эр-

<sup>27</sup> Готт В. С. Симметрия и асимметрия.— В кн.: Некоторые категории диалектики. М., 1963, с. 51.

<sup>28</sup> Вигнер Е. События, законы природы и принципы инвариантности.— «Успехи физич. наук», 1965, т. 85, вып. 4, с. 727—737.

<sup>29</sup> Готт В. С. Философские вопросы современной физики, с. 390.

лангенской программы». Ряд последующих исследователей подвели теоретическую основу к тому, что было завершено в теоремах Э. Нетер, где удалось разработать уже чрезвычайно общий подход к данной проблеме.

В настоящее время исследования взаимосвязи и единства «симметрия — сохранение» идут как в направлении анализа более конкретных вопросов (калибровочные симметрии, зарядовые законы сохранения и т. п.), так и в направлении установления новых и более глубоких взаимосвязей, таких как «симметрия — сохранение — взаимодействие» и др.<sup>30</sup>

Что же устанавливают теоремы Э. Нетер, главным образом так называемая усиленная обратная теорема? Согласно последней теореме, всякому непрерывному преобразованию координат, обращающему в нуль вариацию действия, при котором задан также закон преобразования функций поля, соответствует определенный инвариант, т. е. сохраняющаяся комбинация функций поля и их производных<sup>31</sup>. Таким образом, каждому свойству пространства и времени (симметрии) соответствует особый закон сохранения. Такому типу симметрии, как однородность пространства (инвариантности лагранжевой функции относительно смещения начала отсчета в пространстве), соответствует закон сохранения количества движения; однородности времени (инвариантности лагранжевой функции относительно смещения начала отсчета времени) — закон сохранения энергии; изотропности пространства (инвариантности относительно пространственных поворотов) — закон сохранения момента количества движения; симметрии относительно вращений в плоскостях  $(x, t)$ ;  $(y, t)$ ;  $(z, t)$  (инвариантности относительно преобразований Лоренца) — обобщенный закон сохранения движения центра тяжести. В четырехмерном пространстве-времени, таким образом, имеется всего десять фундаментальных законов сохранения<sup>32</sup>.

В силу этого в современной физической литературе термины «симметрия» и «сохранение» применяются почти

---

<sup>30</sup> Визгин В. П. Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике, с. 203—211.

<sup>31</sup> Нетер Э. Инвариантные вариационные задачи. — В кн.: Вариационные принципы механики. М., 1959, с. 604.

<sup>32</sup> Полак Л. С. Вариационные принципы механики. Их развитие применение в физике, с. 333—334.

как равнозначные<sup>33</sup>. Между тем симметрия и сохранение обладают определенными сходствами и различиями. Для нас важен не объем разбираемых понятий, а другое: какова в действительности связь определенных видов симметрии и определенных законов сохранения? В связи с этим, безусловно, заслуживают внимания соображения, которые были выдвинуты В. С. Готтом и А. Ф. Перетуринным.<sup>34</sup> Анализируя взаимосвязь однородности времени с законом сохранения энергии и однородности пространства с законом сохранения импульса, т. е. с важнейшими законами сохранения в физике, они приходят к выводу, что эта связь, хотя и существенна, не является однозначной и жесткой в том смысле, что данные симметрии определяют все содержание соответствующих законов сохранения. Та или иная симметрия входит в содержание каждого закона сохранения, но помимо симметрии, в его содержание входит и определенная асимметрия.

Если говорить о законе сохранения энергии, то в его содержание входит, например, асимметрия прямых и опосредованных способов превращения энергии: в известной нам области мира опосредованные способы превращений (через теплоту) преобладают над прямыми способами превращения любой формы энергии в любую другую ее форму.

В свою очередь, закон сохранения импульса в классической механике асимметричен по отношению к преобразованиям Лоренца. Асимметричность выражается в том, что при учете конечной скорости передачи взаимодействий равенство действия и противодействия нарушается.

В. С. Готт и А. Ф. Перетурин поэтому справедливо писали о том что, в принципе выведение всех сторон законов сохранения из соответствующих форм симметрии, в особенности только из геометрических, невозможно. Законы сохранения связаны не только с геометрическими, но и с динамическими симметриями. Эта связь ясно выступает в законе сохранения полного момента импульса электронов в атомах, относящегося к их спиновым и спин-орбитальным взаимодействиям. Изучение различных законов сохранения требует учета не только видов симметрии

---

<sup>33</sup> Лич Дж. У. Классическая механика. М., 1961, с. 68.

<sup>34</sup> Готт В. С., Перетурин А. Ф. Симметрия и асимметрия как категории познания.—В кн.: Симметрия, инвариантность, структура. М., 1967, с. 66—70.

и асимметрии, но и связи между различными типами взаимодействия. Даже для тех законов сохранения, которые прямо связаны с геометрическими симметриями, вывод всех их сторон из данных симметрий оказывается невозможным. Так, из однородности пространства можно установить, что импульс тела не зависит от места тела в пространстве, но отсюда отнюдь не следует взаимосвязь механического и электромагнитного импульсов, взаимосвязь импульса с энергией и т. д. Точно так же нельзя вывести все стороны законов сохранения, связанных с динамическими симметриями, из данных симметрий.

В связи с этим задача формального выведения законов сохранения из форм симметрии составляет лишь один из важных аспектов теоретического обоснования законов сохранения, но не исчерпывает рассматриваемой проблемы.

Что касается взаимосвязи физических симметрий с причинностью, то здесь в свете изложенного следует сказать, что определенная связь между физическими симметриями и причинностью существует. В частности, поскольку однородности времени соответствует закон сохранения энергии, а однородности пространства — закон сохранения импульса, это означает, что данным симметриям соответствуют эквивалентность, симметричность причины и произведенного эффекта, а также перенос субстанции (энергии, действия, импульса, в силу соотношения  $E=mc^2$  — массы, а также и информации) в равных количествах по цепям причинения при соответствующих условиях в определенном направлении. Поскольку эти симметрии не исчерпывают всего содержания данных законов сохранения (в них входит и асимметрия), то другие аспекты причинности с ними, по-видимому, не связаны. В частности, активность и производительность причины, как нам кажется, не вытекают из данных симметрий, точнее, они связаны не с ними, а с соответствующими асимметриями, определяемыми, по-видимому, спонтанным характером взаимодействий в природе. Вообще кинематический (пусть не абсолютный) характер этих (и других) симметрий, безусловно, уже динамических аспектов причинной связи. Опираясь только на эти симметрии, можно получить представление о причинности лишь с точки зрения ее формы и направления, но не ее полной природы. Рассматриваемые симметрии, на наш взгляд, более соответствуют не причинной связи, а связи состояний.

После всего сказанного нетрудно заметить, что в составе физической теории, в силу как объективных причин (самой природы физических явлений), так и особенностей математического аппарата, все рассмотренные нами цепочки связей между разбираемыми элементами как бы сфокусированы на законы сохранения. В результате вариационные принципы отражают причинность не прямо, а опосредованно, лишь в преломлении через соответствующие законы сохранения (энергии, импульса и т. д.), точно так же их связь с различными симметриями прослеживается лишь через призму соответствующих законов сохранения.

Схематически это выглядит так:



Именно таким образом получает воплощение как в форме, так и в содержании экстремальных принципов, объективная взаимосвязь симметрии, сохранения и причинности.

Экстремальные принципы в физике не отражают все стороны взаимосвязи законов природы на уровне физических систем, в частности отношения асимметрии, а также, что очень важно, превращение энергии (превращение форм и видов движения вообще). С их помощью не отражаются также все виды экстремальных закономерностей и особенностей связи детерминации (причинность отражена не в полном объеме). Они и не предназначены принципиально для этих целей.

Экстремальные принципы, стало быть, довольно относительный и ограниченный способ выражения взаимосвязи «симметрии — асимметрии», «сохранения — не-сохранения» (превращения), а также экстремальности и детерминированности. Возможно, что в этом обнаружи-

вается их недостаток, но несомненно также, что в этом состоит и их достоинство, ибо в противном случае они должны были бы «объять необъятное». Фактически все известные нам законы и принципы физики имеют определенные границы своего применения, что позволяет в конце концов формулировать достаточно разумные и последовательные теории физических явлений, не расползающиеся непрерывно вширь. Экстремальные принципы в этом отношении не составляют исключения.

Тем не менее в распоряжении современной теоретической физики найдется немного столь же мощных средств для выражения рассматриваемой взаимосвязи, где она была бы «завязана» в единое целое таким тугим узлом и в такой удобной математической форме. Все это во многом и предопределяет особую методологическую роль экстремальных принципов в физике.

## **ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Обсуждение принципа причинности в современной физике связано прежде всего с анализом явлений в области микромира. Проблемы и трудности, которые возникают здесь при попытках использовать традиционное понимание причинности в малых областях пространства-времени, все настойчивее требуют более глубокого анализа содержания принципа причинности, раскрытия его пространственно-временной структуры и философского обобщения.

Весьма существенно, что при обсуждении и анализе трудностей экспериментального и теоретического характера, с которыми сталкивается физика микромира, ученые обычно исходят из условия причинной связи для пространственно разобобщенных событий, вытекающего из основных принципов специальной теории относительности. Релятивистская физика не только продолжила традиции классической, но и внесла новые существенные моменты в понимание причинно-следственных отношений. Ее выводы лежат в основе всех основных представлений, развиваемых в современных физических теориях. Это относится и к принципу причинности специальной теории относительности.

### **ПРИЧИННОСТЬ КЛАССИЧЕСКОЙ И РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ФИЗИКИ**

Причинность классической физики обычно связывают с динамическими представлениями, развиваемыми в исследованиях Галилея и Ньютона. Ньютон завершил анализ механического движения, начатый Галилеем, ввел



основные понятия механики и установил законы движения. Именно с теорией Ньютона связано происхождение доктрины классического детерминизма.

Цель и задачи науки Ньютон определяет как нахождение следствий по причинам, их производящим, или отыскание причин по данным следствиям. Понимание сущности причинных связей изложено Ньютоном в трех основных законах классической механики: законе инерции, законе связи между действующей силой и изменением количества движения и законе равенства действия и противодействия. На основании понятия инерции Ньютон вводит понятие силы, которая вызывает движение тел и изменение их движения. «Причины происхождения, которыми различаются истинные и кажущиеся движения, суть те силы, которые надо к телам приложить, чтобы произвести эти движения»<sup>1</sup>.

Один из основных законов, лежащих в фундаменте ньютоновской механики, — второй закон движения, который выражает зависимость между силой, приложенной к телу, и изменением движения этого тела: «Изменение количества движения пропорционально приложенной силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует»<sup>2</sup>. Математически его можно записать в следующем виде:

$$\bar{F} = \frac{d(m\bar{v})}{dt},$$

где  $F$  — сила, действующая на тело,  $m$  — его масса,  $v$  — скорость движения тела.

Если пренебречь незначительными изменениями массы при малых скоростях, то второй закон механики может быть представлен как

$$\bar{F} = m \frac{d\bar{v}}{dt} = m\bar{a},$$

где  $a$  — ускорение тела.

В этом законе наглядно раскрывается смысл классического детерминизма. Из него следует, что, зная силы, дей-

---

<sup>1</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Пг., 1915, с. 33.

<sup>2</sup> Там же, с. 37.

ствующие из тела или систему тел во время движения, а также их координаты и скорость в данный момент времени, можно определить координаты и скорость тела в любой будущий момент времени. Причинная связь, представленная в дифференциальных уравнениях классической механики, выражает состояние любой системы как функцию времени и действующих сил. Нетрудно видеть, что понятие причинности в механике Ньютона отождествлялось с динамической закономерностью. Классический детерминизм возник на основе классической концепции движения и по существу представлял собой связь состояний изменяющейся системы<sup>3</sup>.

Поскольку ньютоновское понятие силы органически связано с принципом причинности и движением системы, то можно сделать вывод, что классический детерминизм, описывая связь состояний движущейся системы, давал лишь внешнее и неполное выражение причинной связи, фиксировал лишь ее временную структуру. В дальнейшем Лаплас, как известно, абсолютизировал второй закон механики Ньютона и связанный с ним форму проявления причинности, возведя их в универсальный принцип.

В динамической концепции причинности Ньютона и особенно Лапласа, несмотря на определенные их различия, вскрытые в нашей философской литературе, была общая черта: причинность здесь связывалась с временной последовательностью явлений. Такое понимание причинности длительное время господствовало в естественнонаучной и философской литературе. Оно было перенесено и в специальную теорию относительности. Более того, как мы увидим далее, теория относительности подтвердила факт временной последовательности причинно связанных пространственно разобщенных событий.

Однако детальный анализ причинности в классической физике привел многих авторов к выводу о том, что классическая физика при ее правильном философском толковании должна противоречить механическому детерминизму<sup>4</sup>. Г. Свечников, например, показал, что уже

---

<sup>3</sup> Свечников Г. А. Категория причинности в физике. М., 1961, с. 129.

<sup>4</sup> Hörz Н. Atome — Kausalität — Quantensprünge. Berlin, 1964, S. 123.

в рамках классической механики вскрывается ограниченность представления о причине как одностороннем воздействии одного тела на другое, предполагающем предшествование причины следствию, и, по существу, проводится представление о причине как взаимном воздействии тел, что предполагает одновременность причины и следствия. Этот вывод следует не только из анализа третьего закона Ньютона, согласно которому «действию всегда есть равное и противоположное противодействие», но и из анализа второго закона. Г. Свечников обращает внимание на то, что «если сила ( $\vec{F}$ ) отлична от нуля, то отлична от нуля и ускорение тела ( $\vec{a}$ ); если сила равна нулю, то и ускорение равно нулю. Не может быть такого положения, чтобы сила была отлична от нуля, а ускорение тела, на которое действует сила, было равно нулю. Причина и следствие одновременно возникают, существуют и прекращают свое существование»<sup>5</sup>. Действительно, этот вывод вытекает из приведенных выше формул второго закона механики Ньютона. Аналогичного мнения придерживается и болгарский философ А. Поликаров, считающий, что, поскольку «ускорение появляется всегда с силой, причина и действие в механике Ньютона являются одновременными»<sup>6</sup>. Этот анализ второго закона классической механики и полученные выводы имеют важное значение для понимания аналогичной ситуации, складывающейся в специальной теории относительности при анализе электромагнитного поля.

Вывод об одновременности причины и следствия следует также из концепции дальнего действия, на которой основывалась классическая физика. Идея дальнего действия лежит в основе созданной Ньютоном теории гравитационного поля. Ньютоновский закон тяготения определяет силу тяготения, которая действует на данную массу в любой точке пространства, если заданы масса и положение тела, служащего источником сил тяготения. Согласно этому, сигналы в теории Ньютона могут распространяться с бесконечно большой скоростью, мгновенно, следовательно, любое событие физически может быть связано причинно со

<sup>5</sup> Свечников Г. А. Категория причинности в физике, с. 123.

<sup>6</sup> Поликаров А. Относительность и кванты. М., 1966, с. 401.

всеми другими событиями, как бы далеко они ни находились.

Специальная теория относительности основывается на прямо противоположном утверждении. Она исходит из принципа постоянства скорости света и положения о существовании предельной скорости распространения любых материальных взаимодействий, тел и процессов, не превышающей скорости света в вакууме. С этим принципом связано и условие причинной связи в специальной теории относительности, лежащее в основе современных естественнонаучных представлений.

Благодаря теории относительности была окончательно преодолена концепция дальнего действия на расстоянии, несовместимая с материалистическим пониманием движения как процесса. Установив конечную скорость распространения материальных взаимодействий, теория относительности вместе с тем указала на необходимость выделения такого неделимого момента времени, «в течение которого событие является причиной и в то же время уже является не ею, а следствием. Ибо если существовала бы бесконечная скорость взаимодействия, то момент времени был бы равен нулю, математической точке, в течение которого никакое событие не было бы возможно. По аналогии с известной апорией Зенона мы получили бы для каждого точечного момента времени определенное застывшее состояние события, что же касается перехода от одного состояния к другому (особенно это важно на стыке причины и следствия), то его содержание было бы принципиально неуловимо»<sup>7</sup>.

Важным положением специальной теории относительности выступает также и то, что она установила тесную связь причинно-следственных отношений с материальным движением и его пространственно-временными формами существования. Этот новый результат теории относительности позволяет по-новому подойти к раскрытию пространственно-временной структуры принципа причинности.

---

<sup>7</sup> Оруджев З. М., Ахундов М. Д. Временная микроструктура причинной связи.—«Философские науки», 1969, № 6, с. 66.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ПРИЧИННОСТИ

Одно из наиболее существенных положений специальной теории относительности состоит в том, что она научно обосновала неразрывную связь материи с пространством и временем. А поскольку всякое движение или состояние материи причинно обусловлено, то напрашивается вывод о существовании внутренней глубинной связи причинности как с пространством, так и со временем.

К выводу о существовании этой связи на основании анализа специальной теории относительности приходит А. Д. Александров, согласно которому глубокая сущность теории относительности состоит именно в том, что она устанавливает единство пространственно-временной и причинно-следственной структуры мира. А. Д. Александров показывает, что «общая структура пространственно-временных отношений, т. е. «геометрия» пространства-времени полностью определяется системой воздействий одних событий на другие. Поэтому если в движущейся материи отвлечься от всех ее свойств, кроме структуры самих причинно-следственных отношений ее элементов, когда эти отношения приводятся к воздействию одних элементарных событий на другие, то мы и получаем пространство-время»<sup>8</sup>.

К тезису о том, что теория относительности углубляет наше понимание причинных связей, устанавливая их тесную связь с пространственно-временными свойствами материи, и что это, безусловно, весьма существенный физический и философский результат теории относительности, присоединяются многие современные авторы, исследовавшие данный вопрос<sup>9</sup>.

Сама по себе мысль о связи причинности и времени не нова: она присутствует в философии и естествознании на протяжении всего нового времени. Толчком к ее возникновению послужило развитие динамических представ-

---

<sup>8</sup> Александров А. Д. Теория относительности как теория абсолютного пространства-времени.— В кн.: Философские вопросы современной физики. М., 1959, с. 309—310.

<sup>9</sup> Баженов Л., Сачков Ю. В. Философские вопросы теории относительности.— «Вопросы философии», 1961, № 2, с. 136; Румер Ю. Б., Рывкин М. С. Единство движения, пространства и времени в свете современной физики.— В кн.: Великое произведение марксистской философии. Новосибирск, 1960, с. 42—72.

лений классической механики, которые в значительной степени способствовали распространению учения о связи причинности и времени.

Динамическая теория причинности, как мы уже отмечали, основывалась именно на отражении временного порядка причин и следствий и фиксировала изменчивость, генетическую связь между явлениями. Она подчеркивала важную особенность причинной связи — временную асимметрию причины и следствия. Однако игнорирование пространственного аспекта причинности приводило сторонников динамической теории к абсолютизации ее временного аспекта. Особенно ярко это проявилось в философии Д. Юма и у представителей позитивистского направления — О. Конта, Б. Рассела, Г. Рейхенбаха и других, которые, отрицая объективность причинных связей, уже прямо отождествляют причинность с временной последовательностью явлений.

Влияние динамической концепции причинности в течение длительного периода времени сказывалось на развитии естественнонаучных теорий. Эта концепция была воспринята и специальной теорией относительности, на что указывает, в частности, Е. А. Лехнер: «Теория относительности еще не вышла за пределы классического детерминизма, поскольку в ней значение параметров в каждый данный момент времени должно определять все будущее поведение системы»<sup>10</sup>.

Однако развитие науки показывает, что механическое перенесение старых представлений в новую область не может быть плодотворным ни для физики, ни для философии. В этой связи Б. Мунтян совершенно правильно замечает, что для того, чтобы выяснить вопрос о причинности и таким образом оказать конкретную помощь физике, необходимо путем внимательного логического анализа с позиций диалектического материализма достичь соответствующего определения, а не идти от него<sup>11</sup>.

Необходимость такого подхода к анализу причинности в специальной теории относительности диктуется следую-

---

<sup>10</sup> Лехнер Е. А. Философия и современное естествознание. Петрозаводск, 1964, с. 171.

<sup>11</sup> Мунтян Б. Выпросът за причинността и някои проблеми на физиката.—«Известия на института по философия», София, 1959, т. IV, с. 8.

ципами соображениями: во-первых, классический детерминизм, как мы уже отмечали, не обязательно следует из закона механического движения и не представляет собой полного отражения причинности; во-вторых, динамическая концепция причинности абсолютизирует временную структуру причинности и совершенно игнорирует пространственную, что находится в противоречии с выводом теории относительности о связи причинности как со временем, так и с пространством.

Результаты дискуссии о временной структуре причинности, развернувшейся в современной философской и естественнонаучной литературе, показывают, что односторонняя фиксация временной асимметрии причины и следствия наталкивается на серьезные трудности в понимании самой диалектики причинно-следственных отношений. Действительно, если признавать только временную последовательность причины и следствия, их одновременность, то тем самым происходит искусственный разрыв причины и следствия, исчезает их связь с точки зрения пространственных характеристик. Естественно, что ни о каком взаимодействии между ними говорить не приходится. Исходя из этой концепции, необъясним и сам механизм порождения причиной следствия, поскольку если бы причина исчезла раньше появления следствия, то она уже ничего не могла бы произвести.

Рассматривая эти и другие аргументы, некоторые авторы пришли к выводу об одновременности в действии причин и следствий. В марксистской литературе такая точка зрения развивается в работах А. И. Уемова, Б. Мунтяна, А. Поликарова, М. А. Парнюка и др.<sup>12</sup> Основного тезиса об одновременности причин и следствий придерживаются также Г. Свечников, Ст. Попов, Г. Кребер, Н. А. Мусабаева, К. И. Иванова и многие другие авторы, не склонные к однозначному решению вопроса<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> Уемов А. И. О временном соотношении между причиной и действием. — «Учен. зап. Ивановского гос. пед. ин-та», 1960, т. 25, вып. I, с. 96—101; Мунтян Б. Вопросът за причинността и някои проблеми на физиката; Парнюк М. А. Детерминизм диалектичeskого материализма. Киев, 1967, 259 с.; Polikarov A. Über das Kausalitätsgesetz in der Physik. — In: Naturwissenschaft und Philosophie. Berlin, 1960, S. 195—200.

<sup>13</sup> Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике. М., 1971, 138 с.; Попов Ст. Категорията причинност. — «Философска мисъл», 1958, № 3; Мусабаева Н. А. Проблема причинности

Концепция одновременности причин и следствий имеет значительные традиции в истории философии и естествознания. Она возникает в атомистической теории Левкиппа — Демокрита, развивается в философии Ф. Бэкона, Т. Гоббса, следует из механического учения Р. Декарта и основных законов ньютоновской механики<sup>14</sup>.

В противоположность динамической теории причинности концепция одновременности (или статическая теория причинности) основывается на отражении моментов статики, устойчивости, сосуществования причины и следствия. Она рассматривает причинную зависимость структурных уровней организации материи (и ее свойств) от их состава и строения, обусловленную устойчивостью сосуществования и расположением элементов в структуре. Последнее, в свою очередь, определяется характером внутренних связей в системе и характеризуется пространственными отношениями<sup>15</sup>. В этом смысле концепция причинности ставит вопрос о причинах относительной устойчивости состояний объектов: почему та или иная часть окружающего нас мира «устроена» именно так, а не иначе<sup>16</sup>.

Сущность статической концепции причинности, фиксирующей моменты сосуществования причины и следствия, заключается в анализе пространственной структуры причинного отношения, поскольку именно пространство отражает в своей сущности и свойствах общую закономерность связи сосуществующих явлений. В современной дискуссии о структуре причинности обычно не отмечают этой важной стороны причинного отношения, хотя из признания одновременности причины и следствия логи-

---

в философии и биологии. Алма-Ата, 1962, 293 с.; Иванова К. И. Значение ленинских идей для разработки категории причинности в современных условиях. Ташкент, 1963, 49 с.; Kröber G., Uemov A. Über das zeitliche Verhältnis zwischen Ursache und Wirkung.—«Deutsche Zeitschrift für Philosophie», 1961, № 4.

<sup>14</sup> Ерахтин А. В. Проблема соотношения причинности, пространства и времени в современной квантовой теории поля и в теории относительности.—«Учен. зап. Томского гос. ун-та», 1968, № 70, вып. 4, с. 183—203.

<sup>15</sup> Мелюхин С. Т. К философской оценке современных представлений о свойствах пространства и времени в микромире.— В кн.: Философские проблемы физики элементарных частиц. М., 1963, с. 121—154.

<sup>16</sup> Жданов Г. Б. Концепция причинности и ее значение в физике.—«Вопросы философии», 1968, № 2, с. 54.



чески вытекает связь причинности с пространством. Абсолютизация статической концепцией пространственной структуры причинности и игнорирование ею временного аспекта (так же, как и обратное в динамической теории) приводит к неразрешимым трудностям. Действительно, если встать на точку зрения строгой одновременности причины и следствия, то это приводит к исчезновению причинной цепи, невозможности объяснить появление нового качества во времени и потере объективного критерия отличия причины от следствия. Абсолютизация этой концепции несовместима также с фактом существования предельной скорости распространения взаимодействий, лежащем в основе специальной теории относительности.

### **ПРИЧИННОСТЬ И КОНЕЧНАЯ СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Одним из результатов специальной теории относительности выступает установление относительного характера одновременности. В классической физике определение одновременности в различных точках пространства не было предметом специального теоретического анализа. Классическая физика в этом вопросе исходила из ньютоновских представлений об едином мировом времени. Абсолютный характер одновременности был связан с представлением о возможности мгновенной передачи физических взаимодействий в любую точку пространства. Эйнштейновское определение одновременности базируется на представлении о конечной скорости распространения любых материальных сигналов.

А. Эйнштейн пришел к выводу о том, что пространственно разобщенные события, одновременные в одной координатной системе, могут оказаться неодновременными в другой системе и, более того, может измениться сам порядок их следования — более ранние события в одной инерциальной системе становятся более поздними в другой. Однако это справедливо только для событий, между которыми нельзя установить причинной связи. Если же рассматриваемые события могут быть связаны посредством каких-либо физических сигналов и, следовательно, между ними возможна причинная связь, то временной порядок событий в этом случае остается неизменным.

«Событие» — ключевое понятие теории относительности. Этим термином здесь называют элементарные события, т. е. происходящие в столь малый промежуток времени, что с известной степенью идеализации их можно считать происходящими в одной точке и мгновенно.

Любое элементарное действие характеризуется четырьмя координатами: координатой времени и тремя координатами, определяющими положение в пространстве точки, где, по предположению, происходит событие. Множество всех возможных событий образует четырехмерный континуум, называемый пространством-временем. Иными словами, четырехмерное многообразие событий охватывает собой весь объективный мир в пространстве и во времени <sup>17</sup>.

Рассмотрим события  $S_1$  с координатами  $(x_1, y_1, z_1, t_1)$  и событие  $S_2$  с координатами  $(x_2, y_2, z_2, t_2)$  в одной инерциальной системе. Пространственное расстояние между событиями в этой системе можно определить по формуле

$$r_{1,2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2},$$

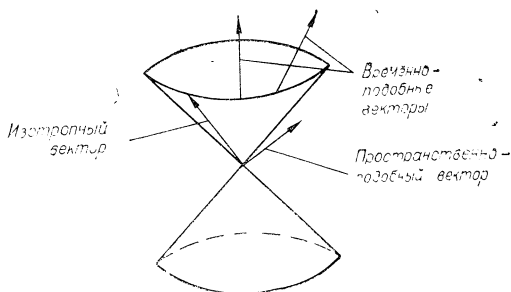
а промежуток времени между ними будет равен  $t_2 - t_1$ . Сравним этот промежуток времени с тем, которое затрачивает свет на прохождение расстояния  $r_{1,2}$ . Это время будет равно  $\frac{1}{c} r_{1,2}$ .

Если выполняется неравенство  $|t_2 - t_1| \geq \frac{1}{c} r_{1,2}$ , то события будут последовательными, т. е. одно из них будет предшествовать другому, причем временная последовательность таких событий будет абсолютной, независимой относительно координатных преобразований. Если же расстояние  $r_{1,2}$  между событиями настолько велико, что  $-\frac{1}{c} r_{1,2} < t_2 - t_1 < \frac{1}{c} r_{1,2}$ , то события будут одновременными в том смысле, что в пределах этих неравенств величина и даже знак разности будут зависеть от системы отсчета. Таким образом, без указания системы отсчета ни об одном из событий нельзя сказать, что оно произошло раньше или позже другого. В. А. Фок называет такие события квазиодновременными <sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Эйнштейн А. Принцип относительности и его следствия. — Собрание научных трудов, т. I. М., 1965, 700 с.

<sup>18</sup> Фок В. А. Современная теория пространства и времени. — «Природа», 1953, № 12, с. 17.

События  $S_1$  и  $S_2$  могут находиться в причинной связи только в том случае, если интервал времени между ними временно-подобный (выполняется первое неравенство). Это непосредственно следует из того, что никакое взаимодействие не может распространяться со скоростью, большей скорости света в вакууме. Первое неравенство выражает условие причинной связи в теории относительности для пространственно разобщенных событий. Для пространственно-подобных интервалов (справедливо второе неравенство) наличие причинной связи невозможно.



Для более наглядного представления (см. рисунок) различия между пространственно-подобным и временно-подобным интервалами, выступающими как решающий критерий причинной связи пространственно разобщенных событий, рассмотрим так называемый световой конус теории относительности <sup>19</sup>.

Если сигнал распространяется со скоростью света, он образует изотропную кривую, векторы которой лежат на изотропном конусе. Физически они представляют касательные к возможным четырехмерным траекториям движения фотонов. При движении сигнала со скоростью, меньшей скорости света, кривая становится временно-подобной. Временно-подобные векторы лежат внутри конуса; физически они представляют собой касательные к возможным четырехмерным траекториям материальных частиц. Наконец, при скорости сигнала, большей скорости света, что невозможно, кривая была бы пространственно-подобной. Пространственно-подобный вектор лежит вне изо-

<sup>19</sup> Эйнштейн А. Сущность теории относительности. — Собрание научных трудов, т. II. М., 1966, с. 30—31.

тропного конуса; кривая, касательную к которой он изображает, не может быть траекторией частицы или фотона <sup>20</sup>.

Два события могут находиться в причинной связи только в том случае, если сигнал, распространяющийся со скоростью света, успевает дойти от места одного до места другого события за время, протекшее между ними. Это условие выполняется для временно-подобных интервалов, а также для изотропной кривой и не выполняется для пространственно-подобных интервалов. Действительно, мы не можем говорить о причинности, если между рассматриваемыми пространственно разобщенными событиями за данный промежуток времени не может возникнуть никакой материальной связи. Если же такая связь имеется, то события находятся в абсолютной временной последовательности и, следовательно, причинно-следственный порядок остается неизменным. Этот вывод теории относительности, установившей факт существования абсолютной временной последовательности причинно связанных пространственно разделенных событий, необходимо вытекает из признания конечной скорости распространения материальных взаимодействий.

Таким образом, согласно теории относительности, в объективном мире имеются события, которые принципиально не могут воздействовать друг на друга и, следовательно, находиться в причинной связи. Поскольку скорость распространения сигнала конечна, то по отношению к любому событию существует обширный класс событий, происходящих в других точках пространства-времени, которые принципиально не могут быть связаны с первым. По отношению к нему временной порядок таких событий будет не определен; они происходят ни «до» ни «после» него, поэтому их обычно называют одновременными. Такое понимание одновременности сейчас общепринято. «С точки зрения релятивистского истолкования времени, — пишет Ю. Б. Молчанов, — одновременными будут такие события, которые не связаны между собой никакими физическими взаимодействиями и в принципе вообще не могут быть таковыми»<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> Синг Дж. Общая теория относительности. М., 1963, 432 с.

<sup>21</sup> Молчанов Ю. Б. Понятие одновременности и его эволюция. — «Вопросы философии», 1964, № 9, с. 64.

Следует обратить внимание на то, что во всех случаях, когда говорят о понятии одновременности в теории относительности, имеют в виду одновременность пространственно разобщенных событий. Только для таких событий справедливо определение одновременности, вытекающее из отсутствия каких-либо физических взаимодействий между ними. Из этого совершенно не следует, что одновременность не имеет места в одной точке пространства-времени. Напротив, из теории относительности следует, что если события  $A$  и  $B$  произошли одновременно и в одной точке данной инерциальной системы, то они будут одновременными и во всех других инерциальных системах <sup>22</sup>.

Определение одновременности в специальной теории относительности во многом носит конвенциональный характер. Дж. Уитроу, например, пишет: «Эйнштейн отдавал себе полный отчет в конвенциональной природе определения времени удаленных событий. Именно ясное понимание этого фундаментального положения позволило ему открыть новую главу в истории физики»<sup>23</sup>.

С критикой эйнштейновского определения одновременности для пространственно разобщенных событий выступил ирландский физик А. А. Робб. Критика А. А. Робба, как он неоднократно подчеркивал, касается не математических выкладок Эйнштейна, а его философии. А. А. Робб выражал неудовольствие тем, что на самом деле Эйнштейн употреблял термин «одновременно» в двух разных смыслах. Наблюдаемая одновременность, т. е. восприятие наблюдателем того, что одно событие в его опыте одновременно с другим отличается от одновременности между удаленным событием и событием, происходящим в опыте наблюдателя. В первом случае термин «одновременно» употребляется правильно для описания чего-то абсолютного, тогда как в другом он используется для описания только конвенции. Поэтому А. А. Робб считает, что «единственно реально одновременными событиями являются те, которые случаются в одном и том же месте»<sup>24</sup>.

---

<sup>22</sup> Ланжевэн П. Время, пространство и причинность в современной физике. — Избранные труды. М., 1960, с. 500.

<sup>23</sup> Уитроу Дж. Естественная философия времени. М., 1964, с. 237.

<sup>24</sup> Robb A. A. The absolute relations of time and space. Cambridge, 1921, p. 13.

В нашей философской литературе обсуждался вопрос о конвенциональности определения одновременности, данного А. Эйнштейном, так как опыт Майкельсона не принуждает к такому ее толкованию. «Ведь для того, — отмечал В. Штерн, — чтобы говорить об определенной скорости вообще или о постоянной скорости, требуется как предпосылка понятие одновременности. Только если определено когда, т. е. одновременно с каким моментом времени, началось движение, может идти речь о том, как долго оно продолжается до определенного пункта, т. е. как велика его скорость.

Нельзя же смешивать определение одновременности со способами ее определения»<sup>25</sup>.

Однако для пространственно разобщенных событий не существует иного способа определения одновременности, кроме предложенного А. Эйнштейном. Одновременность — такое понятие, об объективном характере которого следует судить на основании эксперимента, практики. Поэтому вопрос, по существу, состоит не в теоретической допустимости конвенции А. Эйнштейна, а в ее практической применимости в определенной области физических явлений. Для пространственно разобщенных событий рассуждения А. Эйнштейна удовлетворяют этому требованию, поскольку опираются на анализ процесса передачи материальных сигналов между событиями.

Таким образом, критика конвенционализма в определении понятия одновременности базируется в основном на признании объективного ее существования в одной точке пространства-времени. Одновременность в этом смысле имеет абсолютный характер, так как она остается неизменной при любых преобразованиях координат, в отличие от одновременности пространственно разобщенных событий.

### ДИАЛЕКТИКА ПРИЧИННОЙ СВЯЗИ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Связь пространственно-временной и причинно-следственной структуры мира, получившая естественно научное обоснование в специальной теории относитель-

<sup>25</sup> Штерн В. К вопросу о философской стороне теории относительности. — «Вопросы философии», 1952, № 1, с. 175—180. Тяпкин А. А. Конвенциональные определения и объективные инварианты. — «Вопросы философии», 1970, № 7, с. 64—71.

пости, позволяет более строго подойти к раскрытию диалектики причинной связи и ее пространственно-временной структуры. Если динамическая теория причинности фиксирует временную, а статическая теория — пространственную структуру причинности, то вывод теории относительности о неразрывной связи причинности как со временем, так и с пространством, дает научную основу для синтеза этих концепций.

Причинность всегда связана со временем, и этим обусловлена временная асимметрия причинного отношения. Только во временном отношении причинность раскрывается как процесс реального порождения одного явления другим. Связь причинности с пространством обуславливает устойчивость сосуществования причины и следствия, их отождествление в структурном отношении, без чего в каждый момент причинения порождение причиной следствия и вообще их связь были бы невозможны.

Таким образом, в связи причинности с пространством и временем проявляются различные стороны причинного отношения, характеризующиеся моментами рождения и различия, устойчивости и изменчивости, статики и динамики. Поскольку в реальном процессе порождения причиной следствия эти противоречивые моменты выступают всегда в единстве, в онтологическом аспекте причина всегда и предшествует следствию, и одновременно ему. Обе стороны причинности принципиально важны и входят в ее содержание, которое поэтому включает как генезис явлений во времени, так и сосуществование, совпадение явлений, выступающих как причина и следствие в каждый момент развития. Игнорирование или абсолютизация любой из этих сторон приводит к неразрешимым трудностям в раскрытии самого механизма причинения, диалектики причинной связи.

Признание необходимости выделять различные стороны причинности в зависимости от области исследования и специфики возникающих при этом задач находит свое выражение в структурном и генетическом методах познания, получивших широкое распространение в естественных науках. Структурный анализ причинного отношения, исследование статики и механизма взаимодействия причины и следствия в отдельный момент времени выявляют их сосуществование и приводят к выводу об одновременности их действия. Генетический анализ при-

чинности, рассматривающий распространение причинной цепи во времени, приводит к выводу о предшествовании причины следствию.

В противопоставлении статической и динамической теорий причинности обнаруживается особенность процесса познания распадаться на две противоположные стороны, которые в действительности не исключают, а дополняют друг друга. Научное воспроизведение причинности требует отражения этой диалектики, что достигается единством структурно-генетического подхода, позволяющим более глубоко и осознанно исследовать обе стороны причинного отношения и синтезировать их. Поэтому и в гносеологическом отношении философское понятие причинности, отражая противоречивую сущность объективных процессов причинения, включает в свое содержание диалектическое единство одновременности и временного различия причины и следствия.

В свете этого единства, на наш взгляд, неправомерны попытки ввести требование одновременности или предшествования в общее определение причинности. Философский принцип причинности не должен ограничиваться признанием только временной либо только пространственной его структуры. Этот вывод находит свое обоснование в единстве пространственно-временной структуры причинности, вытекающем из анализа специальной теории относительности.

Многие авторы при обсуждении взаимоотношения причинности и времени утверждают, что с точки зрения современной физики, признающей конечную скорость распространения взаимодействий, любые представления об одновременности в действии причин и следствий не выдерживают критики, что одновременность исключает причинную связь. Действительно, если речь идет о причинно-связанных пространственно разобобщенных событиях, то временной порядок причин и следствий остается неизменным. Но в этом утверждении теории относительности имеется в виду именно причинная связь событий, разделенных в пространстве. В этом смысле можно утверждать, что в опосредованной причинной связи причина всегда предшествует следствию и что теория относительности, таким образом, доказывает необходимость признания временной структуры причинности в причинной цепи событий.



Указанный подход к причинности правомерен и необходим на определенной стадии ее исследования. Причинная связь включает в себя отношение временной последовательности явлений. Более того, это отношение выступает, как правило, наиболее внешней и бросающейся в глаза чертой причинной связи, но выступает как самый поверхностный уровень проявления причинности. Научный анализ причинности не должен ограничиваться констатацией того, что объект *B* (следствие) следует за некоторым другим объектом *A* (причиной), но необходимо вскрывать закон причинной связи, внутренний механизм причинения. Только на таком уровне исследования причинной связи раскрывается самая глубокая сущность причинности, устанавливается, что объект *A* производит объект *B* <sup>26</sup>.

Такого анализа механизма причинной связи генетический подход не дает и в специальной теории относительности: он фиксирует лишь готовые результаты физических процессов. Однако теория относительности, установив конечную скорость распространения взаимодействий, ставит вопрос о механизме их распространения. Рассматривая причинную связь пространственно разобщенных событий, необходимо признать и существование между ними цепей причинения, обладающих пространственной и временной непрерывностью. Это положение обосновывается в работах И. В. Кузнецова <sup>27</sup>. В качестве цепей причинения в теории относительности рассматривается электромагнитное поле. Поэтому здесь с необходимостью возникает задача исследовать структуру электромагнитного поля и механизм причинных цепей. Ограничиваться признанием только временной структуры причинности — значит отказаться от раскрытия сущности причинного отношения.

Для выяснения природы электромагнитного поля необходимо рассмотреть четыре уравнения Максвелла, описывающих его структуру.

Рассмотрим распространение электромагнитных волн в вакууме, где проводимость  $\sigma=0$  и нет электрических

---

<sup>26</sup> Никитин Е. П. Объяснение — функция науки. М., 1970, с. 280.

<sup>27</sup> Кузнецов И. В. Принципы причинности и его роль в познании природы. — В кн.: Проблема причинности в современной физике. М., 1960, с. 5—130.

зарядов ( $q=0$ ), а диэлектрическая постоянная и магнитная проницаемость равны единице. При этих условиях, упрощающих ситуацию, первые два уравнения Максвелла запишутся в виде:

$$\operatorname{div} E=0; \operatorname{div} H=0.$$

Это означает, что все силовые линии либо замкнуты, либо уходят в бесконечность. Два других уравнения поля будут иметь следующий вид:

$$\text{а) } \frac{\partial E}{\partial t} = c \operatorname{rot} H; \quad \text{б) } \frac{\partial H}{\partial t} = -c \operatorname{rot} E.$$

Если электрическое поле  $E$ , существующее в какой-то части пространства, изменяется за малый интервал  $dt$  на величину  $dE$ , то, согласно уравнению а), вокруг электрического поля сразу начинает обвиваться магнитное поле, а его вихрь напряженности будет пропорционален скорости изменения электрического поля  $\frac{\partial E}{\partial t}$ . Магнитное поле также будет изменяться во времени, скажем, на величину  $dH$  в течение каждого последующего малого интервала времени  $dt$ . Но в соответствии с уравнением б) изменение этого поля  $\frac{\partial H}{\partial t}$  тут же вновь индуцирует переплетающееся с магнитным электрическое поле <sup>28</sup>.

Следовательно, всякое изменение магнитного поля вызывает одновременно со своим изменением появление электрического поля; электрическое поле, возникая как следствие магнитного, вновь становится причиной появления магнитного и т. д. Анализ уравнений Максвелла, описывающих структуру электромагнитного поля, приводит к признанию моментов одновременности в действии причин и следствий. Действительно, из приведенных выше уравнений Максвелла видно, что в каждой точке пространства в данный момент времени определенному значению электрического поля соответствует строго определенное значение магнитного и наоборот. Если  $dE=0$ , то равна нулю и величина магнитного поля. Электромагнитное поле в уравнениях Максвелла выступает формально как единое целое, и способ, которым электрическое

---

<sup>28</sup> Борн М. Эйнштейновская теория относительности. М., 1964, 368 с.

поле входит в это уравнение, определяется тем, как входит в него магнитное поле <sup>29</sup>. Поэтому здесь, как и при анализе уравнений классической механики, мы приходим к выводу об одновременности явлений, но только в одной, всегда определенной точке пространства и в определенный момент времени. Одновременность в этом смысле, согласно теории относительности, будет абсолютной.

Таким образом, не правы те авторы, которые голословно утверждают, что одновременность и причинность несовместимы с позиций специальной теории относительности. Они были бы, безусловно, правы только в том случае, если бы в утверждениях об одновременности причины и следствия использовалось понятие одновременности пространственно разобщенных событий, но никто из сторонников статической концепции причинности не понимает одновременность в этом смысле, речь всегда идет об одновременности в одной точке пространства-времени, о «стыке» причины и следствия.

Структурный подход к электромагнитному полю, констатирующий сосуществование явлений в определенных точках пространства, абсолютизирует моменты устойчивости причинной цепи. В действительности эти моменты, как и весь процесс в целом, распространяются в пространстве и времени с конечной скоростью. Поэтому, как и в уравнениях классической механики, уравнения Максвелла позволяют по состоянию поля в данной точке в какой-либо момент времени определить его состояние в другой точке в последующий момент времени. «В теории электромагнитного поля Максвелла лапласовский детерминизм и математический детерминизм совпадают»<sup>30</sup>.

Наблюдается любопытная ситуация. Анализ распространения электромагнитного поля от одной точки к другой во временном отношении приводит к выводу о временной последовательности связи состояний электромагнитного поля, которая в теории относительности выступает как цепь причинения, связывающая пространственно разобщенные события. Структурный анализ уравнений Максвелла, фиксирующий состояние поля в какой-то определенный момент времени и в данной точке, приводит к вы-

---

<sup>29</sup> Эйнштейн А. Сущность теории относительности, с. 60.

<sup>30</sup> Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике, с. 176.

воду об одновременности изменения электрического и магнитного поля, которые находятся в причинной связи, поскольку одно вызывает, порождает, создает другое. Эта ситуация выражена А. Эйнштейном и Л. Инфельдом следующим образом: «Поле здесь и теперь зависит от поля в непосредственном соседстве в момент, только что протекший. Уравнения позволяют нам предвидеть, что случится немного дальше в пространстве и немного позднее во времени, если мы знаем, что происходит здесь и теперь»<sup>31</sup>.

Уравнения современной физики не позволяют определить содержание моментов перехода от причины к следствию, а фиксируют лишь готовые результаты. Анализ уравнений с различных позиций приводит к разным выводам: либо мы определяем состояние процесса в данной точке пространства-времени, либо получаем последовательность состояний во временном отношении. Поэтому абсолютизация одновременности в структуре причинности так же неправомерна, как и другая крайность, вследствие единства пространства-времени в специальной теории относительности.

Признание моментов одновременности в структуре причинного отношения не отрицает временную последовательность явлений. Напротив, одновременность, сосуществование — это координаты, связывающие пространство и время, позволяющие рассматривать причинные связи в их пространственно-временном соотношении. Поэтому применение структурного анализа, констатирующего сосуществование и одновременность явлений и раскрывающего пространственную структуру причинности, выступает как необходимая научная абстракция на определенном этапе познания и имеет важное теоретическое значение. Это проявляется при анализе структуры причинности в специальной теории относительности.

Таким образом, специальная теория относительности, устанавливая внутреннюю связь причинности с пространством и временем, в значительной мере проясняет и углубляет наше понимание различных сторон принципа причинности и дает естественнонаучную основу для создания синтетической теории причинности, более полно отражающей диалектику причинной связи.

---

<sup>31</sup> Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М., 1966, с. 131.

**В. Л. Любошиц,  
М. И. Подгорецкий**

## **ПРОБЛЕМА ТОЖДЕСТВЕННОСТИ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ**

Любая физическая теория обязательно включает в себя различающиеся элементы и элементы, предполагаемые тождественными<sup>1</sup>. Анализ свойств этих элементов и их всевозможных комбинаций составляет в значительной степени содержание теории. Сказанное относится в полной мере и к квантовой механике. Вместе с тем общепринятые квантовомеханические представления о тождественности и различимости обладают особенностями, требующими, на наш взгляд, специального физического и методологического анализа. набросок такого анализа содержится в данной работе. В соответствии с поставленной целью основное внимание уделено принципиальным моментам, технические детали опущены или максимально сокращены. Желающие могут найти их в наших работах<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Коноплев Н. П., Соколик Г. А. Проблема тождества и принцип относительности.— В кн.: Эйнштейновский сборник 1967. М., с. 348; Шкода В. В. О понятии разнообразия.— «Философские науки», 1971, № 4, с. 75.

<sup>2</sup> Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И. Интерференция нетождественных частиц.— «Журнал эксперим. и теор. физики», 1968, т. 55, вып. 3 (9), с. 904—916; Они же. Интерференционные явления при регистрации пар нестабильных частиц.— «Журнал эксперим. и теор. физики», 1969, т. 57, вып. 1 (7), с. 175—182; Любошиц В. Л. Экстремальные свойства энтропии при смешивании поляризованных газов.— «Докл. АН СССР», 1970, т. 195, № 1, с. 63—66; Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И. Энтропия поляризованного газа и парадокс Гиббса.— «Докл. АН СССР», 1970, т. 194, № 3, с. 547—550; Они же. К вопросу о тождественности элементарных частиц.— «Журнал эксперим. и теор. физики», 1971, т. 60, вып. 1, с. 9—18; Они же. Парадокс Гиббса.— «Успехи физич. наук», 1971, т. 105, вып. 2, с. 353—359. Они же. Симметризация волновых функций тождественных частиц и принцип интерференции квантовомеханических амплитуд.— Сообщения ОИЯИ, 1971, P<sub>2</sub>—5809; Любошиц В. Л. О рассеянии частиц с неортогональными внутренними состоя-

В апреле 1949 г. во Флоренции состоялась Учредительная конференция Европейского физического общества, на которой В. Вайскопф — один из виднейших современных физиков — выступил с докладом «Физика в 20-м столетии». Характеризуя основные идеи квантовой механики, он специально остановился на ее представлениях о тождественности. В. Вайскопф с предельной ясностью изложил общепринятую среди физиков точку зрения о природе квантовомеханической тождественности: «...Квантовая механика породила концепцию идеальной тождественности. Два атома находятся либо в одном и том же квантовом состоянии, и тогда они тождественны, либо в разных квантовых состояниях, и тогда они полностью различны. Непрерывный переход между тождественностью, сходством и различием исчез»<sup>3</sup>.

Таким образом, констатируется существование абсолютной тождественности, абсолютной различимости и их связь с абсолютной же дискретностью состояний в квантовой механике. При этом, конечно, предполагается, что перечисленными свойствами обладают не только атомы, ядра и т. д., но и те элементарные частицы, из которых составлены квантовомеханические системы.

Что можно сказать в этой связи об элементарных частицах? Общепринято, что и здесь квантовая механика радикально изменила подход к проблеме тождественности в двух тесно связанных друг с другом отношениях:

1) доказано существование абсолютно тождественных частиц (все электроны, протоны,  $\pi^{\pm}$ -мезоны и т. д.);

2) поведение системы из двух или нескольких тождественных частиц качественно отличается от поведения системы сколь угодно близких частиц, т. е. физические свойства представляют собой разрывную функцию непрерывных параметров, которые характеризуют степень близости частиц, образующих систему. Разрыву в поведении соответствует также и разрыв в описании: для тождественных частиц волновая функция должна быть симметризована, а для частиц, сколь угодно близких, но различающихся, она может быть в этом смысле произвольной.

---

ниями.— Сообщения ОИЯИ, 1969, P<sub>2</sub> — 4631; Барышевский В. Г., Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И. Неортогональные квазистационарные состояния.— «Журнал эксперим. и теор. физики», 1969, т. 57, вып. 1 (7), с. 157—164.

<sup>3</sup> Weisskopf V. F.—«CERN Courier», 1969, Bd. 9, S. 295.

В классической физике все электроны (все атомы водорода и т. д.) также считались тождественными, но это была *совсем другая тождественность*, она не рассматривалась как абсолютная. Тождественность выступала в качестве обычной физической идеализации и сводилась к отвлечению от возможных, но несущественных для теории различий реальных объектов. Таким образом, тождественными считались не сами реальные объекты, а только отражающие их идеализированные элементы теории. Поэтому предположение о достаточно малых вариациях масс или зарядов электронов не привело бы в классической физике к какому-либо экспериментально наблюдаемым следствиям<sup>4</sup>. В частности, переход от тождественных объектов к очень близким не был связан с радикальным изменением свойств составленной из них системы. Абсолютные разрывы в поведении отсутствовали.

Следовательно, выполнялось так называемое «правило Лейбница», существенно ограничивающее характер проявления принципа причинности: «Если причины, сближаясь, сливаются друг с другом, следствия ведут себя так же»<sup>5</sup>. До появления квантовой механики все физические (и не только физические) законы полностью соответствовали этому правилу. Точки фазовых переходов были только кажущимся исключением, более подробный анализ всегда приводил к замене идеального скачка соответствующим непрерывным переходом. Что же касается квантовой механики, то в ней разрывы непрерывности совсем другого типа, разрывы абсолютные, не являющиеся следствием какой-либо идеализации.

Следовательно, сформулированные выше основные черты квантовомеханической концепции тождественности не имеют аналогий в других разделах физики. К тому же обычно они рассматриваются как установленные во всех отношениях окончательно и с абсолютной достоверностью<sup>6</sup>. Под-

---

<sup>4</sup> Это остается верным и при строгом выполнении закона сохранения заряда, так как в классической физике нет процессов превращения одних частиц в другие.

<sup>5</sup> Lande A. *New Foundations of Quantum Mechanics*. Cambridge, 1960.

<sup>6</sup> Единственным известным нам исключением является краткое замечание Э. Ферми, который предполагал, что различные электроны могут как-то отличаться друг от друга (Fermi E. — «Scientia», 1934, t. 55, p. 21). Развития это замечание не получило.

черкивается, что они оказываются неминуемым следствием многочисленных экспериментов, дающих на вопросы о тождественности однозначные ответы типа «да — нет». Речь здесь идет о таких фактах, как наличие на  $K$ -оболочках атомов только двух электронов, отсутствие некоторых ротационных уровней двухатомных молекул с одинаковыми ядрами и т. д.

Обычная схема рассуждений такова: из аппарата квантовой механики следует, что на  $K$ -оболочке атома могут находиться только два электрона, если они абсолютно тождественны, и много электронов, если они хоть чем-то отличаются друг от друга. Опыт показывает, что на  $K$ -оболочках атомов никогда не бывает более двух электронов. Следовательно, мы одновременно доказываем не только то, что все электроны абсолютно тождественны, но и то, что поведение системы тождественных частиц действительно качественно отличается от поведения системы сколь угодно близких частиц.

Аналогично можно рассуждать применительно к двухатомным молекулам и ко всем другим системам, содержащим тождественные частицы. Подчеркнем, что и здесь квантовомеханические представления о тождественности переплетаются с квантовомеханической дискретностью: нет никаких непрерывных вариаций свойств электронов, протонов и других частиц, все электроны абсолютно одинаковы, их свойства дискретны.

Из сказанного ясно, что речь идет о системе взглядов, выходящих за пределы собственно физики и имеющих более широкое методологическое значение. И хотя сейчас эта система взглядов повсеместно излагается как вполне естественная, единственно возможная и само собой разумеющаяся, в свое время ее утверждение было бы немыслимым без приведенных выше веских экспериментальных доказательств, которые считаются однозначными и неопровержимыми.

Как следует относиться к последнему утверждению об «однозначности и неопровержимости»? Ясно, что оно может не иметь силы в будущей, более глубокой теории, которая, возможно, даст совсем другую интерпретацию тем же самым экспериментальным фактам. Но справедливо ли это утверждение (а вместе с ним общепринятые представления о природе тождественности) в рамках современной квантовой механики?



Нельзя отрицать, что обсуждаемые представления сыграли существенную роль в процессе становления квантовой механики. Однако мы надеемся показать, что, рассматриваемые как абсолютные, они противоречат ее духу. Можно сказать, что эти представления в какой-то мере отражают только некоторые практически важные предельные ситуации, которые иногда хорошо (но все же не абсолютно) соответствуют действительности, а иногда совершенно ей не соответствуют. В принципе это обстоятельство могло быть замечено очень давно, но фактически оно выяснилось со всей отчетливостью сравнительно недавно в связи с концентрацией внимания на нестационарных интерференционных явлениях, характерных для нейтральных  $K$ -мезонов и других объектов сходного типа.

В качестве конкретного примера, служащего для пояснения нашей точки зрения, рассмотрим, следуя Р. Фейнману, задачу о рассеянии частиц<sup>7</sup>. Предположим, что есть два «генератора» встречных пучков различных частиц  $A$  и  $B$ , которые после рассеяния на угол  $\Theta$  или  $\pi - \Theta$  попадают в два счетчика (предполагается, что лабораторная система совпадает с системой центра инерции). Возникает вопрос, чему равна вероятность совместного срабатывания счетчиков?

Если соответствующие амплитуды равны  $f(\Theta)$  и  $f(\pi - \Theta)$ , то вероятность срабатывания

$$W \sim \{|f(\Theta)|^2 + |f(\pi - \Theta)|^2\}. \quad (1)$$

Здесь нет никакой интерференции между двумя «каналами», поскольку конечные состояния различимы: один раз в первый и во второй счетчики попадают соответственно частицы  $A$  и  $B$ , другой раз, наоборот,  $B$  и  $A$ . Подчеркнем, что результат  $(I)$  имеет место независимо от того, чем именно различаются частицы  $A$  и  $B$ ; важно лишь, чтобы их можно было отличить друг от друга.

Другое дело, если оба «генератора» испускают одинаковые частицы, скажем, типа  $A$ . В этом случае рассеяния на углы  $\Theta$  и  $\pi - \Theta$  приводят к неразличимым конечным состояниям (в обоих счетчиках частицы  $A$ ). В соответ-

<sup>7</sup> Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 8. Квантовая механика. М., 1966, с. 30—56. Замечания Р. Фейнмана о рассеянии явились толчком, стимулировавшим наши работы в области квантовомеханической тождественности.

вии с общим квантовомеханическим принципом интерференции амплитуд различных каналов, приводящих к одному и тому же конечному состоянию<sup>8</sup>, вероятность срабатывания счетчиков<sup>9</sup>

$$W \sim |f(\Theta) + f(\pi - \Theta)|^2. \quad (2)$$

Таким образом, мы сталкиваемся с конкретной реализацией «парадокса разрывности», сформулированного в общем виде в начале статьи: рассеяние сколь угодно близких частиц  $A$  и  $B$  описывается соотношением (1), в то время как рассеянию одинаковых частиц отвечает совершенно другое соотношение — (2). Эксперимент показывает, что, например,  $\alpha$ -частицы рассеиваются друг на друга в соответствии с соотношением (2). Отсюда обычно заключают, что все  $\alpha$ -частицы абсолютно тождественны и эксперимент действительно подтверждает существование парадоксального скачка поведения при переходе от близких частиц к тождественным<sup>10</sup>.

По своей природе этот вывод примыкает к парадоксу Гиббса и другим «парадоксам разрывности»<sup>11</sup>, проанализированным в ряде наших работ. В соответствии с этим сходством его можно решить аналогичным образом.

<sup>8</sup> Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И. Интерференция нетождественных частиц, с. 904; Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, с. 19.

<sup>9</sup> Для определенности предполагается, что частицы не имеют спина. Строго говоря, вместо (2) следовало бы записать  $W \sim |f(\Theta) + e^{i\delta} f(\pi - \Theta)|^2$ . Однако хорошо известно, что фазовый множитель  $\delta$  может быть равен либо нулю, либо  $\pi$ ; первому случаю соответствуют так называемые «истинно тождественные» бозоны (т. е. тождественные бозоны, находящиеся в одинаковых спиновых состояниях), второму — «истинно тождественные» фермионы.

<sup>10</sup> Для однозначного выбора между (1) и (2) нет нужды проводить бесконечно точный эксперимент, вполне достаточен «грубый эксперимент», обладающий конечной точностью (см. также Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. М., 1963, с. 462—467). Здесь мы снова сталкиваемся с подчеркнутой уже ранее связью между дискретностью и тождественностью.

<sup>11</sup> Можно даже сказать, что это наиболее глубокий из «парадоксов разрывности», лежащий в основе большинства остальных. Здесь следует отметить любопытное изменение научной психологии, происшедшее в течение полувека: сравнительно частному парадоксу Гиббса посвящена громадная литература, а сходная и существенно более фундаментальная ситуация в квантовой механике большинством специалистов даже не осознана в качестве парадоксальной.

Обсуждаемый парадокс сводится к скачку в вероятности рассеяния при непрерывном сближении некоторых параметров, характеризующих рассеивающиеся частицы  $A$  и  $B$ . Возникает, однако, существенный вопрос: возможно ли фактически такое непрерывное сближение, не противоречит ли оно каким-либо законам физики? Если да, парадокс остается. Если нет (т. е. если различия между частицами могут изменяться только дискретно), парадокс исчезает: нет ничего удивительного в том, что при дискретном изменении свойств частиц вероятность рассеяния также изменяется дискретно.

На первый взгляд кажется, что реально осуществляется последняя возможность. Действительно, говоря о различных частицах  $A$  и  $B$ , обычно подразумевают, что они отличаются друг от друга какими-либо дискретными и сохраняющимися квантовыми числами (зарядом, барионным числом, четностью и т. д.). В этих условиях параметры, определяющие степень близости частиц, не могут изменяться непрерывно. Следовательно, какие-либо основания для постановки вопроса о парадоксе исчезают.

Иногда различие в квантовых числах может показаться несущественным (примером может служить рассеяние двух одинаковых атомов, когда величина барионного заряда ядра или его спина практически никак не влияет на взаимодействие атомных оболочек — причину рассеяния). Но в интересующем нас отношении именно это различие оказывается определяющим. Только на нем держится принципиальная возможность различить два состояния, в которых частицы  $A$  и  $B$  меняются местами, что в конечном счете приводит к отсутствию интерференции между этими состояниями.

Сказанного было бы достаточно, если бы в квантовой механике отсутствовал принцип суперпозиции. Однако суперпозиции объективно существуют, и это коренным образом меняет дело. Действительно, в общем случае в «генераторах» 1 и 2 могут возникать некоторые суперпозиции состояний  $A$  и  $B$ , описываемые внутренними волновыми функциями<sup>12</sup>

$$C = \alpha_1 A + \beta_1 B, \quad D = \alpha_2 A + \beta_2 B. \quad (3)$$

<sup>12</sup> Если  $A$  и  $B$  обладают различными значениями зарядов и некоторых других квантовых чисел сходного типа, то образование суперпозиции невозможно (так называемое правило суперот-

Коэффициенты этих суперпозиций зависят от устройства «генераторов» и могут рассматриваться как непрерывные параметры близости между  $C$  и  $D$ , поскольку при  $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$  и  $\beta_1 \rightarrow \beta_2$  состояния  $C$  и  $D$ , непрерывно изменяясь, сливаются друг с другом. Можно ли теперь утверждать, что при сколь угодно малом отличии  $\alpha_1$  от  $\alpha_2$  и  $\beta_1$  от  $\beta_2$  вероятность рассеяния  $C$  на  $D$  дается соотношением (1), а при  $\alpha_1 = \alpha_2$  и  $\beta_1 = \beta_2$ , т. е. при  $C \equiv D$  — соотношением (2)? Достаточно поставить этот вопрос, чтобы понять, что ответ может быть только отрицательным и что вероятность рассеяния является непрерывной функцией параметров  $\alpha_k$  и  $\beta_k$ . Что касается вида соответствующего выражения, то он зависит от ряда конкретных условий. Мы ограничимся простейшим случаем, когда амплитуды рассеяния  $A$  на  $A$ ,  $B$  на  $B$  и  $A$  на  $B$  совпадают, а амплитуды процессов превращения частиц типа  $A + A \rightarrow A + B$  и  $A + A \rightarrow B + B$  равны нулю. Тогда полная вероятность рассеяния

$$W \sim \{|f(\theta)|^2 + |f(\pi - \theta)|^2 + 2|<C|D>|^2 \operatorname{Re} f(\theta) f^*(\pi - \theta)\}. \quad (4)$$

Здесь символом  $<C|D>$  обозначено скалярное произведение волновых функций (3), т. е.

$$<C|D> = \alpha_1^* \alpha_2 + \beta_1^* \beta_2. \quad (5)$$

Величину  $<C|D>$  можно также назвать степенью неортогональности состояний  $C$  и  $D$ . Для тождественных состояний, когда  $\alpha_1 = \alpha_2$  и  $\beta_1 = \beta_2$ , имеем  $<C|D> = 1$ ; если же  $<C|D> = 0$ , то состояния  $C$  и  $D$  ортогональны, являются различными собственными состояниями некоторого эрмитового оператора и могут быть с помощью соответствующего анализатора полностью отделены одно от другого. В промежуточной ситуации, когда

$$0 < |<C|D>| < 1,$$

любой анализатор, выделяющий состояние  $C$ , в некоторой мере «захватывает» и состояние  $D$ . Такие состояния не

---

бора). (См. Стритер Р., Вайтман А. РСТ, спин, статистика и все такое. М., 1966, с. 16). Предполагается, что указанное условие не имеет места; частицы  $A$  и  $B$  могут различаться четностью, проекцией спина на некоторое направление и т. д.

могут быть названы ни тождественными, ни полностью различными<sup>13</sup>.

Заметим, что соотношение (4) содержит в себе (1) и (2) как предельные: при  $|\langle C|D \rangle| \rightarrow 0$  оно непрерывно переходит в (1), при  $|\langle C|D \rangle| \rightarrow 1$  — в (2).

«Парадокс разрывности» полностью исчез, поведение системы, вопреки общепринятому мнению, оказывается непрерывной функцией параметров близости частиц, образующих систему. Вместо противопоставления абсолютно тождественных и абсолютно различных состояний мы приходим к более общему диалектическому понятию частично различных состояний, синтезирующему два крайних понятия и охватывающему их в качестве предельных случаев.

Обратимся теперь к утверждению о существовании абсолютно тождественных микрообъектов. Мы видели, что в любом «генераторе» возникают, вообще говоря, некоторые суперпозиции типа  $C = \alpha A + \beta B$ , коэффициенты которых зависят от свойств «генератора». Но всякий «генератор» включает в себя макроскопические элементы, и по этой причине его свойства могут непрерывно изменяться при изменении каких-то макроскопических параметров<sup>14</sup>. Это означает, что в действительности не существует двух абсолютно одинаковых «генераторов»; более того, один и тот же «генератор» не остается абсолютно неизменным от одного акта генерации до другого.

Следовательно, нельзя создать суперпозицию  $C = \alpha A + \beta B$  с заранее заданными значениями коэффициентов  $\alpha_0$  и  $\beta_0$ , а можно лишь создать суперпозицию, в которой  $\alpha$  и  $\beta$  близки к  $\alpha_0$  и  $\beta_0$  с той или иной степенью точности, зависящей от точности изготовления и стабильности «генератора». Точно так же нельзя создать две абсолютно одинаковые суперпозиции. Сказанное в полной мере от-

---

<sup>13</sup> Это подчеркивалось еще фон Нейманом (Математические основы квантовой механики. М., 1964) и особенно А. Ланде (New Foundations of Quantum Mechanics. Cambridge, 1960; Foundations of Quantum theory. Yale Univ. Press, 1955; From Dualism to Unity in Quantum Physics. Cambridge, 1960; «Phil. of Science», 1965, vol. 32, p. 192).

<sup>14</sup> Иногда макроскопические факторы (внешние поля и т. д.) вводят сознательно, в других случаях от них стараются избавиться и фактически почти избавляются, но полное решение этой задачи принципиально недостижимо.

носится и к базисным состояниям  $A$  и  $B$ , которые с рассматриваемой точки зрения являются лишь частными случаями суперпозиций ( $\alpha=1$  и  $\beta=0$  дают  $A$ ,  $\alpha=0$  и  $\beta=1$  дают  $B$ ).

В качестве примера рассмотрим частицы со спином  $j=1/2$ . Роль базисных состояний  $A$  и  $B$  играют здесь состояния с проекциями спина  $m=\pm 1/2$  на некоторое направление, различным суперпозициям отвечают состояния со спином, ориентированным определенным образом по отношению к избранной оси квантования. Непрерывным параметром близости выступает угол  $\Theta$  между направлениями спинов, степень неортогональности  $|\langle C|D\rangle| = \cos \frac{\Theta}{2}$ .

Два состояния со спинами, ориентированными в противоположных направлениях, полностью различимы, состояния с параллельными спинами тождественны. «Генераторами» в данном случае могут служить какие-либо магнитные поляризаторы. Ясно, что направления магнитных полей в таких поляризаторах нельзя фиксировать с абсолютной точностью. Поэтому крайние случаи полностью различимых и полностью тождественных суперпозиций также можно реализовать с любой конечной точностью, но только не с абсолютной.

В «генераторах» другого типа рассматриваемые частицы могут возникать в ходе какой-то реакции или в процессе распада. Тогда их поляризация зависит от таких непрерывных параметров, как энергосодержание реакции, направление вылета и т. д. Окончательные результаты будут такими же, как для «магнитных генераторов».

Интересный пример связан с нейтральными  $K$ -мезонами. Закон сохранения странности приводит к тому, что в некоторых реакциях могут генерироваться только су-

перпозиции типа  $K^0 = \frac{K_1^0 + K_2^0}{\sqrt{2}}$  независимо от энергии

первичных частиц, импульсов вторичных частиц и т. д. В реакциях другого типа, наоборот, возникают только

ортогональные суперпозиции  $\bar{K}^0 = \frac{K_1^0 - K_2^0}{\sqrt{2}}$ . Поэтому мо-

жет показаться, что все частицы, относящиеся к какому-то одному из этих двух классов, строго тождественны, а частицы разных классов полностью различимы.

Однако это верно только приблизительно, поскольку странность сохраняется лишь в сильных взаимодействиях, а генерация  $K$ -мезонов в некоторой мере обусловлена слабыми взаимодействиями. Учет слабых взаимодействий немедленно приводит к зависимости коэффициентов суперпозиций от кинематических параметров, которые не могут быть фиксированы с абсолютной точностью.

То обстоятельство, что со слабыми взаимодействиями связаны очень малые вариации коэффициентов рассматриваемых суперпозиций, не имеет здесь принципиального значения. Известны, впрочем, реакции, в которых коэффициенты суперпозиций могут варьироваться и за счет сильных взаимодействий, например образование состояний типа  $\alpha K_1^0 + \beta K_2^0$  при упругих столкновениях  $K_2^0$ -мезонов с ядрами (регенерация  $K_1^0$ -мезонов).

В связи с рассмотренными примерами уместно отметить, что анализ проблемы тождественности в квантовой механике осложняется исторически сложившейся путаницей в терминологии. Волновая функция нейтрального  $K$ -мезона в общем случае имеет вид  $\alpha K_1^0 + \beta K_2^0$ . Вместе с тем волновая функция частицы со спином  $j=1/2$  также может быть записана в виде  $\psi = \alpha\psi_{+1/2} + \beta\psi_{-1/2}$ , где  $+1/2$  и  $-1/2$  отвечают двум возможным проекциям  $j$ .

С общей квантовомеханической точки зрения речь в обоих случаях идет об одном и том же (полный изоморфизм!). Тем не менее установилась довольно странная традиция, согласно которой в случае  $K_1^0$ - и  $K_2^0$ -частиц (и в других аналогичных случаях) говорят о разных частицах, а частицы с  $m=+1/2$  и  $m=-1/2$  почему-то считают тождественными. Поскольку свойства  $K_1^0$  и  $K_2^0$  резко различаются, естественно считать их, а вместе с ними и состояния с  $m=+1/2$  и  $m=-1/2$ , разными частицами. Именно такой подход (касающийся всех внутренних квантовых чисел) кажется нам естественным и правомерным<sup>15</sup>.

Сторонники обычной точки зрения иногда говорят, что они вовсе не считают электроны с  $m=+1/2$  и  $m=-1/2$  тождественными частицами, а только полагают, что вся совокуп-

<sup>15</sup> Напомним в этой связи слова А. Пуанкаре, который подчеркивал, что в науке «...точно определенный язык — вещь весьма не безразличная» (Пуанкаре А. Ценность науки. М., 1906, с. 101).

ность потенциально возможных спиновых состояний одного электрона тождественна с такой же совокупностью спиновых состояний любого другого электрона. Но тогда с той же меркой надо подходить и к суперпозициям нейтральных  $K$ -мезонов, суперпозициям различных состояний атомов и т. д., а этого никто не делает.

Кроме того (и это самое главное), анализ соотношений типа (4) показывает, что в рамках таких совокупностей в зависимости от условий возможно поведение системы, характерное как для тождественных, так и для различающихся частиц; в равной мере возможны и все промежуточные типы поведения, осуществляющие непрерывный переход между крайними пределами. Зачем же называть все это одним и тем же словом и создавать терминологическую неразбериху?

До сих пор мы сознательно обходили вопрос о массах базисных состояний  $A$  и  $B$ . Строго говоря, предполагалось вырождение, когда все суперпозиции  $A$  и  $B$  стационарны. Сами  $A$  и  $B$  при этом никак не выделены, роль стационарного базиса может играть любая другая пара ортогональных состояний. А что будет, если вырождения нет и стационарны (т. е. обладают определенными и разными массами) не любые суперпозиции, а именно  $A$  и  $B$  (основное и возбужденное состояния атома,  $K_1^0$  и  $K_2^0$  - мезоны и т. д.)?

Можно ли воспользоваться конечным различием масс  $\Delta m$  для полного отделения  $A$  от  $B$  с помощью подходящей пороговой реакции или специального масс-спектрографа и тем самым обеспечить генерацию абсолютно тождественных (и абсолютно различных) частиц? Нет, этого сделать нельзя! Работа любого реального «генератора» или масс-спектрографа всегда связана с некоторым характерным периодом установления  $\Delta t$ ; следовательно, из-за соотношения неопределенности между энергией и временем, которое в данном случае можно записать в виде  $\Delta m \Delta t \gtrsim \frac{\hbar}{c^2}$ , условия разделения разных масс всегда в той или иной мере нарушаются. Роль этих нарушений тем меньше, чем больше различаются  $m_A$  и  $m_B$  и чем больше величина  $\Delta t$ , но совершенно избавиться от них невозможно.

Различие масс приводит, при прочих равных условиях, к различию импульсов генерируемых частиц  $A$  и  $B$ .



Воспользоваться этим обстоятельством для полного отделения  $A$  от  $B$  не позволяет соотношение неопределенности между импульсом и координатой  $\Delta p \Delta x \geq h$ : величина  $\Delta x$  связана с пространственной локализацией «генератора» и потому всегда конечна.

В настоящее время из-за крайней малости  $\Delta t$  практически невозможно кинематическое разделение  $K_1^0$ - и  $K_2^0$ -мезонов или разных компонент сверхтонкой структуры атомов. Компоненты тонкой структуры разделяются уже лучше, а состояния с различными электронными возбуждениями (именно их имел в виду В. Вайскопф) можно разделить почти полностью. Но абсолютная разделяемость здесь тоже недостижима, что очень важно в принципиальном плане. Таким образом, и для суперпозиций по массам противопоставление между тождественностью и полной различимостью относительно.

Подводя итоги, можно констатировать, что в квантовой механике не существует никаких *реальных* абсолютно тождественных объектов. Абсолютно тождественные состояния выступают только в качестве идеализированных элементов теории, но в действительности они могут быть реализованы не более, чем идеальные эталоны измерения в классической физике.

Невозможность абсолютной тождественности не запрещает частицам быть тождественными в отношении некоторых из своих свойств. Однако такая тождественность аналогична классической в том смысле, что в принципе ничто не мешает рассматривать ее как относительную. Иногда эта относительность видна уже в рамках современных представлений. Заряд позитрона, например, считается в точности совпадающим с зарядом протона. Стоит, однако, вспомнить, что понятие заряда есть частный случай более широкого понятия — электрического фактора, и тождественность зарядов позитрона и протона тотчас становится относительной, связанной только с предельным случаем нулевых передач импульса (в интересующем нас процессе упругого рассеяния это условие выполняется при рассеянии на нулевой угол).

Сказанное, конечно, не относится к сопоставлению зарядов двух электронов, двух протонов и т. д. Но кто может гарантировать, что физический смысл масс, зарядов и других сходных характеристик элементарных частиц не изменится каким-то образом в будущей более

глубокой теории? В чисто логическом плане возможность изменения этих понятий не является абсурдной. Не следует забывать, что все величины обсуждаемого типа (заряды, константы связи и т. д.) органически никак не связаны с современной квантовой механикой; они только вводятся в нее извне в качестве феноменологических параметров, ожидающих своего теоретического осмысления.

Аналогичные замечания можно сделать и в связи с абсолютной различимостью частиц, обладающих разными значениями зарядов или других квантовых чисел такого рода. Не исключено, что связанные с этим жесткие правила суперотбора в дальнейшем как-то модифицируются. Могло бы, например, оказаться, что они имеют только асимптотическое значение<sup>16</sup> или что очень близкие заряды становятся в каком-то смысле неразличимыми и т. д.

Все сказанное о возможных будущих представлениях имеет, конечно, чисто иллюстративное значение. Если же обратиться к тем квантовым числам, природа которых сейчас уже известна, т. е. ограничиться явлениями, описываемыми современной квантовой механикой, то можно констатировать, что в этой области противопоставлению тождественности и различимости можно придавать только относительное значение.

Вернемся к задаче о рассеянии и допустим, что в обоих «генераторах» соответствующие энергии существенно выше пороговых, вследствие чего возникают суперпозиции (3), в которых коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  сопоставимы по величине с  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Говоря ранее о соотношении (4), мы предполагали, что  $A$  и  $B$  имеют одинаковые массы. Посмотрим, что изменится, если  $m_A \neq m_B$ . В этом случае, как уже упоминалось, суперпозиции (3) нестационарны и коэффициенты  $\alpha_k$  и  $\beta_k$  зависят от собственных времен  $\tau_k$ , отсчитываемых от момента генерации в каждом из «генераторов» до момента рассеяния:

$$\alpha_k = \alpha_k^0 e^{-im_A c^2 \frac{\tau_k}{\hbar}}, \quad \beta_k = \beta_k^0 e^{-im_B c^2 \frac{\tau_k}{\hbar}}. \quad (6)$$

Поэтому степень неортогональности (5) и вероятность рассеяния (4) также будут зависеть от времени (интерферен-

<sup>16</sup> В том смысле, что мы наблюдаем частицы только через достаточно большое время после их генерации. Это замечание принадлежит А. Е. Левину.

ционные «биения»). Легко видеть, что зависимость эта периодическая с частотой

$$\omega = \frac{(m_A - m_B) c^2}{\hbar}. \quad (7)$$

Для ее наблюдения необходимо иметь «генераторы» и область рассеяния достаточно малых размеров. Указанные условия могут быть практически выполненными, например, при рассеянии нейтральных  $K$ -мезонов, для которых разность масс  $m_{k_1} - m_{k_2}$  очень мала и соответствующий (7) пространственный период составляет обычно несколько сантиметров.

Если величина  $m_A - m_B$  достаточно велика, то зависящие от времени интерференционные члены усредняются. Соотношение (4) принимает тогда вид:

$$W \sim \{(|\alpha_1|^2 \cdot |\alpha_2|^2 + |\beta_1|^2 |\beta_2|^2) |f(0) + f(\pi - \theta)|^2 + (|\alpha_1|^2 \cdot |\beta_2|^2 + |\beta_1|^2 \cdot |\alpha_2|^2) (|f(\theta)|^2 + |f(\pi - \theta)|^2)\}. \quad (8)$$

Иными словами, вероятность рассеяния получается такой же, как если бы в каждом из «генераторов» частицы  $A$  и  $B$  возникали независимо друг от друга с вероятностями  $|\alpha_k|^2$  и  $|\beta_k|^2$ . Соответственно создается впечатление, что в двух актах генерации могут возникать две абсолютно тождественные частицы  $AA$  или  $BB$  (этому соответствует первый член (8)) либо две абсолютно различные частицы  $A$  и  $B$  (второй член).

Описанная ситуация встречается, хотя и не всегда, но достаточно часто. Она соответствует почти всем случаям, анализ которых сыграл определяющую роль при возникновении квантовой механики<sup>17</sup>. Например, если речь идет о двух атомных уровнях, то обычно  $\omega \sim 10^{15} \text{ с}^{-1}$ , для уровней ядра типичны значения  $\omega \sim 10^{20} \text{ с}^{-1}$ .

В этих условиях представления о существовании абсолютно тождественных частиц и других квантовых объектов с практической точки зрения вполне приемлемы. Ясно,

---

<sup>17</sup> Широко распространенный анализ рассеяния в терминах плоских волн эквивалентен описываемому усреднению по размерам «генератора». Это — крайняя идеализация. Метафизическое распространение полученных таким образом выводов на все реальные процессы рассеяния приводит к искажению самой сути дела, когда роль интерференции полностью маскируется.

однако, что они отвечают только одному из возможных предельных частных случаев, и их абсолютизация не может считаться законной. В другом пределе, когда частота (7) достаточно мала или даже равна нулю (так называемое вырождение), эти представления совершенно не соответствуют действительности.

Следует, однако, иметь в виду, что в первом предельном случае полностью теряет смысл утверждение о наличии скачка при переходе от близких частиц к тождественным, поскольку теряется возможность непрерывного изменения внутренних свойств частиц. В противоположном пределе картина обратная: возможно непрерывное изменение внутренних свойств, но не существует реальных абсолютно тождественных состояний. Таким образом, в своем полном объеме традиционные квантовомеханические представления о природе тождественности вообще не имеют области применения.

До сих пор предполагалось, что сначала образуются суперпозиции типа (3), которые затем рассеиваются. Примерно такая же картина возникает и тогда, когда генерируются волновые пакеты ортогональных и стационарных состояний  $A$  и  $B$ , а после рассеяния с помощью соответствующих анализаторов отбираются некоторые суперпозиции  $L$  и  $M$ , определяемые соотношениями

$$L = \varepsilon A + \mu B, \quad M = \nu A + \eta B. \quad (9)$$

Это означает, что состояние  $L$  есть одно из собственных состояний первого, а  $M$  — второго детектора.

Из (9) вытекает, что амплитуды регистрации состояний  $A$  и  $B$  первым детектором равны соответственно  $\varepsilon^*$  и  $\mu^*$ , а вторым детектором —  $\nu^*$  и  $\eta^*$ . Как показано в (3), вероятность двойного совпадения в описываемом корреляционном эксперименте

$$W \sim \left\{ |\varepsilon \eta f(\theta)|^2 + |\mu \nu f(\pi - \theta)|^2 + \right. \\ \left. + 2 \operatorname{Re} \left( \varepsilon^* \eta^* \nu \mu f(\theta) f^*(\pi - \theta) e^{\frac{i(m_B - m_A)(\tau_1 - \tau_2)C^2}{\hbar}} \right) \right\}, \quad (10)$$

где  $\tau_1$  и  $\tau_2$  — собственные времена, отсчитываемые от мо-

мента рассеяния до моментов срабатывания соответствующих детекторов.

Если частицы регистрируются немедленно после акта рассеяния, то  $\tau_1 = \tau_2 = 0$ , и (10) переходит в

$$W \sim \{|\varepsilon \eta f(\theta)|^2 + |\mu \nu f(\pi - \theta)|^2 + 2\operatorname{Re}[\varepsilon^* \eta^* \nu \mu f(\theta) f^*(\pi - \theta)]\} \quad (10^*)$$

Предположим далее, что оба детектора устроены одинаково и, следовательно, отбирают одинаковые суперпозиции  $L \equiv M(\varepsilon = \nu, \mu = \eta)$ . Тогда (10\*) эквивалентно соотношению (2), характерному для тождественных частиц. Ясно также, что при  $\varepsilon \rightarrow \nu$  и  $\mu \rightarrow \eta$  переход (10\*) в (2) происходит непрерывно<sup>18</sup>.

В общем случае, когда  $\tau_1 - \tau_2 \neq 0$ , возникают в соответствии с (10) интерференционные «биения» вероятности регистрации. Если разность масс  $m_A - m_B$  достаточно велика, необходимо усреднить (10) по временам  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , что приводит к соотношению

$$W \sim \{|\varepsilon \eta f(\theta)|^2 + |\mu \nu f(\pi - \theta)|^2\}$$

не содержащему интерференционного члена, т. е. сходному по своей структуре с (1).

Для нестабильных частиц отбор суперпозиций  $L$  и  $M$  может осуществляться путем регистрации соответствующих мод распада. В таком отборе, по сути дела, и состоит причина возникновения интерференционных явлений при регистрации распадов нестабильных частиц. Важно подчеркнуть, что и здесь имеет место непрерывный переход к случаю тождественных частиц, если отбираемые состояния сближаются между собой.

До сих пор все исследование велось применительно к отдельным конкретным задачам, однако оно имеет общее значение. Чтобы убедиться в справедливости этого утверждения, рассмотрим коротко вопрос о структуре волновой функции системы частиц. Сначала предположим, что речь идет о полностью различающихся частицах  $A$  и  $B$ . Это могут быть любые пары частиц:  $K_1^0$  и  $K_2^0$ ,  $\alpha$ -частица и  $\pi$ -мезон, электроны с проекциями спина  $m = +1/2$  и  $m = -1/2$  и т. д.

<sup>18</sup> Заметим, что степень неортогональности  $\langle L|M \rangle$  непосредственно в (10) и (10\*) не входит; тем не менее остается справедливым прежнее утверждение: при  $|\langle L|M \rangle| \rightarrow 1$  происходит непрерывный переход к поведению системы тождественных частиц.

Будем рассматривать  $A$  и  $B$  как два разных состояния одной и той же частицы, т. е. введем некоторое внутреннее квантовое число, одному из значений которого отвечает состояние  $A$ , другому —  $B$ . Тогда волновая функция системы будет зависеть не только от координат частиц, но и от их внутренних квантовых чисел.

Введем теперь представление о так называемой «полной перестановке», состоящей в перестановке *всех* аргументов волновой функции — как внешних, так и внутренних. После такой перестановки мы приходим к прежнему физическому состоянию, откуда, как известно, следует, что волновая функция либо переходит сама в себя (бозоны), либо меняет знак (фермионы).

Подчеркнем, что полученный результат ни в коей мере не предполагает тождественности  $A$  и  $B$ . Он верен также безотносительно к тому, возможны или невозможны суперпозиции состояний  $A$  и  $B$ . Если такие суперпозиции возможны (именно этот случай интересует нас прежде всего), то сформулированное утверждение о симметризации (или антисимметризации) волновой функции очевидным образом справедливо не только для  $A$  и  $B$ , но и для любых их суперпозиций  $C$  и  $D$ .

Обратимся теперь к системе двух таких суперпозиций, определяемых в соответствии с (3), и зададимся вопросом: как изменяется волновая функция системы после перестановки одних только внешних координат, никак не затрагивающей внутренние квантовые числа?

Если  $C \equiv D$ , то по отношению к такой перестановке волновая функция обладает привычными свойствами волновой функции тождественных частиц, т. е. не изменяется либо меняет знак. Ясно, однако, что сказанное не относится к общему случаю, когда  $C \neq D$  и перестановка координат в какой-то мере изменяет свойства системы. Ясно также, что при  $C \rightarrow D$  мы имеем дело с непрерывным переходом к поведению тождественных частиц. Это относится ко всем аспектам поведения системы, поскольку все они в равной мере характеризуются свойствами волновой функции. Тем самым идея о непрерывном переходе от различающихся частиц к тождественным при сближении их внутренних состояний формулируется в наиболее общем виде.

В целях уточнения сделаем еще несколько замечаний. Обычно считается, что наличие на  $K$ -оболочках атомов

только двух электронов следует из их абсолютной тождественности. Это, однако, недоразумение. Действительно, как мы уже видели, абсолютно тождественных электронов фактически не существует. На самом деле, обсуждаемое свойство  $K$ -оболочек есть следствие принципа суперпозиции и антисимметрии волновой функции по отношению к полной перестановке, которая непосредственного отношения к абсолютной тождественности не имеет, хотя бы потому, что может быть сформулирована для любых различающихся фермионов (например, для нейтрона и протона, электрона и нейтрино и т. д.). Тождественность здесь можно ввести только чисто словесно, полагая все электроны, в каких бы состояниях они ни были, абсолютно тождественными по определению. Выше, однако, было показано, что такая терминология лишена разумного смысла.

Чтобы выделить основную мысль, перейдем от электронов к гипотетическим частицам со спином  $j=3/2$ . На основной оболочке атома (или в любом другом стационарном координатном состоянии) можно было бы разместить не два таких «электрона», а четыре. Введем далее новые гипотетические частицы, сходные с  $K^0$ - и  $\bar{K}^0$ -мезонами, но имеющие спин  $j=1/2$ . Такие частицы, явно распадающиеся на две различные группы (два « $K^0$ -мезона» с разными проекциями спина и два аналогичных « $\bar{K}^0$ -мезона»), вели бы себя, как тождественные «электроны»: их можно размещать по стационарным координатным состояниям не более чем четверками. Все же эти гипотетические  $K^0$ -мезоны и  $\bar{K}^0$ -мезоны никто не считал бы тождественными.

Здесь может возникнуть другое возражение. Чем бы ни объяснялись свойства  $K$ -электронов гелия, остается фактом, что в нерелятивистском приближении их спины строго антипараллельны; следовательно, эти электроны абсолютно различимы. Вместе с тем существуют и такие стационарные состояния атомов гелия, в которых спины электронов строго параллельны, т. е. электроны абсолютно тождественны. Не разрушаются ли этими примерами наши представления об отсутствии абсолютно тождественных и абсолютно различимых электронов? Ни в коей мере! Свойства указанных стационарных состояний атомов действительно таковы, но сами эти состояния — всего лишь теоретическая абстракция; их можно создать только с помощью «идеальных генераторов», обладающих бесконечно большим

периодом установления. В реальных «генераторах» обязательно возникнут суперпозиции стационарных состояний атомов, вследствие чего электроны таких атомов не могут считаться ни абсолютно тождественными, ни абсолютно различимыми<sup>19</sup>.

Все сказанное основано на принципе суперпозиции. Поэтому следует ответить на вопрос: всегда ли имеются состояния  $B$ , образующие суперпозиции с интересующим нас состоянием  $A$ ? Нам представляется, что вся структура современной квантовой механики с неизбежностью приводит к положительному ответу. Правила суперотбора не противоречат такому выводу, так как они запрещают только некоторые суперпозиции, но отнюдь не все. Не следует также забывать о возможной относительности правил суперотбора. Что касается фактической стороны дела, то все известные в настоящее время квантовомеханические объекты имеют партнеров, с которыми они могут образовывать суперпозиции.

Из ортодоксальных представлений о квантовомеханической тождественности вытекают общеизвестные следствия о свойствах равновесных в термодинамическом смысле состояний, прекрасно согласующиеся с экспериментом. В какой мере затрагиваются эти следствия нашей критикой?

Ответ таков: свойства равновесных состояний проявляются только асимптотически (при  $t \rightarrow \infty$ ) и по этой причине полностью остаются в силе (сошлемся на аналогию с рассмотренным выше усреднением интерференционных членов в рассеянии); однако релаксационный процесс достижения равновесия может в некоторых отношениях существенно измениться. Одна из сторон этой проблемы была специально рассмотрена в наших работах, посвященных анализу парадокса Гиббса. Поэтому сейчас достаточно обсудить только некоторые дополнительные соображения.

Рассмотрим газ, атомы которого имеют какую-либо внутреннюю степень свободы. Для определенности будем

---

<sup>19</sup> Следует иметь в виду, что в любых реальных условиях всегда присутствуют неоднородные магнитные поля, смешивающие между собой синглетные и триплетные состояния гелия. Рассматривать стационарные состояния гелия без учета влияния таких полей — тоже идеализация. Релятивистские поправки, эквивалентные учету влияния неоднородных внутриатомных полей, также приводят к смешиванию триплетных и синглетных состояний.



говорить о спине, хотя последующие заключения имеют общее значение. Пусть спин  $j=1/2$ , что отвечает, в частности, газу  $^3\text{He}$ . С помощью так называемой «оптической накачки» можно, как известно, получить значительную поляризацию  $^3\text{He}$ , которая сохраняется в течение длительного времени (сутки и более)<sup>20</sup>. Наполним некоторый объем таким полностью поляризованным гелием. Если в начальный момент имеются пространственные неоднородности плотности, макроскопические потоки и т. д., то газ находится в неравновесном состоянии.

Очень скоро потоки затухнут, неоднородность плотности и температуры исчезнет, установится термодинамическое равновесие, такое же, как и в случае, когда все частицы одинаковы и не имеют никаких внутренних степеней свободы. Это равновесие может быть выражено очень четко, но все же оно оказывается только временным, промежуточным. При отсутствии сильного магнитного поля, хотя и очень медленно, но обязательно будет происходить деполяризация атомов. В конце концов установится *окончательное* термодинамическое равновесие. Оно будет описываться обычными квантовомеханическими формулами, исходящими из того, что половина атомов образует один газ (состоящий из тождественных частиц), а вторая половина — другой независимый газ (состоящий из других тождественных частиц).

Длительность стадии «промежуточного равновесия» определяется в этом примере релаксационными процессами. Если базисные состояния имеют разные массы (газ из нейтральных  $K^0$ -мезонов, базисные состояния  $K_1^0$  и  $K_2^0$ ), то следует учитывать также влияние динамических процессов, сходных с «биениями», рассмотренными выше в связи с упругим рассеянием. Существенную роль могут играть столкновения с атомами буферного газа и различные другие обстоятельства. Для нас сейчас важны не эти детали, а общий вывод: общепринятая схема приложения квантовомеханических представлений о тождественности к термодинамическим проблемам имеет только предельное (асимптотическое) значение, поэтому рассматриваемые нами интерференционные явления остаются в ней незамеченными.

---

<sup>20</sup> Fitzsimmons W. A., Walters J. K. — «Phys. Rev. Letters», 1967, vol. 19, p. 943.

Раньше уже подчеркивалась органическая связь квантово-механических представлений о тождественности и о дискретности. Поэтому, критикуя одно, мы автоматически критикуем и другое. Исторически сложилась вполне естественная и понятная традиция подчеркивать в квантовой механике прежде всего дискретное, связанное с собственными состояниями и квантовыми числами. Элементы непрерывного, конечно, не отрицаются, но обычно понимаются очень узко и сводятся к констатации существования в некоторых случаях участков сплошного спектра.

Но мы видели уже, что дискретные собственные состояния представляют собой только теоретическую идеализацию; реальным квантовым объектам всегда соответствуют суперпозиции, множество которых, в отличие от множества собственных состояний, *всегда непрерывно*. Следовательно, идея непрерывности проникает в квантовую механику значительно глубже, чем это обычно подчеркивается. Сказанным оспаривается не существование дискретного, а только реальное существование абсолютной дискретности. При обычном подходе дискретные состояния просто противопоставляются непрерывным, а фактически они оказываются предельным случаем последних. Противопоставление дополняется единством <sup>21</sup>.

Критика абсолютной дискретности заставляет нас остановиться на интересных рассуждениях А. Ланде, связывающих дискретность с необходимостью существования статистических закономерностей. Сходная точка зрения в более частном плане (в связи с дискретным различием правого и левого) развивается и Г. Вейлем<sup>22</sup>. А. Ланде исходит из сформулированного уже принципа Лейбница, утверждающего непрерывный характер связи между изменениями следствий и причин. Если обсуждаемое следствие состоит в выборе между двумя или несколькими дискретными возможностями, то требуемая непрерывность может быть получена только на базе статистического описания <sup>23</sup>. Поскольку в квантовой механике многие анализаторы осуществляют именно такой выбор, А. Ланде приходит к зак-

---

<sup>21</sup> Дискретность заряда и некоторых других квантовых чисел сходного типа представляется нам сейчас абсолютной. В этой связи уместно вспомнить сказанное ранее о правилах суперотбора.

<sup>22</sup> Вейль Г. Симметрия. М., 1968, с. 59.

<sup>23</sup> Здесь мы снова сталкиваемся с проявлением глубокой связи между дискретным и непрерывным.

лючению, что квантовомеханические закономерности обязаны быть статистическими.

Сказанное исходит из идеализированного представления о квантовомеханических анализаторах <sup>24</sup>. Кроме того, всегда следует считаться с принципиальной возможностью изменения в будущем самого содержания обсуждаемых понятий. Поэтому мы не считаем рассуждения А. Ланде окончательными и логически безупречными. Вместе с тем они очень интересны и позволяют оценить статистические законы квантовой механики с новой точки зрения.

Затрагиваются ли эти рассуждения нашей критикой абсолютной дискретности? Думается, что нет. Особенно если не считать их логическим доказательством (каковыми они и не являются), а рассматривать только как существенное общее соображение, указывающее на глубокие корни квантовомеханической статистики. При таком подходе рассуждения А. Ланде остаются в силе по двум причинам. Во-первых, существенные для них дискретные состояния не изгоняются из квантовой механики, а только превращаются в идеальные элементы теории, во многих случаях хорошо (и даже очень хорошо!) описывающие реальные состояния. Во-вторых, утверждение, что в двух разных актах генерации нельзя получить строго одинаковые суперпозиции, но можно получить суперпозиции, сколь угодно близкие, не затрагивает схемы А. Ланде, которая не сопоставляет разные акты работы анализатора, а рассматривает каждый такой акт вне непосредственной связи с другими.

Последнее замечание касается возможной гипотезы о природе тех идеальных стационарных состояний, которые в современной теории можно считать абсолютно тождественными. Обратимся в качестве примера к электрону, помещенному во внешнее магнитное поле. Любое его состояние представляет собой нестационарную суперпозицию двух стационарных состояний со спинами, ориентированными по и против поля. Нельзя ли теперь предположить, что каждое из этих состояний только кажется нам строго стационарным, а на самом деле, в свою очередь, есть нестационарная суперпозиция двух (или нескольких)

---

<sup>24</sup> Не имея здесь возможности останавливаться на этом интересном вопросе, ограничимся ссылкой на работы Д. И. Блохинцева. (см., например, **Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики.** М., 1966).

разных типов гипотетических электронов, обладающих несколько разными массами? Приведет ли такая гипотеза к противоречию с известными экспериментальными фактами, если величина разности масс  $\Delta m$  очень мала?

Существование непрерывного перехода между свойствами систем, составленных из близких и из тождественных суперпозиций, и увеличение периода «биений» с уменьшением  $\Delta m$ , как это следует из формулы (7), подсказывает, что такая гипотеза вполне допустима. Если бы время жизни частиц  $K_1^0$  и  $K_2^0$  было на несколько порядков больше, а разность их масс — на несколько порядков меньше, то  $K^0$ -мезоны, являющиеся суперпозициями  $K_1^0$  и  $K_2^0$ , можно было бы считать во многих отношениях конкретной реализацией рассматриваемой схемы.

После этих наводящих соображений сошлемся на строгий анализ, проведенный в одной из наших работ<sup>25</sup>. Анализ показал, что такая гипотеза, хотя и приводит к некоторым необычным с современной точки зрения следствиям, внутренне непротиворечива и (при достаточно малом  $\Delta m$ ) вполне согласуется с экспериментом. Поэтому обсуждаемая гипотеза во всяком случае может претендовать на некоторую логическую ценность.

Мы ни в коем случае не утверждаем, что развитая схема действительно реализуется или что в настоящее время в ее пользу говорят какие-либо экспериментальные факты<sup>26</sup>. Напротив, представления об абсолютной тождественности идеализированных собственных состояний кажутся сейчас во многих отношениях более естественными. Заслуживает, однако, внимания то обстоятельство, что эти представления, вопреки традиционному мнению, нельзя считать однозначно доказанными.

Не исключено, что схемы, подобные описанной, приобретут некоторое фактическое значение, если будущая теория элементарных частиц учтет каким-то образом (может быть, в связи с космогонией) эволюционные моменты, совершенно чуждые современной точке зрения. Важно под-

---

<sup>25</sup> Любошиц В. Л., Подгорецкий М. И. К вопросу о тождественности элементарных частиц.—«Журн. эксперим. и теор. физики», 1971, т. 60, вып. 1, с. 9—18.

<sup>26</sup> Тезис о «ненепечерщаемости электрона» и других элементарных частиц является в рассматриваемом плане слишком общим; вряд ли его следует привлекать для обоснования какой-либо конкретной схемы.

черкнуть, что в этом отношении представления об абсолютной тождественности элементарных частиц могут служить крайне серьезным препятствием. Трудно ввести какую-то зависимость свойств электрона от его индивидуальной истории, если электрон, возникший сейчас, считается абсолютно тождественным с электроном, образовавшимся несколько миллиардов лет тому назад.

В качестве примера напомним об одном варианте общей теории поля, развитом Г. Вейлем еще до создания квантовой механики. В теории Г. Вейля масса электрона оказалась слегка (практически неаблюдаемо!) зависящей от его истории. После появления квантовых представлений об абсолютной тождественности электронов это обстоятельство явилось одним из важных аргументов против построений Г. Вейля<sup>27</sup>. Мы, конечно, не собираемся здесь обсуждать вопрос об общей теории поля. Заметим только, что в свете всего сказанного именно это возражение не представляется уже абсолютно бесспорным.

В заключение в противовес двум положениям, приведенным в начале статьи, сформулируем основные выводы:

1. В квантовой механике не существует никаких реальных абсолютно тождественных и абсолютно дискретных объектов. Эти состояния выступают только в качестве идеализированных элементов теории.

2. Квантовая механика ввела в рассмотрение состояния, которые не являются ни абсолютно тождественными, ни абсолютно разделимыми. Именно это обстоятельство, вытекающее из принципа суперпозиции, составляет основной, исходный пункт нашего исследования.

3. Для каждого квантовомеханического объекта можно указать бесконечное множество сколь угодно близких к нему объектов.

4. При непрерывном сближении свойств суперпозиций поведение составленной из них системы изменяется непрерывно, без каких-либо скачков.

5. Результаты типа соотношения (2) никоим образом не доказывают существования абсолютно тождественных частиц; они являются следствием не абсолютной тождественности, а общих интерференционных принципов квантовой механики.

---

<sup>27</sup> Гравитация и относительность. Под редакцией Х. Цяю и Гоффмана. М., 1965, гл. 3.

## ЭВРИСТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ПРИНЦИПА ПРИЧИННОСТИ В ТЕОРИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Одна из фундаментальных философских проблем науки XX в. — проблема детерминизма. Исследование этой проблемы имеет непреходящую ценность как для развития естественных, технических и общественных наук, так и для обогащения и углубления содержания *категориального аппарата* самой философии.

Диалектико-материалистический детерминизм утверждает объективную закономерность явлений природы, многообразие связей, зависимостей и отношений в ней, возможность правильного отражения человеком этих закономерностей и связей в процессе научного познания действительности.

Существенной составной частью диалектического детерминизма выступает *концепция каузальности*, представляющая собой органическое единство трех компонентов: категории причинности, закона причинности и принципа причинности.

Каузальность характеризуется объективностью, всеобщностью, необходимостью, активностью причины, состоящей в том, что причина производит, порождает следствие, причем следствие не может наступить раньше своей причины.

К вопросу о причинности следует подходить с учетом данных конкретных наук, ибо они раскрывают в конечном счете природу объективных причинных связей.

Связь проблемы причинности с наукой обусловлена, с одной стороны, тем, что важнейшая задача научного познания состоит в раскрытии причинной обусловленности явлений мира и применении этого знания в человеческой деятельности. С другой стороны, развивающаяся наука поставляет все новый и новый материал для конкретиза-

ции основных звеньев концепции каузалности. Такой конкретизации прежде всего подвергаются категория причинности и закон причинности, в то время как принцип причинности оказывается относительно более устойчивым звеном концепции причинности.

Постановка и обсуждение проблемы причинности зависит не только от обобщения и интерпретации новейших экспериментальных фактов и теоретических концепций науки, но и от самого определения исходного понятия — категории причинности<sup>1</sup>. В нашей литературе была показана неоднозначность самого термина «причинность», что приводит к определенным трудностям в решении проблемы в целом. Содержание категории причинности<sup>2</sup> возможно глубже раскрыть и уточнить, рассматривая ее в связи с такими основными понятиями, как взаимодействие, условие, необходимость, структура и состояние.

Ввиду того, что «человеческие понятия не неподвижны, а вечно движутся, переходят друг в друга, переливаются одно в другое»<sup>3</sup>, разграничение этих понятий не абсолютно, а относительно, релятивно, условно. Так, в кибернетике причинность представляется как конечная система материальных объектов (так называемых «узлов»), каждый из которых может находиться в конечном числе состояний; при этом определенные состояния одних узлов вызывают (с необходимостью или с той или иной вероятностью) определенное состояние других<sup>4</sup>. Разграничение причинности и связи состояний в данном случае условно. В физике в целом и в физике микромира в особенности в качестве причинности выступают взаимодействия.

---

<sup>1</sup> Свечников Г. А. Категория причинности в физике. М., 1961, 245 с.; Он же. Причинность и связь состояний в физике. М., 1971, 304 с.

<sup>2</sup> Сейфуллаев Р. С. От идеи каузальности к понятию причинности. — В кн.: Современный детерминизм и наука, т. I. Новосибирск, 1975; Он же. К вопросу об определении понятия причинности. — Известия АН Туркменской ССР. Серия обществ. наук, 1969, № 2, с. 37—43.

<sup>3</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 29, с. 226—227.

<sup>4</sup> Марков А. А. Что такое кибернетика? — В кн.: Кибернетика. Мышление. Жизнь. М., 1964, с. 39—53.

*Связь причины и следствия выражается в законе причинности.* Закон причинности может иметь различные виды, отражая те или иные уровни реальности. Это подтверждается современным развитием науки (в частности, квантовой физики). Представление о каузальном отношении, исключающем какую-либо неопределенность в законе причинности и признающем только один вид каузальности (однозначную связь причины и следствия) находится в лоне метафизического и механистического материализма с его лапласовским гимном всеобъемлющему разуму.

Научное познание мира бесконечно в силу качественной и количественной неисчерпаемости явлений природы. «Ценным путеводителем» (М. Планк) в сложном лабиринте научной работы исследователя выступает *материалистический принцип причинности*, утверждающий материальную обусловленность всех событий и процессов действительности. Принцип причинности является своего рода инвариантом в логике научного поиска и составляет «живую душу» диалектико-материалистической концепции каузальности. Конкретизация категории причинности, изменение вида закона причинности ни в коей мере не означает крушения, как это представляется зачастую в идеалистической философии, материалистического принципа причинности и концепции каузальности в целом. Этот вывод подтверждается всей историей развития научного познания мира, и в нем заключается *суть мировоззренческой роли материалистического принципа каузальности*.

**Методологическая функция диалектико-материалистической концепции каузальности** в научном познании проявляется в разных аспектах. Представляется возможным выделить три аспекта: онтологический, гносеологический, эвристический.

**Онтологический аспект** каузальности выражает объективные генетические связи, существующие между природными, общественными и психическими явлениями. Генетическая причинная цепь представляет своего рода «механизм» порождения необходимого изменения состояния движения взаимодействующих объектов, который определяет некоторые *фундаментальные* свойства пространственно-временной структуры реальности (в частности, такое топологическое свойство времени, как необратимость), хотя и не исчерпывает их полностью.



Г н о с е л о г и ч е с к а я   ф у н к ц и я   п р и ч и н н о с т и — это функция отражения каузальной цепи в категориальном аппарате (понятие причинности, принцип причинности и закон причинности), достижения при этом все большей степени адекватности знаний и реальности в процессе движения научного познания от сущности первого порядка к сущности второго и т. д. Важнейшим элементом этой функции является *предсказуемость* последующих событий на основе знания настоящих. *Степень точности* предсказуемости при этом зависит от вида *закона причинности* и, следовательно, от природы исследуемой реальности и уровня (состояния, степени) познания последней. Предсказуемость может быть и *однозначной*, и *неоднозначной*. Противоречие между представлением о неоднозначности закона причинно-следственной связи и возможностью научного предсказания преодолевается посредством того, что объекты — носители причинного отношения — обладают определенной структурой. Структуры причины и следствия тождественны и нетождественны.

Э в р и с т и ч е с к а я   ф у н к ц и я   к о н ц е п ц и и   п р и ч и н н о с т и заключается в «математической ясности» в построении новой теории. Особенно выпукло эта функция проявилась в построении современных физических теорий, что отмечают и сами исследователи <sup>5</sup>. Формирование новой теории есть результат осмысления и обобщения сложного переплетения философских, естественно-научных, математических, технических и социальных достижений науки в исследуемой области. Особое место здесь принадлежит философским принципам в целом и диалектико-материалистической концепции причинности (в силу ее фундаментальности и уникальности) в особенности.

В настоящее время интенсивно развивающейся областью современной экспериментальной и теоретической физики является физика микроявлений, протекающих с большими скоростями (близкими к скорости распространения света в вакууме). Физика элементарных частиц, можно сказать, вышла на передовые рубежи научного поиска. Благодаря мощному развитию экспериментальной базы сегодня открыто свыше двухсот частиц и их возбуж-

---

<sup>5</sup> Боголюбов Н. Н., Медведев Б. В., Поливанов Н. К. Вопросы теории дисперсионных отношений. М., 1958, с. 20.

денных состояний. Электрон оказался, как гениально предсказал В. И. Ленин, так же неисчерпаем, как и атом. В связи с этим вопрос о построении общей теории элементарных частиц приобрел особую актуальность.

Теоретическое осмысление значительного материала экспериментальных работ и специфических закономерностей мира элементарных частиц, как выясняется, возможно путем диалектического синтеза теории относительно-сти и квантовой теории <sup>6</sup>.

Взаимодействие элементарных частиц, характеризующее специфику каузальности в физике микромира, в соответствующих условиях порождает качественное, структурное изменение самих взаимодействующих элементарных объектов. Последнее хорошо иллюстрируется в алгебре реакций элементарных частиц, которая вместе с тем определяет возможность предсказания новых реакций микропроцессов. Это доказывает эвристическую функцию принципа микропричинности в исследуемой области и, в частности, в построении единой теории микропроцессов.

Современной теорией элементарных частиц в основном выступает квантовая теория поля, в которой наиболее разработана теория электромагнитного воздействия — квантовая электродинамика, представляющая собой релятивистскую квантовую механику взаимодействующих частиц (электронов, позитронов, фотонов). В этой теории частицы представляются как кванты соответствующих полей. Иначе говоря, массы частиц образуются за счет самодействия фундаментального поля самого на себя. Флуктуация физического вакуума в рассматриваемом случае оказывается реальной причиной рождения микрочастиц. Эта флуктуация в случае электромагнитного поля представляется как виртуальное испускание и одновременное поглощение электроном фотона. Последнее исключает возможность существования абсолютно изолированных, свободных от взаимодействия частиц. Материальный характер взаимодействия (частицы с частицей или частицы с вакуумом в случае большого удаления частиц друг от друга) — основа квантовой электродинамики. Следовательно, взаимодействие как сущность причинности не только подтверждается теоретическими и экспериментальными данными современ-

---

<sup>6</sup> Философские проблемы физики элементарных частиц. М., 1964, с. 338.

ной физики, но может служить эвристическим принципом в построении общей теории элементарных частиц.

Этот вывод справедлив еще и потому, что характер взаимодействия, который учитывается, в действительности определяет как соответствующий закон сохранения (например, при сильном взаимодействии — закон сохранения изотопического спина), так и «время жизни» соответствующей частицы.

Следует также отметить принципиальную незамкнутость квантовой электродинамики; это вытекает, в частности, из ее непригодности в областях больших импульсов, так как физический заряд электрона при этом обращается в нуль. Доказано, что будущая теория адронов не может строиться по образцу квантовой электродинамики. Последнее можно объяснить двумя особенностями при взаимодействии элементарных частиц: во-первых, реакции между ними обратимы, во-вторых, испускание какой-либо частицы связано с поглощением соответствующей античастицы. Таким образом, процесс взаимодействия элементарных частиц характеризуется явно выраженной *нелинейностью* (обратное взаимодействие частицы «с собой»); иначе говоря, частицы высших спинов могут быть сконструированы как «нелинейное самодействие фундаментального поля самого с собою, ...масса частиц возникает за счет самодействия»<sup>7</sup>.

Можно без преувеличения сказать, что все достижения современной физики были бы невозможны без применения этого фундаментального принципа — одного из основополагающих принципов физики во все времена.

Онтологическое значение причинности для экспериментальных исследований физики элементарных частиц, заключающееся в представлении о причине как выражении активности материальной субстанции, в представлении о материальном характере взаимодействия на глубинных уровнях материи, не вызывает возражений. Значительно труднее обосновать гносеологическое значение причинности в познании сущности исследуемых явлений и эвристическую роль принципа микропричинности в построении общей теории микропроцессов.

---

<sup>7</sup> Иваненко Д. Роль теории в физике элементарных частиц. — В кн.: Теория групп и элементарные частицы. М., 1967, с. 18—19.

Принцип причинности, как отмечается в работах советских физиков, внесших существенный вклад в развитие теории элементарных частиц, «чрезвычайно сильно ограничивая теорию, приводит к схеме, по существу, эквивалентной обычному гамильтонову методу и отличающейся от него лишь возможностью провести изложение с большей математической ясностью»<sup>8</sup>. И в этой математической ясности в построении новой теории заключается, в частности, эвристическая ценность принципа причинности.

Формирование новой теории, как подчеркивалось выше, есть результат сложного переплетения философских, физических, математических и т. д. осмыслений и обобщений достижений физики в исследуемой области. А потому попытка философского обоснования и обобщения достижений физики элементарных частиц и выявления роли философских понятий и принципов в открытии и установлении закономерностей в этой области представляет значительный интерес. Непреходящее значение в плане сказанного принадлежит концепции причинности.

Прежде всего необходимо сформулировать принцип причинности в исследуемой области — принцип микропричинности. Для этого, согласно принципу соответствия, необходимо выяснить наиболее общие черты, содержащиеся в предыдущих формулировках принципа причинности. Анализ смысла принципа причинности в классической и квантовой (нерелятивистской) механике показывает, что, несмотря на существенное различие между классическим и квантовомеханическим описанием, смысл принципа причинности в обоих случаях один и тот же. Действительно, общность принципа причинности в рассмотренных областях доказывается единым пространственно-временным описанием физических процессов как в классической, так и в квантовой механике.

В современную теорию элементарных частиц все больше внедряется математический аппарат. Физические же их свойства обнаруживаются только в процессе взаимодействия микрочастиц между собой. Существующую теорию обычно рассматривают «как грубое приближение

---

<sup>8</sup> Боголюбов Н. Н., Медведев Б. В., Поливанов М. К. Вопросы теории дисперсионных соотношений, с. 20.

к правильному физическому описанию взаимодействий «элементарных» частиц»<sup>9</sup>.

Современные математические методы (дисперсионные отношения, теория  $S$ -матрицы, теория групп) изучения поведения и свойств элементарных частиц относятся в первую очередь к сильно взаимодействующим частицам.

Естественно, в дальнейшем исследовании необходимо показать отношение математических методов физики элементарных частиц к принципу причинности, акцентируя при этом внимание на роли принципа причинности в разработке этих методов.

В 1926—1927 гг. Кронинг и Крамерс<sup>10</sup>, изучая явления дисперсии, показали, что требование, запрещающее свету распространяться со скоростью, большей  $C = 3 \cdot 10^{10}$  см/с, приводит к соотношению между действительными и мнимыми частями показателя преломления среды. Эти соотношения стали называться дисперсионными соотношениями.

Аналогичные соотношения были установлены в последние годы между вещественной и мнимой частями амплитуды рассеяния микрочастиц для вещественных значений энергии.

В настоящее время экспериментальная проверка дисперсионных соотношений выполнена только для амплитуды рассеяния частиц на пулевой угол, т. е. вперед. Одномерные дисперсионные соотношения для амплитуды рассеяния математически строго доказаны на основе ряда постулатов теории квантовых полей, среди которых наиболее важен принцип микропричинности. При описании сильных взаимодействий, как было отмечено в докладе советского физика В. Н. Байера на научном семинаре в г. Новосибирске<sup>11</sup>, принимается во внимание условие микропричинности, устанавливающее пространственно-временную взаимосвязь событий.

Экспериментальные данные для так называемой теории дисперсионных соотношений подтверждают вполне нетривиальный характер этого условия.

---

<sup>9</sup> Швебер С. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля. М., 1963, с. 784.

<sup>10</sup> Kroning R. — «Journ. Amer. Optical Soc.», 1926, vol. 12, p. 517; Kramers H. A. Atti del Congress Internazionale de Fisicu. Come, 1927.

<sup>11</sup> «Вестник АН СССР», 1971, № 11, с. 115.

Строгое доказательство дисперсионных соотношений для амплитуды рассеяния на произвольный угол проведено академиком Н. Н. Боголюбовым, однако оно не подтверждено пока экспериментом. Нет сомнений в необходимости и важности этих работ, результаты которых углубили бы понимание как самих дисперсионных соотношений, так и исходных постулатов и принципов.

Результаты проведенных экспериментальных исследований находятся в полном согласии с вычисленными дисперсионными соотношениями для амплитуд рассеяния на нулевой угол вплоть до расстояний порядка  $7 \cdot 10^{-15}$  см и времени  $2 \cdot 10^{-25}$  с. Эти результаты представляют собой твердую основу справедливости утверждения: последовательность причины и следствия сохраняется и в микроскопических областях пространства-времени; «в настоящее время пока еще нет экспериментальных или теоретических данных, указывающих на то, что в микроскопических областях пространства-времени имеются отклонения от принципов причинности, выраженного в той форме, которая используется сейчас в квантовой теории поля»<sup>12</sup>. Суть же принципа микропричинности, используемого в квантовой теории поля, изображена на рисунке.

Событие, соответствующее точке  $O$  светового конуса, не находится в причинной связи с событиями, лежащими вне светового конуса (области  $C$  и  $D$ ), ибо никакое материальное воздействие, исходящее из  $O$  и распространяющееся со скоростью, меньшей скорости света, не достигнет ни одного из событий в  $C$  и  $D$ . Этот вывод — следствие специальной теории относительности. События, лежащие вне светового конуса, как бы причинно независимы. В каком отношении они находятся между собой? Этот вопрос, представляющий значительный интерес, пока не исследован. Представляется, что связи между событиями носят функциональный характер: события сосуществуют в пространстве, определяя структуру последнего, не воздействуя друг на друга. Изучение специфики этих отношений способствовало бы более глубокому проникновению в сущность наших пространственных представлений.

Событие, соответствующее началу координат пространства-времени ( $O$ ) — либо следствие событий, лежащих

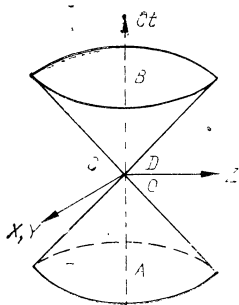
---

<sup>12</sup> Барашенков В. С. Об экспериментальной проверке принципа причинности. — «Вопросы философии», 1965, № 2, с. 108—110.

в области  $A$  (область «абсолютно прошлого» по отношению к  $O$ ), либо причина событий, лежащих в области  $B$  (область «абсолютно будущего»).

Широкое распространение среди ученых, работающих в области физики элементарных частиц, получили так называемые двойные дисперсионные соотношения, представляющие собой более фундаментально развитую часть метода дисперсионной теории С. Мандельштама в случае упругого рассеяния  $\pi$ -мезонов на нуклонах. В двумерном или двойном дисперсионном представлении Мандельштама более явно представляется зависимость амплитуды рассеяния не только от энергии, но также и от передачи импульса. Однако подтверждение правильности выводов дисперсионного представления также пока полностью остается за экспериментом. Следует отметить, что двойные дисперсионные соотношения, в отличие от одномерных, не могут быть выведены на основе лишь постулатов теории квантовых полей, ибо в данном случае имеем дело с нелинейным взаимодействием. Вследствие этого экспериментальное подтверждение их справедливости может быть рассмотрено как доказательство эвристической роли принципа микропричинности в построении теоретических основ современной физики.

Действительно, если предположить возможность несоответствия, к примеру, одномерных дисперсионных соотношений хотя бы с одним экспериментальным фактом, то это на первый взгляд ставит под сомнение объективность принципа микропричинности. Попытаемся защитить более сильный тезис: даже в случае такого несоответствия в будущем принцип микропричинности не утратит своего значения. Последнее в то же время не исключает возможности некоторых изменений в формулировке принципа микропричинности. Можно предположить два отклонения от принятого в настоящее время постулата микропричинности: «усиление» его или «ослабление»<sup>13</sup>.



<sup>13</sup> **Философские вопросы современной физики.** Киев, 1964, с. 216.

«Усиление» принципа микропричинности при больших энергиях возможно в том смысле, что на очень малых расстояниях скорость распространения материальных воздействий будет превышать скорость света в вакууме. Это приводит к допустимости причинно-следственной связи между близлежащими событиями и вне светового конуса.

«Ослабление» же этого принципа может означать принципиальную невозможность выделения причины и следствия даже между двумя событиями внутри светового конуса в процессе их взаимодействия при больших энергиях.

Думается, что в обоих случаях вопрос стоит лишь о возможном расширении и углублении содержания принципа микропричинности, чем подтверждается тезис относительности конкретной формы причинности. Более того, возможные новые формы причинной связи, изменения в самой формулировке принципа микропричинности как бы подтверждают мысль о том, что «... без некоторого смещения причины со следствием дело обойтись не может, так как причина и следствие во взаимодействии утрачивают свои отличительные признаки»<sup>14</sup>. Взаимодействие, являясь основой причинных связей, выражает сущность принципа причинности на самых глубинных уровнях материи.

Однако при отсутствии в настоящее время единой и строгой теории процессов мира элементарных частиц трудно в полном объеме определить эвристическую роль принципа микропричинности в создании самой теории. Вместе с тем непреходящее значение этого принципа в становлении теории (а может быть, только строительных «лесов») видно уже сегодня, что мы попытались показать на примере дисперсионных соотношений.

Рассмотрим вопрос об отношении теории  $S$ -матрицы и теории групп к принципу причинности. Отметим прежде всего, что рассматриваемые методы не исключают друг друга и каждый из них вносит определенную лепту в понимание сильных взаимодействий. В то же время эти методы не тождественны и различаются как по выбору материала, так и по требованиям, предъявляемым к этому материалу.

---

<sup>14</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 8, с. 214.



Метод  $S$ -матрицы, как и дисперсионные соотношения, был разработан для преодоления трудностей, с которыми столкнулась квантовая теория поля в случае сильных взаимодействий и невозможности разрешения их существующими средствами. К последним относится, в частности, метод вторичного квантования, отражающий квантовомеханические процессы, сущность которого выражают обычно фразой: «частицы — это кванты поля». Метод вторичного квантования состоит в рассмотрении электромагнитного поля как некоторой обобщенной динамической системы, а величин, определяющих поле, — как обобщенных координат этой системы<sup>15</sup>.

Учет квантовой природы системы достигается обычно заменой классических величин соответствующими операторами, действующими на определенные функции, которые описывают состояние поля. С помощью так называемых перестановочных соотношений, устанавливающихся между динамическими величинами и называемых условиями квантования поля, могут быть генетически связаны между собой процессы рождения и уничтожения частиц в различных пространственно-временных точках.

То, что конечные состояния частицы находятся под влиянием начальных, предыдущих состояний, и, более того, первые вызываются только благодаря наличию вторых, есть прямое проявление причинной обусловленности микропроцессов.

Уравнения квантовой теории поля решаются с помощью метода теории возмущений — приближенного, последовательного метода решения соответствующего уравнения поля или частиц.

В основе теории возмущений лежит предположение о том, что изменение состояния системы выражается в виде комбинации малых изменений, каждое из которых обусловлено малым эффектом возмущения. Из этого видно, что в основе метода возмущений находится представление об аддитивности причинных связей (выражающееся в том, что эффект, вызываемый суммой причин, равен сумме эффектов, вызываемых каждой причиной в отдельности) и что малые изменения причины вызывают малое изменение эффекта, следствия.

---

<sup>15</sup> Ахизер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика. М., 1959, с. 132.

Однако метод теории возмущений дает результаты соответствующие экспериментальным данным лишь в первом приближении. Квантовая теория поля, как было отмечено, исходит из представления о взаимодействии частиц, обуславливающим все процессы в микромире. Более того, в квантовой теории поля взаимодействие — имманентное свойство всех микропроцессов. Вследствие имманентного характера этого взаимодействия частицы приобретают дополнительную массу и заряд. Так, в результате виртуального излучения или поглощения фотонов электрон, имевший до взаимодействия массу  $m_0$ , приобретает дополнительную массу  $\Delta m$ . Аналогично заряд электрона  $e$  состоит из затравочного заряда  $e_0$  свободного электрона и дополнительного заряда  $\Delta e$ , обусловленного его взаимодействием с полем.

Во всех известных релятивистских теориях поля величина  $\Delta m$  бесконечна, кроме того, основная доля массы частиц по своему происхождению не является электромагнитной, так как  $m_0$  и  $e_0$  несут субстанциональный характер, а  $\Delta m$  и  $\Delta e$  представляют собой продукты взаимодействия электрона с соответствующим полем.

Такой подход к теории взаимодействия микрочастиц, допустимый в квантовой теории поля в области сильных взаимодействий, не соответствует экспериментальным данным. Необходимость разработки теории, адекватной новым опытным данным, и привела исследователей к методу  $S$ -матрицы. « $S$ -матрица, или матрица рассеяния, — пишет в своей последней работе В. Гейзенберг, — связывает конечные состояния с начальными, пучок входящих частиц с пучками уходящих. Поэтому она является первым и чрезвычайно важным инструментом для описания взаимодействия (по крайней мере с феноменологической точки зрения)»<sup>16</sup>.

Результаты этого метода непосредственно проверяются на эксперименте, вследствие чего они получили большое применение. В основе метода  $S$ -матрицы лежат столкновения и рассеяния частиц. Одной из фундаментальных и сложных проблем физики элементарных частиц при этом становится проблема описания взаимодействия систем.

---

<sup>16</sup> Гейзенберг В. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М., 1968, с. 27—28.

Вся экспериментальная ситуация по рассеянию частиц разделяется на три последовательных во времени стадии: начальную (системы приводятся в контакт), среднюю (взаимодействие систем) и конечную (измерение результатов взаимодействия)<sup>17</sup>.

Взаимодействие, не сопровождающееся рождением новых систем (частиц) и не изменяющее внутреннего состояния взаимодействующих частиц, представляет собой наиболее простой случай рассеяния двух частиц. Амплитуды начальных и конечных состояний при этом могут быть однозначно связаны между собой, если в этом случае нас не интересует состояние в момент взаимодействия.

В так называемом аксиоматическом методе (к нему, в частности, относится и  $S$ -матричный метод В. Гейзенберга), развиваемом в последние годы в квантовой теории поля, обычное требование исчезновения взаимодействия за пределами светового конуса дополняется математическими ограничениями, которые накладываются на характер взаимодействия на самом конусе. При этом абстрагируются от динамики взаимодействия (исключается из рассмотрения оператор Лагранжа): полученные уравнения описывают характер изменения состояний движения частиц в результате их взаимодействия, но не в ходе самого взаимодействия<sup>18</sup>.

Именно таким образом  $S$ -матрица связывает начальные асимптотические и конечные состояния системы, не затрагивая при этом динамического поведения частиц в процессе их взаимодействия. Оператор  $S$  инвариантен относительно преобразования Лоренца, что говорит о сохранении принципов специальной теории относительности в рассматриваемой области.

Уже в самом начале разработки  $S$ -матричного метода было обращено внимание (Кронинг) на то, что необходимость соблюдения принципа специальной теории относительности, запрещающего распространение материального воздействия со сверхсветовой скоростью, должно приводить к ограничениям  $S$ -матрицы. Этот запрет, в сущности, и составляет основу принципа микропричинности,

---

<sup>17</sup> Гольбергер М., Ватсон К. Теория столкновений. М., 1967, с. 58.

<sup>18</sup> Жданов Г. В. Концепция причинности и ее значение в физике. — «Вопросы философии», 1968, № 2, с. 52.

из которого исходит с необходимостью вся теория матрицы рассеяния. Причинность в данном случае выражается непосредственно в соблюдении пространственно-временной последовательности событий. Как отмечает Гейзенберг, «... постулат причинности находит адекватное математическое представление в аналитическом поведении  $S$ -матричных элементов, если рассматривать их как функции координат приходящих и уходящих частиц»<sup>19</sup>.

Чем объяснить явную эволюцию взглядов Гейзенберга, в прошлом выступавшего против детерминистической концепции, в сторону признания причинности? Внутренней логикой развития науки, новыми экспериментальными данными или же влиянием таких авторитетов, как М. Планк, А. Эйнштейн, не смирившихся до конца своих дней со всякого рода индетерминистическими выводами из фактов науки, какими бы парадоксальными они ни были? Не умаляя роли ни одного из этих факторов, объективно оказывающих влияние на эволюцию взглядов того или иного западного ученого, хотелось бы особо подчеркнуть то, что в конечном счете исследователь всегда приходит к детерминистическому учению через логику развития той области, которую он сам разрабатывает, так как объективно никакая наука не может развиваться иначе, как на основе материалистического принципа причинности. Это еще раз показывает актуальность и необходимость борьбы с диалектико-материалистических позиций против всякого извращения научных фактов, против идеалистических спекуляций на трудностях роста науки, тормозящих этот рост и эволюцию взглядов крупнейших ученых за рубежом.

Рассмотрим подробнее  $S$ -матричный метод. Матрица рассеяния содержит в себе условие унитарности, инвариантности, а также «математическую формулировку причинности, то есть соотношения между причиной и следствием, которое вытекает из специальной теории относительности»<sup>20</sup>. Математически  $S$ -матрица есть унитарная матрица, преобразующая начальные асимптотические состояния в конечные:  $S = |in\rangle\langle out|$ , где  $in$ -состояние — начальное состояние падающих частиц,  $out$ -состояние — конечное состояние уходящих частиц.

<sup>19</sup> Гейзенберг В. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М., 1968, с. 32.

<sup>20</sup> Там же, с. 30.

Предположим, что частица испытывает последовательные взаимодействия рассеяния и эти акты рассеяния достаточно хорошо разделены в пространстве и во времени. Задача теории заключается в том, чтобы найти значение волновой функции системы в момент отдаленного будущего ( $t = +\infty$ ), если она известна в некоторый момент отдаленного прошлого ( $t = -\infty$ ).  $S$ -матрица и является оператором, преобразующим волновую функцию отдаленного будущего:

$$\Psi_{+\infty} = S \Psi_{-\infty}.$$

Унитарность  $S$ -матрицы существенна для ее физической интерпретации. Из условия  $S^\dagger S = S S^\dagger = 1$  получаем для диагональных элементов:  $\sum_{\text{out}} |\langle \text{out} | \text{in} \rangle|^2 = 1$ .

Последнее равенство «дает возможность рассматривать величину  $|\langle \text{out} | \text{in} \rangle|^2$  как вероятность обнаружения состояния  $|\text{out}\rangle$  в эксперименте, который начался в состоянии  $|\text{in}\rangle$ , или наоборот...»<sup>21</sup>.

Действительно, квадрат соответствующих матричных элементов оператора определяет вероятность переходов в эффективные сечения возможных процессов рассеяния и взаимного превращения частиц<sup>22</sup>.

Теоретические выводы рассмотренного метода непосредственно проверяются на опыте. В теорию  $S$ -матрицы вместе с тем непосредственно входит объективная последовательность изменения состояний микросистемы в пространстве и во времени.

Требованием унитарности матрицы рассеяния раскрыт динамический принцип теории. Одновременно в квантовой теории поля оператору предъявляются и некоторые кинематические требования<sup>23</sup>. Основным кинематическим свойством матрицы рассеяния выступает ее релятивистская инвариантность, выражающая симметрию причин-

<sup>21</sup> Гейзенберг В. Указ. соч, с., 28.

<sup>22</sup> Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Вопросы квантовой теории поля.—«Успехи физич. наук», 1955, т. 55, вып. 2, с. 176.

<sup>23</sup> Берестецкий В. Б. Динамические свойства элементарных частиц и теория матрицы рассеяния.—«Успехи физич. наук», 1962, т. 76, вып. 1, с. 25—77.

ных связей. Инвариантность  $S$ -матрицы немедленно приводит к наличию соответствующих законов сохранения <sup>24</sup>.

Несмотря на непосредственные практические выводы  $S$ -матричного метода, исследователи столкнулись со значительными трудностями в его применении и истолковании. Основная трудность, связанная со сложной природой статистичности квантовой теории поля, — трудность с расходимостью  $S$ -матрицы: вероятность перехода ее из одного состояния в другое достигла бесконечно больших выражений. Вопрос о построении  $S$ -матрицы, свободной от расходимостей, нуждался в дальнейшем обсуждении и решении. Для положительного решения этого вопроса были предложены различные методы.

За последние годы проведено большое количество исследований в нашей стране и за рубежом, результатом которых явилось некоторое описание математического представления причинности на языке аналитического поведения  $S$ -матричных элементов. Среди работ этого направления следует отметить работы Н. Н. Боголюбова и его учеников, в которых показывается эвристическая роль принципа причинности при разработке новых теоретических основ физики микромира. Принцип причинности при построении теории формулируется как необходимое требование того, что «какое-либо событие, происходящее в системе, может оказывать влияние на ход эволюции лишь в будущем и не может оказывать влияние на поведение системы в прошлом, ~~в~~ во времена, предшествующие данному событию»<sup>25</sup>.

В этот период было также основательно проанализировано аналитическое поведение матричных элементов, соответствующее локальной причинности в простейшем случае упругого рассеяния двух взаимодействующих частиц. Результатом этого явились различного рода дисперсионные соотношения, строгое соответствие которых принципу причинности было нами рассмотрено.

Будет ли принцип причинности справедливым в более сложных ситуациях, на новых уровнях материи, при больших достижимых энергиях взаимодействия? В. Гей

---

<sup>24</sup> Гейзенберг В. Введение в единую полевою теорию элементарных частиц, с. 29.

<sup>25</sup> Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Вопросы квантовой теории поля.—«Успехи физич. наук», 1955, т. 55, вып. 2, с. 180.

зенберг, проявляя некоторую осторожность в выводах, отмечает, что «на данном уровне знаний, относящихся к квантовой теории поля, окончательного решения проблемы причинности дать нельзя»<sup>26</sup>.

В связи с поставленным вопросом уже отмечалось возможное «усиление» или «ослабление» принципа микропричинности в будущем. Теперь следует высказаться более определенно. Эвристическая роль принципа причинности была доказана длительным и противоречивым развитием физической науки. И несмотря на неоднократные попытки «свергнуть» его, этот принцип вновь и вновь торжествовал победу. Некоторые противники были вынуждены под давлением неопровержимых экспериментальных и теоретических исследований вновь признать непреходящее методологическое значение принципа причинности при построении новейших теоретических основ физической науки. Как было показано, сознательно исходя из этого фундаментального принципа, советские ученые достигли значительных успехов в построении и развитии теоретических основ и методов исследования физики микромира. Причинность советскими физиками понимается как объективная генетическая связь объектов (событий и т. п.), сущность которой — взаимодействие. Причинность характеризуется материальным характером взаимодействия, функциональным характером описания причинных связей, предсказуемостью, предшествованием во времени причины следствию, активностью.

В последнее время в квантовой теории поля одним из интересных направлений выступает разработка так называемых нелокальных теорий. Уже отмечалось, что локальные теории исходят из принципа микропричинности как основного принципа при построении тех или иных теоретических методов исследования. Существенно то, что методы локальных теорий описывают характер изменения состояния движения частиц не в процессе самого взаимодействия, а лишь в конечных результатах его, в связи с чем не исключена возможность, что само взаимодействие имеет некоторые признаки нелокальности.

В системе постулатов нелокальных теорий поэтому отсутствует требование соблюдения принципа микропри-

---

<sup>26</sup> Гейзенберг В. Введение в единую полевою теорию элементарных частиц, с. 30—31.

чинности. В то же время необходимым условием в этих теориях является требование невозможности обнаружения причинности за пределами соотношения неопределенности, что соответствует содержанию общего принципа причинности. Естественно, возникает вопрос: есть ли основания для отказа от общего принципа причинности, если наука в будущем приведет к необходимости отказа от той или иной конкретной его формы?

Представляется, что для таких выводов нет никаких оснований. Вопрос состоит, на наш взгляд, в поисках новых форм объективных причинных связей, в расширении и углублении содержания самого понятия причинности. В этом отношении, как показывает история физики, большую роль играет понятие взаимодействия.

В науке, таким образом, нет никаких оснований для отказа от причинности, так как в противном случае пришлось бы признать существование нематериальных взаимодействий, способных распространяться с бесконечной скоростью, а следовательно, признать и то, что следствия возникают раньше своих причин, свершившиеся события воздействуют на прошлое и т. д. Абсурдность подобных предположений не требует особых пояснений. Наука перестала бы быть наукой, если бы отказалась от поисков причин явлений действительности.

Фундаментальная роль концепции каузальности подтверждается всей историей науки и историей физики в частности, эта фундаментальность определяется и многообразием функций причинности в научном познании, особенно ее мировоззренческой функцией и методологической ролью в становлении и развитии как классической, так и новейших теоретических систем.



## ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Поскольку причинность представляет собой не только общефилософскую категорию, но и одно из основных понятий физики элементарных частиц и входит в систему аксиом теории поля, конкретные определения этого понятия самым непосредственным образом сказываются на аппарате современной теории. Изучение различных форм причинной взаимосвязи микроявлений (или, как принято говорить в физике, анализ возможных формулировок принципа причинности) является сейчас предметом интенсивных теоретических и экспериментальных исследований. Принцип причинности (во всяком случае в его современных формулировках) тесным образом связан с самыми фундаментальными свойствами пространственно-временных отношений в микромире: локализацией взаимодействий, существованием максимальной скорости передачи этих взаимодействий, возможными нелинейными эффектами и т. д. Обнаружение на опыте отклонений от принятой сейчас формы принципа причинности выявило бы какие-то существенно новые свойства явлений (а может быть, и самого пространства-времени) в области ультрамалых масштабов  $\Delta x$  и  $\Delta t$ .

Подобные исследования привлекают особое внимание физиков еще и с той точки зрения, что современная теория поля содержит внутри себя целый ряд не устраненных до сих пор противоречий, а то, что мы называем сейчас физикой элементарных частиц, в сущности, представляет собой быстро увеличивающуюся совокупность большого количества эмпирических фактов, в которых мы рискуем заблудиться. Для приведения в систему этого огромного экспериментального материала нам явно не хватает знаний каких-то очень важных закономерностей.

Как свидетельствует исторический опыт, переход к области новых явлений с их специфическими законами каждый раз сопровождался существенным видоизменением понимания причинности. На протяжении последних ста лет, оставаясь неизменным в своей основе, принцип причинности претерпевал значительные изменения по мере того, как в жестко детерминированную физику Ньютона проникали идеи вероятностной, релятивистской, квантовой физики Гиббса, Эйнштейна и Шредингера.

Убеждение, что понимание причинности и далее должно существенно изменять свою форму, основано на том методологическом соображении, что структура и свойства пространственно-временных отношений (реализующих собой форму, способ бытия материи) определяются движением этой материи, зависят от его свойств и характера. Поэтому следует ожидать, что по мере того, как мы углубляемся в область специфических субатомных явлений, все более отчетливо должны обнаруживаться какие-то новые качества пространства и времени, радикально отличающиеся от тех, с которыми до сих пор мы имели дело в нашей практике.

Ряд важных заключений о том, к чему приводят различные изменения и обобщения известных нам формулировок принципа причинности, можно получить и чисто теоретически — путем анализа различных моделей. Это позволяет выделить наиболее «уязвимые точки» современной теории, изменение которых вызывает разрушение основ теории или, по крайней мере, существенное изменение ее понятийного аппарата. Однако конечным судьей выступает опыт, поэтому при анализе проблемы причинности в физике элементарных частиц очень важно знать, какими возможностями экспериментального исследования пространственно-временных интервалов мы располагаем в настоящее время и на что можем рассчитывать в не слишком далеком будущем.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ОПИСАНИЯ**

Сведения о микроскопических свойствах пространства и времени можно получить, изучая рассеяние частиц. Такие эксперименты выступают полным аналогом нашего

повседневного макроскопического опыта, когда мы видим определенный предмет благодаря детектированию сетчаткой глаза пучков света, рассеянных этим предметом. Чем более детальную информацию о пространственно-временных деталях мы хотим получить, тем более быстрые частицы мы должны рассеивать. Этот вывод — прямое следствие законов квантовой механики, согласно которым о траектории рассеивающейся частицы можно говорить только с точностью до длины дебройлевской волны ее относительного движения

$$\lambda = h/p_{\text{отн}} \simeq hc/E_{\text{отн}} \simeq \sqrt{2\hbar^2/EM}, \quad (1)$$

где  $p_{\text{отн}}$  и  $E_{\text{отн}}$  — импульс и кинетическая энергия относительного движения,  $M$  — масса частицы мишени в лабораторной системе координат,  $E$  — кинетическая энергия рассеивающейся частицы в этой системе координат,  $\hbar$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света. В этом легко убедиться, если вспомнить, что в квантовой механике параметр удара  $x$  и орбитальный момент относительного движения частицы  $l$  связаны соотношением<sup>1</sup>

$$x = \lambda \sqrt{l(l + 1/2)} \simeq \lambda l. \quad (2)$$

А поскольку орбитальный момент может принимать лишь целочисленные значения, то  $\Delta l = 1, 2, 3 \dots$  и, следовательно,  $\Delta x \geq \lambda \Delta l$ . Отсюда также хорошо видно, что минимальный размер определяется длиной дебройлевской волны *относительного* движения, так как только для относительного движения (т. е. для системы центра масс) определяется орбитальный момент  $l$ . Об этом часто забывают и используют для оценки  $\Delta x$  лабораторную систему координат, получая существенно заниженные значения  $\Delta x$  например, для 9-гигаэлектронвольтового ускорителя в Дубне величина  $\Delta x$  оказывается заниженной более чем в три раза, а для 70-гигаэлектронвольтового ускорителя в Серпухове — почти на порядок.

Образно говоря, траектория квантовой частицы «размазана» внутри трубки с диаметром  $d \sim \lambda$ , поэтому, используя частицу в качестве «щупа», мы можем различить от-

---

<sup>1</sup> Давыдов А. С. Квантовая механика. М., 1973, с. 703.

дельные события лишь в том случае, если они разделены пространственными расстояниями  $\Delta x > \lambda$  и временными интервалами  $\Delta t > \lambda/c$ .

Протоны, ускоренные 9-гигаэлектронвольтным фазотроном в Дубне, имеют длину волны  $\lambda \simeq 9 \cdot 10^{-15}$  см, поэтому, изучая столкновения элементарных частиц, можно экспериментально исследовать пространственно-временные интервалы, большие  $9 \cdot 10^{-15}$  см и  $3 \cdot 10^{-25}$  с. Протонные ускорители в Женеве и в Брукхейвене с энергией  $E \simeq 30$  ГэВ и 70-гигаэлектронвольтный ускоритель в Серпухове дают частицы с длиной волны соответственно  $5 \cdot 10^{-15}$  и  $3 \cdot 10^{-15}$  см (т. е.  $\Delta t \sim 2 \cdot 10^{-25}$  и  $10^{-25}$  с). Еще меньшую длину дебройлевской волны ( $\lambda \simeq 2 \cdot 10^{-15}$  см) имеют протоны в 200-гигаэлектронвольтном ускорителе, запущенном недавно в Батавии вблизи Чикаго.

В принципе на действующих ускорителях можно исследовать и меньшие пространственно-временные интервалы, если в качестве мишени использовать не нуклон, а более массивное атомное ядро. Из соотношения (1) видно, что минимальные значения  $\Delta x$  и  $\Delta t$  при этом уменьшатся в  $\frac{1}{k}$  раз, где  $k = \sqrt{1/A}$ ,  $A$  — массовое число ядра-мишени. Для углеродной мишени  $k \simeq 0,3$ ; если воспользоваться мишенью из ядер урана, то  $k \simeq 0,065$ , однако при столкновении высокоэнергетической частицы с ядром, когда энергия налетающей частицы намного превышает энергию связи внутриядерных нуклонов (последняя не превосходит десятка МэВ), в подавляющем числе случаев происходит взаимодействие налетающей частицы только с одним из нуклонов ядра. Никакого уменьшения длины дебройлевской волны при этом, конечно, не происходит ( $k=1$ ). Лишь в относительно редких случаях реализуются столкновения, в которых ядру передается небольшой импульс, не достаточный для его развала, и налетающая частица взаимодействует с ядром как с целым. Происходящие при этом процессы (упругое рассеяние и так называемое когерентное рождение частиц) несут информацию об очень малых пространственно-временных интервалах. К сожалению, поскольку импульс налетающей частицы изменяется лишь незначительно и рассеяние происходит в очень узкий телесный угол, провзаимодействовавшие частицы очень трудно отделить от частиц первичного пучка; другие вто-

ричные частицы, если они образуются, также концентрируются в области очень малых углов  $\theta \leq \lambda/R$  ( $R$  — размер ядра-мишени), где их детектирование опять-таки сопряжено с большими экспериментальными трудностями. Тем не менее изучение явлений, происходящих при взаимодействиях с небольшой передачей импульса, настолько важно, что это направление в дальнейшем, несомненно, будет одним из наиболее быстро развивающихся.

Обращает на себя внимание очень медленное уменьшение длины волны по мере роста энергии (а следовательно, и стоимости) ускорителя. Ускоритель на 200 ГэВ, построенный в Батавии, находится почти на пределе современных технических возможностей, в то же время длина волны  $\lambda$  по сравнению с 70-гигаэлектронвольтным ускорителем в Серпухове уменьшилась всего в 1,5 раза. Это говорит о том, что идеи, положенные в основу современных методов ускорения, в значительной степени себя исчерпали.

В настоящее время существует проект строительства в Западной Европе 300-гигаэлектронвольтного ускорителя протонов, сходного с ускорителем, построенным в Батавии. Увеличение магнитного поля, «сжимающего» орбиты ускоряемых протонов, путем применения сверхпроводящих магнитов позволит повысить энергию протонов в Батавии до 500 и, может быть до 1000 ГэВ. Однако даже эти почти фантастические проекты уменьшат длину дебройлевской волны лишь в 2—2,5 раза (т. е. до значений  $\lambda \approx (8-12) \cdot 10^{-16}$  см). Дальнейшее продвижение в этом направлении едва ли возможно, во всяком случае оно становится непомерно дорогим и чрезвычайно сложным в техническом отношении.

Интересные возможности для создания относительно дешевых высокоэнергетических ускорителей представляет так называемый метод коллективного ускорения. Как показали исследования, выполненные в Дубне, с помощью специальным образом подобранных электромагнитных полей можно создать устойчивую систему, состоящую из сгустка положительно заряженных частиц в центре и из большого числа электронов во внешнем, охватывающем центр, кольце. Под действием продольного, перпендикулярного его плоскости электрического поля кольцо будет ускоряться, увлекая за собой положительно заряженные частицы, а поскольку заряд кольца достаточно велик, ускорение, приобретаемое при этом отдельными частицами,

намного превосходит ускорение частиц в обычных ускорителях. Таким методом можно ускорять протоны до энергий  $E \simeq 1$  ГэВ на расстоянии около 1 м. Ускоритель частиц с энергией 1000 ГэВ будет иметь длину, равную приблизительно одному километру. Создание такого ускорителя в настоящее время вполне осуществимо. По-видимому, в пределах материальных и технических возможностей находится также создание ускорителя, имеющего на порядок большую энергию частиц ( $\lambda \simeq 3 \cdot 10^{-16}$  см). Однако переход к еще более высоким энергиям на этом пути представляется практически неосуществимым.

Весьма перспективным подходом к изучению явлений при сверхвысоких энергиях выступает использование двух сталкивающихся пучков частиц. В этом случае лабораторная система координат фактически совпадает с системой центра масс, и вся кинетическая энергия сталкивающихся частиц оказывается энергией их относительного движения, поэтому ускоритель, в котором осуществляется столкновение двух встречных пучков частиц с энергией  $E$ , эквивалентен «обычному ускорителю» с покоящейся мишенью и пучком ускоренных частиц, кинетическая энергия которых  $T \simeq 2E^2/M$  ( $M$ —масса частицы)<sup>2</sup>. Такие системы успешно действуют в течение нескольких лет в СССР (Новосибирск), США, Италии. В качестве сталкивающихся пучков в них используются пучки ускоренных электронов и позитронов с энергиями  $E \simeq 100$ —300 МэВ. В 1971 г. в Женеве введена в действие система двух сталкивающихся 30-гигаэлектронвольтных пучков протонов. Источником протонов в ней служит ранее построенный циклический ускоритель, специальная магнитная система позволяет удерживать на круговых орбитах (в двух так называемых накопительных кольцах) большое число ускоренных протонов с последующей их встречной разрядкой. Такая система эквивалентна «обычному ускорителю» с энергией частиц около 1800 ГэВ и позволяет исследовать пространственно-временные масштабы  $\Delta x \simeq 7 \cdot 10^{-16}$  см и  $\Delta t \simeq 2 \cdot 10^{-26}$  с. В будущем возможно создание аналогичной системы на базе 70-гигаэлектронвольтного ускорителя в Серпухове, что даст энергию около  $10^4$  ГэВ, т. е.  $\lambda \simeq 3 \cdot 10^{-16}$  см.

---

<sup>2</sup> Эта формула есть простое следствие релятивистского преобразования энергии из системы центра масс в лабораторную систему координат.

Совсем фантастической, однако не безнадежной, выглядит возможность создания 1000-гигаэлектронвольтных сталкивающихся пучков. В этом случае можно было бы исследовать явления при энергиях около  $10^6$  ГэВ, что соответствует масштабам  $\Delta x \simeq 2 \cdot 10^{-17}$  см и  $\Delta t \simeq 10^{-27}$  с, а если в качестве мишени использовать тяжелые ядра, то экспериментально достижимые размеры  $\Delta x$  и  $\Delta t$  уменьшатся еще более чем на порядок.

Таким образом, можно ожидать, что в ближайшие 5—10 лет с помощью ускорителей будут достигнуты интервалы  $\Delta x \sim (10^{-16} - 10^{-17})$  см,  $\Delta t \sim (10^{-26} - 10^{-27})$  с, а в перспективе возможно исследование по крайней мере раз в десять меньших областей пространства и времени, что на три-пять порядков меньше геометрических размеров нуклона и л-мезона.

Изучение микроскопических свойств пространства и времени путем непосредственного вмешательства в явления, протекающие в субатомных интервалах  $\Delta x$  и  $\Delta t$ , представляет собой наиболее прямой и информативный путь исследования. Возможен и другой подход, когда сведения о свойствах микроскопических пространственно-временных образов получают, анализируя влияние процессов, локализованных в ультрамалых интервалах  $\Delta x$  и  $\Delta t$ , на явления, протекающие в значительно больших областях пространства и времени, которые можно исследовать с помощью имеющихся в распоряжении экспериментатора длин волн  $\lambda$ . Хорошим примером такого подхода может служить определение величины зарядового радиуса нейтрона  $\langle r \rangle$  в опытах с рассеянием тепловых нейтронов на атомах. Если радиус  $\langle r \rangle$  заметно отличен от нуля, то в распределении рассеянных нейтронов должны проявиться отклонения от изотропии, и, хотя длина дебройлевской волны рассеивающихся нейтронов в этих опытах во много тысяч раз превосходит размеры нейтрона, чрезвычайно высокая точность эксперимента позволила установить, что величина  $\langle r \rangle$  не превышает  $10^{-14}$  см. Другой аналогичный пример — предпринятая недавно в Стенфорде проверка справедливости законов квантовой электродинамики вплоть до расстояний  $\Delta x \simeq 1,8 \cdot 10^{-14}$  см в опытах с рассеянием электронов, длина волны которых  $\lambda \simeq 7 \cdot 10^{-14}$  см. И в этом случае результат удалось получить благодаря высокой точности измерений возможных отклонений от теоретической кривой, полученной на основе квантовой электродинамики.

Повышение точности измерений зависит прежде всего от значительного увеличения интенсивности пучков частиц в ускорителях. Следует ожидать, что в ближайшее десятилетие эта интенсивность возрастет на несколько порядков, что позволит по крайней мере в несколько раз понизить границу доступных нам интервалов  $\Delta x$  и  $\Delta t$ .

Кроме ускорителей имеется еще один важный источник частиц высоких и сверхвысоких энергий — космические лучи. Опыты с космическим излучением долгое время оставались уникальным способом изучения свойств высокоэнергетических взаимодействий. Однако по мере того как один за другим начинали работать ускорители, позволившие в хорошо контролируемых условиях получать интенсивные пучки частиц все более и более высоких энергий, интерес к исследованиям с помощью космических лучей постепенно снизился. Это вызвано прежде всего тем, что в опытах с космическими лучами очень трудно получить надежные количественные результаты. Число космических частиц быстро уменьшается с ростом их энергии, поэтому для достаточно точных измерений требуются длительные экспозиции и громоздкие детектирующие устройства (например, частицы широкого атмосферного ливня, инициированного высокоэнергетической космической частицей, распределяются часто на площади в несколько квадратных километров). Статистика регистрируемых взаимодействий в опытах с космическими лучами очень мала, характеристики высокоэнергетических взаимодействий измеряются весьма неточно, поэтому выводы имеют лишь ориентировочное значение. Тем не менее уникальная возможность иметь дело с частицами сверхвысоких энергий в десятки и сотни тысяч ГэВ оказывается мощным стимулом в развитии этого направления. В принципе таким путем можно исследовать явления при энергиях вплоть до  $10^{11}$ — $10^{12}$  ГэВ и выше, т. е. изучать пространственно-временные масштабы  $\Delta x \geq 10^{-20}$  см,  $\Delta t \geq 10^{-30}$  с<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Наибольшая зарегистрированная в настоящее время энергия космических частиц составляет несколько единиц  $10^{-11}$  ГэВ. Грейзен, Зацепин и Кузьмин привели ряд соображений в пользу того, что на рубеже  $10^{10}$ — $10^{11}$  ГэВ спектр космических частиц должен резко обрываться, однако на опыте ничего подобного не наблюдается. С чем это связано — пока не ясно. Для объяснения высокоэнергетического хвоста в спектре космического излучения предложено несколько интересных гипотез, но экспериментальных данных еще недостаточно для выбора лучшей из них.



Таким образом, экспериментальные возможности исследования микроскопических свойств пространства и времени уже в недалеком будущем значительно превзойдут то, что доступно нам в настоящее время, однако эти возможности, по-видимому, долго еще останутся ограниченными масштабами порядка  $(10^{-18}—10^{-20})$  см и  $(10^{-28}—10^{-30})$  с. Соответственно этому любая теория должна удовлетворять требованию, чтобы вклад от бесконечно больших и от исчезающе малых пространственно-временных интервалов был пренебрежимо малым. В современной квантовой теории поля исключение бесконечно малых пространственно-временных интервалов (или бесконечно больших значений энергии и импульса, что в данной теории эквивалентно) обеспечивает известный метод перенормировок. В теории дисперсионных соотношений, являющихся в настоящее время одним из основных способов исследования микропричинности, это достигается с помощью так называемой «процедуры вычитаний».

### ФОРМУЛИРОВКА ПРИНЦИПА «МИКРОПРИЧИННОСТИ»

Наиболее общая, философская формулировка принципа причинности заключается в признании генетической связи, при которой одно явление (причина) вызывает, порождает другое явление (его следствие)<sup>4</sup>. Здесь следует особо отметить два момента.

Во-первых, причинность представляет собой лишь одну из бесчисленного количества различных связей процессов и явлений, реализующих самодвижение неисчерпаемой в своих свойствах бесконечной материи. Поэтому не исключено, что в области субатомных явлений свойство причинения приобретает настолько непривычную для нас форму, что его трудно классифицировать как причинность. Во всяком случае, нам следует быть готовыми к весьма существенному переосмысливанию и обобщению известного нам свойства «простой» причинной связи.

---

<sup>4</sup> Детальный анализ и сопоставление различных аспектов категории причинности можно найти, например, в книге М. Бунге (Причинность. М., 1962, 511 с.) и в монографии Г. А. Свечникова (Причинность и связь состояний в физике. М., 1971, 304 с.).

Во-вторых, специфика и сущность причинности заключается в наличии *генетической* связи: «причина есть причина лишь постольку, поскольку она порождает некоторое следствие»<sup>5</sup>. Вместе с тем понятие генетической связи включает такие термины, как «вызывать», «порождать», которые не только неразрывно связаны с понятием времени, но и предполагают безусловную возможность упорядочения двух временных точек: «вызывать», «порождать» можно лишь то, чего сначала не было (хотя бы частично), а потом стало; тем самым определяется временная последовательность<sup>6</sup>. Наше обыденное представление о пространстве и времени, а также все их определения, используемые в современной физике, неразрывно связаны с такими конкретными свойствами структуры, как *свойство соседства*, позволяющее нам говорить о сосуществовании двух точек (явлений, объектов), и *свойство следования* их состояний. Тем не менее а priori нельзя утверждать, что эти свойства, а тем более такая конкретная их характеристика, как расстояние ( $\Delta x$  или  $\Delta t$ ), будут присущи всем материальным уровням, всем бесконечно разнообразным типам движения. Остается неясным, действительно ли определение причинно-следственных цепей можно дать независимо от понятия времени, как это иногда весьма декларативно утверждается в работах отдельных авторов. Понятно, что для физики элементарных частиц этот вопрос имеет первостепенное значение: современная физика развивается в сторону все более общих пространственно-временных структур.

Мы видим, что даже наиболее общее известное сейчас философское понятие причинности во многом остается еще неясным и, по-видимому, допускает дальнейшее обобщение. Это тем более справедливо по отношению к специальным и частным формулировкам принципа причинности, которые используются в теории поля и физике элементарных частиц.

Наиболее общая формулировка принципа причинности, используемая в современной теории поля, дана

---

<sup>5</sup> Гегель. Соч., т. 5. М., 1937, с. 677.

<sup>6</sup> Это, конечно, не исключает возможности частично одновременного или, наоборот, раздельного существования причины и следствия.

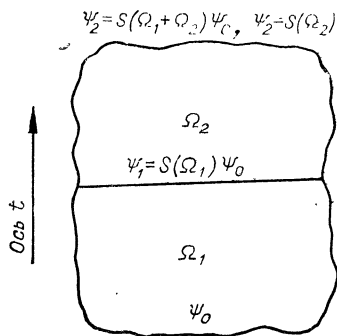
Н. Н. Боголюбовым. Эта формулировка заключается в требовании, чтобы событие, происходящее в некоторой пространственно-временной области, могло оказывать влияние на эволюцию физической системы лишь в *последующие* моменты времени; другими словами, если  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  — две смежные пространственно-временные области, расположенные относительно момента времени  $t$  соответственно в прошлом и в будущем, а  $S$  — оператор, описывающий развитие физической системы во времени (рис. 1), то

$$S(\Omega_1 + \Omega_2) = S(\Omega_2)S(\Omega_1). \quad (3)$$

В рамках релятивистски-инвариантных теорий эта формулировка исключает возможность сверхсветовых скоростей передачи сигналов, при допущении которых временной порядок событий оказывается смещенным относительно начала координат<sup>7</sup>. Все выражения, зависящие от разности пространственно-временных точек, разделенных пространственно-временным интервалом  $\Delta S \equiv (\Delta x - c\Delta t) > 0$ , оказываются при этом автоматически равными нулю.

Вместе с тем указанная формулировка принципа причинности более общая, чем часто приводимое в литературе так называемое «условие микропричинности»<sup>8</sup>, требующее, чтобы все взаимодействия между элементарными частицами происходили со скоростями, не превышающими скорости света. Формулировка Н. Н. Боголюбова предо-

Рис. 1. Эволюция физической системы во времени. Состояние системы задается на пространственно-временной области  $\Omega_i$  и описывается волновой функцией  $\psi_i$ ;  $S$  — оператор перехода.



<sup>7</sup> Строго говоря, одной лишь релятивистской инвариантности для такого исключения недостаточно, так как, например, нелокальные и некоторые варианты нелинейных теорий со сверхсветовыми сигналами могут удовлетворять требованиям формальной инвариантности по отношению к преобразованиям Лоренца.

<sup>8</sup> Чу Дж. Взаимодействия  $\pi$ -мезонов и нуклонов и дисперсионные соотношения. — В кн.: Новый метод в теории сильных взаимодействий. М., 1960, с. 35—86.

ставляет возможность для выхода за рамки релятивистски инвариантных теорий и для различных обобщений преобразования Лоренца.

По-видимому, еще более общим является определение причинной связи, предложенное Д. И. Блохинцевым, который понимает причинность как «определенную форму упорядочения событий в пространстве и времени»<sup>9</sup>. При этом одно событие может повлиять на другое только в том случае, если взаиморасположение событий в пространстве и во времени позволяет упорядочить их без нарушения соответствующих правил.

Если для упорядочения событий использовать сигналы с максимальной скоростью распространения, не превышающей скорости света в вакууме (а иных мы пока не знаем), то мы придем к обычной картине деления пространственно-временного многообразия на время-подобные (каузальные) и пространственно-подобные (акаузальные) области.

## ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ В ТЕОРИИ ДИСПЕРСИОННЫХ СООТНОШЕНИЙ

Как известно, уравнения современной теории поля удастся решить лишь в частном случае достаточно слабых взаимодействий, когда постоянная связи (заряд) значительно меньше единицы и можно использовать разложения в ряд по степеням этой постоянной. Такой подход оказывается хорошим приближением в случае электромагнитных взаимодействий, где постоянная связи  $e^2/\hbar c \simeq 1/137 \ll 1$ , и совершенно неприменим для «сильных» ядерных взаимодействий, характеризующихся постоянной связи  $g^2/\hbar c \simeq 15^{10}$ . Поэтому чрезвычайно важно, что без использования каких-либо разложений или модельных упрощений, только на основе самых общих принципов квантовой теории удастся получить соотношения, связывающие ре-

---

<sup>9</sup> Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М., 1966, с. 45.

<sup>10</sup> В этом случае решения можно получить лишь для очень специальных, сильно огрубленных моделей, например для модели, в которой источники мезонного поля, нуклоны, считаются бесконечно тяжелыми (т. е.  $M_{\text{нуклон}}/M_{\text{мезон}} \gg 1$ ).

альную и мнимую часть амплитуды физических процессов, в частности процессов упругого рассеяния двух элементарных частиц. Такие соотношения и называются дисперсионными.

Среди принципов, лежащих в основе вывода этих соотношений, особое место занимает принцип причинности. В 1956 г. Н. Н. Боголюбову первому удалось доказать, что в рамках релятивистски-инвариантной локальной теории поля требование причинности в микроскопических областях пространства-времени, в сущности, эквивалентно условию аналитичности амплитуды физического процесса  $A$  как функции энергии  $E$ , формально рассматриваемой в качестве комплексной переменной ( $E = \text{Re}E + i\text{Im}E$ ). Определенная таким образом функция  $A(E)$  лишь при действительных и положительных значениях  $\text{Re}E > m$  (рис. 2) имеет физический смысл наблюдаемой в экспериментах амплитуды физического процесса. Во всей остальной плоскости, при отрицательных и комплексных значениях  $E$ , это лишь некоторая вспомогательная функция, к которой, однако, может быть применена хорошо известная из математики теорема Коши о том, что интеграл от дроби  $A(E)/(E - E_0)$  по любому замкнутому контуру, содержащему точку  $E_0$ , равен  $i\pi A(E_0)$  (обычно полагают  $E_0 = m + i\varepsilon$ , где  $\varepsilon \rightarrow 0$ ).

Выбрав соответствующим образом контур

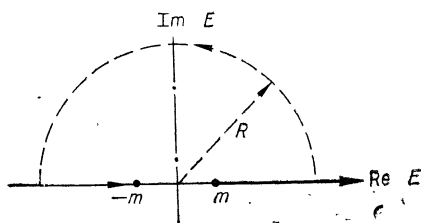


Рис. 2. Комплексная область определения амплитуды  $A(E)$ . Физическое значение, измеряемое в эксперименте, амплитуда имеет только на реальной оси при  $\text{Re}E > m$  ( $m$  — масса частицы,  $E$  — ее полная энергия); лишь в этом случае кинетическая энергия  $T = E - m > 0$ . Штрихами показан контур интегрирования, выбираемый для доказательства дисперсионных соотношений. Радиус  $R \equiv |E| \rightarrow \infty$ . Можно показать, что значения  $A(E)$  при  $\text{Re}E < -m$  выражаются через амплитуду взаимодействия античастиц с энергией  $\text{Re}E > m$ . В случае рассеяния п-мезонов на нуклонах под нулевым углом значения  $A(E)$  в интервале  $-m \leq \text{Re}E \leq m$  выражаются через постоянную взаимодействия  $g^2/\hbar c$ . Для нуклон-нуклонного рассеяния этот интервал (так называемая «нефизическая область») дает вклад, который в настоящее время можно выразить через экспериментально наблюдаемые величины лишь с помощью некоторых моделей.

интегрирования и выполнив некоторые преобразования, получим интегральное выражение, которое в ряде случаев, например для упругого пион-нуклонного рассеяния под нулевым углом (в направлении вперед), содержит только наблюдаемые величины: в одной стороне равенства — реальную часть амплитуды упругого рассеяния, выражающуюся через измеряемое на опыте дифференциальное сечение, в другой — интеграл от полных сечений взаимодействий частиц и античастиц. При этом благодаря быстрому увеличению знаменателя в подынтегральном выражении при  $E \rightarrow \infty$  вклад области очень больших энергий (т. е. области очень малых пространственных интервалов  $\Delta x \leq \hbar c/E$ ) оказывается подавленным <sup>11</sup>.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРИНЦИПА ПРИЧИННОСТИ

Когда в физических статьях речь идет об экспериментальной проверке принципа причинности, то это означает не проверку принципа причинности вообще, а лишь проверку его некоторой конкретной формулировки.

Наилучшим инструментом для проверки принципа микропричинности в настоящее время оказываются дисперсионные соотношения, которые, как мы видели выше, в существенной степени основаны на этом принципе и в то же время не используют каких-либо модельных представлений <sup>12</sup>.

Сравнивая левую и правую части дисперсионного соотношения после подстановки в него измеренных в экспе-

<sup>11</sup> Практически теорема Коши применяется в функции  $A(E)/(E - E_0)^n$ . Выбирая достаточно большое значение, можно компенсировать рост амплитуды  $A(E)$ . Подобная процедура эквивалентна вычитанию вклада очень высоких энергий.

<sup>12</sup> Иногда для экспериментальной проверки условий причинности предлагается использовать так называемые асимптотические соотношения типа теоремы о равенстве сечений взаимодействия частиц и античастиц при энергиях  $E \gg 1 \text{ ГэВ}$ . (Подробнее см. В. С. Барашенков. Сечения взаимодействия элементарных частиц. М., 1966, с. 484—508). Однако такой подход менее доказателен, так как невыполнение асимптотических соотношений всегда можно приписать тому обстоятельству, что еще не достигнута та область энергий, где эти соотношения выполняются (современная теория не дает границ асимптотической области).

риamente сечений, мы можем судить о точности, с какой выполняется это соотношение. Согласие дисперсионного соотношения с опытом свидетельствует о справедливости использованной формулировки принципа причинности; наоборот, различие значений правой и левой частей дисперсионного соотношения указывает на непригодность этой формулировки в области исследуемых масштабов  $\Delta x \sim \lambda$  (см. формулу (1)).

Конечно, подобное расхождение, вообще говоря, может быть обусловлено также нарушением и других постулатов квантовой теории поля, использованных при выводе дисперсионных соотношений, однако, как уже отмечалось выше, по сравнению со всеми другими постулатами принцип причинности (в его конкретных формулировках), по-видимому, наименее «устойчив». Во всяком случае, обнаружение противоречия в дисперсионном соотношении представляет собой очень серьезную заявку на необходимость какого-то весьма существенного видоизменения этого принципа.

На рис. 3 показано, как согласуется с опытом дисперсионное соотношение в случае рассеяния пионов на нуклонах. Вплоть до минимальных исследовавшихся до сих пор масштабов  $\Delta x \approx 5 \cdot 10^{-14}$  см никаких существенных отклонений теории от эксперимента не обнаружено. При  $\Delta x < (2-3) \cdot 10^{-14}$  см экспериментальные значения  $\text{Re}A(E)$  несколько больше расчетных, однако ошибки измерений еще слишком велики, чтобы можно было говорить о расхождениях<sup>13</sup>. В то же время на рис. 4, где приведены соответствующие данные для упругого рассеяния нуклонов, имеют место далеко выходящие за ошибки измерений расхождения теории и эксперимента при  $\Delta x < (3-5) \cdot 10^{-15}$  см. Однако этим расхождениям также пока еще нельзя придавать серьезного значения, поскольку в отличие от случая пион-нуклонного рассеяния дисперсионные соотношения для рассеяния нуклона на нуклоне содержат

---

<sup>13</sup> В настоящее время считается, что эффект достаточно обоснован, если его величина в два-три раза превышает ошибку измерений. Несколько лет тому назад группой американских физиков (Линденбаум и др.) указывалось на значительное количественное и качественное нарушение дисперсионных соотношений при  $\Delta x \approx 10^{-14} - 5 \cdot 10^{-15}$  см (В. С. Барашенков. Структура пространства и времени в физике микромира. М., 1966, с. 23, 24). Последующие контрольные измерения устранили эти противоречия.

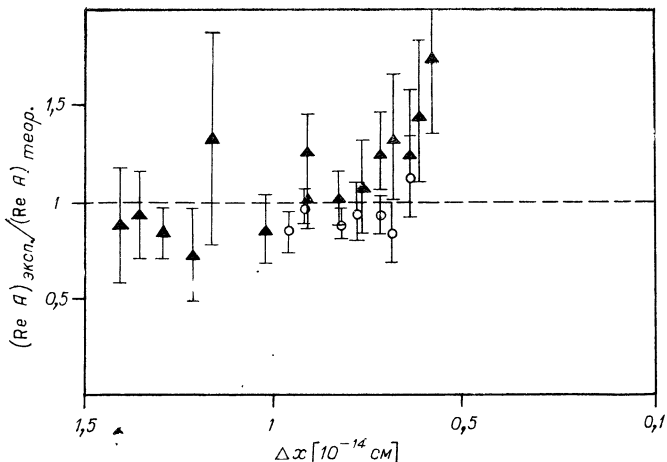


Рис. 3. Сравнение с опытом дисперсионных соотношений для упругого рассеяния заряженных пионов на протоне на нулевой угол. По оси ординат отложено отношение реальных частей амплитуды, полученной из дисперсионного соотношения и непосредственно измеренной на опыте (т. е. приведено отношение правой и левой частей дисперсионного соотношения). Светлые кружки и черные треугольники относятся соответственно к  $\pi^+$ — $p$ -рассеянию. Указаны ошибки измерений.

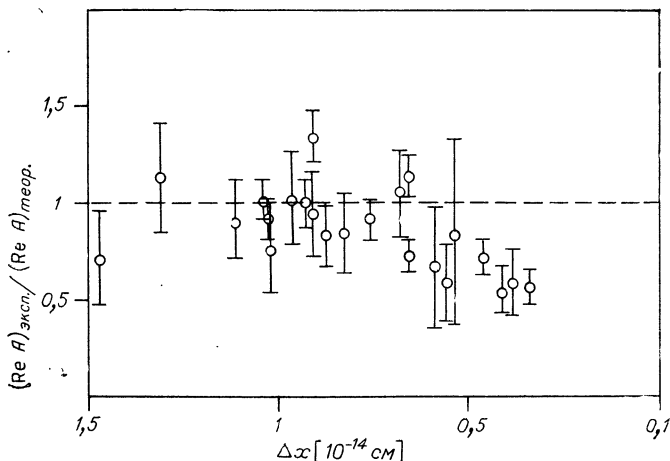


Рис. 4. Сравнение с опытом дисперсионных соотношений для упругого рассеяния протонов на протонах на нулевой угол. Все остальные обозначения см. на рис. 3.



интеграл по нефизической области (см. рис. 2), который вычисляется весьма приближенно. Поэтому рис. 4 указывает лишь на расхождения эксперимента и результатов дисперсионных расчетов при некоторой конкретной аппроксимации вклада нефизической области. Кроме того, для расчетов дисперсионных интегралов в области  $\Delta x \leq 5 \cdot 10^{-14}$  см использовались экстраполяции экспериментальных сечений  $p - p$  и  $p - n$  взаимодействий, которые могут быть не вполне точными. Для более определенных заключений необходимо прежде всего выполнить более тщательный теоретический расчет; говорить же о расхождении дисперсионных соотношений с опытом в настоящее время преждевременно.

\* \* \*

Таким образом, принцип причинности — один из важнейших эвристических принципов современной физики элементарных частиц, и его конкретные формулировки включаются в число аксиом теории поля. Говоря словами М. Планка, принцип причинности — «это путеводитель и самый ценный путеводитель, каким мы только располагаем, чтобы ориентироваться в пестрой путанице явлений и находить направления, в которых должны идти физические исследования, чтобы они дали плодотворные результаты, он сопровождает исследователя всю жизнь и непрестанно ставит перед ним новые проблемы». Изучение конкретных формулировок этого принципа в области очень малых пространственно-временных масштабов, выяснение их связи с основными свойствами пространства и времени, является сейчас одной из актуальнейших задач, которой уделяется большое внимание как теоретиками, так и экспериментаторами.

## ПРИЧИННОСТЬ И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

1. По меткому выражению Э. Ферми, «термин «элементарная» скорее относится к уровню наших знаний... Вообще можно сказать, что на каждом этапе развития науки мы называем элементарными те частицы, строения которых мы не знаем и которые рассматриваем как точечные»<sup>1</sup>. От атома к атомному ядру и наконец к тем объектам, которые мы называем в настоящее время элементарными частицами, — таков путь познания элементарных составляющих материи в нашем веке. Полный список элементарных частиц (более 200 частиц<sup>2</sup>) с их основными свойствами занимает много печатных страниц, причем каждый год этот список пополняется новыми частицами. Уже одного этого достаточно, чтобы вызвать подозрение в их элементарности. Имеются, однако, и более серьезные аргументы: в некоторых опытах наблюдается, например, распределение электрического заряда частиц (так называемые форм-факторы), т. е. субструктура элементарной частицы. Такие частицы уже нельзя считать элементарными. Эти вопросы, включая и свойства самих составляющих элементарных частиц (кварков, партонов или других объектов, данные о которых физики пытаются получить в современных экспериментах), еще весьма далеки от своего разрешения, мы не будем на них останавливаться.

Наши знания о различных типах стабильных и нестабильных элементарных частиц получены в основном на ускорителях заряженных частиц с энергией до 80 ГэВ — энергии ускорителя протонов Института физики высоких

<sup>1</sup> Ферми Э. Лекции по атомной физике. М., 1952, 124 с.

<sup>2</sup> Во времена, когда Ферми читал цитированные лекции, было известно 12 элементарных частиц.

энергий в Серпухове, который до последнего времени был крупнейшим в мире. Получены первые физические результаты на ускорителе со встречными пучками протонов с энергией до  $2 \times 31$  ГэВ в ЦЕРНе (Женева), что соответствует энергии<sup>3</sup> движения протона относительно неподвижного протона до 2000 ГэВ. Запущен ускоритель протонов с энергией до 300 ГэВ (вторая очередь до 500 ГэВ) в Батавии (США). Правда, природа представила в наше распоряжение существенно более энергичные частицы — космические лучи, где имеются указания на существование частиц с энергией до  $10^{19}$ — $10^{20}$  эВ, но случайность событий и их крайне малая интенсивность (особенно для очень энергичных частиц) весьма затрудняют их использование. Поэтому *систематические* знания накапливаются только в области энергий, доступных на ускорителях.

Все известные взаимодействия между элементарными частицами делятся на 4 основных типа. Величины, характеризующие силу взаимодействия (константы связи), имеют строго определенный дискретный набор значений<sup>4</sup>:

#### Взаимодействия

$$\text{Сильные} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad g^2/4\pi\hbar c = 1 \div 10$$

$$\text{Электромагнитные} \quad . \quad . \quad . \quad e^2/4\pi\hbar c = 1/137$$

$$\text{Слабые} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad G = 10^{-5} \left( \frac{\hbar}{m_p c} \right)^2 \hbar c$$

$$\text{Гравитационные} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \gamma = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ с}^{-2} \text{ г}^{-1}$$

Частицы, участвующие в сильных взаимодействиях с указанной константой связи, называются адронами. Подавляющее большинство известных элементарных частиц — адроны. В электромагнитных взаимодействиях участвуют заряженные частицы (или частицы, имеющие другие электромагнитные характеристики — магнитный момент, элек-

<sup>3</sup> При изучении взаимодействия элементарных частиц во время столкновения двух частиц существенна только их энергия в системе центра масс  $\epsilon_{\text{ц}}$ , которая непосредственно реализуется в опытах на встречных пучках. Энергия частиц в лабораторной системе отсчета, где одна из частиц — мишень — вначале покоилась, равна  $\epsilon_{\text{л}} = 2\epsilon_{\text{ц}}^2/mc^2$  ( $\epsilon_{\text{л}} \gg mc^2$ , частицы имеют одинаковую массу). Это простое релятивистское соотношение лежит в основе метода встречных пучков и указывает на его огромные преимущества при высоких энергиях ( $\epsilon_p \gg mc^2$ ).

<sup>4</sup> Здесь  $m_p$  — масса протона.

трический квадрупольный момент и т. д.). Проявлением слабых взаимодействий выступают распады частиц (нейтрона, мюона, пиона и т. д.), хотя в последние годы наблюдались реакции, вызываемые слабыми взаимодействиями — опыты по рассеянию нейтрино и т. д. Роль гравитационных взаимодействий в физике элементарных частиц остается неясной, хотя высказывались гипотезы и строились определенные модели, в которых гравитационные взаимодействия весьма существенны на сверхмалых расстояниях.

Рассмотрим характерные длины для различных типов взаимодействия. Константы сильных и электромагнитных взаимодействий безразмерны. Сильное взаимодействие является короткодействующим (ядерные силы) с радиусом  $l_{\text{str}} \simeq 10^{-13}$  см (среднеквадратичный радиус распределения заряда в протоне  $\langle r_p^2 \rangle^{1/2} = 0,8 \cdot 10^{-13}$  см), электромагнитное взаимодействие — далекодействующим (кулоновский потенциал убывает с расстоянием, как  $1/r$ ). Константа слабого взаимодействия является размерной, и из нее можно построить размерности длины  $l_{\text{weak}} =$

$= \sqrt{\frac{G}{\hbar c}} = 6 \cdot 10^{-17}$  см, так что слабые взаимодействия оказываются весьма короткодействующими. Аналогично можно построить величину размерности длины из гравитационной константы связи  $l_{\text{grav}} = \sqrt{\frac{\gamma \hbar}{c^3}} = 1,6 \cdot 10^{-33}$  см, эта

длина очень мала по сравнению с  $l_{\text{st}_2}$  и  $l_{\text{weak}}$ . Соответствующая длине масса  $M_g = \frac{\hbar}{l_{\text{grav}} c} = 2 \cdot 10^{-5}$  гигантски превышает массы элементарных частиц (масса протона  $m_p = 1,6 \cdot 10^{-24}$  г). Именно на этом основании делается вывод, что гравитация не играет роли в теории элементарных частиц, в частности в теории массы частиц. Отсюда следует также, что если гравитация и будет проявляться в физике элементарных частиц, то на расстояниях порядка  $l_{\text{grav}}$ .

Уровни теоретического описания отдельных разделов физики элементарных частиц совершенно различны. Наиболее развито наше понимание взаимодействия лептонов (электронов, позитронов, положительного и отрицательного мюонов) с фотонами — квантовая электродинамика, которая представляет собой последовательную количественную теорию, объясняющую громадный экспериментальный материал, накопленный в этой области и позволяющий предсказывать любой электромагнитный процесс.

Теория сильных взаимодействий как таковой не существует и не известны физические и математические принципы, которые лежат в ее основе. Поэтому для описания привлекается большое число физических и математических моделей. Теоретическое описание слабых взаимодействий удовлетворительно, по существу, только в «статическом» пределе, когда встречающиеся длины  $l \gg l_{\text{weak}}$ . Характерная особенность слабых взаимодействий состоит в нарушении в них инвариантности по отношению к пространственной инверсии  $|\vec{r} \rightarrow -\vec{r}|$  или зеркальному отражению (несохранение четности  $P$ ) и нарушении инвариантности по отношению к зарядовому сопряжению (несохранение  $C$ ), но так, что сохраняется инвариантность относительно  $CP$ . Несколько лет назад было установлено, что при распадах долгоживущих нейтральных  $K$ -мезонов ( $K_L^0$ ) нарушается и  $CP$ -инвариантность (а значит, и инвариантность относительно отражения времени  $T$ ). Весь имеющийся экспериментальный материал хорошо укладывается в схему, предполагающую существование нового «сверхслабого» взаимодействия с константой связи на несколько порядков меньше, чем константа слабого взаимодействия, в котором  $CP$  не сохраняется. Эта проблема — одна из наиболее загадочных в современной физике элементарных частиц.

II. Квантовая электродинамика представляет собой обобщение классической теории электромагнитного поля и релятивистской теории электрона; в ней синтезированы идеи квантовой механики и теории относительности. Иными словами, операторы в теории выступают релятивистски-ковариантными величинами, взаимодействие релятивистски-инвариантно, кроме того, теория является порознь  $P$ -,  $C$ -,  $T$ -инвариантной. Взаимодействие в квантовой электродинамике *локально*, т. е. движущиеся заряды (токи)  $J_\mu$  взаимодействуют с электромагнитным полем  $A_\mu(x)$  в той же точке (плотность гамильтониана взаимодействия имеет вид  $H_{\text{int}}(x) = J_\mu(x) A_\mu(x)$ ). Такая форма характерна для взаимодействия *точечных* частиц с электромагнитным полем. Предполагается также, что вплоть до самых малых расстояний  $|r \rightarrow 0|$  пространство остается псевдоэвклидовым пространством теории относительности  $s^2 = c^2 t^2 - \vec{r}^2$ . При учете гравитационных взаимодействий, начиная с  $r \sim l_{\text{grav}}$ , пространство перестает быть псевдоэвклидовым.

Изменение во времени состояния системы из лептонов и фотонов описывается уравнениями движения квантовой электродинамики, причем выполняется условие *микрор причинности*: эволюция любой физической системы во времени происходит так, что на нее оказывают влияние лишь явления, имевшие место в прошлом, и не могут оказывать влияния будущие явления. События, разделенные пространственно-подобным интервалом  $(x_1 - x_2)^2 = c^2(t_1 - t_2)^2 - (\vec{r}_1 - \vec{r}_2)^2 < 0$ , не могут быть причинно связаны.

Решение уравнений движения проводится с помощью теории возмущений, что обусловлено малостью константы связи  $\alpha = e^2/4\pi\hbar c = 1/137$ . Теория возмущений представляет собой, по существу, единственный универсальный способ решения системы нелинейных операторных уравнений, какими являются уравнения движения квантовой электродинамики. В результате получается ряд по степеням константы  $\alpha$ , ввиду малости которой можно ограничиться несколькими низшими членами разложения. При этом мы сталкиваемся с трудностью: начиная со второго порядка, решение в некоторых случаях содержит бесконечные величины. Появление их обусловлено точечностью электрона и бесконечностью степеней свободы электромагнитного поля. Соответствующие трудности имеют место и в классической электродинамике, например, энергия электростатического поля точечного электрона линейно расходится:

$$\int \frac{\vec{E}^2 d^3r}{8\pi} = \frac{e^2}{2} \int_0^\infty \frac{r^2 dr}{r^4} = \lim_{a \rightarrow 0} \frac{e^2}{2a} \rightarrow \infty.$$

Однако в квантовой электродинамике удастся сделать существенный шаг вперед по сравнению с классической теорией и изолировать трудности и противоречия внутри теории, не обращая внимание на тот факт, что структура электрона и связанные с ней эффекты не выяснены. В основе соответствующей теоретической процедуры лежит следующее физическое обстоятельство: взаимодействующий с электромагнитным полем электрон излучает и поглощает кванты электромагнитного поля, что приводит к изменению массы электрона; кроме того, в вакууме рождаются виртуальные электрон-позитронные пары, причем позитроны имеют тенденцию скапливаться вблизи электрона, а электроны отталкиваются одноименно заряженным

электроном и уходят, т. е. в результате поляризации вакуума заряд электрона частично экранируется и, следовательно, изменяет свою величину.

Замечательно, что удастся исключить все расходимости при вычислении физически наблюдаемых величин, включив их в переопределенные (в соответствии со сказанным выше) массу и заряд электрона, которые приравняются к экспериментально наблюдаемым значениям этих величин. Такая процедура называется перенормировкой массы и заряда электрона<sup>5</sup>, после ее выполнения оказывается возможным найти любые эффекты высокого порядка. К ним относятся, например, сдвиг уровней атомных электронов и изменение магнитного момента электрона по сравнению со следующими из уравнения Дирака; изменение закона взаимодействия зарядов и фотонов и зарядов (радиационные поправки к сечениям процессов). Величина этих эффектов чувствительна к закону взаимодействия частиц и поля в малых пространственно-временных объемах (на малых расстояниях), так что измерение соответствующих величин позволяет судить, насколько законы квантовой электродинамики, сформулированные на основании знаний, полученных на относительно больших расстояниях и при сравнительно небольших энергиях, остаются справедливыми на сверхмалых расстояниях и при очень больших энергиях. При этом проверяется справедливость наших представлений относительно свойств пространства-времени и закона взаимодействия на малых расстояниях и, в частности, сформулированное выше условие микропричинности.

В течение последних 15 лет широко проводится экспериментальная проверка квантовой электродинамики на малых расстояниях. Существуют два основных направления: 1) опыты при очень высоких энергиях; 2) прецизионные измерения при малых (или относительно небольших) энергиях. В области высоких энергий наиболее успешные результаты достигнуты с помощью метода встречных пучков. Пионерные работы в этой области выполнены в Новосибирском институте ядерной физики и полу-

---

<sup>5</sup> Эффекты перенормировки пропорциональны степеням  $\alpha$ , поэтому возможно, что при последующем развитии теории, когда будут установлены определенные детали внутренней структуры частиц и будут устранены расходимости, они окажутся малыми.

чили всеобщее признание. Здесь проведены все три типа возможных экспериментов. В опытах по рассеянию электрона на электроне и позитроне ( $e^{\pm} + e^{-} \rightarrow e^{\pm} + e^{-}$ ) проверяется закон взаимодействия между заряженными частицами на малых расстояниях (в частности, закон Кулона). Для этого частицы должны находиться достаточно близко друг к другу. Но тогда между ними действуют большие силы и они отклоняются (рассеиваются) на большой угол. В опытах по превращению электрон-позитронной пары в пару мюонов ( $e^{+} + e^{-} \rightarrow \mu^{+} + \mu^{-}$ ) изучается не только закон взаимодействия между электронами, но и электромагнитное взаимодействие мюонов, которые ведут себя, как тяжелые электроны. Чтобы рассмотреть малый объект, его необходимо «осветить» достаточно коротковолновым светом (так, чтобы длина волны была меньше размеров объекта). Прямо провести такой опыт на электроне не удастся, но соответствующая информация может быть получена из опытов третьего типа — двухквантовой аннигиляции электрон-позитронной пары ( $e^{+} + e^{-} \rightarrow \gamma + \gamma$ ). Другими опытами, в которых проверялась квантовая электродинамика при высоких энергиях, были тормозное излучение на большой угол при рассеянии электрона на ядре и рождение на большой угол пары частиц ( $e^{+}e^{-}$ ,  $\mu^{+}\mu^{-}$ ) фотоном на ядре.

В области низких энергий квантовая электродинамика проверялась в прецезионных опытах по измерению аномального магнитного момента <sup>6</sup> электрона и мюона; сдвиг уровней атомных электронов вследствие взаимодействия с вакуумными полями (лэмбовский сдвиг); сверхтонкое расщепление уровней в водороде и дейтерии (сверхтонкое расщепление уровней в атоме возникает вследствие взаимодействия магнитных моментов электрона и протона в водороде и электрона и мюона в мюонии); измерения в водороде являются одним из наиболее точных опытов в истории науки: частота расщепления есть  $\nu_{\text{н}}^{\text{экс}} \equiv \left( \frac{E_1 - E_0}{h} \right)_{\text{н}}^{\text{экс}} = 1420, 405\,751\,7864$  (17) МГц (в скобках указана ошибка). Наиболее сильный результат получен при измерении аномального магнитного момента мюона (точнее,  $(g-2)$  фактора мюона), равного аномальному

<sup>6</sup> Аномальным магнитным моментом называется отклонение магнитного момента от величины, следующей из уравнения Дирака.



магнитному моменту в боровских магнетонах  $e\hbar/2m_\mu c$ , теоретическая ( $m$ ) и экспериментальная (экс) величины следующие:

$$\begin{aligned}\left(\frac{g-2}{2}\right)_\mu^m &= \frac{\alpha}{2\pi} + 0,7658 \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^2 + (21,8 \pm 1,1) \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^3 = \\ &= (116\,581,4 \pm 1,8) \cdot 10^{-8}, \\ \left(\frac{g-2}{2}\right)_\mu^{\text{экс}} &= (116\,616 \pm 31) \cdot 10^{-8}.\end{aligned}$$

Результаты всех проведенных экспериментов хорошо согласуются с предсказаниями квантовой электродинамики. Если бы были обнаружены отклонения от ее предсказаний, то это говорило бы о новых качественных явлениях при взаимодействии на малых расстояниях, например о существовании элементарной длины. Начиная с этой длины, формулы квантовой электродинамики должны изменить свой вид, например сечение рассеяния электрона на позитроне переходит в

$$\frac{d\sigma_{e^+e^-}}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{8\gamma^2} \left[ \frac{s^2 + u^2}{t^2} f^4(t) + \frac{2u^2}{st} f^2(t) f^2(s) + \frac{u^2 + t^2}{s^2} f^4(s) \right],$$

где  $r_0 = \frac{e^2}{4\pi mc^2} = 2,8 \cdot 10^{-13}$  см — классический радиус электрона,  $\gamma = \frac{\varepsilon}{mc^2} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  — лоренц-фактор начального электрона в системе центра инерции;  $s, t, u$  — инвариантные переменные:

$$\begin{aligned}s &= (p_1 + p_2)^2 = 4\varepsilon^2, \\ t &= c^2(p_1 - p_3)^2 = -2p^2c^2(1 - \cos \vartheta), \\ u &= (p_1 - p_4)^2 = -2p^2c^2(1 + \cos \vartheta), \quad p^2 = \varepsilon^2 - m^2c^4,\end{aligned}$$

здесь  $p_1, p_2$  — 4-импульсы начальных и  $p_3, p_4$  — 4-импульсы конечных частиц,  $\vartheta$  — угол рассеяния в системе центра инерции.

Функция  $f(g^2)$  характеризует отклонение от предсказаний квантовой электродинамики, ее обычно выбирают в виде  $f^2(q^2) = 1/1 + \left(\frac{lq}{\hbar c}\right)^2$ , если квантовая электродинамика применима повсюду,  $l=0$  и  $f^2(q^2)=1$ . Но поскольку отклонений от квантовой электродинамики не обнаруже-

но, то из эксперимента следует верхняя граница  $l$  элементарной длины. На расстояниях, больших  $l$ , квантовая электродинамика заведомо справедлива. Наименьшие значения величины  $l$ , полученные в разных экспериментах, следующие (в  $10^{-15}$  см):

Процесс

$$e^+ + e^- \rightarrow e^+ + e^- \quad . . . . . 1$$

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma \quad . . . . . 9$$

$$e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^- \quad . . . . . 1$$

$$\left(\frac{g-2}{2}\right)\mu \quad . . . . . 4$$

$$\gamma C \rightarrow \mu^+ \mu^- C \quad . . . . . 9$$

Обратим внимание, что средний квадратичный радиус распределения заряда в протоне  $\langle r^2 \rangle^{1/2} = 80 \cdot 10^{-15}$  см, т. е. наши представления справедливы на расстояниях, значительно меньших, чем характерные размеры адронных структур.

III. Перейдем к обсуждению сильных взаимодействий элементарных частиц. Как уже отмечалось, в настоящее время не существует единого теоретического описания этого раздела физики, теория возмущений в этом случае заведомо несправедлива, поскольку  $g^2/4\pi\hbar c > 1$ . Поэтому здесь фундаментальную роль играют строгие теоремы, основывающиеся на хорошо установленной и считающейся незыблемой системе аксиом. Кроме того, имеется ряд физических и математических моделей, описывающих те или иные совокупности явлений (некоторые из этих моделей удалось затем строго обосновать). Указанные теоремы основываются на аксиоматической теории поля. Последняя представляет собой квантовую теорию взаимодействующих полей, которая строится без привлечения теории возмущений, оперирует сразу с перенормированными величинами, т. е. не содержит бесконечностей, и в которой соблюдена достаточная математическая строгость. Построение аксиоматической теории поля было начато работами Н. Н. Боголюбова<sup>7</sup>, развившего  $S$ -матричный форма-

<sup>7</sup> Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантовых полей. М., 1957, 442 с.; Боголюбов Н. Н., Логунов А. А., Тодоров И. Т. Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля. М., 1969, 424 с.

лизм, основывающийся на самых общих принципах (релятивистской инвариантности, унитарности и микропричинности), так что принцип микропричинности играет в данном подходе фундаментальную роль. Наряду с этим можно указать еще на два подхода к построению аксиоматической теории поля: полевой формализм Вайтмана<sup>8</sup> и абстрактно алгебраический подход Араки — Хаага<sup>9</sup>, существенно развитый в работах Эйнштейна, Глазера, Мартена<sup>10</sup>. Указанные подходы почти эквивалентны друг другу, хотя внешне различаются.

Изложим основы аксиоматической теории поля, начав с постулатов, касающихся пространства состояний и симметрий:

1) формализм теории релятивистски инвариантен, иными словами, имеет место инвариантность относительно группы Пуанкаре, неприводимые представления которой классифицируются по массам и спинам частиц;

2) векторы состояния физических систем представляют собой нормированные элементы гильбертова пространства с положительно definite метрикой;

3) существует единственное релятивистски инвариантное состояние с 4-импульсом, равным нулю, — вакуум  $|0\rangle$ ; состояния, ортогональные вакуумному, имеют положительно определенную массу  $m > 0$  и энергию  $\varepsilon > 0$ . Вакуумное состояние вместе с состояниями физических систем образует полный базис в гильбертовом пространстве.

Кроме перечисленных выше общими для всех подходов являются постулаты, определяющие основной динамический аппарат теории. В подходе Н. Н. Боголюбова вводятся асимптотические поля (для простоты речь будет идти о нейтральном скалярном поле), т. е. поля в моменты времени  $t \rightarrow -\infty (A_{in}(x))$  и  $t \rightarrow \infty (A_{out}(x))$ , когда частицы можно считать свободными:

$$(\square + m^2) A_{in}(x) = 0, (\square + m^2) A_{out}(x) = 0.$$

Наборы  $A_{in \rightarrow}(x)$  и  $A_{out}(x)$  — полные. Основной величиной выступает матрица рассеяния как функционал от асим-

<sup>8</sup> Стритер Р., Вайтман А. РСТ, спин, статистика и все такое. М., 1966, 251 с.; Вайтман А. Проблемы в релятивистской динамике квантовых полей. М., 1968, 184 с.

<sup>9</sup> Йост Р. Общая теория квантовых полей. М., 1967, 236 с.

<sup>10</sup> Хепп К., Эйнштейн А. Аналитические свойства амплитуд рассеяния в локальной квантовой теории поля. М., 1971, 237 с.

пототических полей  $A_{in}(x)$ , например:

$$S = 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \int K_n(x_1, \dots, x_n) : A_{in}(x_1) \dots A_{in}(x_n) : \\ : d^4x_1 d^4x_2 \dots d^4x_n$$

и радиационные операторы, выражаемые через вариационные производные от  $S$ -матрицы:

$$R_n(x_1, \dots, x_n) = \frac{\delta^n S}{\delta A_{in}(x_1) \dots \delta A_{in}(x_n)}.$$

Все матричные элементы  $S$ -матрицы, совокупность которых дает полную физическую информацию, определяются вакуумными средними этих радиационных операторов.

Что касается аксиоматики Вайтмана, то в ней существование  $S$ -матрицы не предполагается, а основной величиной выступает оператор поля  $A(x)$ . Задание поля полностью определяет вакуумные средние

$$W_n(x_1, \dots, x_n) = \langle 0 | A(x_1) \dots A(x_n) | 0 \rangle,$$

и, наоборот, зная вакуумные средние, можно определить поле  $A(x)$ .

Фундаментальным принципом локальной теории выступает следующий постулат:

4) в аксиоматике Н. Н. Боголюбова  $S$ -матрица должна удовлетворять условию микропричинности:

$$\frac{\delta}{\delta A_{in}(x)} \left[ \frac{\delta}{\delta A_{in}(y)} S^* \right] = 0, \text{ если } (x - y)^2 < 0$$

$$\text{или } (x - y)^2 \geq 0, y^0 > x^0,$$

а в формализме Вайтмана вместо этого условия имеем условие локальной коммутативности операторов поля:

$$[A(x), A(y)] = 0, \quad (x - y)^2 < 0.$$

Аналогичное условие существует и для локального поля Араки — Хаага. Естественно, что в квантовой электродинамике выполняется как условие микропричинности Н. Н. Боголюбова, так и условие локальной коммутативности операторов поля.

Изложенная выше система постулатов приводит к ряду физических следствий:

1) имеет место СРТ-теорема, т. е. все матричные элементы  $S$ -матрицы инвариантны относительно совокупности

преобразований  $C$  (зарядовое сопряжение),  $P$  (инверсия координат  $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ ),  $T$  (отражение времени), взятых в любом порядке, независимо от того, имеется ли инвариантность относительно отдельных преобразований  $C$ ,  $P$ ,  $T$ . Из СРТ-теоремы вытекает ряд важных следствий, в частности строгое равенство масс и времен жизни частиц и античастиц. Это равенство многократно проверялось на опыте и с наибольшей точностью подтверждается равенством масс нейтральных  $K^0$  и  $\bar{K}^0$ -мезонов (которые совпадают с точностью  $10^{-13}$ );

2) существует связь спина со статистикой. Локальная коммутативность (или антикоммутативность) полей определяет свойства симметрии векторов состояния (соответственно симметричные или антисимметричные относительно перестановки частиц). Но тип симметрии вектора состояния определяет тип статистики, которой подчиняется данная физическая система. Полностью симметричной волновой функции соответствует статистика Бозе — Эйнштейна, полностью антисимметричной функции — статистика Ферми — Дирака. Поскольку квантование с коммутаторами проводится для частиц с целым спином, а квантование с антикоммутаторами — для частиц с полуцелым спином, то статистика Бозе — Эйнштейна имеет место для частиц с целым спином, а частицы с полуцелым спином подчиняются статистике Ферми — Дирака;

3) имеют место определенные аналитические свойства амплитуд<sup>11</sup>. Рассмотрим процесс рассеяния, когда частицы 1 и 2, сталкиваясь, переходят в частицы 3 и 4 ( $1 + 2 \rightarrow 3 + 4$ ,  $p_1 + p_2 = p_3 + p_4$ ). Процесс описывается амплитудой рассеяния  $F(s, t)$ , где  $s, t$  — инвариантные переменные, введенные на с. 253. Оказывается чрезвычайно полезным рассматривать  $F(s, t)$  при заданном значении  $-t_0 \leq t \leq 0$  как функцию комплексного переменного  $s$ , причем  $F(s, t) = F^*(s^*, t)$ . Тогда при  $s > (m_1 + m_2)_2$  физическая амплитуда рассеяния является граничным значением аналитической функции

$$F_{\text{физ}}(1 + 2 \rightarrow 3 + 4) = \lim_{\epsilon \rightarrow +0} F(s + i\epsilon, t).$$

Функция  $F(s, t)$  оказывается регулярной функцией в плоскости комплексного переменного  $s$  за исключением по-

<sup>11</sup> Edén R. Elementary particles collision theorem for high energy. — «Reviews of Modern Physics», 1971, vol. 43, p. 15.

люсов, соответствующих стабильным частицам, и разрезов, лежащих на вещественной оси  $s$ , начиная, а) с порога возможных двухчастичных состояний  $s_0$  до  $s = +\infty$  и б) с порога по  $u$  до  $s = -\infty$ . На последнем (левом) разрезе функция  $F(s, t)$  представляет амплитуду процесса с участием античастиц (рис. 1):

$$F_{\text{физ}}(1 + \bar{3} \rightarrow 2 + 4) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} F(s - i\varepsilon, t)$$

при  $u > (m_1 + m_3)^2$ . В рамках асимптотической теории поля удается доказать, что при  $s \rightarrow \infty$  функция  $F(s, t)$  возрастает не быстрее полинома. Наиболее сильный результат получен совсем недавно в рамках подхода Араки — Хаага, где удалось, не прибегая к дополнительным предположениям, показать, что

$$|F(s, t)| < |s|^N \quad \text{при } s > s_0, \quad -t_0 \leq t \leq 0.$$

Тогда, учитывая сказанное, можно применить к функции  $F(s, t)/s^N$  теорему Коши. В результате приходим к дисперсионным соотношениям для амплитуды рассеяния при фиксированной передаче импульса  $t$ :

$$F(s, t) = \frac{s^N}{\pi} \int_{s_0}^{\infty} \frac{dx F_1(x, t)}{x^N (x - s)} + \frac{u^N}{\pi} \int_{u_0}^{\infty} \frac{dy F_2(y, t)}{y^N (y - s)} + \text{полюсные}$$

члены  $+$  полиномы по  $s$  и  $u$ , где  $s_0$  и  $u_0$  — пороговые значения.

Чтобы понять важность, условия микропричинности для получения дисперсионных соотношений, рассмотрим простую классическую аналогию с задачей рассеяния света. Пусть  $A(z, t)$  — волновой пакет с Фурье-компонентой  $a(\omega)$ , движущийся со скоростью  $c$  в направлении  $z$  к рассеивающему центру, расположенному в точке  $z=0$ .

$$A(z, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega a(\omega) \exp \left[ i\omega \left( \frac{z}{c} - t \right) \right].$$

Рассеянная волна может быть записана в виде

$$B(r, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{r} \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega f(\omega) a(\omega) \exp \left[ i\omega \left( \frac{r}{c} - t \right) \right],$$

где  $r$  — расстояние от центра. Обратное Фурье-преобразование падающей волны дает

$$a(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} dt A(0, t) e^{i\omega t}.$$

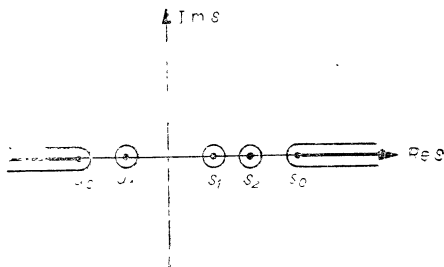


Рис. 1. Расположение особенностей в плоскости энергетической комплексной переменной  $s$ .

Учитывая, что падающая волна достигает центра только в момент  $t=0$ , т. е.  $A(0, t)=0$  для  $t<0$ , имеем отсюда, что  $a(\omega)$  — регулярная функция в верхней половине комплексной плоскости  $\omega=\omega_1+i\omega_2$ , поскольку под интегралом стоит затухающая функция  $e^{-\omega_2 t}$ . Причинность в этой модели требует, чтобы на расстоянии  $r/c$  от центра отсутствовала рассеянная волна вплоть до времени  $t=\frac{r}{c}$  после того момента, когда падающая волна достигла рассеивателя в точке  $z=0$ , т. е.  $B(r, t)=0$  для  $(ct-r)<0$ . Из обратного Фурье-преобразования для рассеянной волны и этого условия вытекает, что функция  $f(\omega)a(\omega)$  — регулярная функция при  $I_m \omega > 0$ . Из приведенных выражений следует, что функции  $a(\omega)$  и  $f(\omega)a(\omega)$  не могут возрастать при  $\omega \rightarrow \infty$  быстрее в верхней полуплоскости, чем вдоль вещественной оси, где они должны быть квадратично интегрируемыми, исходя из физических соображений. Но тогда для функции  $f(\omega)$  имеет место теорема Коши, и мы приходим к дисперсионным соотношениям.

Дисперсионные соотношения неоднократно проверялись на опыте. При  $t=0$  их можно записать в виде, когда в правой части будет стоять интеграл от полного сечения. Если последнее измерено в достаточно широкой области энергий, такой, что сечение в этой области дает основной вклад в интеграл, то этот интеграл может быть определен на основании экспериментальных данных. Стоящая в левой части амплитуда упругого рассеяния вперед (точнее, ее вещественная часть; при  $t=0$  угол упругого рассеяния равен нулю) может быть независимо экспериментально

измерена (для этого используется интерференция электромагнитных и сильных взаимодействий). Сравнение результатов представляет проверку дисперсионных соотношений. Наиболее полная проверка проведена на серпуховском ускорителе. Во всей области изученных энергий не было обнаружено отклонений от предсказаний дисперсионных соотношений. Если, как и в случае квантовой электродинамики, вводить для характеристики опытов параметр длины  $l$ , то из опыта следует, что дисперсионные соотношения (а значит, и лежащий в их основе сформулированный принцип микропричинности) справедливы вплоть до расстояний  $l \sim 10^{-15}$  см.

Выше обсуждались дисперсионные соотношения по энергии при фиксированной передаче импульса. Могут быть также рассмотрены аналитические свойства по обоим переменным. Для ряда двухчастичных процессов доказано, что  $F(s, t)$  — аналитическая функция по обоим комплексным переменным  $s$  и  $t$  в некоторой области (например, для  $\pi\pi$ -рассеяния  $(st) < 256\mu^4$ ,  $\mu$  — масса пиона) за исключением указанных выше полюсов и разрезов.

4) Устанавливаются теоремы в области высоких энергий. Из указанной выше полиномиальной ограниченности роста амплитуды при  $s \rightarrow \infty$  вытекает ограничение на полное сечение процесса взаимодействия двух любых адронов, а именно:

$$\sigma_{\text{tot}} \leq c [\ln(s/s_0)]^2,$$

причем константа  $c$  также ограничена ( $c \leq \pi/\mu^2$ ). Имеется еще ряд соотношений такого же типа.

Важная теорема сформулирована И. Я. Померанчуком<sup>12</sup>. Пусть  $\sigma_{\text{tot}}(A+B)$  — сечение рассеяния частицы, а  $\sigma_{\text{tot}} \times (\bar{A}+B)$  — античастицы на мишени. Тогда при  $s \rightarrow \infty$  имеем

$$\sigma_{\text{tot}}(A+B)/\sigma_{\text{tot}}(\bar{A}+B) \rightarrow 1.$$

При доказательстве теоремы Померанчука существенно предположение о постоянстве полных сечений при  $s \rightarrow \infty$ . При этом предположении удастся доказать теорему в рамках аксиоматической теории поля. Уже в 1972 г.

<sup>12</sup> Померанчук И. Я. Равенство полных сечений взаимодействия нуклонов и антинуклонов при больших энергиях. — «Журнал эксперим. и теор. физики», 1958, т. 34, вып. 3, с. 725—728.



В. Н. Грибов<sup>13</sup> выдвинул более сильное утверждение: если при  $s \rightarrow \infty$  сечения адронных процессов постоянны, то все они равны между собой. Экспериментальные данные показывают, что  $\sigma_{\text{tot}}(\bar{A} + B) - \sigma_{\text{tot}}(A + B)$  убывает по мере роста энергии  $s$ , причем

$$[\sigma_{\text{tot}}(A + B) - \sigma_{\text{tot}}(\bar{A} + B)] / [\sigma_{\text{tot}}(A + B) + \sigma_{\text{tot}}(\bar{A} + B)] \ll 1.$$

Эта точка зрения — одна из возможных, а проверка разбираемого утверждения является своего рода экспериментом *crucis* для понимания взаимодействия элементарных частиц при сверхвысоких энергиях.

IV. В заключение рассмотрим вопрос о гипотетических частицах, движущихся со скоростью больше скорости света в вакууме, — *тахиионах*, существование и свойства которых активно обсуждаются в последнее время в физической литературе. Допускается, что наряду с обычными частицами с массой покоя  $m > 0$  и светоподобными квантами с массой покоя  $m = 0$  существуют частицы с мнимой массой  $m = im^*$ . Обсудим физические следствия из этого допущения, оставаясь в рамках теории относительности. Тогда сохраняется релятивистское соотношение между энергией, импульсом и массой покоя  $\varepsilon^2 - pc^2 = m^2 c^4 = -m^{*2} c^4$ , скорость частицы с мнимой массой  $v/c = 1/c d\varepsilon/dp =$

$$= \frac{pc}{\sqrt{p^2 c^2 - m^{*2} c^4}} > 1, \text{ и ее энергия } \varepsilon = \frac{m^* c}{\sqrt{(v/c)^2 - 1}}.$$

Таким образом, импульс, энергия и скорость частицы вещественны, но всегда скорость  $v/c > 1$  (тахиионы). Скорость тахиона  $v \rightarrow c$  при  $p \rightarrow \infty$  и  $v \rightarrow \infty$  при  $p \rightarrow mc$ , по мере роста скорости ( $v/c$ ) энергия тахиона падает. Никаких противоречий с теорией относительности при этом нет, но возникает еще один тип («пространственно-подобных») частиц. Итак, теперь имеются обычные частицы с массой покоя  $m > 0$ , скорость которых  $v < c$  в любой системе отсчета (всегда имеется система, в которой  $v = 0$ ) и которые не могут быть ускорены до скорости  $v = c$ ; светоподобные частицы с массой покоя  $m = 0$ , скорость которых в любой системе отсчета есть  $c$ , и, наконец, тахионы, скорость которых в любой системе отсчета есть  $v > c$  (всегда можно

<sup>13</sup> Грибов В. Н. Материалы 8-й зимней школы ЛИЯФ, ч. II. Л., 1973, с. 5—37.

выбрать систему, в которой  $v=\infty$ ) и которые не могут быть замедлены до скорости  $v=c$  (рис. 2).

Следует иметь в виду, что в физике уже давно и хорошо известны скорости <sup>14</sup>, превышающие скорость света в вакууме, например вращающийся прожектор или «маяк». Если угловая скорость маяка  $\Omega$ , то по экрану, удаленному от источника на расстояние  $R$ , световое пятно («зайчик») бежит со скоростью  $v=\Omega R$ . Модель маяка общепринята в настоящее время для описания недавно открытой категории звезд — пульсаров, причем для всех известных пульсаров  $v=\Omega R>c$ . Это, естественно, не противоречит теории относительности, поскольку, когда говорят о скорости света как о максимально возможной, то имеют в виду скорость распространения взаимодействий, возмущений или «сигналов». Хотя скорость «зайчика» может превышать скорость света, сам «зайчик» нельзя использовать для передачи сигнала со скоростью, большей  $c$ .

В случае же тахионов ситуация иная, поскольку они несут энергию и, следовательно, могут быть использованы для передачи сигнала. При этом мы приходим к ряду противоречий. Действительно, возьмем преобразование Лоренца для перехода из системы  $S$  в систему  $S'$ , движущуюся относительно  $S$  со скоростью  $v$  вдоль оси  $x$ :

$$x' = \gamma(x - vt), \quad t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right), \quad y' = y, \quad z' = z,$$

$$p'_x = \gamma\left(p_x - \frac{v\varepsilon}{c^2}\right), \quad \varepsilon' = \gamma(\varepsilon - pv), \quad p'_y = p_y, \quad p'_z = p_z,$$

где  $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$ . Пусть  $w = \frac{x}{t}$  — скорость тахиона в системе  $S$ , тогда для систем  $S'$ , в которых  $vw > c^2$ , получаем, что при  $t > 0$  имеет место  $t' < 0$ . Одновременно в системе  $S'$  энергия  $\varepsilon' < 0$ , хотя  $\varepsilon > 0$ . Иными словами, если в системе  $S$  событие произошло в момент времени  $t=0$  и в результате этого произошло событие  $B$  в момент времени  $t > 0$ , то в системе  $S'$  событие  $B$  предшествует во

<sup>14</sup> Этот вопрос детально обсуждается в обзоре В. Л. Гинзбурга, Б. М. Болотовского «Эффект Вавилова — Черенкова и эффект Доплера при движении источников со скоростью больше скорости света в вакууме» («Успехи физич. наук», 1972, т. 106, вып. 4, с. 577—592).

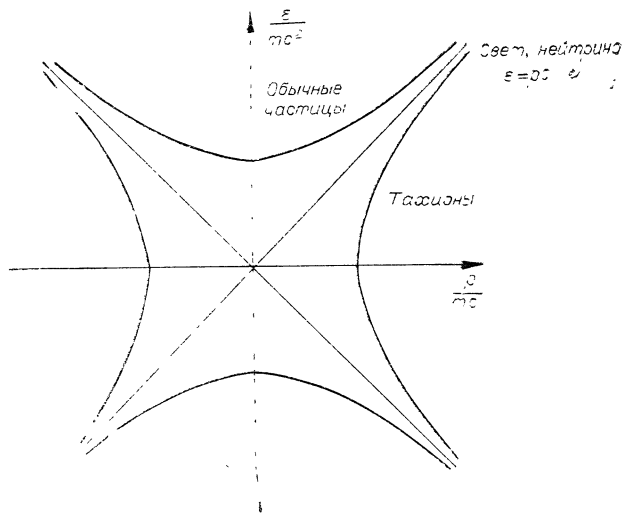


Рис. 2. Диаграмма энергия — импульс для обычных частиц, светоподобных частиц и тахионов.

времени событию  $A$ , т. е. в  $S'$  события развиваются попятно во времени. Особенно наглядно возникающая ситуация может быть проиллюстрирована на примере двух ракет, вначале покоившихся, затем равномерно двигавшихся со скоростью  $v < c$ , а затем снова остановившихся. Если из движущейся ракеты I послан сверхсветовой сигнал  $a$  ( $vw > c^2$ ), когда ракета II была в положении  $a$ , то на ракете II этот сигнал принят в момент времени  $b$ , так что  $t_b > t_a$ ; ответный сигнал был послан с ракеты II в момент  $c$ , когда ракеты уже покоились, и принят в момент  $d$ , причем  $t_d > t_c$ . В соответствии со сказанным выше возможна ситуация, когда  $t_d < t_a$ , т. е. ответ пришел раньше, чем был послан исходный сигнал <sup>15</sup>. Такая ситуация, называемая каузальным циклом, означает, что мы пришли в противоречие с принципом причинности в классической релятивистской теории. Когда тахионы заряжены, возникают трудности, т. к. заряженные тахионы испускают излучение Вавилова — Черенкова.

Для устранения указанных противоречий привлекаются квантовые концепции. Одна из них полагает, что частицы с отрицательной энергией движутся попятно во времени, т. е. считаются антитахионами с положительной

энергией, движущимися нормально во времени (реинтерпретационный принцип). Этот подход построен по аналогии с обычной теорией (теорией античастиц), в которой позитрон можно рассматривать как электрон с отрицательной энергией, движущийся попятно во времени. Однако физическое происхождение состояний с отрицательной энергией совершенно различно и поэтому неясно, насколько далеко распространяется эта аналогия. Очевидно, что число тахионов в рамках такого подхода зависит от системы отсчета и реакция в системе  $S$  тахион + частица  $\rightarrow$  тахион + частица может выглядеть в системе  $S'$  как тахион + антитахион + частица  $\rightarrow$  частица. Если тахионы заряжены, то возникают дополнительные трудности, для устранения которых требуются новые гипотезы.

Другая концепция принимает во внимание, что излучение и поглощение в квантовой области — вероятностные процессы, и учитывает это при анализе передачи сверхсветовых сигналов. В этом случае необходимо исследовать взаимодействие тахионов с излучающими их квантовыми объектами.

Проведенный анализ показывает, что в рамках существующих квантовых представлений не удастся избежать каузальных циклов. Таким образом, принцип причинности теоретически «закрывает» вопрос о существовании тахионов в рамках существующих фундаментальных концепций теории относительности и квантовой механики. Заметим, впрочем, что для доказательства существования тахионов пока нет никаких экспериментальных оснований.

---

<sup>15</sup> Для большей наглядности можно считать, что сигнал «а» дается ракетой I по прибытии в определенную точку, а по ответному сигналу «с» ракеты II ракета I взрывается. Тогда взрыв произойдет до прибытия ракеты I в указанную точку.

*Примечание при корректуре (16 декабря 1974 г).* За время, прошедшее со времени написания работы, в физике сильных взаимодействий сделано открытие первостепенной важности. Установлено, что сечение рассеяния протона на протоне растет с ростом энергии (этот рост хорошо описывается зависимостью  $\sigma_{\text{tot}} \propto a \left( \ln \frac{s}{s_0} \right)^2$ ) в области, где  $s = 600 \div 4000$  (Гэв)<sup>2</sup>. Имеются указания, что при  $s > 600$  (Гэв)<sup>2</sup> растут и сечения других процессов сильного взаимодействия. Возможна альтернатива: а) наши представления о сильном взаимодействии в области асимптотически высоких энергий правильны, но область достигнутых энергий еще не является асимптотической; б) все наши представления о сильном взаимодействии нуждаются в коренном пересмотре.

## УСЛОВИЯ ПРИЧИННОСТИ В ТЕОРИИ ПОЛЕЙ

В теории классических и квантовых полей важную роль играет условие причинности. Здесь и ниже «условием причинности» будем называть утверждение:

будущее не может влиять на прошлое. (\*)

Смысл этого утверждения очевиден, если речь идет о причинной связи двух событий А и Б, происходящих в одной и той же точке пространства, но в разные моменты времени. Если же события А и Б разделены не только во времени, но и в пространстве, то утверждение (\*) требует пояснения.

Дело в том, что понятие «одновременности» так же, как и соотношение «раньше — позже», не является лоренц-инвариантным понятием, т. е. они меняются при переходе от одной системы отсчета к другой, равномерно движущейся относительно первой. Таким образом, утверждению (\*) нужно придать лоренц-инвариантную форму. Для этого следует воспользоваться рядом элементарных представлений и терминов специальной теории относительности.

*Точкой*  $x$  четырехмерного пространства-времени будем называть совокупность четырех чисел  $x\{x^0, x^1, x^2, x^3\}$ , где  $x^0$  — временная координата, выраженная в единицах скорости света  $x^0 = ct$ , а  $x^1, x^2, x^3$  — обычные пространственные координаты, т. е. компоненты трехмерного вектора  $\vec{x} = \{x^1, x^2, x^3\}$ .

*Интервалом* между двумя точками  $x$  и  $y$  будем называть квадратичную форму

$$s = (x - y)^2 \equiv (x^0 - y^0)^2 - (x^1 - y^1)^2 - (x^2 - y^2)^2 - (x^3 - y^3)^2 = \\ (x^0 - y^0)^2 - (\vec{x} - \vec{y})^2 = c^2(t_x - t_y)^2 - (\vec{x} - \vec{y})^2. \quad (1)$$

Важнейшим свойством интервала является его лоренц-инвариантность. Иными словами, при переходе от одной лоренцевой (т. е. инерционной) системы координат  $(x, y)$  к другой  $(x', y')$  (при этом координаты  $x', y'$  выражаются через координаты  $x, y$  с помощью известных формул преобразования Лоренца) интервал  $s$  не меняет своего численного значения, т. е.

$$(x-y)^2 = (x'-y')^2. \quad (2)$$

*Световым конусом точки  $x$*  называется геометрическое место точек  $y$ , таких, что

$$(x-y)^2 = 0. \quad (3)$$

Условие (3) представляет собой уравнение светового конуса. В соответствии с (2) это уравнение лоренц-инвариантно.

Область четырехмерного пространства-времени, заключенную внутри верхней части светового конуса и определяемую условиями

$$(x-y)^2 \geq 0, \quad y^0 > x^0, \quad (4)$$

назовем областью будущего (область Б на рис. 1). Условие (4) символически запишем в виде

$$y > x. \quad (Б)$$

Внутренность нижней части светового конуса, определяемая соотношениями

$$(x-y)^2 \geq 0, \quad y^0 < x^0, \quad (5)$$

представляет собой область прошлого точки  $x$  (область П на рис. 1). Совокупность условий (5) будем записывать в виде

$$y < x. \quad (П)$$

Каждая точка  $y$  из области Б в любой лоренцевой системе координат лежит позже точки  $x$ . Поэтому Б можно назвать областью *абсолютного будущего* точки  $x$ , а П — соответственно областью *абсолютного прошлого* точки  $x$ .

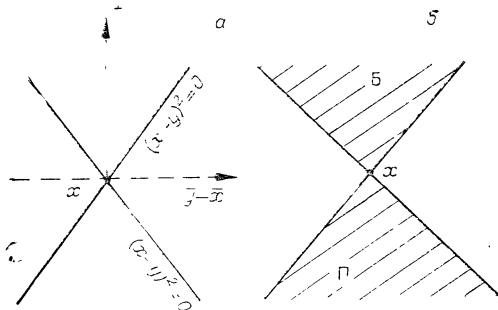


Рис. 1. Световой конус точки  $x$  (а). Области «абсолютного будущего» и «абсолютного прошлого» точки  $x$  (б).

Наконец, внешность светового конуса, определенная условием

$$(x-y)^2 < 0, \quad (6)$$

соответствует таким точкам  $y$ , которые в некоторых лоренцевых системах лежат раньше точки  $x$ , а в других системах — позже. Для любой точки  $y$  из (6) найдется такая лоренцева система, в которой эта точка будет одновременна с  $x$ , т. е.

$$x_0' = y_0', \quad s = -(\vec{x}' - \vec{y}')^2. \quad (7)$$

Условие (6) будем также записывать в виде

$$x \sim y \text{ (6')}. \quad (6')$$

Ясно теперь, что лоренц-инвариантной формулировкой утверждения (\*) будет:

событие в точке  $y$ , не лежащей в нижнем световом конусе точки  $x$ , не может влиять на событие в точке  $x$ . (\*\*)

Условие того, что точка  $y$  не лежит в нижнем световом конусе точки  $x$ , согласно (Б) и (6) может быть записано в виде

$$y \geq x. \quad (8)$$

Область, ограниченная условием (8), заштрихована на рис. 2.

Условие причинности в форме (\*\*) широко известно в классической теории полей.

Рассмотрим, например, формулу для запаздывающего потенциала электромагнитного поля  $A_\mu(x)$ , индуцированного в пустоте плотностью тока  $j_\nu(y)$ :

$$A_\mu(x^0, \vec{x}) = \int \frac{j_\mu(x^0 - \sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^2}, \vec{y})}{\sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^2}} d\vec{y}. \quad (9)$$

Интегрирование в правой части происходит по нижней части светового конуса точки  $x$ , поскольку в пустоте электромагнитное взаимодействие распространяется со скоростью света. При распространении в среде скорость сигнала уменьшается и интегрирование в правой части будет происходить по внутренности нижней части светового конуса. Однако внешность нижней части светового конуса, удовлетворяющая (8), никогда не попадет в область интегрирования. Таким образом: состояние электромагнитного поля  $A_\mu(x)$  в точке  $x$  не может зависеть от распределения электрических зарядов  $j_\mu(y)$  в точках  $y$ , лежащих вне нижнего (\*\*\*) светового конуса точки  $x$ , т. е. в области (8).

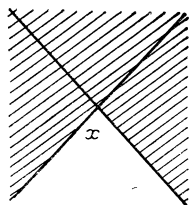
Утверждение (\*\*\*) есть формулировка условия причинности (\*\*) для рассматриваемого конкретного случая.

Этому утверждению полезно придать математическую форму, для чего придется воспользоваться понятием функционала и функциональной производной.

Понятие функционала может рассматриваться как обобщение понятия функции.

Пусть величина  $\alpha$  принимает ряд значений из некоторого множества  $A$  (таким множеством, например, может быть отрезок числовой оси  $(0, 1)$ ). Если каждому значению  $\alpha \in A$  поставлено в соответствие значение величины  $\beta$  из множества  $B$  (таким множеством может быть отрезок числовой оси  $(a, b)$ ), то мы говорим, что имеет место функциональная зависимость

$$\beta = f(\alpha). \quad (10)$$



Пусть теперь множество  $N$  есть множество функций  $v(x)$ , заданных на некотором интервале  $(a, b)$  значений пе-

Рис. 2. Область, из которой сигнал не может попасть в точку  $x$ .



ременной  $x$  и принадлежащих к определенному классу (например, интегрируемых на интервале  $(a, b)$ ). Пусть, кроме того, каждой функции  $v(x) \in N$  поставлено в соответствии числовое значение величины  $I$  из некоторого множества. Тогда можно сказать, что задан функционал  $I = I(v)$ . Примером (линейного) функционала служит выражение

$$I(v) = \int_a^b K(z) v(z) dz, \quad (11)$$

где  $K(z)$  — заданное ядро.

Таким образом, в простейшем случае функционал реализует однозначное отображение функции на число (тогда как обычная функция отображает число на число).

Примером нелинейного функционала может быть выражение

$$I_x(v) = \int_{-\infty}^{\infty} K(x, t) \exp \left[ \int_a^b L(t, z) v(z) dz \right] dt. \quad (12)$$

Ядро экспоненциального функционала (12) зависит от обычного (числового) аргумента  $x$ , по которому нет интегрирования. Поэтому величина  $I_x(v) = I(x|v)$  является обычной функцией числовой переменной  $x$  и функционалом от функционального аргумента  $v$ .

Запаздывающий потенциал  $A_\mu$ , определенный уравнением (9), является, очевидно, линейным функционалом от функционального аргумента  $j_v$ , зависящим от числовых аргументов  $x^0, \vec{x}$ :

$$A_\mu(x^0, \vec{x}) = A_\mu(x|j). \quad (13)$$

Введем теперь понятие функциональной производной, выступающей аналогом обычной производной. Для этого рассмотрим бесконечно малую вариацию функционального аргумента

$$v(z) \rightarrow v'(z) = v(z) + \delta v, \quad (14)$$

причем  $\delta v$  отлична от нуля лишь в бесконечно малой окрестности  $\Delta_y z$  точки  $z = y$ . В результате вариации (14) функционал  $I$  получит приращение  $I \rightarrow I + \delta I$ .

Главная часть приращения функционала  $I(v)$  может быть представлена в виде

$$\delta I(v) = \int_{\Delta_y z} J(z|v) \delta v dz \simeq J(y|v) \delta v \Delta_y z. \quad (15)$$

Например, для линейного функционала (11) это приращение будет

$$\delta I(v) = \int_{\Delta_y z} K(z) \delta v dz \sim K(y) \delta v \Delta_y z.$$

Соответственно для экспоненциального функционала (12)

$$\begin{aligned} \delta I(x|v) &= \int_{-\infty}^{\infty} K(x, t) dt \int_{\Delta_y z} L(t, z) \delta v dz e^{\int_a^b L(t, z') v(z') dz'} = \\ &= \int_{\Delta_y z} J(x, z|v) \delta v dz \simeq J(x, y|v) \delta v \Delta_y z, \end{aligned}$$

причем

$$J(x, y|v) = \int_{-\infty}^{\infty} K(x, t) L(t, y) \exp \left[ \int_a^b L(t, z) v(z) dz \right] dt.$$

Величина  $J(y|v)$ , определяющая главную часть приращения (15), называется функциональной (или вариационной) производной и обозначается следующим образом:

$$\frac{\delta I(v)}{\delta v(y)} \equiv J(y|v).$$

Функциональная производная линейного функционала является обычной функцией точки варьирования  $y$  функционального аргумента. Функциональная производная нелинейного функционала является обычной функцией от  $y$  и функционалом от  $v$ .

Условие причинности (\*\*\*) для запаздывающего потенциала (9) теперь может быть записано в виде<sup>1</sup>

$$\frac{\delta A_\mu(x|j)}{\delta j_\nu(y)} = 0 \quad \text{при } y \geq x. \quad (16)$$

<sup>1</sup> Запись условия причинности для запаздывающего потенциала в боголюбовской форме (16) принадлежит Б. В. Медведеву, которому мы признательны за ознакомление с этим результатом до его опубликования.

В теории квантованных волновых полей, описывающей взаимодействие элементарных частиц, условие причинности может быть сформулировано с помощью вариационных производных от матрицы рассеяния.

Матрица рассеяния  $S$ , введенная Гейзенбергом в 1943 г., служит для описания результата взаимодействия в квантовой механике. Она связывает квантовомеханическую волновую  $\Psi$ -функцию начального состояния  $\Psi(t=-\infty)$  с волновой функцией конечного состояния  $\Psi(t=+\infty)$  соотношением

$$\Psi(+\infty) = S\Psi(-\infty). \quad (17)$$

Соотношение, эрмитово сопряженное к (17), будет

$$\Psi^{\dagger}(+\infty) = \Psi^{\dagger}(-\infty)S^{\dagger}. \quad (17a)$$

Требование сохранения нормы состояний

$$|\Psi(+\infty)|^2 = |\Psi(-\infty)|^2 \quad (18)$$

приводит к условию на оператор  $S$ :

$$S^{\dagger}S = SS^{\dagger} = 1, \quad (19)$$

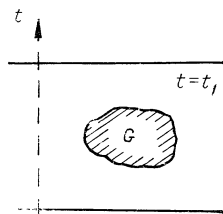
известному под названием *условия унитарности*. Как видно,  $S$ -матрица Гейзенберга описывает «глобальный» эффект взаимодействия, т. е. полную эволюцию квантовомеханической системы (за бесконечно большой интервал времени) и не приспособлена для учета пространственно-временных закономерностей, связанных с локальными зависимостями (подобно условию причинности).

Проблема введения условия причинности в теорию  $S$ -матрицы была решена Н. Н. Боголюбовым в 1954 г. Боголюбов обобщил гейзенберговскую  $S$ -матрицу на (гипотетический) случай, когда взаимодействие локализовано в некоторой области  $G$  пространства-времени. Определив функцию  $g(x)$  области  $G$  так, что

$$g(x) = 1 \text{ при } x \in G,$$

$$g(x) = 0 \text{ при } x \notin G,$$

он ввел  $S$ -матрицу, функционально зависящую от  $g(x)$ , т. е.  $S(g)$ . Боголюбовская матрица  $S(g)$  связывает состояния



$\Psi(t_0)$  и  $\Psi(t_1)$ , лежащие соответственно раньше и позже области  $G$  (рис. 3), соотношением

$$\Psi(t_1) = S(g) \Psi(t_0). \quad (20)$$

Матрица  $S(g)$  удовлетворяет условию унитарности

Рис. 3. Область взаимодействия  $G$ .

$$S(g) S^\dagger(g) = 1. \quad (21)$$

Переход к гейзенберговской  $S$ -матрице осуществляется предельным переходом

$$t_0 \rightarrow -\infty, \quad t_1 \rightarrow +\infty, \quad (22)$$

$g(x) \rightarrow 1$  во всем пространстве-времени (т. е. когда область  $G$  неограниченно расширяется на все пространство-время).

Таким образом,

$$S = \lim_{g \rightarrow 1} S(g) = S(1). \quad (23)$$

Рассмотрим теперь вспомогательный случай, когда в момент  $t=t_0$  взаимодействие отсутствует и система описывается функцией  $\Psi(t_0)$ . Затем происходит взаимодействие в конечной области  $G_1$  (функция области  $g_1$ ). В некоторый момент  $t=t_1$ , лежащий «позже»  $G_1$ , система описывается функцией

$$\Psi(t_1) = S(g_1) \Psi(t_0). \quad (24)$$

После этого еще раз происходит взаимодействие в конечной области  $G_2$  (функция области  $g_2$ ). После выключения этого взаимодействия в некоторый момент  $t=t_2$  (рис. 4) система описывается функцией

$$\Psi(t_2) = S(g_2) \Psi(t_1). \quad (25)$$

Комбинируя (24) и (25), получаем

$$\Psi(t_2) = S(g_2) S(g_1) \Psi(t_0). \quad (26)$$

Вместе с тем переход от момента времени  $t_0$  к моменту  $t_2$  можно рассматривать как результат взаимодействия в области  $G$ , являющейся топологической суммой областей  $G_1$  и  $G_2$ . Функция  $g(x)$  суммарной области  $G=G_1 \oplus G_2$  будет

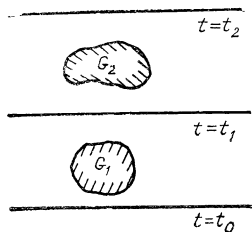


Рис. 4. Случай, когда область  $G_2$  лежит «позже» области  $G_1$ .

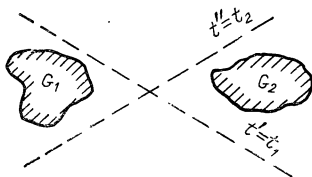


Рис. 5. Случай, когда области  $G_2$  и  $G_1$  пространственно подобны друг другу.

равна арифметической сумме функций областей  $G_1$  и  $G_2$ , т. е.

$$g(x) = g_1(x) + g_2(x). \quad (27)$$

Поэтому

$$\Psi(t_2) = S(g_1 + g_2) \Psi(t_0). \quad (28)$$

Сравнивая (28) с (26), получаем

$$S(g_1 + g_2) = S(g_2) S(g_1). \quad (29)$$

Таким образом, в рассматриваемом случае оператор  $S(g_1 + g_2)$  распадается на множители (т. е. факторизуется), порядок которых существен.

Формула (29) представляет собой условие причинности для случая, когда область  $G_2$  лежит позже области  $G_1$ , т. е.

$$G_2 > G_1. \quad (29a)$$

Рассмотрим теперь модификацию описанного случая (рис. 5). Предположим, что любая точка  $x \in G_1$  отделена от любой точки  $y \in G_2$  пространственно-подобным интервалом. В этом случае можно сказать, что области  $G_1$  и  $G_2$  пространственно подобны ( $G_1 \sim G_2$ ).

Очевидно, что найдется такая лоренцева система  $L'$ , в которой  $G_1$  будет расположена «раньше» области  $G_2$ , а также найдется другая лоренцева система  $L''$ , в которой  $G_1$  будет лежать «позже»  $G_2$ . Поэтому  $S(g_1 + g_2)$ , с одной стороны, будет представима в виде (29), а с другой — в виде

$$S(g_1 + g_2) = S(g_1) S(g_2). \quad (30)$$

Сравнивая (29) с (30), получаем

$$S(g_1) S(g_2) = S(g_2) S(g_1). \quad (31)$$

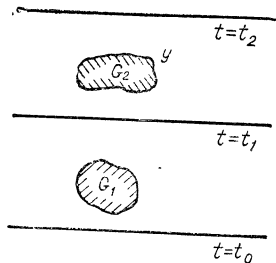


Рис. 6. Случай, параллельный случаю, изображенному на рис. 5.

изображенный на рис. 6. Этот «параллельный» случай отличается от случая (29) взаимодействием в области  $t_1 < t < t_2$ . Здесь вторая область взаимодействия  $G_2'$  незначительно отличается от области  $G_2$ , а соответствующие функции отличаются на бесконечно малую вариацию  $\delta g$ :

$$g_2'(x) = g_2(x) + \delta g(x) \quad (32)$$

около точки  $x=y$ .

Поэтому для параллельного случая взамен (29) получаем

$$S(g_1 + g_2') = S(g_2') S(g_1). \quad (33)$$

Умножая это соотношение слева на формулу, сопряженную (29),

$${}^+S(g_1 + g_2) = {}^+S(g_1) {}^+S(g_2),$$

находим

$$\begin{aligned} S(g_1 + g_2') {}^+S(g_1 + g_2) &= S(g_2') S(g_1) {}^+S(g_1) {}^+S(g_2) = \\ &= S(g_2') {}^+S(g_2). \end{aligned}$$

Здесь мы воспользовались условием унитарности (24) для матрицы  $S(g_1)$ .

Таким образом, произведение

$$S(g') {}^+S(g) \equiv S(g_1 + g_2') {}^+S(g_1 + g_2) \quad (34)$$

не зависит от взаимодействия в области  $G_1$ . С учетом (32) это произведение может быть представлено в виде

$$\begin{aligned} S(g') \overset{+}{S}(g) &= S(g + \delta g) \overset{+}{S}(g) = (S(g) + \delta S) \overset{+}{S}(g) = \\ &= S(g) \overset{+}{S}(g) + \delta S \overset{+}{S}(g) = 1 + \int_{\Delta_{yz}} \frac{\delta S(g)}{\delta g(z)} \delta g(z) dz \overset{+}{S}(g). \end{aligned}$$

Поэтому факт независимости произведения (34) от вариации функции  $g(x)$  в области  $G_1$  можно записать следующим образом:

$$\frac{\delta}{\delta g(x)} \left[ \frac{\delta S(g)}{\delta g(y)} \overset{+}{S}(g) \right] = 0 \quad (35)$$

при  $x \in G_1, y \in G_2$ . (36)

Как показывает более детальный анализ, условие (36) можно заменить на

$$x \leq y. \quad (35a)$$

Условие (35), (35a) и есть известное *условие микропричинности Боголюбова*. Это условие оказывается весьма мощным инструментом квантовой теории поля.

Именно использование этого условия позволило Н. Н. Боголюбову в 1956 г. впервые получить строгое доказательство дисперсионных соотношений для рассеяния  $\pi$ -мезонов на нуклонах. Этот факт имел принципиальное значение для всего последующего развития теории сильных взаимодействий.

Дисперсионные соотношения для пион-нуклонного рассеяния вперед содержат только величины, непосредственно наблюдаемые на опыте (полное сечение рассеяния и дифференциальное сечение на нулевой угол рассеяния). Поэтому они допускают непосредственную экспериментальную проверку. Благодаря наличию строгого доказательства, основанного на условии микропричинности, экспериментальная проверка дисперсионных соотношений оказывается проверкой общих принципов локальной теории поля, в том числе условия микропричинности. Новейшие экспериментальные данные, полученные на серпуховском протонном ускорителе, находятся в прекрасном согласии с дисперсионными соотношениями на всем доступном интервале энергии.

Подчеркнем еще один аспект принципа причинности в теории элементарных частиц. При квантовании полей важную роль играет *свойство локальной коммутативности*. В силу этого свойства локальные динамические операторы  $A(x)$ ,  $B(y)$  обладают свойством

$$[A(x), B(y)]_- \equiv A(x)B(y) - B(y)A(x) = 0 \quad \text{при } x \sim y, \quad (37)$$

т. е. коммутируют, когда точки  $x$  и  $y$  разделены пространственно-подобным интервалом. Это свойство иногда также (неправильно) называют свойством причинности. Свойство (37), однако, является частным выражением условия причинности (типа (31)) и означает факт независимости событий в точках  $x$  и  $y$ , разделенных пространственно-подобным интервалом. Оно может быть получено из условия Боголюбова (35) как следствие в частном случае.

Чтобы показать это, заметим, во-первых, что условие Боголюбова (35) может быть записано непосредственно для гейзенберговской матрицы рассеяния  $S = S(1)$ , если принять во внимание, что последняя является функционалом от операторных полевых функций  $\varphi(x)$ , т. е.  $S = S(\varphi)$ .

Таким образом, даже при переходе к реальному случаю, когда область взаимодействия  $G$  неограниченно расширяется и в пределе заполняет все пространство-время, имеется возможность выделить отдельные точки  $x$ ,  $y$  путем функционального дифференцирования по функциям поля. Вместо (35) получаем

$$\frac{\delta}{\delta\varphi(x)} \left[ \frac{\delta S}{\delta\varphi(y)} \overset{+}{S} \right] = 0 \quad \text{при } x \leq y. \quad (38)$$

Введем теперь так называемый токо-подобный оператор

$$\Phi(x) \equiv i \frac{\delta S}{\delta\varphi(x)} \overset{+}{S}, \quad (39)$$

«сопряженный» к полю  $\varphi(x)$ . В простейшем случае, когда  $\varphi$  — оператор электромагнитного поля,  $\Phi$  — оператор тока электрических зарядов, т. е.

$$J^\mu(x) = i \frac{\delta S}{\delta A_\mu(x)} \overset{+}{S}.$$

Имеется в виду «сопряжение» относительно функции Лагранжа, в которую взаимно сопряженные величины входят



з виде произведения, например, в электромагнитном случае  $L(x) = A_\mu(x) J^\mu(x) + \dots$ . Если поле  $\varphi$  действительно, то оператор (39) эрмитов в силу условия унитарности (19). В самом деле, варьируя (19) по  $\varphi$ , имеем

$$\frac{\delta S}{\delta \varphi(x)} \overset{+}{S} + S \frac{\delta \overset{+}{S}}{\delta \varphi(x)} = 0. \quad (40)$$

Вместе с тем выполняя эрмитово сопряжение в (39), получаем

$$\overset{+}{\Phi}(x) = \left( i \frac{\delta S}{\delta \varphi(x)} \overset{+}{S} \right)^+ = -i \overset{+}{S} \frac{\delta S}{\delta \varphi(x)}. \quad (41)$$

Сравнивая (39), (40) и (41), находим

$$\Phi(x) = -i \overset{+}{S} \frac{\delta S}{\delta \varphi(x)} = \overset{+}{\Phi}(x). \quad (42)$$

Выполняя явно варьирование по  $\varphi(x)$ , запишем (38) в виде

$$\frac{\delta^2 S}{\delta \varphi(x) \delta \varphi(y)} \overset{+}{S} + \frac{\delta S}{\delta \varphi(y)} \frac{\delta \overset{+}{S}}{\delta \varphi(x)} = 0 \quad \text{при } x \leq y.$$

С помощью (39) и (42) второй член левой части может быть выражен через произведение  $\Phi(y) \Phi(x)$ . Получаем поэтому

$$\frac{\delta^2 S}{\delta \varphi(x) \delta \varphi(y)} \overset{+}{S} = -\Phi(y) \Phi(x) \quad \text{при } x \leq y. \quad (43)$$

Ввиду симметрии  $\delta^2 S / \delta \varphi(x) \delta \varphi(y)$  относительно замены  $x \leftrightarrow y$  из (43) вытекает также

$$\frac{\delta^2 S}{\delta \varphi(x) \delta \varphi(y)} \overset{+}{S} = -\Phi(x) \Phi(y) \quad \text{при } x \geq y. \quad (44)$$

Сравнивая (43) и (44) при  $x \sim y$ , получаем

$$[\Phi(x), \Phi(y)] = 0 \quad \text{при } x \sim y,$$

т. е. условие локальной коммутативности для операторов  $\Phi$ . Обобщение на случай двух различных операторов  $\Phi_1 = A$ ,  $\Phi_2 = B$  не составляет труда. Таким образом, мы убедились, что условие локальной коммутативности в квантовой теории поля представляет собой частное следствие общего условия причинности Боголюбова.

Условие Боголюбова обладает большой эвристической ценностью. Так, согласие дисперсионных соотношений пион-нуклонного рассеяния вперед с данными опыта

вплоть до энергий пионов порядка нескольких десятков миллиардов электрон-вольт является серьезным аргументом против существования физических кварков.

Согласно кварковой модели, барионы (включая нуклон) состоят из трех кварков, а мезоны (включая пион) из кварка и антикварка. Размеры трехкварковой системы и системы кварк+антикварк могут быть оценены из вида энергетического (точнее, массового) спектра по расстоянию между уровнями. Оно оказывается равным примерно

$$R_{\text{КВ}} \sim 2 \cdot 10^{-14} \text{ см.} \quad (45)$$

Следовательно, в кварковой модели обе частицы, участвующие в пион-нуклонном взаимодействии, оказываются протяженными (нелокальными) объектами с размерами порядка (45). Условие причинности для таких объектов нарушается на расстояниях, меньших  $R_{\text{КВ}}$ . Таким образом, доказательство дисперсионных соотношений, основанное на условии причинности (38), неприменимо к случаю, когда пионы и нуклоны состоят из кварков; не существует обобщения обычных дисперсионных соотношений на нелокальный случай. Однако нерелятивистские аналогии говорят нам, что если причинность нарушается на малых временах  $\sim R_{\text{КВ}}/c$ , то соответствующие эффекты должны проявляться при энергиях

$$E \sim \frac{ch}{R_{\text{КВ}}}. \quad (46)$$

Поскольку радиус кваркового взаимодействия  $R_{\text{КВ}}$  примерно на порядок отличается от комптоновского радиуса  $\pi$ -мезона  $R_{\pi} = 1,4 \cdot 10^{-13}$  см, то «критическая энергия» (46) должна быть величиной  $\sim 1 - 2$  БэВ. Как уже отмечалось, современные экспериментальные данные перекрывают эту величину более, чем на порядок.

Приношу благодарность покойному член-корреспонденту АН СССР Геннадию Александровичу Свечникову, которому принадлежат инициатива написания данной статьи, а также ряд ценных замечаний. Я благодарен также профессору Б. В. Медведеву за плодотворные обсуждения вопроса о причинности в некантовой физике.

# **РАЗДЕЛ III. ПРОБЛЕМЫ ДЕТЕРМИНИЗМА В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ**

---

**И. Т. Ф р о л о в**

## **ПРИЧИННОСТЬ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ В СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ**

В истории биологической мысли нет, пожалуй, проблемы более острой, вызывавшей и вызывающей поныне ожесточенные философские споры, чем проблема причинности и целесообразности. Выступают ли они как соподчиненные или равноправные принципы исследования, может ли органическая целесообразность рассматриваться как имманентный атрибут живой материи, не объяснимый исходя из принципа причинности, детерминизм или телеология — эти вопросы и сегодня выступают объектом философской борьбы в науке о жизни.

Становление биологии как науки было связано с постепенным преодолением «телеологического мышления», необходимого якобы в познании специфики жизни, ее целесообразности, так как «слепой механизм» материальной причинности, согласно утверждениям сторонников телеологии, не может схватить биологические процессы в их подлинном виде, не огрубляя и не омертвляя их, не отождествляя с неорганическими системами. Но биологическая наука доказала возможность познания органической целесообразности в рамках исследования ее материальных причин, без обращения к «телеологическому мышлению» с его постулатом об идеальной «внутренней цели», якобы направляющей и одухотворяющей организмы. Впервые, как известно, это удалось сделать Ч. Дарвину.

Дарвиновская теория естественного отбора смогла весьма удовлетворительно объяснить многочисленные факты

сложнейших морфологических приспособлений у организмов. Эти факты в достаточной мере известны, а потому мы не будем прерывать нить наших рассуждений для их изложения. Отметим, что Ч. Дарвин перевернул старую телеологическую точку зрения: различные приспособления у организмов возникли не для того, чтобы в ближайшем будущем они оказались полезными, а потому, что железная необходимость в таких полезных приспособлениях обусловила их появление. Таким образом, органическая целесообразность, согласно дарвинизму, представляется не как явление, выпадающее из цепи материальных причин, а, напротив, оказывается результатом и одной из форм проявления причинных отношений в живой природе и лишь как таковая может быть познана в естественнонаучных рамках. «Сохраняя старое слово — целесообразность, мы, — писал К. А. Тимирязев, — придаем ему новый смысл. Не в виду, не в ожидании пользы созидались все эти совершенные органы и целые организмы, а сама польза создала их. Вместо предполагаемой цели, мы имеем действительную причину»<sup>1</sup>.

Антителеологическая направленность учения Дарвина была высоко оценена основоположниками марксизма. Сразу же после выхода в свет «Происхождения видов» Энгельс писал Марксу, что в биологии «телеология в одном из своих аспектов не была еще разрушена, а теперь это сделано»<sup>2</sup>. Маркс в письме к Лассалю, говоря о работе Дарвина, отмечал, что «здесь впервые не только нанесен смертельный удар «телеологии» в естествознании, но и эмпирически объяснен ее рациональный смысл...»<sup>3</sup> Это означает, как справедливо заметил К. А. Тимирязев, что дарвинизм, отвергая телеологию, не отбрасывает фактов органической целесообразности.

После создания дарвиновского учения, объяснившего сущность и причины органической целесообразности как результата приспособительной эволюции под контролем естественного отбора, на него не только открыто обрушились религиозно-телеологические атаки, но и появились бесчисленные апеллирующие к науке «добавления» или

---

<sup>1</sup> Тимирязев К. А. Соч., т. VII, с. 52—53.

<sup>2</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 29, с. 424.

<sup>3</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 30, с. 475.

«поправки» спекулятивного, натурфилософского типа. Как правило, в этих «добавлениях» или «поправках» к дарвинизму речь идет о необходимости присоединить к механизму действия материальных причин («физической причинности») «телеологический принцип», ффинализм. При чем зачастую это сопровождается очередным провозглашением «краха» детерминизма, когда обнаруживается недостаточность для объяснения сущности взаимодействия живых систем однозначной причинности механического типа. Неумение мыслить диалектически или незнание диалектико-материалистических форм детерминизма составляют гносеологическую основу проникновения телеологических идей и в труды многих естествоиспытателей, оказавших заметное влияние на развитие науки.

Телеология обосновывает свою необходимость в качестве «научного принципа» именно в отсутствие диалектического понимания функционирования и развития сложных систем. Она представляет собой неизбежное «наказание» за механицизм, оборотной стороной которого сама, в сущности, и оказывается в методологическом осмыслении принципов познания взаимодействий сложных систем. И это происходит не только потому, что недостаточность механической точки зрения оставляет для идеалистических спекуляций огромное поле ффактов, которые она не может охватить научным анализом. Дело в том, что и сама по себе телеология выступает своеобразным «механицизмом наизнанку»: она имеет общую с ним гносеологическую основу.

Это отчетливо прослеживается, в частности, в биологии, где телеология и ффинализм оказались наиболее живучими и где по сию пору, но уже со ссылками на исследования живых систем на молекулярном уровне и на кибернетику, совершаются мистерии их очередного «возрождения».

Например, можно видеть, как механоламаркизм (с его принципом однозначной причинности во взаимодействиях организма и внешних условий) дополняется психоламаркизмом, вводящим идеальные «направляющие ффакторы», обуславливающие якобы взаимодействие организмов по «телеологическому принципу». Механицизм «надстраивается» в биологии многочисленными вариантами витализма, с которым «телеологическое мышление» связано, так сказать, генетически. Вводя под разными наименованиями понятие «жизненной силы», виталисты именно ей припи-

сывают значение причины относительной направленности биологических процессов. Познанием принципов действия этой «жизненной силы» они обуславливают необходимость обращения к «телеологическому принципу».

Апелляция к телеологически действующему «направляющему фактору», обладающему свойствами, аналогичными сознанию, осуществляется сегодня в результате механистического истолкования теории естественного отбора (как это имеет место в «неофинализме») или, например, данных молекулярной биологии и кибернетики (как это делают Г. Шрамм, Е. Синнот и некоторые другие западные ученые).

В рамках этих направлений делается попытка доказать, что причинные методы, которыми пользуется наука и которые ограничиваются материалистическим анализом явлений жизни, необходимо «дополнить» исследованием по «телеологическому принципу».

Правда, здесь зачастую вовсе не имеется в виду необходимость обращения к телеологии с ее учением о «внутренней цели» и т. д. как определенной философской, теоретико-познавательной концепции. И соответственно не имеется в виду детерминизм в диалектико-материалистическом понимании. Под детерминизмом, например, иногда подразумевается традиционное представление об однозначной каузальности, и тогда признание, в частности, статистической или циклической причинности будет рассматриваться как индетерминизм, как «крушение» принципов детерминизма.

Например, известный генетик Т. Добжанский на основании именно такого механистического понимания детерминизма, чтобы подчеркнуть неоднозначный, творческий характер эволюционного процесса, делает вывод о том, что он не имеет аспекта детерминизма. Добжанский уподобляет эволюцию творчеству художника, которое сопровождается неудачами и ошибками.

Разумеется, такие ученые, как Добжанский, сами могут и не делать широких философских выводов из рассуждений, подобных приведенному выше. Но неоднозначность понятия детерминизма (слишком узкое его понимание некоторыми учеными) при соответствующих условиях может превращаться из формальной в содержательную и обращаться против научной, материалистической методологии. Отчасти с этим связаны, например, выводы об «органиче-

ском индетерминизме» и многие неофиналистические спекуляции, для понимания гносеологических корней которых и сегодня оказывается эффективной известная ленинская методология анализа понятия материя и критического рассмотрения утверждений об ее «вечности». Ленинская методология, показывающая, как из, казалось бы, формальных, терминологических расхождений рождаются принципиальные философские уступки идеализму, может служить уроком и в отношении к телеологии. Ведь дискуссии о познавательном значении телеологии происходят не в мировоззренческом вакууме, и признание научной эффективности «телеологического принципа» лишь в качестве определенного методологического средства может легко трансформироваться в утверждение о «возрождении» телеологии и финализма как философской, теоретико-познавательной концепции, противостоящей диалектико-материалистической концепции детерминизма.

Такая ситуация, приводящая к формальным утверждениям о «возрождении» телеологии и финализма, существует в биологической науке. И многие крупные естествоиспытатели, а также философы, методологи, в том числе и не стоящие на позициях диалектического материализма, пытаются выйти из нее, отмежевавшись даже семантически от телеологии и финализма.

Так, Э. Майр в своем докладе на Сарбеллонском симпозиуме по теоретической биологии (1966 г.) отметил, что биологи уже давно чувствовали двусмысленность обозначения целенаправленного поведения особи, запрограммированного свойствами ее генетического кода, как «телеологического». По его мнению, «научная биология не нашла никаких доводов, которые бы служили подтверждением телеологии в духе, соответствующем разнообразным виталистическим или финалистическим теориям... Сложность биологической причинности не оправдывает использования ненаучных теорий, например, виталистических или телеологических; она лишь должна вдохновлять всех тех, кто пытается создать более широкую основу для понятия причинности»<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Майр Э. Причины и следствия в биологии. — В кн.: На пути к теоретической биологии. Под ред. и с предисловием акад. Б. Л. Астаурова. М., 1970, с. 54.

Пытаясь адекватно выразить эту «более широкую основу» в известных ему понятиях и терминах, Майр принимает введенное Питтендраем обозначение поведения систем, «не связанных с аристотелевской телеологией», как «телеономическое», ограничивая его для систем, действующих на основе какой-то программы или закодированной информации, и понимая под этим кажущуюся, по выражению Дж. Хаксли, целенаправленность организмов и их признаков.

Комментируя эти соображения Э. Майра, К. Х. Уоддингтон согласился с ним в том, что касается неприемлемости собственно телеологического или виталистического типа объяснения и необходимости «телеономических», или, если использовать введенный им термин, «квазителеологических» объяснений. Отвергая телеологию, К. Х. Уоддингтон пытается интерпретировать «квазителеологическое» объяснение биологических процессов в рамках материализма (по его терминологии, «механицизма»), полагая даже, что «общая система представлений, которая начинает вырисовываться, в определенной степени близка к марксистской диалектической философии. Эти представления, как мне кажется, в большей степени соответствуют диалектической концепции Маркса и Энгельса, чем обычному, упрощенно-материалистическому подходу к проблемам биологии»<sup>5</sup>.

Таким образом, термины «телеономия» и «квазителеология» выдвигаются в качестве альтернативы телеологического истолкования причинности в духе финализма. По существу, они описывают причинные отношения, выраженные на языке кибернетики с помощью понятий программы и обратной связи. Можно, естественно, спорить, насколько удачны эти термины, в общем-то вращающиеся вокруг исходного понятия телеологии. Понятны, однако, стремления как отмежеваться от нее, так и сохранить сам способ исследования сложных систем через анализ отношения целесообразности, лишь формально квалифицируемый как «телеологический».

Последний вопрос имеет самостоятельное значение и связан с эвристическим использованием понятий цели и целесообразности в исследовании не только тех процессов,

---

<sup>5</sup> Уоддингтон К. Х. Основные биологические концепции. — В кн.: На пути к теоретической биологии, с. 11—37.



которые могут быть обозначены как целесообразные в непосредственном смысле слова, но и условно, чтобы выразить их объективную направленность. Здесь уже условность понятия целесообразности, целеустремленности процессов, эмпирически понимаемая и являющаяся результатом развития нового содержания в старой семантической форме (как это имеет место, например, в случае органической целесообразности), допускается сознательно в качестве определенного приема исследования. Речь идет о так называемом целевом подходе, который интерпретируется иногда как часть общего функционального анализа сложных систем органически-целостного типа <sup>6</sup>.

Научное исследование и объяснение достигается здесь (в противовес телеологии и финализму) с учетом многозначности и разнонаправленности объективных взаимодействий в природе и обществе. В этом случае программированность действия средств, устремленность к реальной или условной, кажущейся цели выявляется лишь интегрально, в виде общей тенденции. Основой такого исследования и объяснения служит диалектико-материалистическая концепция детерминизма — органический детерминизм. Последний можно определить как такую концепцию связи, которая включает в себя не только однозначные причинные отношения механического типа, но гораздо шире и глубже характеризует эти связи со стороны их необходимого или случайного, внутреннего или внешнего, непосредственного или опосредованного характера.

Диалектико-материалистическая концепция детерминизма позволяет разносторонне охарактеризовать и сами причинно-следственные связи, понять, в частности, однозначные отношения механического типа лишь как один из видов причинности, возможный в случае искусственной (экспериментальной или мысленной) изоляции объектов от тех сложных условий, в которых они взаимодействуют. Рассмотрение взаимодействия объектов в тесной связи с условиями, в которых оно осуществляется, коренным образом нарушает систему однозначной каузальности, так как результат теперь может определяться не только факторами, следующими с необходимостью из непосредственных условий объекта, но и внешними, случайными фактора-

---

<sup>6</sup> Фролов И. Т. Органический детерминизм, телеология и целевой подход в исследовании. — «Вопросы философии», 1970, № 10, с. 36—48.

ми, имеющими основание в других (связанных с первыми) условиях.

Во взаимодействии систем большой сложности диалектико-материалистический детерминизм учитывает еще одно существенное обстоятельство — опосредованность этого взаимодействия через внутренние отношения объектов, которые трансформируют действие того или иного внешнего фактора, причем трансформируют специфически и в разной степени активно. Во всех этих взаимодействиях, хотя и происходит нарушение однозначности, при котором последующее состояние системы уже нельзя полностью вывести из предыдущего, сохраняется материальная причинно-следственная связь, не требующая «дополнений» телеологического порядка. Эта связь имеет статистический характер, а возникающее на основе ее анализа научное знание — вероятностную природу. При исследовании последней мы сталкиваемся с суммарным проявлением необходимости, закономерности в виде «усреднения» разнообразных тенденций, наличие которых детерминируется комплексом условий и сложностью внутренней специфики объектов. Эти тенденции могут быть случайными по отношению к той стороне, которую мы изолируем в процессе исследования в качестве единичного случая, но некоторые из них оказываются необходимыми, когда мы имеем дело с их совокупностью.

Всесторонне характеризуя причинно-следственные связи (не только динамического типа, но и статистические), учитывая их непосредственное и опосредованное действие, однолинейный (однонаправленный) и циклический (взаимодействие) характер, диалектико-материалистический детерминизм комплицирует разные типы связей, позволяя определить общие методологические подходы к анализу систем, имеющих различную степень структурной и функциональной организованности, специфические формы внутренних и внешних взаимодействий. Важно, что эта концепция детерминизма охватывает все существующие формы анализа целесообразно организованных систем и целенаправленных процессов, где компетентным полагалось «телеологическое мышление» в разных его видах. А именно к таким относятся биологические системы и процессы.

В рамках диалектико-материалистического детерминизма целесообразность выступает как отношение, как

особый вид связи — связь начального и конечного состояния системы, которая «удваивается» путем наложения на объективные процессы их идеальной модели, гносеологического образа. Соответственно отношение целесообразности выступает формой связи объектов, выражаемой через их связи с субъектом либо просто связь субъекта с объектом. Это может быть «связью состояний», при которой наблюдается соответствие структуры объектов их гносеологическому образу, и тогда отношение целесообразности приобретает ярко выраженный аксиологический, оценочный характер. Понятие целесообразности в непосредственном смысле слова как раз и выражает такое аксиологическое отношение. Это может быть, однако, действием или взаимодействием, и тогда отношение целесообразности характеризуется как целеустремленность, целенаправленность, как особая форма причинности, реализующаяся через отношение цели, средства и результата, где наблюдается обратная циклическая зависимость между причиной и действием и где цель становится причиной движения средства опосредованно, через действие субъекта — человека, в котором объединяются идеальное и материальное, начальное и конечное.

Все это позволяет ближе подойти и к выяснению вопроса о специфике структуры и функций живых систем, их организации и динамических свойствах, о природе внутренних и внешних взаимодействий в их отношении к принципу причинности и целесообразности, целенаправленности. Для понимания особого характера взаимодействия живых систем, их активности, специфики процессов регуляции и управления много дают современные данные, получаемые прежде всего биокibernетикой. Это новое научное направление, означающее применение теории информации и кибернетики к исследованию организмов, по-новому ставит те конкретные вопросы, которые связаны с пониманием приспособительной направленности процессов живых систем, механизмов органической целесообразности.

Изучая закономерности сложноорганизованных, саморегулирующихся и самоуправляющихся систем, а также характер их функционирования в отношении к принципу причинности и целесообразности, биокibernетика устанавливает, в частности, способность этих систем под влиянием сигналов информации изменять свое состояние по-

средством поисков оптимальной величины параметров, т. е. способности выбора ответных действий, реакций. Сложные системы рассматриваемого типа обладают также способностью «запоминать» наиболее выгодный эффект предыдущих реакций и с этой стороны характеризуются как самонастраивающиеся, самообучающиеся. Подобные системы могут принимать информационные сигналы от других систем и внешней среды и передавать их через неопределенно большой промежуток времени. Они способны изменять рабочие алгоритмы и собственную организацию в зависимости от изменения информационных сигналов, что обеспечивает не только самосохранение этих систем и самовоспроизведение достигнутой организации, но и их усовершенствование и развитие.

Весьма существенно также, что саморегулирующиеся и самоуправляющиеся системы реализуют характеризующие их свойства с помощью механизма обратной связи, т. е. путем непрерывного обмена информацией между управляющим устройством и исполнительным органом. Такой обмен осуществляется в виде циклического процесса, протекающего по замкнутому кольцу.

Перечисленные характеристики сложных систем имеют универсальное значение: они обнаруживаются во всяком направленном процессе активного приспособления, связанного с выбором оптимального варианта изменения структурных или функциональных свойств системы. Разумеется, сами эти изменения не однозначны, а их общая направленность, реализующаяся интегрально, имеет статистическую, вероятностную природу.

Универсальность кибернетических характеристик выявляется уже в анализе биохимических и термодинамических процессов живых систем, их молекулярно-генетических взаимодействий. Наиболее ярко она обнаруживается в механизме белкового синтеза, где исключительную роль играют молекулы ДНК, выступающие носителями кода генетической (наследственной) информации, в соответствии с которым осуществляется молекулярный синтез и в конечном счете самовоспроизведение клетки и живой системы в целом.

Механизмы молекулярного синтеза лежат, как известно, и в основе генетических процессов — наследственности и изменчивости живых систем, причем информация, закодированная в ДНК, локусы которой образуют гены,

является программой генетических процессов и их реализации в индивидуальном и видовом развитии организмов. Представление о генотипе особи как своеобразном «программирующем устройстве» позволило глубже понять биологическое значение наследственной информации организмов в качестве концентрированного и соответствующим образом закодированного потока воздействия среды, имеющего место в течение индивидуальной жизни организмов и исторического развития их видов.

Большое значение представления о механизме саморегуляции сложных систем имеют для понимания закономерностей эволюции популяций. В частности, согласно И. И. Шмальгаузену, эволюция может рассматриваться как саморегулируемый процесс, в котором связь между биогеоценозом и популяцией осуществляется по двум линиям: прямой — передачи управляющих сигналов от биогеоценоза к популяции и обратной — от популяции к биогеоценозу<sup>7</sup>.

На более высоких уровнях организации живого и, в частности, при рассмотрении поведенческих реакций высшего организма мы видим, что первичные механизмы наследственной саморегуляции как бы «надстраиваются» и наряду с механизмами реализации «унаследованных норм реакции» (И. И. Шмальгаузен), осуществления «унаследованной программы развития» (Б. Л. Астауров) имеются дополнительные фиксированные устройства, новые регуляторные механизмы, обеспечивающие приспособительную направленность поведенческих реакций.

Центральная нервная система выступает в роли регулятора поведенческой деятельности живого организма, направленного на удовлетворение его потребностей, которые формируются под влиянием внешних и внутренних сигналов как стимулы этой деятельности, ее непосредственные побудительные причины. Происходит программирование (жесткое или динамическое) приспособительного поведения (действия) по своеобразной модели, формируемой в коре головного мозга животных в виде аппарата, названного П. К. Анохиным акцептором результатов действия, который воспринимает и «оценивает» эти резуль-

---

<sup>7</sup> Шмальгаузен И. И. Основы эволюционного процесса в свете кибернетики. — «Проблемы кибернетики», 1960, вып. 4, с. 127.

таты. Живой организм под влиянием команды к действию ведет активный поиск во внешней среде, получая от нее в форме «обратной афферентации» сигналы о достигнутом результате, которые постоянно сравниваются с имеющимися параметрами акцептора действия, закодированными в определенной форме нервного возбуждения. Поисковые действия продолжаются или прекращаются в том случае, если, соответственно, не совпадают или совпадают параметры результата действия, сигнализация о которых в форме «обратной афферентации» поступает в центральную нервную систему, со свойствами имеющегося в ней акцептора действия.

Приспособительные действия, формы которых могут быть либо генетически закодированными (запрограммированными по определенной схеме), либо вырабатываться в ходе индивидуальной жизни по типу условного рефлекса, характеризуются как направленные именно потому, что они обуславливаются определенной программой, информационная емкость которой необычайно велика. Можно говорить даже о своеобразной избыточной сложности этой программы, которая становится понятной, если учесть необычайную сложность, неисчерпаемую «изобретательность» внешней природной среды, в условиях которой осуществляется жизнедеятельность организмов, их приспособительная поведенческая деятельность и которая в активном взаимодействии с этой деятельностью обуславливает формирование самой программы.

Именно поэтому программа, закодированная как в наследственных генетических структурах, так и в физиологических системах, имеющих фиксированный акцептор результата действия, может выступать в качестве «предвосхищающей модели» еще не совершавшегося действия, его результата. И заслуга кибернетики состоит прежде всего в том, что она показала возможность существования таких моделей в природе, дала новые направления понимания цели и целесообразности в общем диалектико-материалистическом и антителеологическом русле их научного объяснения.

Там, где телеология видела идеалистически интерпретируемое действие «конечных причин», «разумных целей» и т. д., кибернетика установила материальные причинные отношения, причем она строго научно и в полном согласии с дарвиновской теорией раскрыла более общие основа-

ния рассмотрения целесообразности в природе как материального отношения. Тем самым она сохранила и рационализировала объективный смысл этого отношения, продолжив учение Дарвина в направлении исследования материальных причин целесообразности в природе. Вместе с тем, изгоняя телеологию как бы «изнутри» самого отношения целесообразности, кибернетика не просто механически отгораживает, например, органическую целесообразность от целенаправленной деятельности человека, но, исследуя общие их принципы как механизмы реализации направленных процессов в самоуправляющихся системах, она выясняет «рациональный смысл» древней аналогии приспособительного функционирования и развития живых систем с целесообразной человеческой деятельностью. Кибернетика «завоевывает», следовательно, тот обширный эмпирически существующий плацдарм, который наука традиционно обходила, считая его прочно занятым своим исконным противником — телеологией.

И здесь возникает ряд вопросов, требующих весьма «тонкого», диалектического подхода. Нужно учитывать, что подчеркивание активности организмов составляет главное отличие диалектического понимания биологических взаимодействий от механистического и является традиционным в науке о жизни. Однако поскольку оно длительное время представлялось как «монополия» витализма и телеологии в противовес материализму и детерминизму, терминология, описывающая активное поведение, сформировалась в основном именно на этой основе. В теории Дарвина и последующем развитии науки о жизни (в особенности молекулярной биологии, генетики популяций и т. д.), с одной стороны, в материалистическом объяснении природы человеческой деятельности, возникновения сознания и сущности исторического процесса, с другой — были сделаны решающие шаги не только в том, чтобы придать, по выражению К. А. Тимирязева, «новый смысл» понятию целесообразности, но и чтобы освободить науку от *ничего не объясняющих*, но по большей мере засоряющих ее язык терминов, употребляемых по прямой аналогии с целенаправленной человеческой деятельностью.

Кибернетика, как уже отмечалось, использовала эту аналогию, но не для того, чтобы перевести на язык человеческой деятельности функции и развитие организмов искус-

ственных самоорганизующихся систем, а чтобы найти в них общие объективные отношения и таким образом *«снять» эту аналогию как таковую*. Поэтому надо исследовать то, какое новое содержание нашла кибернетика в феноменах, обозначаемых терминами «цель» и «целесообразность», и как она обозначает это содержание независимо от исходных терминов, а не пытаться, как это иногда делают, со ссылкой на кибернетику возвращать в биологическую науку терминологию, создающую лишь видимость объяснения, не учитывающую качественного различия между разными уровнями материи, без чего язык науки не может быть эффективно «работающим». Речь идет, в частности, о понятии «внутренней цели» и «целевой причинности».

Вообще говоря, процессы самоуправляющихся систем в их взаимодействии со средой, механизмы обратной связи независимо от того, на какой субстратной основе они реализуются, с известной степенью условности можно охарактеризовать как некоторое отношение целесообразности, поскольку здесь устанавливается соответствие, происходит обратное воздействие конечного эффекта, результата процесса на его исходный пункт, начало. Принцип регуляции и управления в «эквифинальных» системах, способных вопреки внешним и внутренним нарушениям сохранять оптимальное динамическое равновесие, обеспечивает это диалектическое взаимодействие процессов и их стадий, предстающих в известных отношениях то как причина, то как следствие. И отношение целесообразности выступает здесь, таким образом, как своеобразная форма взаимодействия, особый вид связи в рамках диалектико-материалистического детерминизма.

Конкретные механизмы этого взаимодействия в природе, расчлененные в линейном плане, дают картину относительной (статистически реализующейся) направленности процессов, их обусловленности конечными факторами, *представляющимися* в качестве целей. Речь идет, однако, не о сознательных целях, а лишь об их аналогах, объективных по самой своей природе. И поэтому можно спорить, применимо ли здесь вообще понятие цели и целесообразности, так как, по мнению Энгельса, «...даже применение гегелевской «внутренней цели», то есть такой цели, которая не привносится в природу намеренно действующим сторонним элементом, например мудростью провидения, а заложена в необходимости самого предме-



та,— даже такое применение понятия цели постоянно приводит людей, не прошедших основательной философской школы, к бессмысленному навязыванию природе сознательных и намеренных действий»<sup>8</sup>.

Вместе с тем, конечно, здесь дело не в антропоморфичности понятий цели и целесообразности самих по себе. У людей нет другого языка, кроме человеческого, и многие понятия, обозначающие процессы природы, оказываются весьма условными именно в силу своей антропоморфичности, но от этого они не становятся менее объективными и точными. И все же нам представляется, что без нужды «умножать сущности», искусственно вносить неоднозначность в терминологию науки вряд ли оправдано в наше время, когда так возросло стремление к точности. Поэтому и применительно к термину «внутренняя цель» мы должны проявлять крайнюю осторожность, не забывая, насколько сама она является, по выражению Ф. Энгельса, «идеологическим определением»<sup>9</sup>.

Резюмируя, мы можем констатировать, что кибернетика не привносит понятие цели в науку о живых системах и не придает ему беспредельно широкий смысл, освобождая от антропоморфных и биоморфных элементов, а лишь находит материальные *аналоги*, цели в объективных характеристиках саморегулирующихся систем, обозначая их в терминах информации и обратной связи, т. е. создавая семантические инварианты цели. Полезно ли вновь переводить эти инварианты в исходные, послужившие отправным пунктом для аналогии? Не лучше ли сохранить термин «цель» лишь в его непосредственном, специфическом значении, связанном с *осознанием*, идеальным представлением конечного результата деятельности, оставляя *условным* применение этого термина для характеристики природных процессов (как условно, например, понятие органической целесообразности)?

Этот вопрос можно продолжить и применительно к понятию «целевая причинность» в природе. Кибернетика материалистически объяснила специфические связи и взаимодействия, например, в живой природе, которые представлялись телеологией по прямой аналогии с человеческой деятельностью в духе финализма, обусловленности

---

<sup>8</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 67.

<sup>9</sup> Там же, с. 524.

материальных процессов живых систем идеологически определяемой «конечной целью» и т. д. Она и здесь также использовала до конца «рациональный смысл», содержащийся в этой аналогии, понимая ее лишь как *начало, исходный пункт* познания, но не его *завершение*, как в финализме.

Результаты этого познания, выраженные в терминах информации и обратной связи, находятся в полном согласии с концепцией диалектико-материалистического, органического детерминизма и обогащают, развивают ее. Соответственно фиксируется, что в функционировании и развитии саморегулирующихся, самоуправляющихся систем проявляется новый тип связи, характеризующийся, в частности, цикличностью. С информационной точки зрения, циклическая связь, осуществляющаяся в форме взаимодействия разнонаправленных процессов, может быть обозначена как прямая и обратная. В ней наблюдаются процессы своеобразной преддетерминации, фиксируемой в программе в виде кодовой модели последующих действий и создающей статистически реализующуюся направленность этих действий. Сам механизм подобных связей представляется в виде их «удвоения», наложения на объективный материальный процесс либо его идеальной схемы, гносеологического образа — цели, либо материальной программы, кодовой модели, которая, как известно, может и не иметь образного значения.

Соответственно взаимодействия, наблюдающиеся между различными состояниями саморегулирующейся системы и выражающиеся в форме причинности, могут быть охарактеризованы понятиями циклической связи причины и следствия (прямой и обратной), одним из видов которой и выступает так называемая целевая причинность. Ее наличие тем самым не отрицается, но указываются границы ее применимости, которые могут расширяться опять-таки лишь условно. Надо ли в этом случае вновь задавать вопрос: что реально дает этот «переход границ» значения термина? Какие новые знания мы получим, если навяжем (хотя бы и чисто терминологически), например, растению «выбор цели», «стремление к цели», «целенаправленную деятельность» и т. д.?

Вопрос этот не такой простой, как кажется тем, кто, по выражению Энгельса, не прошел «основательной философской школы», т. е. попросту мало осведомлен в истории

философской борьбы вокруг проблемы детерминизма и телеологии, а потому может легко «пересматривать» ее уроки. И дело здесь отнюдь не сводится к чисто семантическим аспектам, к спору о словах, хотя и это важно <sup>10</sup>. Рядом с этими спорами, а иногда и из них вырастают такие формы «мифологии на кибернетическом уровне», которые прямо смыкаются с телеологией и финализмом. Между тем, как было показано, в рамках диалектико-материалистической концепции детерминизма и ее специфического применения к анализу взаимодействий живых систем (органического детерминизма) эта проблема получает до конца научное решение, *снимающее* телеологию и финализм полностью и навсегда. Задача заключается теперь отнюдь не в том, чтобы искать в них «рациональные элементы», а в дальнейшем развитии концепции органического детерминизма как методологической основы решения проблемы причинности и целесообразности в современной биологии.

---

<sup>10</sup> Энгельс, как известно, критиковал Геккеля, за то, что он пользовался понятием «конечных причин», когда речь шла об искусственном отборе.

## ПРИЧИННОСТЬ В МЕДИЦИНЕ

Проблема причинности относится к числу основных методологических и частнонаучных проблем медицины. Известна ленинская мысль о причинности как своеобразном критерии для определения философской, мировоззренческой направленности той или иной теории. В медицине, как и в других науках, отношение к причинности выступает своеобразным идеологическим индикатором, неким критерием мировоззренческой и методологической направленности той или иной концепции.

Подчеркивая практическую значимость этой проблемы, И. П. Павлов писал, что «...только зная причину, можно метко устремиться против нее, а во-вторых, и это еще важнее, можно не допустить ее действия до вторжения в организм. Только познав все причины болезней, настоящая медицина превратится в медицину будущего, т. е. в гигиену в широком смысле»<sup>1</sup>.

В медицине социалистических стран генеральное направление составляет профилактика, т. е. предотвращение заболеваемости. В силу этого особое внимание уделяется познанию причин возникновения и развития болезней, особенно, как это подчеркнуто в решениях XXIV съезда КПСС, сердечно-сосудистых, раковых, вирусных и наследственных.

Необходимо изучать не только действующие, но и потенциальные причины возникновения болезней. Последние особенно важны для медицины социалистических стран, имеющей профилактический, социально-гигиенический характер.

---

<sup>1</sup> Павлов И. П. Соч., т. II. М., 1946, с. 358.

В развитии современной медицины наступил такой период, когда под влиянием новых экспериментальных и клинических фактов возникла необходимость углубления и уточнения ряда старых, уже утвердившихся выводов и положений. В связи с расширением знаний о цепном характере течения процессов жизнедеятельности (в норме и патологии) выдвигается задача углубления, а в ряде случаев и пересмотра некоторых взглядов на этиологию и патогенез заболеваний. Роль философии в данном случае заключается в том, чтобы вскрыть объективную логику вновь полученных фактов, проанализировать структуру создаваемых новых гипотез и теорий, содержание используемых ими важнейших понятий, исходных методологических предпосылок и т. д.

Особенно важную роль в познании медико-биологических явлений играет проблема причинности, представляющая собой методологическую основу учения об этиологии, патогенезе, диагностике и профилактике заболеваний. Данная проблема весьма многогранна: она включает в себя такие вопросы, как соотношение болезнетворного раздражителя (внешнее) и реагирующего субстрата (внутреннее), исторического (филогенетическое) и индивидуального (онтогенетическое) в патологии, здоровья и болезни, биологического и социального в медицине и т. д.

Прогресс медико-биологических наук в последние годы внес много нового в понимание проблемы причинности. В частности, выяснилось, что некоторые причины болезней затрагивают лишь морфо-физиологическую сторону жизнедеятельности организма, т. е. ограничиваются лишь расстройством морфологических и физиологических функций клеток, органов и систем, не затрагивая их генетических основ. Другая же группа болезнетворных причин вовлекает в сферу своего разрушительного воздействия хромосомно-нуклеиновый аппарат клеток, вызывая в нем целую серию цепных патологических процессов. В болезнях этой группы причина иногда выступает в роли первотолчка, а патологический процесс развивается в большей или меньшей мере самостоятельно в соответствии с эволюционно выработанными и наследственно закрепленными патогенетическими механизмами.

Медикам часто приходится иметь дело с такими причинами, которые изменяют свойства, состояния и различные

качественные характеристики уже возникших, существующих процессов. В возникновении болезненных явлений при подобном типе причинно-следственных связей особенно велика роль внутренних условий (генетического, иммунологического состояния организма, его реактивности и т. д.).

Для возникновения болезни как следствия нужны не только этиологические факторы и внутренние условия, но и особая структура, специфическое сочетание разнообразных компонентов, составляющих содержание условий. Нельзя не учитывать также, что и сама причина представляет собой сложный в структурном отношении процесс, включающий ряд взаимодействующих составных элементов.

Одной из особенностей причины применительно к медицине выступает ее способность придавать специфичность и качественное своеобразие тому или иному патологическому процессу. Только учитывая этот весьма важный и типичный признак, присущий причине, можно найти тот объективный критерий, который позволяет провести грань между причинами заболеваний и условиями, способствующими возникновению болезни. Под причиной современная патология понимает то, без чего патологический процесс не может возникнуть, несмотря на наличие определенных условий.

Различие между причинами и условиями заболеваний можно свести к следующему. Причина находится в необходимой генетической связи с определенными патологическими процессами; причина придает качественную специфику следствию, т. е. патологическому процессу. Если причина болезни находится в состоянии необходимой и генетической связи с определенным патологическим процессом и придает качественное своеобразие следствию, то условия, во-первых, не находятся в необходимой связи с развитием данного патологического процесса и, во-вторых, не определяют основной качественно своеобразной реакции организма. Условия — это совокупность факторов и обстоятельств, которые требуются для возникновения определенного следствия. В свою очередь, условия могут либо ускорять, либо замедлять проявление причины.

Соотношение причины и условий заболевания можно проиллюстрировать на следующем конкретном факте. На-

пример, причиной туберкулеза, определяющей его качественное своеобразие и специфичность, выступает палочка Коха. Но при возникновении туберкулезного процесса, говорит Л. Н. Карлик<sup>2</sup>, определенную роль играют и такие факторы, как изменение бронхов, ребер, локализация поражения и т. д. Эти факторы при туберкулезном заболевании играют роль условий, поскольку они не являются необходимыми для возникновения туберкулезного процесса как такового, хотя и способствуют болезнетворному проявлению палочки Коха. Если причина выступает необходимым, незаменимым фактором для развития того или иного патологического процесса, то условия представляют собой целый ряд взаимозаменяемых факторов.

В самом деле, туберкулезный процесс может возникнуть и при отсутствии изменения бронхов, ребер и т. д. В таком случае вместо этих условий могут быть другие. Следовательно, условия, при которых возникает специфическая картина заболевания, не являются внутренне необходимыми в отличие от причины. Кроме того, необходим дифференцированный подход к условиям заболевания, так как последние могут быть более и менее существенными. В силу этого в борьбе с той или иной болезнью врач направляет свое воздействие не только на причины заболеваний, но и на ряд существенных условий, особенно социальных. Воздействуя на условия, врач, следовательно, оказывает воздействие и на причины заболеваний. Разумеется, грань между причинами заболевания и условиями, способствовавшими возникновению болезни, всегда относительна. Одной из гносеологических ошибок кондиционализма является неумение уловить ту тонкую диалектическую грань, которая отделяет причины от условий. При определенных обстоятельствах причины и условия могут поменяться местами, т. е. условия могут превратиться в причины и наоборот. Внешние и внутренние условия могут выступать в роли причины тогда, когда они порождают те или иные специфические особенности болезни или вызывают определенные вариации в ее течении.

Следует указать, что в нашей медицинской литературе встречается еще одностороннее понимание специфичности как свойства, якобы порождаемого лишь той или иной

---

<sup>2</sup> Карлик Л. Н. Патологическая физиология. М., 1936.

болезнетворной причиной. Видимо, подобное понимание специфичности представляет собой реакцию на кондиционализм. Если кондиционалисты отрицали способность причин (причины они отождествляли с условиями) специфицировать болезненный процесс, то некоторые исследователи способность специфицировать болезненный процесс видят лишь в причине, т. е. болезнетворном агенте (биологическом, физическом, химическом и т. д.). Нам представляется, что при определенных обстоятельствах условия в той или иной мере могут оказывать специфическое влияние на возникновение, течение и исход болезни. Вариация болезни, ее клинические проявления, зависящие от многочисленных условий и от индивидуальной реактивности заболевшего организма, также характеризуют специфичность болезни.

Известно, что один и тот же инфекционный агент, например стрептококк, у одного человека может вызвать рожу, у другого — сепсис, у третьего — абсцесс. Кроме того, аналогичные изменения ткани могут давать и разные микробы или даже отравление ядовитым веществом немикробного происхождения. Все это говорит о том, что известную долю специфичности болезни придают и условия (внутренние и внешние) существования организма. Туберкулезная палочка и бледная спирохета оказываются специфическими возбудителями резко различающихся между собой заболеваний. Но эта специфичность проявляется лишь в определенных условиях; она значительно стирается, вызывая трудности дифференциального диагноза, например при некоторых поражениях кожи туберкулезной и сифилитической этиологии.

Конечно, необходимо видеть различие между специфичностью болезни, порождаемой болезнетворным агентом (причиной) и зависимой от условий. Причина обуславливает качественную определенность болезни, специфику процесса, отличающую одну нозологическую единицу от другой, то общее, что присуще всем клиническим формам проявления данной болезни. Условия же придают болезни ряд дополнительных черт и особенностей, индивидуализируют форму ее проявления. Если специфичность, порождаемая болезнетворным агентом, придает болезни качественное своеобразие и является первичной и решающей, то специфичность, детерминируемая условиями, оказывается производной, а иногда и второстепенной.



Иногда условия, резко изменяя реактивность и другие свойства организма, накладывают такой глубокий отпечаток на течение болезни, что вызывают некоторые ее отклонения от нозологической формы, придают ей атипичные черты и особенности. Полное отрицание способности условий оказывать определенное специфическое влияние на болезнь представляется недооценкой активной и многогранной роли внешней и внутренней среды в модификации болезни.

Рассматривая вопрос о причинности, В. И. Ленин отмечал, что причинная зависимость содержится в самих вещах. С этих позиций причинность в патологии следует искать во взаимосвязи и взаимодействии морфологических, физиологических, биохимических, конституциональных и иммунологических процессов. В этой связи особенно анахроничным представляется мнение об одностороннем и жестком предопределении болезни лишь какой-либо совокупностью внешних, экзогенных факторов. Даже в тех случаях, когда в какой-то мере можно отвлечься (в сугубо практических или методических целях) от обратного воздействия одного процесса на другой (травма, радиация, ожог и т. п.), представление о причине болезни как одностороннем воздействии весьма ограничено и недостаточно, а в ряде случаев просто ошибочно. Травматическое, ожоговое и т. п. воздействие на разные организмы вызывает не вполне одинаковые следствия. И здесь внешнее преломляется и «снимается» внутренним. Конечно, удельный вес внешнего и внутреннего, их роль в возникновении следствия неодинаковы в различных заболеваниях. В только что рассмотренном случае ведущая роль принадлежит внешнему этиологическому фактору.

В патологии человека, где в сложном и противоречивом взаимодействии представлены все известные нам формы движения материи и все типы координации и корреляции процессов, нет и не может быть прямой, абсолютной предопределенности следствия причиной. Специфичность взаимодействия причины и следствия, внешнего и внутреннего, вероятностного и жестоко детерминированного, статистического и динамического в медицине приобретает особую уникальность, неповторимость. Не случайно одна и та же болезнетворная причина в качестве своих конечных, внутренне опосредованных следствий может иметь противоположные исходы — от выздоровления до смерти.

Широкое признание ныне получила точка зрения, согласно которой одна группа причин порождает новые процессы и явления, а другая лишь изменяет свойства и состояния уже существующих объектов и процессов. В медицине большее значение имеет вторая группа причин, для которых важную роль играют условия как внешние, так и в особенности внутренние — конституция, иммунологическое состояние, тип нервной системы и т. п.

В организме тот или иной этиологический фактор может быть значительно преобразован, видоизменен, усилен или ослаблен и т. д. Другими словами, этиологический фактор имеет весьма большой диапазон возможностей проявления. Но какая из этих многочисленных возможностей осуществится, станет реальным фактом — зависит от состояния организма, т. е. от условий.

Для истолкования причинности применительно к медицине большое значение имеет принцип обратной связи. Это видно, в частности, на примере взаимодействия микробов и антител: наличие микробов в макроорганизме ведет к образованию антител, последние, в свою очередь, оказывают влияние на жизнедеятельность микроорганизмов.

Взаимодействие внешнего этиологического фактора и внутреннего состояния организма можно проиллюстрировать на примере инфекционной патологии. Известно, что микроб способен вызвать болезнь лишь тогда, когда его количественная и качественная характеристики соответствуют минимальной инфицирующей дозе, причем различные болезни имеют свои инфицирующие дозы. Но для макроорганизма это лишь внешний фактор. Чтобы он преломился во внутреннем состоянии организма и произвел болезнетворное следствие, необходимо определенное состояние организма: отсутствие специфической и неспецифической резистентности, общая ослабленность организма и т. п.

По мнению И. В. Давыдовского, патогенез болезни человека (механизм ее развития) сформировался в ходе его эволюции. Болезнь — это «видовые формы реакции», которые, повторяясь бесконечное количество раз, «закрепились в потомстве, став своеобразными стереотипами»<sup>3</sup>. «В конечном итоге, — пишет И. В. Давыдовский, — именно внутренний фактор (слагающийся исторически

---

<sup>3</sup> Проблема причинности в медицине (этиология). М., 1962, с. 81.

в фило-онтогенезе) решает вопрос о возникновении болезни; он же придает свои черты в клиническом и морфологическом выражении»<sup>4</sup>. Безусловно, чтобы тот или иной внешний фактор стал болезнетворным, необходимы внутренние благоприятные условия в организме (местные, общие, биохимические, наследственные, возрастные и т. д.).

Но абсолютизируя значение внутреннего состояния организма, можно прийти к недооценке подлинной роли причинности в медицине. В самом деле, если полностью согласиться с мнением И. В. Давыдовского, согласно которому болезнь представляет собой видовую приспособительную реакцию, а все ее патогенетические механизмы сформировались уже в дочеловеческий, досоциальный период, то этиологическим факторам среды (природной и социальной) сегодняшнего дня отводится лишь роль пусковых, катализирующих моментов. При таком подходе болезнетворные факторы из окружающей среды (прежде всего социальной) переносятся во внутреннюю, биологическую природу самого организма. Этиология (причины и условия заболеваний) растворяются И. В. Давыдовским в филогении (истории формирования болезни), а болезнетворным факторам природной и социальной среды, действующим на человека в настоящее время, отводится лишь роль поводов, «пусковых механизмов».

В решении вопроса о взаимоотношении внешнего и внутреннего некоторые патологи одной метафизической крайности противопоставляют другую. Одни медики и биологи акцентируют внимание на изучение прямой, непосредственной зависимости реакций от различных и главным образом внешних раздражителей и, по существу, рассматривают организм как пассивное, страдательное начало, лишь механически отражающее воздействия различных средовых факторов. Другие же, убедившись в упрощенности этого взгляда, занимают позицию на противоположном методологическом полюсе и замыкаются в рамках сугубо внутренних особенностей реагирующего субстрата — физиологического и патологического состояния самого организма, являющегося якобы лишь продуктом исторического, филогенетического развития.

Конечно, с переходом от неорганической природы к органической и от низших эволюционных ступеней раз-

---

<sup>4</sup> Там же, с. 29.

вития к высшим роль внутренних, эндогенных факторов возрастает. В силу этого любое внешнее воздействие обуславливает внутренние изменения в организме лишь опосредованно, часто лишь в конечном счете, преломившись через его внутреннее состояние. Ответ организма — это результат взаимодействия свойств болезнетворного раздражителя и внутреннего состояния самого организма.

Развитие современной науки со всей очевидностью показывает несостоятельность механистического, односторонне линейного понимания причинности. В частности, широкое внедрение во все отрасли науки, в том числе и в медицину, принципа обратной связи лишний раз подчеркивает несостоятельность признания так называемой линейной причинности. Абсолютизация роли внешнего, экзогенно этиологического фактора (микроба, тех или иных физико-химических факторов и т. д.) в возникновении болезни представляется данью механистическому пониманию причинности. Нельзя не учитывать того обстоятельства, что с усложнением структур, переходом от одной формы движения материи к другой и возникновением биологического движения роль внутренних факторов, внутреннего опосредования в возникновении следствия все более возрастает.

В рамках биологической формы движения материи с переходом от низших форм живых существ к более высокоразвитым также наблюдается возрастание роли внутренних, эндогенных моментов в опосредовании внешних (причинных и кондициональных) факторов. Еще Гегель утверждал, что по мере перехода к высшим формам движения роль внутреннего все более возрастает, достигая своей вершины в живом: «То, что действует на живое, самостоятельно определяется, изменяется и преобразуется последним...»<sup>5</sup>.

В этой связи следует подчеркнуть, что утверждение о нецелесообразности подразделения причин болезней на внешние и внутренние верно лишь отчасти, а именно в филогенетическом плане. В самом деле, даже наследственные заболевания в филогенетическом аспекте являются не чем иным, как трансформацией, особой формой

---

<sup>5</sup> Гегель. Соч., т. V. М., 1937, с. 680.

отражения различных внешних, неблагоприятных воздействий. Внутреннее, с точки зрения сегодняшнего дня, оказывается внешним, с точки зрения истории, филогении. Внутреннее в организме — это диалектически снятое внешнее. Но в онтогенетическом развитии организма видеть качественное различие между внешним и внутренним необходимо.

Если рассматривать в качестве причин болезней внутреннюю среду организма, его физиологические механизмы, реактивность тканей и т. д., то тем самым будет недооцениваться возможная патогенетическая роль окружающей среды.

Изучая соотношение внешнего и внутреннего в этиологии заболеваний, следует учитывать, что внешние факторы в конечном счете обуславливают возникновение и специфику болезни. Но воздействие факторов среды преобразуется внутренним состоянием организма, его физиологическими защитными механизмами.

В формировании нозологической специфичности болезни в большинстве случаев решающая роль принадлежит этиологическому фактору. Конечно, в ряде форм патологии (особенно генетически обусловленных) нельзя не видеть важной, а иногда решающей роли внутренних патогенетических факторов в нозологической спецификации заболевания. Если же считать, что опосредование внешних воздействий в живом организме носит абсолютный, а не относительный характер, то нетрудно заключить, что содержание и характер ответных реакций организма обусловлены не взаимодействием внешнего и внутреннего, а лишь внутренним состоянием самого организма. Включаясь в процесс обмена веществ в организме, внешние воздействия в конечном счете определяют все важнейшие стороны жизнедеятельности организма как в нормальном, так и болезненном состоянии.

Рассматривая болезнь как противоречивое единство повреждения (полома) и защиты (компенсации), следует подчеркнуть, что первая сторона этого процесса обусловлена прежде всего действием причинного, чаще всего внешнего фактора, в то время как другая — преимущественно внутренними условиями и состоянием организма. Следовательно, возникновение болезни зависит не только от воздействия внешнего, причинного фактора, но и от состояния самого организма.

Отрицание главных причинных факторов болезни некоторые патологи нередко обосновывают тем, что одно и то же заболевание порождается разными причинами. Например, гипертония, рак и некоторые другие болезни — это якобы однозначные результаты при чрезвычайной многозначности этиологических факторов. Нам представляется, что применительно к ряду заболеваний, именуемых полиэтиологическими, т. е. многопричинными (гипертония, рак, шизофрения и т. д.), правильнее говорить не о многопричинном характере их происхождения, а о различных конкретных «носителях» единой, главной, но еще не познанной причины. Не зная подлинных причин возникновения ряда болезней, некоторые медики делают поспешный вывод о многопричинной, полиэтиологической природе этих заболеваний.

Для научного решения вопроса о соотношении этиологических и патогенетических факторов в развитии болезни и для анализа теории полиэтиологичности, но монопатогенетичности некоторых слабо изученных еще заболеваний большое значение имеет рассмотрение вопроса о соотношении общего и специфического в реагировании организма<sup>6</sup>. Рассматривая этот вопрос в эволюционном аспекте, следует подчеркнуть, что если реакции клеток, тканей и даже органов на различные раздражители преимущественно оказываются неспецифическими, то реакции организма как целого чаще всего специфичны, а неспецифичность проявляется здесь в снятом, преобразованном виде. Патологи приходят к выводу, что субклеточные цитоплазматические ультраструктуры отвечают на всякого рода патогенные воздействия довольно стереотипной реакцией, а специфика того или иного патологического процесса проявляется на тканевом или органном уровне, болезни же — только на уровне целостного организма (А. И. Струков и др.). Исходя из опыта исследования разнообразных физиологических и патологических явлений, И. П. Павлов в свое время пришел к выводу, что известное внешнее явление обуславливает только определенные изменения в организме. Эти изменения, соответ-

---

<sup>6</sup> Царегородцев Г. И., Петрова С. В. Методологический анализ теории полиэтиологичности некоторых заболеваний. — В кн.: Философские вопросы медицины и биологии. Киев, 1965, с. 89—99.

ствующие действию того или иного раздражителя, обусловлены не только переносом материи, движения и информации по цепям причинения, но и, как пишут И. В. Кузнецов, С. Т. Мелюхин, В. Г. Иванов, Г. А. Свечников и др., переносом структуры от причин к следствиям, представляющим собой отражение одних явлений в других.

Представление о полиэтиологичности патологических процессов, по существу, ведет к отрицанию закономерной связи между причиной и следствием, а следовательно, и к игнорированию каузальной терапии. Видимо, различные причины с их различным материальным, энергетическим и информационным содержанием, а также и структурой не могут вызвать одного и того же следствия. Различные по своей природе заболевания, следовательно, не могут иметь один и тот же патогенетический механизм.

Механизмы развития болезни так же разнообразны, как и болезнетворные этиологические воздействия.

Теория полиэтиологичности, но монопатогенетичности некоторых заболеваний возникла в силу незнания подлинной этиологии ряда болезней. Гносеологическими корнями этой теории являются:

1) неумение из всей совокупности действующих условий, необходимых для возникновения данного явления, выделить то из них, которое служит главной или определяющей причиной;

2) незнание различий между причинной связью и простым следованием явлений;

3) отсутствие в работе исследователя дифференцированного анализа причинно-следственных связей, с одной стороны, и сопутствующих друг другу явлений—с другой;

4) неумение отграничить причину того или иного заболевания от условий и повода;

5) невозможность в настоящее время (в связи с уровнем развития науки и техники) с достаточной определенностью отграничить некоторые заболевания как самостоятельные нозологические единицы от подобных по своим клиническим проявлениям процессов, имеющих иную нозологическую специфику. В результате этого в рамки единого диагностического нозологического обозначения включаются различные по своей природе заболевания. Под названием рака, например, объединяется большая группа близких, но в то же время не тождественных заболеваний (Н.Н. Блохин и др.);

6) недоучет того, что некоторые факторы могут быть носителями одной и той же причины. Например, причиной травмы человека нельзя считать различные механические факторы, действующие на человека (воздействие поезда, удар автомашины, падение кирпича с крыши здания, воздействие осколка снаряда и т. п.). Причина во всех вышеуказанных случаях одна — воздействие удара как такового вследствие переноса механической энергии различными ее носителями.

В данном случае речь должна идти не о множественности причин, а лишь о различных носителях одной и той же причины. Носителями причины могут быть разные явления, но механизмы, вызывающие данное действие, всегда одни и те же.

Известно, что раку предшествуют масса патологических процессов и заболеваний, и все они нередко ошибочно обозначаются как причины рака. Постепенно сужая круг предшествующих раку патологических процессов (различных интоксикаций, облучений, воспалительных реакций, регенераций и т. п.), медики раскроют подлинные причины рака, как и многих других заболеваний.

Если полиэтиологичность рассматривается как экзогенно детерминированный процесс, то тем самым воспроизводится основной порок монокаузализма, выступающего проявлением, своеобразной проекцией механистического детерминизма в медицине. Если в монокаузализме только одна причина наделяется фатальными, демоническими свойствами, то в теории полиэтиологичности аналогичными свойствами наделяются многочисленные факторы, возводимые в ранг причин.

Известно, что причинный фактор не всегда непосредственно вызывает болезнь. Нередко причина выступает в качестве «высвобождающего» фактора, вызывая развертывание сложных цепных, лавинообразных реакций в организме. Причина, действующая извне, преломляется через внутреннюю природу организма. В патологии между причиной и следствием часто имеется промежуточное звено — охранительное торможение (по И. П. Павлову), синдром стресса (по Г. Селье) и т. п. Нередко это звено в определенной степени нивелирует специфику причины. Опосредование, преобразование действия причинного фактора во многом происходит в подобных промежуточных звеньях.



Таким образом, качественное своеобразие болезни в конечном счете обуславливается не только видовыми, патогенетическими механизмами, но и специфичностью болезнетворной причины и взаимодействием этих факторов. В частности, несмотря на наличие в организме тех или иных патогенетических механизмов, палочка Коха как причинный фактор способна при соответствующем внутреннем состоянии организма вызывать лишь заболевание туберкулезом. Но в то же время нельзя фетишизировать роль причинного фактора. Последний представляет собой лишь реальную возможность возникновения болезни, а условия (внутренние и внешние) превращают эту возможность в действительность.

Условия — это совокупность внешних и внутренних факторов, благоприятствующих или, наоборот, препятствующих развитию следствия. Следствие в той или иной мере отражает не только характер причины, но и природу условий. Условия имеют сложную, комплексную природу: они могут включать в себя компоненты, воздействующие на следствие в диаметрально противоположных направлениях. Но обычно какая-то преобладающая часть компонентов оказывается либо благоприятной, либо неблагоприятной для развития следствия.

Сказанное свидетельствует о неправомерности рассмотрения условий как чего-то внешнего по отношению к причинно-следственным связям. Они тесно связаны с причинно-следственной структурой и, как справедливо подчеркивает Г. А. Свечников, «каждое условие в определенном отношении является причиной, а каждая причина в соответствующем отношении есть условие»<sup>7</sup>.

Таким образом, противоположность между причиной и условиями относительна. Различие между ними выявляется в развитии той или иной конкретной болезни на определенной стадии ее развития и в определенный промежуток времени.

Касаясь вопроса о соотношении внешнего и внутреннего, исторического и индивидуального, филогенетического и онтогенетического в патологии, И. В. Давыдовский отмечает, что болезнь современного человека — это прежде всего болезнь человечества, т. е. вида. Поэтому

---

<sup>7</sup> Свечников Г. А. Диалектика причинной связи. М., 1967, с. 5.

и изучение причин человеческих страданий, по его мнению, следует начинать с человека с маленькой буквы, с обезьяньего предка, а не с человека с большой буквы, т. е. современного человека.

Здесь, нам представляется, имеет место переоценка исторического, филогенетического в ущерб онтогенетическому, современному. Такой подход может привести к выводу о жестокой биологической предопределенности, филогенетической преформированности болезни и т. д. Рассматривая болезнь и здоровье, патологическое и физиологическое как универсальные формы приспособления организма к окружающей среде, можно прийти к отрицанию их качественного различия.<sup>8</sup>

Отрицание объективных качественных различий между здоровьем и болезнью, по существу, превращает болезнь в неотъемлемый атрибут всего живого, отождествляя ее с другими проявлениями жизнедеятельности. На самом деле между здоровьем и болезнью, физиологическим и патологическим имеют место качественные различия. Болезнь и здоровье — это особые формы «сосуществования», сочетания повреждения и защиты — компенсации. Но если в состоянии здоровья доминируют механизмы защиты, приспособления, то при болезни они недостаточны и в этом случае начинают преобладать нарушения, субъективно воспринимаемые как страдание. Не случайно К. Маркс определял болезнь как стесненную в своей свободе жизнь<sup>8</sup>, т. е. болезнь качественно понижает, ограничивает и биологическую, и социальную жизнедеятельность человека.

В связи с затронутым вопросом нам хотелось бы подчеркнуть, что относительное сходство и аналогия между физиологическим и патологическим, здоровьем и болезнью прежде всего обнаруживаются в элементарных (*суб*молекулярных, молекулярных субклеточных и клеточных) проявлениях жизнедеятельности. Качественное же различие между ними обнаруживается главным образом на организменном, синтетическом, целостном уровне.

Одна из гносеологических предпосылок, ведущих к стиранию качественных различий между здоровьем и болезнью, физиологическим и патологическим, состоит в отождествлении аналитического и синтетического уровней

---

<sup>8</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 1, с. 64.

изучения организма. Если обнаруживаемое при анализе элементарных проявлений жизни (физиология и патология) относительное сходство распространить на уровень целостного организма, представляющего собой сложную синтетическую, интегративную систему, то можно прийти к отождествлению нормы и патологии, здоровья и болезни.

Бесспорно, различные процессы, происходящие во время болезни и представляющие ее материальную основу, по своим физико-химическим, биохимическим «рабочим механизмам» во многом аналогичны нормальным, физиологическим процессам. Даже нарушение адекватного взаимоотношения между организмом и средой как следствие и одно из проявлений болезни невозможно без использования обычных биологических «рабочих механизмов».

Но в то же время патологические процессы в своей совокупности снимают, преобразуют и подчиняют своим специфическим закономерностям обычные физиологические явления. Если тип, форма и структура связи между различными материальными процессами при болезни носят патологический характер, то механизм их осуществления остается физиологическим. Следовательно, патология вырастает на основе физиологии, но физиологическое существует в патологическом в диалектически «снятом» виде. В болезни, говоря словами К. Бернара, нарушаются количественные нормы координации физиологических отравлений, ведущие к качественным изменениям — болезни.

Несмотря на качественные различия в клиническом, а тем более социально-гигиеническом плане, болезнь и здоровье имеют и некоторые черты сходства, общности в биологическом отношении. Эта относительная общность проявляется прежде всего в том, что как нормальным, так и патологическим процессам присущи в большей или меньшей мере элементы приспособления. Конечно, характер приспособления, его направленность существенно отличаются во время болезни и в здоровом состоянии организма.

Современная патология рассматривает болезнь как результат отражения организмом его социально-экологических условий. Она выступает результатом взаимодействия организма, его внутренней основы с травматическими

микроорганизменными, канцерогенными, физико-химическими и прочими средовыми воздействиями и болезнетворными раздражителями.

Безусловно, было бы уступкой механицизму рассматривать болезнь в рамках плоских этиологических представлений, т. е. как результат одностороннего внешне-средового воздействия тех или иных патогенных факторов «сегодняшнего дня» без учета исторического прошлого организма, его эволюционно закрепленного предрасположения к болезни и т. п.

Причинность в медицине тесно связана с проблемой социального и биологического, так как возникновение болезней человека часто обуславливается воздействием тех или иных вредно действующих производственных, бытовых и тому подобных причин и условий. Не случайно современная медицина выделяет некоторые болезни, например сердечно-сосудистые, нервно-психические, в особую категорию, рассматривая их болезнями человеческого вида. Известно, что даже генетически близкая человеку обезьяна в естественных условиях не поражается гипертонией, атеросклерозом и т. д. Поэтому болезни, присущие человеку как социальному существу, отличаются от болезней животных. Все это говорит о социальной обусловленности не только нормологических, но и патологических проявлений жизнедеятельности человека.

Таким образом, теоретическое истолкование тех или иных патологических явлений на основе принципа детерминизма будет облечено в правильные научные формы лишь тогда, когда логика теоретического и клинического мышления врача будет аналогом объективной диалектики органических процессов в норме и патологии.

# РАЗДЕЛ IV. ПРОБЛЕМЫ ДЕТЕРМИНИЗМА В ГЕОЛОГИИ

---

**Г. Л. П о с п е л о в**

## ПРОБЛЕМА ПРИЧИННОСТИ И ЯВЛЕНИЕ КОНВЕРГЕНТНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ГЕОЛОГИИ

В данной работе на примере геологии исследуется вопрос о конвергенции генетических признаков, представляющей, на наш взгляд, достаточно широкий интерес и для других естественных наук, а также для развития некоторых общих проблем научной философии.

Современная геология испытывает серьезные трудности с методологической разработкой вопросов причинного анализа и их реализацией в практике геологических работ, что, в частности, нашло отражение в дискуссии о соотношении «генетического» и «агенетического» подходов к анализу явлений в геологических исследованиях с прогнозными целями<sup>1</sup>.

В отличие от экспериментальных наук (например, физика, химия), в которых вопросы происхождения тех или иных явлений и их причинных взаимосвязей решаются с помощью непосредственного эксперимента, геология является наукой исторической и вынуждена исследовать те же вопросы в основном средствами исторических реконструкций, опираясь на некоторые наборы генетических признаков или фактов. В последние десятилетия при исследовании причинности в геологии заметную роль стали играть такие модельные разработки, как термоди-

---

<sup>1</sup> Поспелов Г. Л. Проблема метода познания в геологии.— В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М., 1968, с. 473—488; Воронин Ю. А., Еганов Э. А. О генетическом и агенетическом направлениях в геологии. Новосибирск, 1971.

памические расчёты, механический, теплофизический и другие виды физико-математического анализа генетических событий.

В результате, казалось бы, создались условия для того, чтобы вопросы причинности в геологии решались более определенно и однозначно, чем ранее. Однако успехи в данной области все сильнее начинают затемняться событиями, которые можно назвать «кризисом генетически-однозначных фактов». Суть его состоит в том, что по мере детализации и умножения генетических исследований, многие свойства конкретных явлений, считавшиеся ранее однозначными в смысле их генетического значения, утрачивают это качество, так как выясняется, что подобные же свойства могут иметь явления другого (иногда даже диаметрально противоположного) происхождения.

Сходство характерных признаков у разнопричинных явлений получило в геологии название «конвергенция» (от лат. *convergo* — приближаюсь, схожусь).

По существу, мы окружены морем разнопричинных явлений с конвергентными признаками и, говоря о конвергенции, имеем дело с понятием весьма широкого гносеологического содержания.

Как общая методологическая проблема естествознания проблема конвергенции пока еще не созрела до некоего кризисного состояния. Однако, на наш взгляд, те трудности, которые возникли в связи с ней в конкретной диагностике в геологии (и в других науках, например, в биологии, медицине, космогонии и т. д.), являются показателями назревающего кризиса.

Рассмотрим на некоторых примерах из геологии, в чем проявляются трудности проблемы конвергенции, а затем попытаемся показать ее общеметодологическое значение и содержание.

### **ПРИМЕРЫ КОНВЕРГЕНЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В ГЕОЛОГИИ И «КОНВЕРГЕНТНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ»**

Геология принадлежит к числу наук, представленным целым архипелагом детально разработанных разделов знания, которые охватывают огромный диапазон

явлений и характеризуют состав, строение, историю и происхождение Земли и ее отдельных элементов. По степени дифференциации природных объектов она не уступает самым дифференцированным естественным наукам, работая в диапазоне от молекулярного уровня до космического и в масштабах времени — от долей секунды до миллиардов лет.

Важное место в геологии занимают разработанные в ней генетические классификации. Большинство применяемых терминов и понятий имеют определенные генетические корни. Например, любая конкретизация такого генетически-нейтрального термина, как «горная» порода, связана с генетической ее интерпретацией: «осадочная», «изверженная», «метаморфическая» и т. д.

Пожалуй, наибольшего накала достигли дискуссии генетического характера вокруг проблем нефти-и рудообразования. Так, в нефтяной геологии идет непрекращающийся спор на тему, является ли происхождение нефти биогенным, органическим или же абиогенным, химическим. В практическом смысле эти взгляды касаются прежде всего «корней» нефтепродуктивных зон: лежат ли эти корни первично в толщах осадочных пород, из которых черпается захороненный в них нефтеформирующий органический материал, или же они находятся в глубинных зонах Земли, в ее мантии — подкоровой области, откуда по разломам поступают углерод и водород, содержащие вещества, вступающие между собой в органохимические соединения и дающие начало нефти. Соответственно предлагаются различные подходы к прогнозам и оценкам нефтеперспективных площадей. При доказательствах своей правоты спорящие стороны часто прибегают к сходным признакам. Так, углеводородную «зараженность» определенных толщ одни исследователи трактуют как первичную («нефтематеринские» толщи), другие — как вторичную, наложенную. Крупные масштабы отдельных нефтепроявлений одни связывают с огромными масштабами биосферы, другие — с неограниченными возможностями глубин как поставщиков исходных компонентов и т. д. При этом, как и в предыдущих случаях, обычно имеется согласие по поводу того, что в принципе нефть может иметь разное происхождение — как органическое, так и неорганическое. Однако когда дело касается конкретных объектов или оценки «большинства случаев», возникают дискуссии, которые большей

частью не заканчиваются общим признанием победы одной из сторон, а продолжают дальше, периодически усиливаясь.

Нечто подобное происходит ныне в рудной геологии. Так, в последние годы большое распространение получил пересмотр генезиса многих рудных месторождений, считавшихся эндогенными (т. е. образованными внутри земной коры за счет глубинных рудообразующих факторов), в сторону признания их происхождения при участии поверхностных процессов осадкообразования. Прежде всего был поставлен вопрос о конвергентности генетических признаков и о важности образования внешне сходных колчеданных и других сульфидных рудных месторождений диаметрально разными путями<sup>2</sup>. Ныне очень многие месторождения другого состава (железорудные, оловорудные и др.) подверглись подобному же пересмотру главным образом при оценке «первичной» основы месторождений. При этом происходит то же самое, что и в нефтяной геологии: обычно признается теоретическая возможность образования рудных месторождений сходного состава разными способами. Однако когда дело касается генетической оценки конкретных месторождений, мнения разделяются, вплоть до диаметрально противоположных. Здесь, как и в предыдущих случаях, распространена аргументация спорящих сторон генетическими признаками, имеющими конвергентный характер.

Поясним это на паре простейших примеров. Что это за признаки? Одними из признаков осадочного происхождения рудного тела являются его пластовая форма, послойное залегание рудного пласта в слоистой вмещающей толще и наличие слоистости — полосчатой перемежаемости пропластков разного состава или разной концентрации компонентов. Однако многие, если не большинство, рудных тел метасоматических месторождений, в которых руды развиваются внутри земной коры, путем замещения первичных пород под влиянием рудообразующих флюидов также располагаются послойно и нередко имеют вторичную слоеподобную полосчатость. Другой пример. Некоторые минералы ранее рассматривались как решающий

---

<sup>2</sup> Смирнов В. И. Конвергентность колчеданных месторождений. — «Вестник МГУ». Серия геол., 1960, № 2, с. 19—26.



аргумент за высокотемпературный глубинный процесс минералообразования. Таковы магнетит, оловянный камень и др. Ныне экспериментально установлено, что в определенных условиях они могут формироваться и при низких температурах. Стали известны месторождения, например оловянного камня или магнетита, сформировавшиеся в условиях осадкообразования. Примеров подобного рода можно привести очень много. Существенно для них то, что многие генетически «однозначные», определяющие, «решающие» признаки для объяснения генезиса того или иного геологического образования по мере расширения и детализации исследований и открытия новых объектов утратили это ценное качество. Во всяком случае возникло положение, при котором мы должны уже серьезно учитывать, что реконструкция генезиса любого природного объекта сталкивается с «конвергентной неопределенностью»<sup>3</sup> многих его генетических признаков.

### ГЕНЕТИЧЕСКИЙ И АГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ В ГЕОЛОГИИ И ПРОБЛЕМА ПРИЧИННОСТИ

Вопрос о конвергенции генетических признаков включает известное противоречие между истинным генезисом явления и его отображением в нашем представлении. Каждое конкретное явление возникает вполне определенным образом, будучи в этом смысле объективно генетически однозначным. Однако при реконструкции его генезиса исследователь, в силу многих объективных и субъективных причин, сталкивается с необходимостью выбора из ряда возможных, по его мнению, решений одного «истинного». В данном «конкурсе» генетических заключений в определенных случаях действительно истинное решение (как просто еще неизвестное) может даже не участвовать.

Поскольку неопределенность в решении генетической задачи заложена прежде всего в самих методах ее решения, преодоление разногласий идет по двум линиям.

---

<sup>3</sup> Поспелов Г. Л. О проблеме конвергенции в петрографии и геологии. — В кн.: Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород. М., 1963, с. 260—271.

С одной стороны, повышается точность генетической диагностики путем разработки более детальных и разносторонних ее методов, выяснения новых возможных механизмов образования явлений данного вида, новых содержательных генетических признаков и т. д. С другой стороны, рассматривая «генетический подход» как некоторый метод исследования геологических объектов, мы тем самым предполагаем возможность замены его другим, «агенетическим» методом, свободным от недостатков «генетического» метода.

Действительно, как показывает старый опыт, многие осложненные конвергенцией задачи геологии, в частности задачи поисков месторождений полезных ископаемых, могут быть решены и без генетических построений, на эмпирической базе некоторых закономерных ассоциаций. Ныне для этого используются также математические методы. Известно немало положительных практических результатов таких разработок, фактически открывших перед геологами новую широкую область для их аналитической деятельности.

Однако при обсуждении основ и возможностей новых методов геологического анализа вопросы метода ошутимо столкнулись с вопросами методологии. Дело в том, что у некоторых геологов и работающих вместе с ними математиков возникло мнение, что генетический подход в геологии порочен в своей основе и что кардинальной задачей в дальнейшем развитии геологии является общий переход от генетических к агенетическим построениям. Уже из этого можно видеть, что речь, в сущности, идет не только о методе, но и о принципиальной методологической проблеме — причинности и ее месте в геологической науке. Особенно ярко это сказалось в прошедшей недавно широкой дискуссии о соотношении генетического и агенетического подходов в геологии. Результаты дискуссии изложены в разных книгах и сборниках, наиболее примечательна из которых работа Ю. А. Воронина и Э. А. Еганова<sup>4</sup>. Основное заключение этих авторов состоит в том, что генетические представления могут быть полезными лишь для «сокращенного и эмоционального

---

<sup>4</sup> Воронин Ю. А., Еганов Э. А. О генетическом и агенетическом направлениях в геологии.

представления фактического материала». Решение же всех практически важных геологических проблем с учетом новых вычислительных возможностей вполне осуществимо и даже более рационально проводить без привлечения генетических построений — на основе только тех сведений и допущений, которые непосредственно вытекают из экспериментально наблюдаемых фактов. Генетические рассуждения при этом могут не только осложнить решение, но и сделать его неверным.

Поскольку в генетических построениях нет ничего, кроме данного в описаниях (причинные связи сами по себе не вытекают из опыта, а представляют собой логические выведения из него, опирающиеся на описания), на первый взгляд кажется логичным вопрос, нужен ли геологии генетический анализ вообще.

Сторонники «агенетизма» в геологии ставят вопрос так, как будто это касается только методов геологического познания. Между тем в «антигенетическом» его акценте (а во время прошедших дискуссий он проявился в достаточно категоричных формах) весьма явственно проступают старые идеи позитивизма. Известно, что крен в сторону позитивизма неизбежно приводил исследователей к фетишизации согласования терминов, гипертрофированию одностороннего структурного подхода и роли абстрактно-логических схем и в конечном счете к сведению исследования к бесчисленным формальным классификациям. В связи с этим нельзя не обратить внимания на то, что именно к такому гипертрофированию и приводились многие исследования в геологии на путях ее формализации в целях приведения геологических задач к модельным математическим «агенетическим» представлениям. Оказалось, что мощный метод математического моделирования, позволяя решать многие ранее недоступные геологу задачи, при конкретном использовании имеет свои пороки и ограничения, которые невозможно преодолеть формальными средствами без диалектического рассмотрения взаимоотношений между формалистикой абстрактно-математических методов и историко-генетическим принципом в геологии, без глубокого изучения диалектики связей между генетическим и агенетическим подходами к анализу природных геологических явлений.

## СООТНОШЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ И АГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЯВЛЕНИЙ И ЗНАЧЕНИЕ ЦЕЛЕОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ФАКТОРА

Соотношение генетического и агенетического подходов к исследованию геологических, как, впрочем, и других естественных объектов, в определенной мере зависит от его цели. Причинное знание необходимо для общего понимания сущности явлений, поиска еще неизвестных явлений на основе изучения механизмов развития известных систем, прогноза течения процессов и их распределения на базе известных механизмов развития систем и т. д. При постановке таких задач ведущую роль приобретает генетический анализ. Когда же главная цель ограничивается выяснением типов и закономерностей функциональных связей между известными предметами и явлениями, исчислением их предельных и оптимальных характеристик, прогнозами качества, масштаба, местонахождения или времени появления конкретного предмета или события известного вида на основе сравнений с уже известными ассоциациями и т. д., ведущее значение приобретает агенетический подход. Однако никакие задачи исследования сложных природных объектов не могут быть исчерпывающе решены «чистыми» генетическими или агенетическими средствами. Только посредством крайней примитивизации задачи можно искусственно обойтись без сочетания генетического и агенетического анализа.

Следует заметить, что в истории геологической практики агенетический подход широко использовался в так называемых «проспекторских» поисках полезных ископаемых на основе эмпирического набора ассоциаций месторождений с теми или иными породами, структурами, минеральными сообществами и т. д. Научный уровень таких исследований был относительно низок. Крупнейшим успехом последних лет явилось открытие для геологов новых возможностей и приемов агенетического анализа, использовавшихся ранее в других разделах знания, в том числе в технике. Полученные при этом некоторые эффективные результаты, особенно по прогнозам местоположения, масштабов и качества искомых месторождений полезных ископаемых, породили новые надежды и оптимистические суждения о всесии новых машинизирован-

ных агенетических методов в геологии. Вместе с тем в определенной мере это содействовало развитию среди сторонников примата агенетического подхода в геологии и особенно среди принципиальных «антигенетистов» утилитарно-прагматического отношения к последней.

Но в исследовании важнейших объектов природы не может быть задач, ограничивающихся только нуждами текущей практической деятельности. Оно всегда включает в себя элемент общего познания, без которого наука мертва, а человечество слепо. Диалектика отношений общего теоретического и практического знания такова, что человечество неизбежно находит пути к практической реализации даже самых абстрактных и, казалось бы, далеких от практики сведений. В полной мере это касается и геологии. Людям не все равно, на какой планете они живут, как она устроена, как образовалась и развивалась, какие катастрофы, когда и где можно ожидать от нее, как их предотвратить, какую ее энергию можно использовать. Вместе с тем Земля — пока единственная доступная нам планета-лаборатория, позволяющая исследовать влияние масштабных по объемам и времени факторов на развитие физических процессов и свойств физических тел за пределами возможностей обычных экспериментальных лабораторий. Таких общенаучных задач исследования Земли немало.

Отношения между генетическими и агенетическими элементами в геологии имеют характер отношений сторон диалектического противоречия, которые нельзя решать посредством их взаимного отрыва.

В самом деле, до тех пор пока формализация геологической задачи ведется с помощью математических индексов, входящих в формулы, программы и т. д., все кажется логически строгим и однозначным, поскольку конечная цель — поиск однозначного решения. Однако когда на место абстрактных индексов подставляются их конкретные значения, начинаются столкновения с неоднозначностью.

Например, отыскиваются формальные закономерные ассоциации месторождения с определенными породами и надо проставить названия этих пород. Систематика пород определена, но когда она прилагается к конкретному объекту, который во много раз сложнее общей модели, характеризуемой принятым набором определяю-

щих признаков, то возникают осложняющие вариации. Например, одни называли некоторую породу «песчаник», а другие — «туфопесчаник». Обе породы могут быть очень похожи друг на друга, но разница существенная: в первом случае не участвует материал вулканических извержений (порода осадочная), а во втором участвует (уже генетический элемент!), что может существенно сказаться на смысле и результате проводимого исследования. Хочет этого исследователь или нет, но, столкнувшись с такой задачей, он должен акцентировать внимание и на генетической стороне вопроса: участвовал ли вулканизм в формировании данной толщи? С такими неопределенностями, казалось бы, формальной диагностики, которые имеют генетический подтекст, геологи встречаются постоянно. Попытки обойти эту трудность посредством дальнейшей детализации формальных определений на практике приводят к заколдованному кругу бесконечных дополнений и приобретению «однозначными» формулировками данных понятий длинного и все более запутанного содержания, ибо формализация определений понятий принципиально неисчерпаема и, как показывает практика, многовариантна.

Таким образом, конвергентность генетических признаков представляет собой нечто такое, что обусловлено не недостаточностью наших знаний или методов исследования, а самой природой вещей и уже в силу этого относится к проблемам общеприродного плана.

## КОНВЕРГЕНЦИЯ И ДИВЕРГЕНЦИЯ В ГЕОЛОГИИ

Термин «дивергенция» происходит от латинского слова, означающего расхождение, отклонение, и характеризует различие признаков у генетически родственных явлений. Сходимость признаков у генетически разнотипных явлений и расхождение признаков у генетически однотипных противостоят друг другу как две стороны диалектического противоречия, что уже подчеркивал ранее Р. О. Радкевич<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Радкевич Р. О. Проблема конвергенции и дивергенции признаков природных объектов в геохимии. — «Бюллетень общества испытателей природы (отделение геологии)», 1969, т. X, IV.

Явления дивергенции, так же как и конвергенции, вносят в исследования конкретных объектов свою неопределенность. Различие генетических признаков принимается в качестве доказательства различия генезиса объектов подобно тому, как их сходство считается свидетельством их генетического тождества. Если бы явления конвергенции и дивергенции отсутствовали, генетическая диагностика упростилась бы фундаментально. Но они существуют и вносят в суждения о генезисе неопределенность, которая может быть конвергентной, дивергентной и сложнокомбинированной.

Приведем пример. Среди пород «изверженного» типа есть особые образования — «аплиты» и «пегматиты», которые, имея в общем близкий химический и минералогический состав, резко различаются структурно: аплиты — это мелкозернистые породы (иногда даже тонко- и микрозернистые), а пегматиты — крупно-, иногда гигантокристаллические. Кроме того, среди пегматитов выделяются «письменные граниты», в которых более крупные кристаллы полевого шпата прорастаются более мелкими вростками кварца, похожими на древние письма. Аплито-пегматитовые образования возникают порознь и совместно и, как полагали ранее, представляют собой гнездовые и жильные продукты кристаллизации особых эвтектических «остаточных расплавов».

Одним из доказательств их генезиса считались «письменные граниты» как типичные эвтектические образования, структура которых обусловлена совместной кристаллизацией из эвтектического расплава кварца и полевого шпата в закономерных пропорциях. Образование в единой генетической системе в одном месте из одного и того же в вещественном и общезыическом отношении материала (расплава) одним способом (кристаллизация расплава) столь структурно различных пород, как аплиты и пегматиты, является ярким примером дивергенции. Размеры зерен и структурные их сочетания представляют в данном случае дивергентные признаки, обусловленные вариациями единой генетической системы. Однако в дальнейшем выяснилось, что такие же породы могут формироваться не только путем кристаллизации магмы, но и метасоматически, т. е. путем твердотного замещения под действием активных специализированных растворов одних (разных) исходных пород другими, характерными — ап-

литами и пегматитами. Даже письменные граниты, как оказалось, могут образовываться не путем одновременной кристаллизации эвтектики, а посредством последующего прорастания метасоматическими вростками кварца ранее сформированных кристаллов полевого шпата.

Приведенный пример, на наш взгляд, подчеркивает диалектическую противоречивость и взаимосвязанность процессов конвергенции и дивергенции при всей их самостоятельности. Их диалектические отношения отчетливо проявляются в таких разных и вместе с тем сопутствующих друг другу и сопряженных процессах, как «изоморфизм» и «полиморфизм». Применительно к минералам изоморфизм — это кристаллографическое сходство минералов разного состава (конвергенция кристаллографических свойств), а «полиморфизм» — это кристаллографическое разнообразие минералов одного состава (дивергенция кристаллографических свойств). Явления типа изоморфизма и полиморфизма минералов ныне установлены также во многих других геологических явлениях.

Таким образом, конвергенция и дивергенция представляют собой отражение неких достаточно общих закономерностей реального мира, которые в еще более общей форме отражаются в соотношениях тождества и различия. Однако неразработанность в общефилософском и частнонаучном планах проблем конвергенции и дивергенции генетических свойств реальных явлений тормозит их сознательное применение при естественнонаучном анализе.

### УРОВНИ КОНВЕРГЕНЦИИ И МНОГОУРОВНЕВЫЙ АНАЛИЗ СУЩНОСТИ ЯВЛЕНИЙ

Пока речь о генезисе объекта данного типа идет в плане общей типизации и выяснения принципиальной возможности вариаций, многие соглашались с тем, что приблизительно похожие образования действительно могут возникать несколькими, в том числе существенно разными путями. Однако когда дело касается генетической диагностики данного объекта, а не вообще объектов подобного вида, мнения часто расходятся и становятся иногда диаметрально противоположными. Нетрудно заметить, что



в гносеологическом плане это относится к области соотношений абстрактного и конкретного, идеального и реального, возможного и действительного. Отбор какого-то одного решения из множества возможных выступает одной из форм конкретизации научной идеи или систематики в реальном индивидуальном случае. И здесь мы прежде всего сталкиваемся с проблемой уровней конвергенции (и дивергенции).

Что же мы имеем на общем уровне элементарных геологических признаков? Резкий контакт — это конвергентный диагностический признак, а просвечивающие структуры — определяющий, т. е. неконвергентный признак. Если просвечивающих структур нет, резкий контакт данного тела держит нашу генетическую диагностику в рамках конвергентной неопределенности. Но вот мы производим уточнение деталей резкого контакта по ряду других признаков, кроме резкости, и находим, что это не след стенки полости, заполненной данным телом, а, скорее, след фронта замещения. В данном случае мы отошли от уровня наиболее общей элементаризации признака («резкий контакт») и встали на уровень комплементарного определения контакта по множеству его свойств. Аналогичных результатов мы могли достичь и косвенным путем, рассматривая не детали свойств самого контакта, а другие признаки формирования данного тела, например наличие в нем сквозных просвечивающих структур. Если таковые есть и они достаточно широко развиты, данное тело можно отнести к телам замещения, а его резкую границу — к следам резкого фронта замещения. Таким образом, конвергентная неопределенность преодолевается в данном случае переходом от элементарных к комплементарным признакам, от прямых признаков (по отношению к природе данного контакта) — к системе определяющих косвенных признаков.

Вместе с тем для уточнения состояния вопроса при генетической неопределенности ведущих общих признаков оказывается полезным конвергентно-генетические термины выражать как агенетические. Так, в геологии появились и получили большое распространение термины: «стратиформные» месторождения, т. е. месторождения пластового типа, которые могут иметь различный генезис; «вулканотипные» породы и толщи, похожие на вулканические, но иногда имеющие иное происхождение, связан-

ное с явлениями магматогенного замещения и т. д. В рассматриваемых случаях приближение к реальности осуществлялось путем перехода от одного уровня абстракции геологического понятия к другому, более конкретному, от элементарной модели — к более сложной — резкий контакт, характеризующийся такими-то признаками фронта замещения. Предположим, мы доказали, что данное тело образовалось путем замещения. Однако это не означает, что мы вышли за пределы конвергенции: она вновь появляется на другом структурном уровне (физических и физико-химических процессов), так как замещение может произойти различными способами. Это не всегда учитывалось потому, что некоторые геологи сменявали геологический и физический уровни исследований, полагая, что если данный геологический случай не укладывается в рамки известных традиционных физических решений, то он невозможен и описание его ошибочно, какие бы геологические доказательства ни приводились. Характерно, что обращение к физике как критерию истинности обычно делалось на основе относительно примитивных физических представлений о геологических процессах.

Чтобы перейти с геологического уровня на физический, геолог должен осуществить не произвольный скачок, а некоторую систему операций отбора и дополнения признаков, позволяющих перевести геологическую генетическую модель — в физическую. Он должен отобрать или получить путем специальных измерений ряд физических показателей, позволяющих сформулировать соответствующую геологофизическую модель<sup>6</sup>. Если на уровне геологической задачи геолог приводит свое генетическое заключение к некоторой наиболее обобщенной типовой форме, имеющей собственно геологическое содержание и относящейся к геологическим закономерностям (геологическое замещение), то на уровне физической задачи, он приводит его к некоторым процессам, основанным на общих физических законах. Здесь мы сталкиваемся с различием в содержании понятий «геологического»

---

<sup>6</sup> Пospelов Г. Л. Методологические вопросы и задачи геолого-физического и физико-химического моделирования рудообразующих и магматических процессов. — В кн.: Физика и физико-химия рудообразующих процессов. Новосибирск, 1971, с. 3—16.

и «физического». Когда мы имеем дело с какой-либо реальной геологической системой, мы оперируем с бесконечно сложным реальным образованием, находящимся в многосложных структурных, вещественных, исторических и генетических отношениях с некоторым множеством других систем. Выявляя геологическую закономерность в «чистом» виде, мы искусственно отвлекаемся от многих ее свойств и связей и выражаем ее в понятиях, подразумевающих комплементарное, неполностью раскрытое содержание. Геологические закономерности всегда обуславливаются групповыми взаимодействиями и взаимосвязями множества реальных причин, из которых мы выбираем наиболее существенные для определения понятий.

Вместе с тем, сводя при своих объяснениях причин групповые по содержанию геологические, биологические и другие закономерности целиком к «чистым» физическим законам, мы ограничиваемся, по существу, предельными случаями, так как эти законы устанавливаются средствами теоретического и экспериментального исключения усложняющих связей. Тем самым мы практически вносим в решение вопроса некоторую неопределенность и известную субъективность, присущую всем способам элементаризации сложного явления до «чистой» модели, производимой для удобства или практической возможности его более «точного» исследования. Очевидно, что выход из этого в какой-то мере порочного круга лежит в области исследования групповых эффектов и закономерностей также и на физическом структурном уровне материи. К таким закономерностям начинают все более обращаться современная физика и химия.

Из сказанного выше, с одной стороны, вытекает положение о принципиальной несводимости геологических систем и закономерностей к физическим. С другой стороны, отсюда следует, что конвергентность генетических признаков является многоуровневой и может быть преодолена только средствами многоуровневого комплементарного геолого-физического анализа.

**Конвергенция и формы конкретного множества.** Для конкретизации вопроса о способах преодоления конвергентной неопределенности остановимся на отношениях конвергенции к некоторым формам множества типов и свойств различных материальных единиц и систем, не ка-

саясь вопросов математического учения о множестве. Каждый конкретный объект обладает определенными индивидуальными и типовыми особенностями и принадлежит некоторому множеству подобных ему единиц того же типа (множество повторения). Для наших целей существенное значение имеет то, что в реальном мире обнаруживаются две тесно связанные и взаимозависимые формы таких конкретных множеств: несчитываемое неограниченное (бесконечное) множество и, наоборот, сосчитываемое ограниченное (конечное) множество, лежащее в основе определенных решений при поисках конкретной сущности рассматриваемых объектов.

Основным проявлением неограниченного несчитываемого множества в конкретном выступает неограниченность свойств любого конкретного предмета. Даже так называемый «элементарный» объект обладает своими особенностями, которые не повторяются в других объектах и делают его в известном отношении единственным среди всех. В частности, это достаточно остро чувствуется при любом конкретном геологическом исследовании. Каждый геологический объект, в чем-то повторяя другие объекты того же типа, в то же время является своеобразным, неповторимым, что вносит в системный анализ конкретных объектов немало трудностей. Исходя из этого у некоторых геологов развилась даже своеобразная негативная реакция на «математизацию» геологии, имеющая характер «негативного позитивизма». Она исходит из представления о том, что в основе геологии должно лежать бесконечное описание конкретных природных объектов и их систематика на собственно геологическом уровне. Что же касается применения для анализа геологических явлений физических и тем более логико-математических методов, то это уже отход от геологии, от реальной сложности геологических объектов, заменяемых упрощенными физическими и математическими моделями.

Наряду с неисчерпаемостью свойств конкретного, последнее обладает и элементами исчерпаемости, конечности, поскольку конечное является атрибутом бесконечного. Их поиск и определение принадлежат к важным задачам конкретного исследования. Так, в каждом конкретном объекте или типе можно найти проявления двух таких форм ограниченного множества, как константы и сосчитываемое множество.

Константы выступают предельными формами ограниченного множества и характеризуют элементы неизменности в системах. Они могут иметь характер «постоянных», коэффициентов или жестко ограниченного сосчитываемого множества. Например, количество классов и видов симметрии кристаллов определено и конкретная симметрия реальных кристаллов не выходит за пределы этой определенности. Сосчитываемое множество конкретно привязано к естественным ограничениям отдельных объектов и систем и вытекает из природы единичного, поскольку каждый объект бесконечной природы конечен. Среди форм сосчитываемого множества рассмотрим три типа, определяемые встречаемостью, массораспределением и распространением конкретных единиц.

Встречаемое сосчитываемое множество определяет ограниченное количество каких-то типовых или конкретных единиц, представленных в данном объекте. Примером его может служить количество типов химических элементов в минерале данного вида или число типов минералов, встречающихся в земной коре, которое, кстати, не очень велико. Массораспределенные сосчитываемые множества определяют главенствующее и подчиненное количество определенных типовых или конкретных единиц, представленных в данном объекте. Например, если мы обратимся к минеральному составу той же земной коры, то увидим, что основная ее масса сложена так называемыми «породообразующими минералами», составляющими лишь небольшую часть из общего встречаемого множества минеральных типов. Сосчитываемое множество распространения определяет пределы встречаемости единиц данного типа среди различных по типам объектов. Так, в разных типах горных пород встречаются одни и те же виды минералов, но их распространение различно. Одни минералы, например кварц, встречаются среди пород самых различных типов и классов. В то же время имеются и типы пород, в которых кварц отсутствует. Другие минералы, например нефелин, встречаются лишь в немногих типах пород.

Рассмотренные формы множеств проявляются и в наборах видоопределяющих (классоопределяющих и т. п.) свойств, что имеет важное значение для рассматриваемого нами основного вопроса. Видоопределяющие свойства — это только часть всех бесчисленных свойств, которые

можно установить в конкретных представителях определенного типа. При этом, как показывает опыт, набор важнейших свойств, присущих конкретным объектам данного типа, также ограничен по сравнению со всеми свойствами, которые так или иначе можно включить в его характеристику. Здесь имеется свое массораспределение, что и учитывается при отборе определяющих типовых признаков. Однако если в начале, при выделении типа, обычно учитывается очень ограниченное количество типовых признаков (иногда укладывающихся в одну короткую определяющую фразу), то по мере детализации исследований число их нарастает и становится иногда настолько большим, что определение типа начинает расплываться и его приходится ограничивать искусственно. Тем не менее и такие «обрезаемые», «избранные» определения позволяют решать реальные задачи благодаря действию законов массораспределения определяющих признаков по их важности и через влияние стандартизации исследования путем употребления идентичных определенных понятий.

Поскольку количество всех свойств конкретного безгранично, а количество определяющих типовых свойств ограничено, существуют бесчисленные градации переходов между видами, субвидами и т. д. Эмпирическое искусство исследователя в том и заключается, чтобы найти границу множества наблюдаемых в природе признаков данного типа, за которой начинается неограниченное множество различных свойств объекта и где закономерности распределения свойств по данным типовым градациям начинают расплываться. То, что это можно сделать средствами формального анализа, составляет его силу и способность открывать объективные закономерности независимо от причинного анализа. Однако выявленная формальным способом закономерность, по существу, оказывается открытием определенного случая причинных связей. От того, что мы почему-то не хотим их знать, они не потеряют своего объективного свойства, а признаки данных явлений и их закономерных отношений в рамках принятого, ограничивающего типизацию фактора не станут объективно агенетическими, как бы ни откращивались от их генетических свойств иные формализаторы-антигенетики.

Среди факторов, ограничивающих типизацию естественных объектов исследования, а следовательно, отбор признаков до уровня наибольшей конкретности, генети-

ческий фактор занимает особое место. Имеется немало попыток формализовать понятие о генезисе, в том числе, сводя его к изменениям в системе, характеризующимся появлением в ней какого-то нового качества. Например, Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов предлагают понимать под генезисом процесс изменения замкнутой в математическом смысле системы, который протекает с некоторого условного начального момента до некоторого другого фиксированного момента, когда в системе появляется новое качество, момент возникновения которого и является генезисом новой системы<sup>7</sup>. Некоторые исследователи, математически описывающие определенные зависимости и направление развития рассматриваемых геологических систем, в частности с физико-химической точки зрения, пользуются понятием «генезис» именно в этом смысле.

Однако такой подход равноценен типизации, производимой по элементам общности в любом произвольном подборе объектов. Кроме того, он в принципе позволяет считать генезисом любое изменение на любом уровне, ведущее в любой отрезок времени к некоторым качественным изменениям в условно принятой системе объектов. При таком подходе в любой подобной системе можно выявить бесчисленное множество «генезисов», как и бесчисленное количество «типов» систем, протекающих в них процессов и т. д. Приведение данного неограниченного множества к ограниченному, если оно основано не на произвольном и случайном отборе, в том числе условном отборе начального и конечного моментов в измерениях системы, а на объективно существующих факторах, требует выделения объекта данного качества в пространственно-временных границах от момента его появления до момента его исчезновения или стабилизации в присущем ему объеме. Все, что ведет к появлению такого объекта с данными естественными границами и данным набором характерных типопределяющих свойств, и есть его генезис, т. е. основная причина появления данного объекта в данном его качестве. Такой подход предполагает выделение из множества свойств объекта генетических свойств, характеризующих его истинное происхождение в данном качестве. Генетический анализ такого объекта дол-

---

<sup>7</sup> Воронин Ю. А., Еганов Э. А. О генетическом и агенетическом направлениях в геологии.

жен вестись в рамках этих, а не любых свойств (параметров) и не любых отрезков времени в породившей их генетической системе, если мы хотим познать именно генезис данного конкретного явления в его естественных границах, а не отдельных произвольно ограниченных его элементов.

Однако генетические свойства или признаки данного типа не обязательно должны быть присущи только объектам данного типа. Опыт показывает, что многие из них свойственны и объектам других типов, где они могут иметь в одних случаях генетическое, а в других — негенетическое значение и разные причины образования. В природе многократно повторяются не только объекты определенного типа, но и многие свойства, выступающие как элементы тождества в объектах разных типов. Здесь мы встречаемся с законом множества в повторениях, проявляющимся в реальном мире не только через повторяемость тех или иных свойств материальных объектов в объектах других типов. Относительно генетических признаков для сравниваемых объектов разных генетических типов это и есть конвергенция данных признаков.

От того, что объекты разных генетических типов будут обладать конвергентными генетическими признаками, эти объекты не станут генетически однозначными, слившимися друг с другом в типовом отношении. Слияние разнородных систем в одну однородную, которое в некоторых случаях называют конвергенцией, обуславливается общностью не конвергентных, а тождественных свойств, присущих объединяющимся системам и обеспечивающих их взаимообъединение в новую систему. При этом в пределах последней они могут сохранить свою индивидуальность и свое конвергентное подобие, если они не взаимосливаются при объединении.

Повторение генетических признаков конвергентного типа может происходить на разных стадиях одной и той же системы, в разномасштабных структурных и других проявлениях одной и той же системы и т. д. В последнее время интересные разработки явлений повторения определенных свойств магматических и рудных систем по типу филогенеза и онтогенеза проведены Д. В. Рундквистом<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Рундквист Д. В. Онтогенез и филогенез грейзеновых месторождений. (Автореф. докт. дисс.). Л., 1968, 47 с.



По существу, это тоже можно отнести к проявлениям конвергенции в геологии.

Важной формой конвергенции выступает подобие результатов, полученных под действием одной какой-либо причины и множества разнородных, но сходно-действующих причин. Этот случай принадлежит, по-видимому, к числу наиболее распространенных. В геологии, где каждое геологическое событие совершается под действием множества причин, ретроспективно выделить истинную долю каждой в общем результате иногда практически невозможно. В этом случае разные односторонне действующие причины, накладываясь, могут дать некоторый комплементарный групповой результат, конвергентно подобный тому, который мог бы быть получен и под действием одной какой-либо причины, если бы в данной конкретной системе не участвовали и другие причинные составляющие. Этот случай можно назвать «поликонвергенцией». В геологии уже начинает приобретать довольно широкое распространение термин «полигенетический», применяемый по отношению ко многим рудным, нефтяным и другим месторождениям, магматическим образованиям, тектоническим структурам и т. д. Это не исключает моногенетических объектов, связанных с действием одной причины. Но в большинстве случаев такая моногенетичность относительна и связана с преобладающим (решающим и т. д.) значением одной ведущей причины, накладывающей основной отпечаток на характер свойств формирующегося объекта, при одновременном действии и других причин. Следует заметить, что у многих геологов проявляется известная склонность к моногенетическим решениям, основанным на отыскании «подходящей» для данного случая причины, без обращения к другим возможным причинам и без определения конвергентности генетических признаков. Такой подход имеет свои методологические корни, связанные с представлением о том, что комбинационные эффекты являются лишь усложняющими по отношению к прямым, которые и лежат в основе всех процессов.

Кроме рассмотренных выше можно привести примеры еще некоторых форм проявления конвергенции. Следовательно, будучи одной из форм множества повторений, конвергенция сама оказывается множественной в типовом отношении. Это свидетельствует о существовании некото-

рой обширной системы конвергенции, требующей для своего раскрытия специального системного анализа и даже составления таблиц диапазонов распространения и массораспределения конкретных конвергентных признаков по объектам различных генетических типов.

Рассмотренные выше особенности причинного анализа в связи с явлениями конвергенции (и отчасти дивергенции) генетических признаков различных природных объектов разобраны нами на геологических примерах. Однако, если бы все геологические примеры мы заменили примерами из биологии, медицины, астрономии и т. д., все выводы можно было бы оставить без изменений. Автор многократно обсуждал эти вопросы с представителями других естественных наук и в ответ на приводимые геологические аргументы часто слышал замечания: «А у нас то же самое». Подобным образом высказывались и представители некоторых гуманитарных наук. Нет сомнения, что затронутая проблема касается весьма насущных нужд, по крайней мере современного естествознания, и заслуживает самого серьезного отношения. Необходимо привлечь внимание естествоиспытателей из разных областей науки и специалистов-философов к важности обстоятельной совместной разработки назревших проблем конвергенции и дивергенции в естествознании, обладающих, на наш взгляд, первостепенной важностью как в теоретическом, так и в практическом плане диагностики причинности в конкретных явлениях природы.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Р а з д е л I. Общие проблемы детерминизма в естествознании

Г. Герц (ГДР). Концепция детерминизма в марксистско-ленинской философии и современная наука . . . . .	5
А. Мюллер (ВНР). Детерминизм и динамизм . . . . .	31
К. И. Иванова. Философский и естественнонаучный аспекты принципа причинности . . . . .	55

## Р а з д е л II. Проблемы детерминизма в физике

А. Поликаров (НРБ). Детерминизм и индетерминизм в физике . . . . .	76
Б. И. Спасский. Формы выражения принципа причинности в физике . . . . .	107
А. Г. Чусовитин. Взаимодействие и причинность в физике . . . . .	131
О. С. Разумовский. Взаимосвязь симметрии, сохранения и причинности в вариационных принципах физики . . . . .	143
А. В. Ерахтин. Принцип причинности в специальной теории относительности . . . . .	164
В. Л. Любошиц, М. И. Подгорецкий. Проблема тождественности в квантовой механике . . . . .	185
Р. С. Сейфуллаев. Эвристическая функция принципа причинности в теории элементарных частиц . . . . .	210
В. С. Барашенков, Ф. Г. Жереги. Принцип причинности в современной физике элементарных частиц . . . . .	229
В. Н. Байер. Причинность и некоторые проблемы физики элементарных частиц . . . . .	246
Д. В. Ширков. Условия причинности в теории полей . . . . .	265

## Р а з д е л III. Проблемы детерминизма в биологии и медицине

И. Т. Фролов. Причинность и целесообразность в современной биологии . . . . .	279
Г. И. Царегородцев. Причинность в медицине . . . . .	296

## Р а з д е л IV. Проблемы детерминизма в геологии

<b>Г. И. Поспелов.</b> Проблема причинности и явление конвергентной неопределенности в геологии . . . . .	313
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

# СОВРЕМЕННЫЙ ДЕТЕРМИНИЗМ И НАУКА

Том 2

Проблемы детерминизма в естественных науках

Ответственный редактор

Геннадий Александрович Свечников

Редакторы Н. П. Юрива, И. Г. Зыкова  
Художественный редактор Э. С. Филонычева  
Художник В. В. Растегаев  
Технический редактор А. В. Семкова  
Корректоры Н. Г. Примогенова, Л. А. Егорова

---

Сдано в набор 29 августа 1974 г. Подписано в печать  
11 марта 1975 г. МН 00024. Формат 84×108  $\frac{1}{32}$ . Бу-  
мага типографская № 2. 10,5 печ. л., 17,6 усл.-печ. л.  
17,5 уч.-изд. л. Тираж 5200 экз. Заказ № 199.  
Цена 1 р. 25 к.

---

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099,  
Новосибирск, 99, Советская, 18.  
4-я типография издательства «Наука». 630077,  
Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

### Замеченные опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
87	21 сверху	$I_e$	$I_c$
119	5—6 сверху	с и ѿ	с и ѿ
178	5—6 снизу	естественно научное	естественнонаучное
269	3—4 сверху	в соответствии	в соответствие
303	15 снизу	на изучение	на изучении