

В. С. Готт, Ф. В. Недзельский

**Диалектика
прерывности
и непрерывности
в физической науке**

философия и естествознание



В. С. ГОТТ, Ф. В. НЕДЗЕЛЬСКИЙ

ДИАЛЕКТИКА
ПРЕРЫВНОСТИ
И НЕПРЕРЫВНОСТИ
В ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКЕ

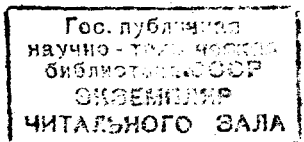
Контрольный экз.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЫСЛЬ»

МОСКВА 1975

53
Г73



78-11414

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ

Б-75

25

Г $\frac{10502-003}{004(01)-75}$ БЗ-54-7-74

© Издательство «Мысль». 1975

ВВЕДЕНИЕ

На всех этапах истории естествознания обнаруживается объективная тенденция взаимосвязи и взаимообогащения материалистической философии и частных наук. В ходе научных исследований естествоиспытатели взаимодействуют с материальными объектами и тем самым практически решают основной вопрос философии с позиций материализма, признают осознанно или неосознанно существование вне и независимо от познающего субъекта объективной реальности, т. е. материального мира. Это стихийное, часто неосознанное решение основного вопроса философии, на наш взгляд, удачно выразил А. Эйнштейн, который писал, что «вера в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта, лежит в основе всего естествознания»¹.

Получаемые знания об окружающей действительности ученые выражают с помощью понятий, категорий, законов науки, рассматривая их как отражение в сознании человека объектов, их свойств и взаимодействий. «...Итоги естествознания, — писал В. И. Ленин, — суть понятия, а искусство оперировать с поня-

¹ «Эйнштейновский сборник». М., 1966, стр. 7.

тиями не прирождено, а есть результат 2000-летнего развития естествознания и философии»².

В современных условиях, когда имеет место ускорение темпов развития науки и техники, происходит дальнейшее укрепление объективной тенденции взаимосвязи материализма и частных наук, возрастание роли понятийного аппарата в развитии научного знания. «Истинная наука, — писал М. Борн, — философична; физика, в частности, не только первый шаг к технике, но и путь к глубочайшим пластам человеческой мысли. Подобно тому как триста лет назад физические и астрономические открытия развенчали средневековую схоластику и открыли путь к новой философии, сегодня мы являемся свидетелями процесса, который, начавшись, казалось бы, с незначительных физических явлений, ведет к новой эре в философии»³.

Развитие современной науки и техники характеризуется усилением тенденции к их единству, ибо, как справедливо указывал еще К. Маркс, «если производственный процесс становится сферой *применения науки*, то и наоборот, наука становится фактором, так сказать, функцией производственного процесса»⁴. Сущность социальных функций науки заключается прежде всего в том, что она обслуживает общество теоретическими знаниями в той мере, в какой этого требует общественное производство, прогресс техники и потребности промышленности.

Наука — это особая сфера деятельности людей, особое общественное явление, функция которого состоит в осознании опыта практической деятельности человека, раскрытии законов природы и общества, в

² В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 236.

³ М. Борн. Моя жизнь и взгляды. М., 1973, стр. 63.

⁴ «Из рукописного наследия К. Маркса». — «Коммунист», 1958, № 7, стр. 22.

разработке способов и средств их использования главным образом в общественном производстве.

Наука интернациональна. Математика, естественные, технические и все другие, кроме общественных, науки по своему объективному содержанию внеклассовые. Однако их использование находится в прямой зависимости от классовой структуры общества. В условиях капитализма достижения науки и техники используются главным образом для получения максимальной прибыли монополистами, что ведет к дальнейшему усилению эксплуатации трудящихся. В условиях социализма все достижения науки и техники используются в интересах трудящихся. Генеральный секретарь ЦК КПСС Л. И. Брежнев на XXIV съезде нашей партии говорил: «Прогресс науки и техники — это главный рычаг создания материально-технической базы коммунизма... Перед нами, товарищи, задача исторической важности: *органически соединить достижения научно-технической революции с преимуществами социалистической системы хозяйства*, шире развить свои, присущие социализму, формы соединения науки с производством»⁵.

Революционный переворот в науке и превращение ее в непосредственную производительную силу являются основой технического прогресса — важнейшего элемента научно-технической революции.

Возрастание роли науки в жизни общества порождает необходимость более глубокого изучения развивающихся научных понятий, в которых суммируются знания человека об окружающей действительности.

Классики марксизма-ленинизма показали, что без понятий и категорий, закрепляющих результаты познания и служащих средством для дальнейшего более глубокого проникновения в сущность и закономер-

⁵ «Материалы XXIV съезда КПСС». М., 1971, стр. 57.

ности развития природы и общества, немислимо познание, человеческое мышление. «...Уже самое простое *обобщение*, первое и простейшее образование *понятий* (суждений, заключений etc.) означает познание человека все более и более глубокой *объективной* связи мира»⁶.

Движение познания к общему, существенному невозможно без категорий, понятий, без создания научных теорий.

Всякая научная теория есть обобщение явлений и процессов действительности, есть отражение их сущности с помощью законов, понятий, категорий. Ленин раскрыл значение понятий и категорий как ступеней, узловых пунктов познания мира, как выражения существенных связей диалектических категорий, подчеркивая их противоречивость, гибкость, взаимопереходы и т. д.

Конспектируя «Науку логики» Гегеля, он обращал особое внимание на то, что в ней развитие мира выражено в категориальной форме, что каждая отдельная категория учитывает какую-то отдельную сторону, отдельные связи и отношения целого (т. е. мира), и все категории в своем противоречивом единстве, взаимодействии и взаимопереходах выражают единое целое.

Понятия, категории, являясь результатом абстрагирующей, анализирующей и синтезирующей работы мышления, играют роль средств, с помощью которых отражается реальная действительность в человеческом сознании, а также выступают как орудия познания. П. В. Коппин и М. В. Попович писали, что «между орудиями труда и понятиями, используемыми в процессе мышления... существует некоторая функциональная аналогия. То и другое является средством,

⁶ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 161.

инструментом деятельности человека, одно — материальной, а другое — духовной, то и другое связано с использованием предшествующего опыта: в одном случае результаты познания свойств и закономерностей природы материализуются в виде орудий труда, в другом они в качестве категорий выступают ступеньками в движении мышления»⁷.

Вопрос о характере понятий, категорий — это не только вопрос о том, каково их содержание, но и о том, как они применяются в научном исследовании. Ибо характер и роль абстракций в познании можно выяснить, только рассматривая понятия, категории в процессе научного теоретического анализа действительности.

Указанное обстоятельство вызывает необходимость более всестороннего и глубокого анализа данных физики и других наук, в которых идет процесс обогащения содержания понятий, более точно отражающих объективную диалектику материального мира. Подобный анализ является одной из важнейших задач, стоящих перед философами-марксистами, разрабатывающими методологические проблемы естествознания.

Развитие физики и других естественных наук ставит перед философией теоретико-познавательные вопросы, и, если философы не дают вовремя на них ответы, специалисты в области частных наук пытаются их решить сами, что иногда ведет к возникновению путаницы, ошибок. Совместное решение теоретико-познавательных вопросов, выдвигаемых развитием естествознания, стало насущной потребностью современного познания. Обобщая накопленный в истории философской мысли опыт решения гносеологических

⁷ П. В. Копнин, М. В. Попович. Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М., 1968, стр. 73.

проблем, философы в ряде случаев оказывают существенное влияние на развитие как физики, так и всего естествознания.

Весь понятийный аппарат диалектико-материалистической философии играет заметную роль в теоретических построениях современного естествознания. Это движение понятий от философии к естествознанию (и соответственно методологическая роль философии) является важным направлением работы в области философских вопросов естествознания, существенным аспектом конструктивной разработки ленинской идеи содружества философов и естествоиспытателей.

В процессе философско-методологических исследований выявилось, что соответствующие философские категории и понятия при применении в естествознании трансформируются в систему категорий и понятий специальных наук с одновременной конкретизацией и некоторым изменением содержания. Поэтому философские категории, «проникая» в естествознание, как правило, не могут быть использованы конкретной естественно-научной теорией во всем их богатстве, глубине содержания. Обычно используется лишь какая-либо сторона, черта, признак философской категории (принципа, закона), но не вся методологическая «мощь» категории.

Использование всего богатства содержания философской категории в принципе осуществляется лишь во всем комплексе научного знания и в весьма длительном развитии соответствующих частных естественно-научных теорий. Поскольку в такой теории в данный момент используется не все содержание универсальных категорий, то это дает возможность прогнозировать вероятное развитие частной теории, осуществляя ее диалектико-логический анализ, вскрывая в зародыше те противоречия (диалектические), которые еще

в полной мере не проявились в ее развитии. Часто та или иная естественнонаучная теория в определенный момент своего становления акцентирует внимание на одной из сторон диалектического противоречия. Так, например, в классической механике теоретико-познавательный акцент был сделан на определенность, необходимость, лапласовскую причинность, динамичность и т. д. Дальнейшее развитие физики (появление квантовой механики, теории относительности и т. д.) показало односторонность, неполноту реализации идеи диалектического противоречия в категориальном «каркасе» классической механики. И не случайно последующее развитие физики, как и вообще всей науки, пошло именно по диалектическому пути. В естествознании были разработаны соответствующие теории и понятия, оказавшиеся, с известной степенью приближения, диалектическим синтезом, конкретизацией идеи диалектического противоречия.

Переплетение категорий частных наук и философских категорий, их трансформация, объединение в общую понятийную систему конкретной науки — характерная черта современного познания. Отсюда следует, что диалектико-логический анализ понятий естественнонаучных теорий является одной из важных задач философских вопросов естествознания. Он позволяет показать методологическую продуктивность категорий и законов материалистической диалектики, объяснить возникновение и становление основных понятий специальных наук при разрешении диалектических противоречий. Философские категории, поскольку они отображают диалектически развивающуюся действительность, являются единством противоположностей. Анализ противоречивой сущности категорий одновременно выполняет и прогностическую функцию, нацеливает естествоиспытателей на поиски новых противоречий и путей их разрешения.

Поскольку категориальная система диалектики в определенный момент не может целиком «воплотиться» в системе понятий естественнонаучной теории, то здесь и возникает то диалектическое противоречие между всеобщим и частным, которое содействует дальнейшему приращению специальных знаний. Естествоиспытатели заинтересованы в более полном использовании арсенала философских средств анализа научной теории, которые могут выявить перспективные возможности дальнейшего прогресса их наук. Философские категории, принципы и законы — это животворный источник новых идей для естествознания, который никогда не может быть исчерпан до конца.

Это «исчерпание» невозможно еще и потому, что научная философия представляет собой открытую систему, которая не ограничивается только существующими категориями, а черпает новое знание, в частности, из естественных и других специальных наук и тем самым обогащает как содержание своих традиционных категорий, так и пополняется некоторыми новыми категориями.

Среди всех естественных наук важная роль на протяжении последних столетий, и особенно в наш век, принадлежит бурно развивающейся физике. Ее достижения и открытия являются фундаментом технического прогресса и оказывают существенное влияние на формирование материалистического мировоззрения. Развитие физики, как и любой другой науки, связано с развитием ее понятийного, категориального аппарата и тем самым связано с развитием философии.

Все более глубокое проникновение физики в мир атомов и элементарных частиц, исследование различных видов вещества и поля настоятельно требуют более адекватного отражения объективной диалектики изучаемого физикой материального мира с помощью понятий диалектики.

В физике наряду с другими философскими категориями уже давно используются категории прерывности и непрерывности, но только в XIX и особенно в XX в. логика развития этой науки привела физиков к необходимости все чаще и чаще обращаться к арсеналу категорий материалистической диалектики, где уже в основном была раскрыта и отображена с помощью понятий объективная диалектика прерывности и непрерывности движущейся материи и ее атрибутов.

Методологическая функция категорий прерывности и непрерывности (как и других категорий материалистической диалектики) по отношению к частным наукам осуществляется прежде всего через *содержание* этих категорий. Поэтому целесообразно вначале очень кратко раскрыть эволюцию содержания понятий прерывности и непрерывности в истории философии.

Анализ «Физики» Аристотеля показывает⁸, что понятие «непрерывное» здесь определяется прежде всего через понятия единого, делимого на части в свою очередь всегда делимые (т. е. беспрдельно делимого). Соответственно понятие «прерывное» определяется Аристотелем через понятия многого, состоящего из неделимых частей. Непрерывное движение определяется им как делимое до бесконечности изменение; прерывное движение — как изменяющееся сразу.

Запишем это так:

<i>непрерывное</i>	<i>прерывное</i>
(1) единое	многое
(2) беспрдельно делимое	состоит из неделимых частей
(3) изменение делимо до бесконечности	изменяется сразу

⁸ См. Аристотель. Физика. М., 1937, стр. 113, 124, 125, 174, 198 и др.

Приведенные определения довольно четко показывают противоположность рассматриваемых понятий. Другая сторона — их единство — в определениях Аристотеля находится как бы «в тени». Это объясняется общей позицией Аристотеля, который считал, что объекты исследования либо прерывны, либо непрерывны. Отсюда в центре внимания автора — различие понятий «прерывное» и «непрерывное».

Однако у Аристотеля названные противоположности не выступали как раз и навсегда данные. Действительно, в случае (1) он показывает, что непрерывная вещь есть следствие действия, в результате которого несколько вещей образовали единство. Иными словами, можно сказать, что многое становится единым: единое есть единство многого, т. е. прерывное становится непрерывным: непрерывное есть единство прерывного. В случае (2) также оказывается, что делимое в процессе деления становится деленным, т. е. непрерывное становится прерывным: прерывное есть результат деления непрерывного. В случае (3) такой очевидной связи и взаимоперехода исследуемых категорий установить не удастся. Это объясняется тем, что Аристотель отрицал внутреннюю противоречивость движения.

Мы обратились к «Физике» Аристотеля потому, что в античный период именно в этой книге наиболее последовательно излагались вопросы прерывности-непрерывности материи, движения, пространства и времени.

Последующее развитие науки до начала нового времени ничего принципиально нового в содержание рассматриваемых понятий не внесло.

Изучение «Нового Органона» Ф. Бэкона⁹ позво-

⁹ См. Ф. Бэкон. Новый Органон. М., 1938, стр. 201—204.

ляет сделать вывод, что он под этими категориями понимал следующее:

непрерывное

прерывное

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| (4) связанное соприкосновение | разобщенное |
| (5) не имеющее частей | разделенное на части |

В случае (4) Бэкон расширял содержание исследуемых категорий по сравнению с Аристотелем. Если у последнего соприкосновение становится непрерывным только тогда, когда оно превращается в единое, то у Бэкона для получения статуса непрерывного достаточно, чтобы соприкосновение было связанным.

Рассмотрение работ Лейбница приводит к выводу, что у него¹⁰:

непрерывное

прерывное

- | | |
|---|---|
| (6) непосредственно соприкасающиеся части, не движущиеся в разные стороны | непосредственно соприкасающиеся части, движущиеся в различные стороны |
| (7) не разделено на части, нет действительных границ | разделено на части, даны действительные границы |
| (8) движение не включает скачки | движение скачкообразно |

В основном, как это видно из вышеприведенного материала, Лейбниц придерживался в этом вопросе позиции Аристотеля. Однако при рассмотрении вопроса о прерывности или непрерывности ряда предметов, частей, особенно в случае (6), он отступал от точки зрения последнего. У Аристотеля единство предметов рассматривается как непрерывность толь-

¹⁰ См. Г. В. Лейбниц. Новые опыты о человеческом разуме. М.—Л., 1936, стр. 52—53; Г. В. Лейбниц. Избранные философские сочинения. — «Труды Московского психологического общества», вып. IV. М., 1908, стр. 18, 19, 165 и др.

ко в том случае, если получается общая граница. У Лейбница этот момент не выявлен, поэтому он допускал, что относительно покоящиеся непосредственно соприкасающиеся части, образуя непрерывность, могут иметь свои границы.

Анализ работ Декарта, Спинозы, Гассенди, Локка, Толянда, Гольбаха, Канта и других философов дает основание утверждать, что они предпочитали в большинстве случаев оперировать не понятиями прерывности и непрерывности, а понятием делимости (конечная делимость — бесконечная делимость). Иными словами, у названных философов преимущественно используются определения (2, 5, 7), что свидетельствует о некотором обеднении (по сравнению с античностью) содержания рассматриваемых понятий у философов XVII—XVIII вв. (за исключением Бэкона и Лейбница).

Это обеднение проявляется главным образом в том, что в определениях (2, 5, 7) акцентируется внимание на противоположности исследуемых понятий. Другая сторона — их единство — не выявлена; тем самым затрудняется возможность взаимоперехода этих понятий. В ряде же случаев определения (2, 5, 7) приводят к парадоксам. Протяженность, к примеру, делится на части, всегда делимые. Следовательно, она непрерывна. Однако правомерно и другое толкование. Протяженность есть актуально разделенное бесконечное множество безразмерных точек, следовательно, она дискретна. Таким образом, здесь получается отождествление аспектов прерывности и непрерывности: иными словами, эти аспекты делаются неразличимыми. Причем важно подчеркнуть, что в данном случае наблюдается не диалектический переход противоположных понятий, а фиксируется тот простой факт, что перестает «работать» признак неограниченной делимости, т. е. та часть содержания понятия не-

прерывности, которая предполагалась определяющей, важнейшей для этого понятия. Очевидно, что включение в основное содержание рассматриваемого понятия такого признака, как «связь», снимает парадоксальную ситуацию.

Помимо сказанного ограниченность определения понятий прерывности и непрерывности через делимость проявляется в том, что такое понятие делимости способствует рассмотрению проблемы в основном в плане понятий пространства и времени. Понятие делимости в аспекте возможности противоположно понятию неделимости; в аспекте же действительности это понятие переходит в понятие деленности (разделенности, отделенности). Противоположным здесь будет понятие соединимости (сочетаемости, составности). В понятиях разделенности и соединимости в снятом виде уже содержится сложившаяся в течение ряда веков традиция рассматривать проблему прерывности и непрерывности только в пространственном и временном аспектах.

Эту традицию (порожденную и питаемую рядом особенностей развития науки XVII—XVIII вв.) разделяли подавляющее большинство философов и естествоиспытателей этого периода. Эта традиция оказалась настолько жизненной, что и в наше время определение категорий прерывности и непрерывности в большинстве случаев дается преимущественно в пространственно-временном аспекте¹¹. Нам представляется, что дискретные и непрерывные характеристики объектов познания должны исследоваться не только в связи с понятиями пространства и времени, хотя эти последние и занимают особое место, как характеристики атрибутов материи.

¹¹ См., например, *Философская энциклопедия*, т. 4. М., 1967, стр. 263—264.

Ограниченность определения исследуемых понятий при помощи единственного признака — делимости — приводит к тому, что становится затруднительным различать такие понятия, как «прерывное» и «часть», хотя первое понятие (т. е. «прерывное») обладает большей общностью, а второе (т. е. «часть») — богаче по содержанию.

Особо важное место в домарксистской философии занимает Гегель, который высказал интересные соображения и о категориях прерывности и непрерывности. Так, он писал: «В обычных представлениях о непрерывной и дискретной величинах не принимают во внимание того обстоятельства, что *каждая* из этих величин имеет в себе оба момента, как непрерывность, так и дискретность, и их отличие друг от друга составляет только то, какой из двух моментов есть *положенная* определенность и какой есть только в-се-бе-сущая определенность»¹².

Изучение трудов Гегеля позволяет сделать вывод, что у него:

<i>непрерывное</i>	<i>прерывное</i>
(9) единство «многих одних»	внеположенность «многих одних»
(10) саморавенство «многих одних»	сливающиеся «многие одни»
(11) безграничное	имеющее границу
(12) связанное	изолированное

Как видно из приведенного, в центре внимания Гегеля находится проблема взаимосвязи, взаимоперехода, тождества понятий «прерывное» и «непрерывное».

Действительно, если «многие одни» саморавны друг другу, то, следовательно, они образуют единство, не прерываемое никакой границей, иными слова-

¹² Гегель. Соч., т. V. М., 1937, стр. 217. См. также стр. 200—204. 431—432; Соч., т. IX, кн. I. М., 1932, стр. 229—245 и др.

ми, они образуют непрерывность величины. В то же время «многие одни», хотя они и однокачественны, сливающиеся, но они внеположены, взаимообособлены. В этой обособленности «многих одних» заключается прерывность величины. Таким образом, одно и то же («многие одни»), взятое в различных отношениях, есть и непрерывное, и дискретное.

Все приведенные дефиниции даны Гегелем без учета качественной определенности предметов, ибо «многие одни» не отличаются друг от друга по той причине, что они бескачественны. Отмеченное обстоятельство роднит представления Гегеля с Аристотелем, Бэконом и Лейбницем, так как последние при рассмотрении проблемы в плане строения объектов и их взаимоотношения (см. случаи 1, 2, 4, 5, 6, 7) также брали преимущественно количественный аспект.

Однако Гегель не ограничивается приведенными выше дефинициями. При анализе категории меры он выделяет в исследуемых понятиях иные моменты¹³:

непрерывное

прерывное

(13) изменение постепенное

скачок

Правда, у Гегеля встречается определение этих понятий и через делимость (непрерывное есть бесконечное делимое; прерывное состоит из абсолютных первоначал). Но такие дефиниции квалифицируются философом как односторонние¹⁴. Эту оценку правомерно, на наш взгляд, рассматривать как одно из проявлений усиливающейся тенденции, направленной на преодоление укоренившейся традиции рассматривать понятие делимости как основное при определении категорий прерывности и непрерывности.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод

¹³ См. Гегель. Соч., т. V, стр. 42—433.

¹⁴ См. там же, стр. 204.

о том, что вместе с основной — метафизической — линией в системе определений понятий прерывности и непрерывности, господствовавшей в философии XVII — первой половины XIX в., существовала и развивалась другая — диалектическая линия. Аристотелево понятие прерывного как изменяющегося сразу (3) через лейбницево скачкообразное движение (8) находит свое развитие в гегелевском скачке (13). Соответственно аристотелево понятие непрерывного как единого (1) через понятие «связанное» у Ф. Бэкона (4) в более развернутой форме реализуется у Гегеля в связь (12), в единство и саморавенство «многих одних» (9, 10).

Эта линия в дальнейшем была развита и переосмыслена в работах классиков марксизма-ленинизма.

Анализируя представление о материи как источнике всех изменений¹⁵, Ф. Энгельс затем в «Диалектике природы» определяет ее следующим образом: «...материя есть не что иное, как совокупность веществ, из которой абстрагировано это понятие... такие слова, как «материя» и «движение», суть не более, как сокращения, в которых мы охватываем сообразно их общим свойствам, множество различных чувственно воспринимаемых вещей»¹⁶. Какими же общими свойствами, по Ф. Энгельсу, обладает множество чувственно воспринимаемых вещей? Помимо объективности здесь необходимо в первую очередь отметить такие их общие свойства, как разнокачественность, взаимосвязь и движение.

Очевидно, что именно в силу разнокачественности объектов материя дискретна. Обобщая достижения естествознания середины XIX в., Ф. Энгельс приходит к выводу, что материя расчленена на ряд больших,

¹⁵ См. К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 2, стр. 143.

¹⁶ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 550.

хорошо отграниченных друг от друга групп с относительно различными размерами масс: звездная система, солнечная система, земные массы, молекулы, атомы и др. Неуклонное следование идее дискретности материи приводит его к заключению о структурности любого материального объекта, включая молекулу и атом. «Молекула, — пишет он в письме К. Марксу, — как мельчайшая часть материи, *способная к самостоятельному существованию*, — вполне рациональная категория. Говоря словами Гегеля, это — «узловая точка» в бесконечном ряду делений, узловая точка, которая не замыкает этого ряда, но устанавливает качественную разницу. Атом, который прежде изображался как предел делимости, теперь — только *отношение...*»¹⁷ Именно эти узловые точки различных ступеней, по Ф. Энгельсу, «обуславливают различные *качественные* формы существования всеобщей материи...»¹⁸.

Таким образом, по Ф. Энгельсу, материя дискретна на всех ее уровнях, ступенях, хотя эта дискретность в каждом конкретном случае относительна, так как в природе нет абсолютных разграничительных линий. Прерывность всеобща, следовательно, она неотъемлемое свойство материи, иное ее понимание неизбежно приводит к отрицанию разнокачественности объектов, т. е. сведению природы к чистому количеству, что допускается только в рамках идеалистических концепций. Это позволяет утверждать, что Ф. Энгельс рассматривал *дискретность* как одно из *основных свойств материи*. Обладая свойством дискретности, материя, по Ф. Энгельсу, в то же время и непрерывна. Ее непрерывность обуславливается универсальной всеобщей связью материальных объектов.

¹⁷ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 31, стр. 258.

¹⁸ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 609.

«Вся доступная нам природа, — пишет он в «Диалектике природы», — образует некую систему, некую совокупную связь тел...»¹⁹ В другом месте он отмечает: «Ясно, что мир представляет собой единую систему, т. е. связное целое...»²⁰ Всеобщность связей, превращающих различные материальные объекты в единое целое, означает, что эта связь (следовательно, и непрерывность) также является неотъемлемым всеобщим свойством материи.

Неотъемлемость свойств прерывности и непрерывности от материи становится очевидной при рассмотрении движения тел, т. е. при изучении мира таковым, каков он есть в действительности. «...Уже простое механическое перемещение, — пишет Ф. Энгельс, — может осуществиться лишь в силу того, что тело в один и тот же момент времени находится в данном месте и одновременно — в другом...»²¹ Исключение момента прерывности или момента непрерывности в движении означает, что тело либо не может находиться в данном месте, либо находится только в нем. Первое допущение с необходимостью приводит к исключению тела из пространства (тело не находится в данном месте, следовательно, на том же основании оно не находится в любом другом месте); второе — подводит к заключению о том, что движение есть сумма состояний покоя тела (тело первоначально находится в данном месте, затем в другом и т. д., но сам переход исключается). Абсурдность этих заключений показывает, что движение включает в себя единство непрерывности и прерывности. Постоянное возникновение и одновременное разрешение приведенного Ф. Энгельсом противоречия (следовательно, и противоречия прерывности и непрерывности) и есть движение.

¹⁹ Там же, стр. 392.

²⁰ Там же, стр. 630.

²¹ Там же, стр. 123.

Единство прерывности и непрерывности обнаруживается и при рассмотрении Ф. Энгельсом различных *форм движения материи*. Основные формы движения материи, будучи связаны с определенными ее видами, являются качественно различными ступенями ее развития. Каждая из этих форм представляет момент прерывности материи, но одновременно в силу взаимосвязи эти формы являются свойством непрерывности материи.

Взаимопревращение форм движения материи, а в более широком плане взаимодействие качеств, вещей, процессов означает не только взаимосвязь между прерывностью и непрерывностью материи, но и их взаимопереход. Эта взаимосвязь и взаимопереход применительно к отдельным объектам раскрывается Ф. Энгельсом через закон перехода количественных изменений в качественные и обратно. Единство прерывности и непрерывности в действии этого закона выступает в форме взаимосвязи качественных и количественных изменений. Непрерывные количественные изменения преобразуют, по Ф. Энгельсу, качество вещей через скачок, т. е. через перерыв непрерывности. Поскольку не существуют ни качества, ни количества, как таковые, а существуют вещи, обладающие качественной и количественной определенностью, поскольку вещи всегда находятся во взаимосвязи и движении (т. е. изменении вообще), постольку это единство прерывности и непрерывности является необходимым и для каждого объекта, и всеобщим свойством материи. Исключение непрерывности (т. е. количественного изменения) влечет за собою представление, согласно которому мир есть набор вечных, неизменных, невзаимосвязанных разнокачественных вещей. Исключение прерывности (т. е. качественного взаимоперехода) сводит качественные различия к количественным. В этом случае, пишет Ф. Энгельс, «...мы с не-

обходимостью приходим к тезису, что вся материя состоит из *тождественных* мельчайших частиц...»²².

Развитие Ф. Энгельсом идеи единства прерывности и непрерывности материи позволило ему задолго до революции в физике конца XIX—XX в. установить ряд важных положений: о структурности любых как угодно малых частиц, о взаимосвязи наук и др.

Ф. Энгельс указывал на то, что связь прерывности и непрерывности является основой учения о микрофизическом движении. Он писал: «Новая атомистика отличается от всех прежних тем, что она (если не говорить об ослах) не утверждает, будто материя *только* дискретна, а признает, что дискретные части различных ступеней (атомы эфира, химические атомы, массы, небесные тела) являются различными *узловыми точками*, которые обуславливают различные *качественные* формы существования всеобщей материи вплоть до такой формы, где отсутствует тяжесть...»²³

Это предвидение, основанное на диалектико-материалистическом представлении о неразрывном единстве и взаимопроникновении прерывности и непрерывности, получило блестящее подтверждение в физической науке XX в., которая обнаружила и такие формы материи, как фотоны и нейтрино, лишенные массы покоя, той массы, которая входила как неизменная величина в закон всемирного тяготения Ньютона.

В. И. Ленин продолжил дальше развитие диалектического и исторического материализма, его категориального аппарата, в том числе и категорий прерывности и непрерывности²⁴.

У В. И. Ленина:

²² Там же, стр. 568.

²³ Там же, стр. 608—609.

²⁴ См. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 70, 106, 111, 112, 231, 238, 317 и др.

(14)		раздельное
(15)	сомкнутое?	расчлененное
(16)	преемственное?	
(17)		пунктуальное
(18)	постепенное	атом, единица
(19)	переход постепенный	скачок
(20)	связь	имеющее границы

Сопоставление полученных определений с соответствующими определениями Гегеля показывает, что В. И. Ленин сохраняет основную ценность гегелевских дефиниций — их диалектичность. В то же время В. И. Ленин вносит принципиально новый момент: если у Гегеля определения (9, 10, 11, 12) применимы только к однокачественным объектам, то у В. И. Ленина ни одно из определений не связано с подобным ограничением. Причем он не отбрасывает содержание гегелевских определений: гегелевское единство, саморавенство многих у В. И. Ленина трансформируется в сомкнутость, преемственность, в связь объектов действительности; гегелевская внеположенность «многих одних» соответственно преобразуется в расчлененность, пунктуальность этих объектов. Следует обратить внимание на то, что у В. И. Ленина нет определения непрерывности через делимость. Правда, у него встречается дефиниция прерывного через раздельное, но подобная дефиниция вызывала у него самого сомнение²⁵.

Рассмотрим далее проблему единства прерывности и непрерывности в ее связи с категорией материи.

В. И. Ленин, как известно, впервые в истории материалистической философской мысли дал определение материи как философской категории для обозначения объективной реальности, существующей вне и

²⁵ См. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 106.

независимо от сознания человека, не связывая это определение с естественнонаучными представлениями о ее строении, свойствах и состояниях. Этот вывод опирается у него на обобщение данных естествознания и истории науки, на признание единства материального мира.

Ленинское определение философской категории материи неразрывно связано с материалистическим решением основного вопроса философии, в этом отношении оно наиболее полно и всеобще.

Объективная реальность, материальный мир характеризуются многими свойствами, атрибутами, отношениями. В. И. Ленин неоднократно подчеркивал, что «...мир есть движущаяся материя...»²⁶, «мир есть закономерное движение материи...»²⁷. Он обращает внимание на то, что неотъемлемыми свойствами материи как объективной реальности являются движение, пространство, время. Материя характеризуется вечностью существования, несотворимостью и неуничтожимостью, бесконечностью, неисчерпаемостью. В. И. Ленин специально обращает внимание на принцип неисчерпаемости движущейся материи, обогащает и конкретизирует его в условиях новой революции в естествознании. Возражая против абсолютизации уже известных ступеней в познании строения материи, атома — электрона — эфира, он пишет: «...диалектический материализм настаивает на временном, относительном, приблизительном характере всех этих *вех* познания природы прогрессирующей наукой человека. Электрон так же *неисчерпаем*, как и атом, природа бесконечна...»²⁸ Неисчерпаемость материи, относительность разграничительных линий, граней в

²⁶ В. И. Ленин. Полн собр. соч., т. 18, стр. 230, см. также стр. 286, 289, 365.

²⁷ Там же, стр. 174.

²⁸ Там же, стр. 277.

природе, превращение движущейся материи из одного состояния в другое, отстаиваемое В. И. Лениным, исключают абсолютизацию момента прерывности материи. В этой связи представляет значительный интерес мысль В. И. Ленина о том, что знание относительности разграничительных линий (т. е. относительности момента дискретности) материи всегда было опорой диалектического материализма. «Разрушимость атома, — пишет он, — неисчерпаемость его, изменчивость всех форм материи и ее движения всегда были опорой диалектического материализма. Все грани в природе условны, относительны, подвижны, выражают приближение нашего ума к познанию материи...»²⁹ «Признание каких-либо неизменных элементов, «неизменной сущности вещей» и т. п., — подчеркивал В. И. Ленин, — не есть материализм, а есть *метафизический*, т. е. антидиалектический материализм»³⁰.

Обосновывая относительность разграничительных линий в природе, В. И. Ленин, вслед за К. Марксом и Ф. Энгельсом, показывает, что природа, мир в целом представляют собою единство³¹, где все находится во всесторонней, живой связи со всем³², причем эта связь понимается как единство, взаимозависимость, цельность мирового процесса³³. Применительно к явлениям также существует «теснейшая, неразрывная связь *всех* сторон каждого явления... связь, дающая единый, закономерный мировой процесс движения...»³⁴.

Таким образом, по В. И. Ленину, взаимосвязь всех явлений в природе осуществляется как мировой про-

²⁹ Там же, стр. 298.

³⁰ Там же, стр. 275—276.

³¹ См. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 229.

³² См. там же, стр. 143.

³³ См. там же, стр. 135.

³⁴ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 26, стр. 55.

цесс. Всеобщность этого процесса и лежит в основе таких общих свойств материи, как прерывность и непрерывность.

В соответствии с этим любой объект (процесс), взятый со стороны взаимосвязи этого объекта (процесса) с другими, выступает как непрерывное с этими другими объектами (процессами). Взятый же со стороны своих границ, он — этот объект (процесс) — есть нечто дискретное. Абсолютизация или преувеличение одного из этих моментов приводит к метафизике, затрудняет решение проблем, поставленных развитием науки и практики.

Прерывность и непрерывность неотъемлемы друг от друга и объективно существуют только в своем единстве. Однако это не исключает выдвижения на первый план в различных объективных ситуациях и на различных уровнях нашего знания то прерывности, то непрерывности в процессе познания природы. Выполняя методологические функции, категории прерывности и непрерывности выступают в диалектическом противоречивом единстве.

Непрерывность можно рассматривать как сохранение данного качества в процессе количественных изменений (вещи, явления постольку непрерывно существуют, поскольку сохраняют свое качество), а прерывность — как изменение качественного состояния вещи, процесса, явления. Действительность постольку прерывна, поскольку она разнокачественна (а значит, расчленена, разделена, отграничена), и постольку непрерывна, поскольку она однокачественна и характеризуется постепенностью (до определенного предела) количественных изменений.

Качественное изменение (скачок) — это нарушение непрерывности, порождение прерывности. Непрерывное — это сохранение качества при изменении количества. Например, непрерывное превращение форм дви-

жения представляет собой бесконечный ряд изменений одних количеств и качеств и возникновение других, т. е. составляет непрерывную узловую линию отношения мер. Каждый отдельный такой переход — это скачок, перерыв определенной конкретной непрерывности. При этом прерывность выступает как момент разрешения внутренних противоречий определенного качества, которые обуславливают это качество и готовят его переход в другое. Одному и тому же процессу в различных конкретных отношениях в одно и то же время присущи как качественные, так и количественные изменения, т. е. он выступает как прерывный и непрерывный.

Если принять, что некоторая величина и прерывна, и непрерывна, то при этом предполагается свободный переход, изменение от одного качественного состояния к другому. Но бесконечное непрерывное деление абстрактно и нереально, так как тогда неограниченные количественные изменения не смогут вызвать качественных изменений, а это противоречит закону превращения количества в качество.

В пределах определенной меры на первый план выступает непрерывность. В прерывных элементах имеются однокачественные количества, они характеризуются прерывностью, но прерывность едина с непрерывностью, так как она является прерывностью именно данной непрерывности, т. е. имеет единую меру.

Единство прерывности и непрерывности само прерывно, и наш мир в силу закона меры дискретен, прерывен в качественных изменениях структуры материи, пространства и времени, но непрерывен в своем разнообразии.

Так как прерывность и непрерывность в структуре и функциях материальных объектов и процессов неисчерпаемы, то неисчерпаемо и содержание категорий

прерывности и непрерывности. Отсюда следует, что дать исчерпывающее, законченное определение этим категориям путем перечисления их свойств и сторон невозможно. Но чем больше мы изучим форм проявления прерывности и непрерывности, тем глубже сможем раскрыть существенные связи между ними, выявить их общую основу.

В связи с этим можно привести слова Ф. Энгельса, относящиеся к дефиниции жизни и вообще к дефинициям. Он писал: «Для того чтобы выяснить и показать, что такое жизнь, мы должны исследовать все формы жизни и изобразить их в их взаимной связи. Но для *обыденного употребления* краткое указание наиболее общих и в то же время наиболее характерных отличительных признаков в так называемой дефиниции часто бывает полезно и даже необходимо, да оно и не может вредить, если только от дефиниции не требуют, чтобы она давала больше того, что она в состоянии выразить»³⁵. Поэтому приводимые ранее более или менее общие характеристики категории прерывности и непрерывности и следует рассматривать как рабочие определения, которые тоже, конечно, не будут и не могут быть полностью завершенными, а будут и впредь, на основе открытия новых свойств и проявлений прерывности и непрерывности и новых связей между ними, обобщаться и совершенствоваться. Следует только подчеркнуть, что непрерывность и прерывность как категории познания характеризуют динамическую структуру материи и ее атрибутов.

В трудах классиков марксизма-ленинизма, как это видно из предшествующего изложения, категориям прерывности и непрерывности уделено большое внимание. Опираясь на достижения философской мысли прошлого, они обогатили содержание этих категорий,

³⁵ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 635.

раскрыли диалектику данных понятий и их методологическую роль в научном познании, а также показали их взаимосвязь с другими категориями материалистической диалектики.

Продолжая дело основоположников диалектического материализма, философы-марксисты, обобщая достижения современной науки и общественно-исторической практики, добились определенных успехов в изучении вышеназванных категорий. Опубликован ряд интересных и содержательных исследований³⁶, по данным проблемам идут оживленные научные дискуссии, в которых принимают участие и философы и естествоиспытатели.

Подобно развитию и обогащению содержания категорий прерывности и непрерывности, происходит развитие и всех других категорий материалистической диалектики. Играя всевозрастающую роль в научном познании, категории материалистической диалектики сами существенно обогащаются в процессе познания.

Целью настоящей работы и является рассмотрение этого диалектического взаимопроникновения, взаимовлияния, взаимообогащения категорий философии и физики на примере развития и обогащения содержания понятий прерывности и непрерывности в ходе исторического развития физической науки.

³⁶ См. А. М. Мостепаненко. Пространство и время в макро-, мега- и микромире. М., 1974; М. Д. Ахундов. Проблема прерывности и непрерывности пространства и времени. М., 1974; Р. А. Аронов. Непрерывность и дискретность пространства и времени. — «Пространство, время, движение». М., 1971; С. Т. Мелюхин. Материя в ее единстве, бесконечности и развитии. М., 1966; Д. П. Горский. Проблемы общей методологии наук и диалектической логики. М., 1966; В. И. Свидерский. Пространство и время. М., 1958, и др.

Глава первая

ПРЕРЫВНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ В ДОКВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ

К началу XVII в. под влиянием быстро развивающегося материального производства физика превращается в самостоятельную науку, перед которой ставятся задачи, имеющие практическое значение. В этот период физика начинает изучать источники, способы получения, превращения и передачи механического движения, что ведет к интенсивному развитию механики. Проводятся исследования прохождения света через различные среды, что способствует становлению оптики как самостоятельного раздела физики. Ученые анализируют свойства жидкостей и газов, а также степень прочности различных материалов, что ведет к возрождению интереса к структуре вещества и др.

Решающее значение для дальнейшего развития физики имело изучение механического движения. Это было обусловлено главным образом техникой мануфактурного производства, а также относительной простотой названной формы движения материи. Поэтому механика заняла ведущее место в физических науках в XVIII и первой половине XIX в.

Процесс выделения физики в самостоятельную науку начинается по существу с работ Галилея и его современников и завершается исследованиями Нью-

тона. Становление физической науки тесно связано также с исследованиями Декарта. Хотя основоположник картезианства, стремясь построить единую натурфилософскую картину мира, и не выделял физику в отдельную науку, его работы — одно из важнейших звеньев в становлении основных идей физической науки.

1. ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛИСТИЧЕСКИЕ ИДЕИ В КАРТЕЗИАНСКОЙ ФИЗИКЕ

Картезианство возникло в первой половине XVII в. не только под влиянием потребностей интенсивно развивающегося материального производства и связанной с ним техники, но и как реакция нового метода мышления на изживавшую себя в условиях становления капиталистического способа производства схоластику, тормозившую развитие естественнонаучных знаний. Стремясь изгнать из естествознания перипатетический подход к изучаемым явлениям, основоположник течения — Ренэ Декарт попытался объяснить мир, исходя из двух начал: материи и движения.

Признание заполненности пространства и сведение всех свойств материи к геометрическим различиям привели Декарта к отождествлению материи с протяженностью или пространством. Протяженность, по Декарту, непрерывна, она детерминирует неограниченную делимость материи, в том числе и атомов. «Легко также понять, — писал он, — что невозможно существование каких-либо атомов, то есть частей материи, неделимых по своей природе, как это воображали некоторые философы»¹.

Из учения Декарта вытекало, что материя непрерывна. Однако при переходе от собственно философ-

¹ Декарт. Избр. произв. М.—Л., 1950, стр. 475.

ской постановки проблемы к физическим концепциям Декарта, особенно к его космологии, это общее положение подлежит существенному уточнению.

После того как божество, полагал Декарт, создало материю, представляющую собой мелкие, разнообразные по конфигурации и величине частички, двигавшиеся беспорядочно, оно уже не вмешивалось в последующее развитие мира. Далее все происходило естественным путем, строго по законам механики. Допущение Декартом предельной заполненности пространства необходимо повлекло за собой признание только вращательного и кругового движения частиц. Вся материя в процессе этого движения, по Декарту, разделилась на большие и малые вихри, близкие по форме шару. Сталкиваясь и испытывая взаимное трение, частицы, составляющие эти вихри, постепенно изменяли свою первоначальную конфигурацию: одни из них — средней величины (по классификации Декарта, частицы второго элемента) — стали шаровидными, другие, более мелкие (или частицы первого элемента) — приобрели неопределенную изменяющуюся форму. Частицы второго элемента как наиболее крупные были отброшены к периферии вихрей и образовали воздух и небеса; частицы первого элемента, количественно увеличиваясь в результате продолжавшегося столкновения и трения частиц второго элемента, постепенно заполнили все промежутки между шаровидными частицами и устремились к середине вихрей, образуя центральные тела (Солнце, Землю, планеты).

Однако, по Декарту, не все первоначальные частицы уменьшались в результате взаимодействия; наиболее крупные, плотные и с «неудобной» фигурой, наоборот, объединялись, образуя частицы третьего элемента. Последние образовывались также в результате соединения между собой частиц первого элемента. Например, на поверхности Солнца — в результате

сосредоточения частиц первого элемента — возник третий элемент, т. е. солнечные пятна. Земля и планеты, будучи в свое время центрами вихрей, хотя и состоят из частиц первого элемента, но они уже покрылись толстым слоем частиц третьего элемента.

Мы не будем здесь более подробно рассматривать космогоническое учение основоположника картезианства. Для нас важно подчеркнуть, что Декарт в построенной им естественнонаучной картине мира попытался показать развитие мира без участия божественного начала. Декартова идея развития в органическом сочетании с его положением о материальном единстве мира закономерно подводит к довольно существенным диалектическим моментам в истолковании проблемы прерывности и непрерывности явлений и процессов природы, материи в целом.

Действительно, непрерывная материя, по Декарту, дискретна, ибо она состоит из частиц. Причем и континуальность материи, и ее прерывность взаимосвязаны. Вне непрерывности, т. е. вне протяженности (в конечном счете вне пространства), не могут существовать тела, частицы. И наоборот, протяженность, непрерывность материи не существует вне частиц, ее составляющих. Далее, в процессе развития частицы одного элемента могут переходить в частицы другого элемента, иными словами, одно состояние материи может переходить в другое: огонь — в землю, воздух — в огонь и др. Например, пламя, пишет Декарт, не может «существовать долго, не уничтожая самого себя. Либо величина его частиц, придающая ему силу действовать на другое тело, станет причиной уменьшения их движения, либо сила их движения, заставляющая их ломаться при столкновении с телами, ими встречаемыми, сделается причиной разрушения их величины. Таким образом мало-помалу они могут свестись или к форме третьего элемента,

или к форме второго, а некоторые даже к форме первого»². Отсюда можно сделать вывод, что Декарт признает возникновение и исчезновение различных свойств материи в процессе деления и соединения частиц. В этом как бы проглядывает прообраз закона перехода количественных изменений в качественные, на основе которого наиболее полно раскрывается диалектика прерывного и непрерывного в процессе развития. Безусловно, это — только прообраз одного из основных законов диалектики, так как Декарт принимает значение категории «качество», низводит ее до количественных характеристик.

В условиях первой половины XVII в. такой односторонний подход к изучаемым разнокачественным процессам был одним из конкретных проявлений отрицательного отношения естествоиспытателей к неоплатонизму. Жонглирование категориями «качество» и «форма» в работах поздних перипатетиков привело к тому, что в глазах сторонников нового материалистического направления в философии эти категории стали некими бессодержательными терминами, прикрывающими убогость мысли, завожившими исследование в схоластические дебри.

Не случайно Декарт, решительно порывая со схоластикой, отбрасывает и категорию «качество» в той интерпретации, какую давали ей представители этого направления.

К приведенным уже моментам диалектического подхода Декарта в вопросе прерывности—непрерывности материи можно добавить следующее. Исключительный интерес представляет его положение о том, что частицы третьего элемента имеют форму, способную изменяться. «Чтобы не впасть в противоречие с недопущением пустоты в природе, — писал Декарт, —

² Декарт. Космогония. М.—Л., 1934, стр. 155—156.

я даже совсем не припишу ему (т. е. элементу огня. — *Авт.*) частиц, имеющих какую-либо определенную величину или фигуру, но представляю себе, что стремительность его движений достаточна, чтобы при встрече его с другими телами сделать его способным делиться всевозможными способами и во всех направлениях и чтобы частицы его менялись по своей фигуре всякий момент, приспособляясь к форме тех мест, куда они вступают»³. Фигура частиц первого элемента, таким образом, определяется у Декарта другими частицами.

В плане прерывности — непрерывности безусловно диалектической идеей является мысль Декарта о том, что частицы огня меняют свою форму и делятся всевозможными способами во времени, точнее, всякий момент. Если демокритовский атом непрерывен как в пространстве (в пределах своей протяженности), так и во времени (его состояние остается себе тождественно от мгновения к мгновению), то декартова частица огня меняет свою протяженность, она дискретна во времени, т. е. она в любые два как угодно близкие друг к другу момента времени не тождественна себе. В то же время эта частица непрерывно существует во времени.

Важным моментом в становлении диалектических идей о прерывности и непрерывности природы является мысль Декарта о том, что причиной разделенности материи выступает движение. Именно движение, согласно Декарту, изменяет фигуру и размеры частиц. Более того, частицы отличаются не только по величине и по конфигурации, но и по скорости движения. Частицы первого элемента, по Декарту, двигаются чрезвычайно быстро, частицы третьего элемента, будучи велики, «обладают способностью противиться

³ Там же, стр. 152.

движению других тел»⁴. Декарт отрицает атомистику в классическом ее понимании, т. е. он отвергает абсолютно твердые, неделимые, себе тождественные корпускулы. Его интерпретация частиц ближе к современным представлениям по сравнению, скажем, с интерпретацией его современника Гассенди.

Своими представлениями о корпускулах Декарт расчищал место для построения более верной модели частиц вещества — структурной модели. В высказываниях самого Декарта имеются попытки истолковать некоторые частицы как сложные образования. Так, по Декарту, частицами являются не только составляющие элементы огня, неба и земли, но и более крупные тела. Он считает за одну частицу все то, что соединено в целое и не в состоянии разъединиться. Песчинка, камень, скала и вся Земля, подчеркивал он, поскольку в них рассматривается только движение, могут быть приняты за одну частицу. Эту мысль Декарт обосновывает, исходя из признания противоположности элементов. Последняя, полагал он, заложена в их сущности. Действуя друг на друга, они образуют объекты, обладающие различными структурами.

На основе изложенного можно сделать вывод, что в картезианской физике природа рассматривается в основном со стороны ее непрерывности. В основе такого рассмотрения находится отождествление понятия материи с понятием протяженности, а также преимущественно односторонне-количественный подход к изучаемым разнокачественным явлениям.

Момент дискретности в строении природы отражается в картезианской физике через понятие корпускулы. В пределах названной физики непрерывность и

⁴ Там же, стр. 155.

дискретность природы взаимосвязаны таким образом, что континуальность природы выступает ведущей стороной этой взаимосвязи, а дискретность природы является вторичной, производной от ее континуальности.

2. ПРОБЛЕМА ПРЕРЫВНОСТИ И НЕПРЕРЫВНОСТИ В НЬЮТОНОВОЙ ФИЗИКЕ

Дальнейшее развитие опытного знания, установление количественных зависимостей между физическими характеристиками материальных объектов вскрыли существенные недостатки картезианской, преимущественно умозрительной, физики. В XVIII в., как известно, господствующее положение заняла ньютонова физика — физика дальнего действия, вытеснив картезианскую физику ближнего действия. Освещение взглядов Ньютона на прерывность и непрерывность природы целесообразно начать с рассмотрения его книги «Математические начала натуральной философии», впервые изданной в 1687 г.

Математический аппарат, использованный Ньютоном в этой книге, разрабатывался им для описания непрерывных процессов⁵ и отражал исходную идею автора о непрерывности механического движения. Однако при математическом обосновании непрерывности движения Ньютон столкнулся с трудностями следующего порядка. Непрерывность движения предопределяет непрерывность пространства и времени, т. е., согласно Ньютону, признание допущения пространства и времени, как состоящих из протяженностей и длительностей нулевой размерности. Признать же их размерность, пусть даже как угодно малую, —

⁵ См. Н. Н. Лузин. Ньютонова теория пределов. — «Исаак Ньютон. Сборник статей к трехсотлетию со дня рождения». М. — Л., 1943, стр. 53—74.

значит признать, что движение не непрерывно, а дискретно.

Первоначально Ньютон допускал, что время (следовательно, и пространство) состоит из равных между собою бесконечно малых дискретных длительностей⁶. Но получающаяся прерывность движения, пусть даже бесконечно малая, не могла удовлетворить Ньютона. Поэтому он вводит так называемое исчисление нулей. Сущность этого исчисления состоит в том, что переменная величина не стремится к пределу, а становится абсолютно равной своему пределу, т. е. разность между переменной величиной и ее пределом в точности равна нулю. В этой связи необходимо пояснить, что Ньютон, как и его современники, не пришел еще к понятию независимой переменной. Переменная изменяется у него в зависимости от течения времени, т. е. является вторичной функцией от времени, которое выступает как «истинная» независимая переменная.

Но существует и обратная связь. Если переменная величина в точности достигает своего предела, то и изменение времени происходит непрерывно. Следовательно, нет оснований утверждать, что оно состоит из бесконечно малых длительностей. Поэтому становится ясно, почему Ньютон, колеблясь (в первом издании «Начал») в решении вопроса о достижении предела переменной, во втором издании «Начал» отбрасывает эти колебания.

В разделе «Метод первых и последних отношений» в первой лемме Ньютон пишет: «Количества, а также отношения количеств, которые в продолжение любого конечного времени постоянно стремятся к равенству и ранее конца этого времени приблизятся

⁶ См. Комментарий Мордухай-Болтовского. — «Ньютон. Математические работы». М., 1937, стр. 303.

друг к другу ближе, нежели на любую заданную разность, делаются наконец равными»⁷.

Однако такое решение в свою очередь приводит к другим трудностям. По Ньютону, мгновенная скорость есть отношение пределов бесконечно малой величины пути к бесконечно малой величине времени, т. е. отношение одного нуля к другому, иными словами, неопределенность. Отметим, что современная математика определяет мгновенную скорость не как отношение пределов бесконечно малых величин, а как предел отношения их.

Таким образом, у Ньютона проблема все-таки осталась нерешенной. Логически обосновать возможность построения отрезка прямой и временного интервала из безразмерных точек и мгновений не удалось не только Ньютону, но и его последователям⁸.

Ньютон полагал, что его идея непрерывности движения полностью должна совпадать не только с исходными принципами математики, но и с самой объективной реальностью. Любой материальный объект, по Ньютону, движется по траектории так, что допускает математическое описание изменения от точки к точке и от мгновения к мгновению. Именно на признании истинности такого отображения движения основываются выводы «Начал». В свою очередь наблюдения, подтверждающие выводы ньютоновой механики, укрепляли веру в правильность идеи непрерывности движения, пространства, времени.

⁷ Цит. по: С. А. Богомолов. Актуальная бесконечность. М.—Л., 1934, стр. 74.

⁸ Приблизительно до начала XX в. в математической физике данное положение принималось бездоказательно, как само собою разумеющееся. Впервые попытки «построить» безразмерные точки и мгновения были предприняты Н. Винером в 1914 г. и, несколько раньше, Уайтхедом (см. Д. Ж. Уиттроу. Естественная философия времени. М., 1964, стр. 203—204).

Однако применение Ньютоном математического метода, опирающегося на идею непрерывности, приводило к однозначным результатам, допускающим проверку только при описании взаимодействий, подчиняющихся закону всемирного тяготения. Это объясняется тем, что для описания взаимодействия в рамках этого закона достаточно знать соотношение масс исследуемых тел и их взаимное расположение.

При исследовании более сложных физических явлений, таких, например, как оптические, подобное математическое описание давало лишь частные результаты, так как специфика описываемых процессов приводила к необходимости учитывать гораздо большее число исходных данных, получаемых из непосредственного наблюдения и эксперимента.

Отсюда и известное противопоставление двух фундаментальных работ Ньютона: «Математических начал натуральной философии» — как физики принципов и «Оптики» — как физики гипотез. Если в первом труде, в силу приведенных выше обстоятельств, Ньютону при анализе механического движения удалось свести гипотетическое начало к минимуму, то в «Оптике» его знаменитое кредо «я гипотез не измышляю» опровергается не менее знаменитыми его вопросами.

Попытаемся выяснить, какие идеи о строении материи лежат в основе ньютоновых «Начал». Прямых высказываний на этот счет у него нет. Причина тому, как нам представляется, заключается, во-первых, в возможности при количественном описании взаимодействий тяготеющих тел заменить эти тела их центрами тяжести, т. е. материальными точками, обладающими определенными массами. Во-вторых, метод познания Ньютона, изложенный им в «Правилах умозаключений в физике», призывал его исходить из минимума гипотетического. Концепции же строения ма-

терии были в то время в своих исходных началах в основном гипотетическими.

Определяя понятие «количество материи», Ньютон писал: «Количество материи есть мера таковой, происходящая от ее плотности и объема совокупно»⁹. Далее Ньютон поясняет, что «под названиями тело или масса»¹⁰ он подразумевает количество материи. Получается, что масса определяется им через плотность и объем, но плотность в свою очередь определяется через массу в единице объема. Избежать порочного круга можно только при одном обстоятельстве, а именно: если исходить из допущения о неизменности величины массы в единице объема. Однако это положение имеет однозначный смысл только в традиционной атомистике.

Действительно, если атомы абсолютно тверды, бесструктурны, себе тождественны, то они есть последние дискретные части первоматерии. Отсюда ясно, что количество «материи тела» определяется, по Ньютону, суммой объемов атомов, составляющих это тело.

Итак, мы вправе сделать вывод, что в «Началах» Ньютона исходные понятия физики: движение, пространство и время — рассматриваются только как непрерывные, вещество предполагается дискретным. В математическом отображении эта идея дискретности вещества фиксируется в понятии материальной точки.

Таким образом, автор «Начал» в своем исследовании противопоставил континуализм движения, пространства и времени дискретности материи. Указанное противопоставление является одной из конкретизаций рассмотрения материи и ее всеобщих свойств как взаимоизолированных, не связанных между собою.

⁹ *Newton. Philosophiae naturalis principia mathematica. London, 1726, p. 1.*

¹⁰ Там же.

Сопоставляя взгляды Ньютона и Декарта в аспекте рассматриваемой проблемы, можно сделать вывод, что основное различие их взглядов заключается в том, что первый в пределах своей механики исходил из допущения атомарного (в демокритовом смысле) строения вещества, второй же, признавая корпускулярность материи, отвергал абсолютную ее дискретность.

Здесь возникает вопрос. Почему ньютоновское, более консервативное решение проблемы оказалось жизненное по сравнению с картезианским, более гибким, диалектичным? Правильный ответ можно получить лишь при условии, если названные фундаментальные понятия рассматривать не изолированно, а в системе понятий и принципов, образующих основу картезианства и ньютонианства.

В пределах своей механики Ньютон не только не испытывал необходимости отказа от классической атомистики, но и исходил из нее по той причине, что взаимодействие между атомами, телами (сводимыми к тем же атомам) можно описать количественно (заменяв эти дискретные части вещества материальными точками) посредством центральных сил без учета среды. Понятие силы не сводимо у него ни к движению, ни к пространству; оно — исходное, фундаментальное свойство материи.

Декарт, объясняя все взаимодействия посредством материальной среды, не признавал силы как первосущности. Именно свойства среды определяют, по Декарту, характер взаимодействия. Отождествив материю с пространством, Декарт, таким образом, свел все силы к свойствам пространства. Он стремился раскрыть причинно-следственную зависимость рассматриваемых процессов, в то время как Ньютон ограничивался в механике феноменологическим описанием явлений. Именно второй подход, опирающийся

на понятия материальной точки и силы, позволил Ньютону разработать относительно точные количественные методы, допускающие проверку, что в конечном счете и обеспечило победу этому направлению над преимущественно качественным расплывчато-гипотетическим объяснением природы, присущим картезианству.

Однако господство классического понимания атомизма было бесспорно только в рамках механики. Переход к оптике меняет представление о строении вещества. Как сам Ньютон, так и ряд его сторонников в этом случае вынуждены были в определенной степени отойти от понятия абсолютно твердого, бесструктурного атома. Причина такого положения заключается в том, что анализ световых процессов связан не только с массой тел и их взаимным расположением, но и со свойствами (следовательно, и со строением) тел. Световой луч, взаимодействуя с телами, изменяет свои характеристики (направление, скорость, цвет, интенсивность и др.) в зависимости от свойств этих тел. Поэтому вопрос о свойствах и строении материи дискутировался прежде всего во взаимосвязи с исследованием световых явлений.

Рассмотрим эту взаимосвязь.

Исследуя свойства света, проходящего через призму, Ньютон сделал вывод о том, что белый свет состоит из цветных лучей, обладающих различной степенью преломляемости. Причем цвет луча и величина его преломления не меняются после отражения или прохождения через призму. Полученный результат, а также свойство прямолинейного распространения света свидетельствуют, по Ньютону, о его субстанциальности. Позднее в «Оптике» и в других работах он развивает эту идею более обстоятельно.

Всякое светящееся тело, полагал Ньютон, испускает корпускулы различной величины. Каждому цвету

соответствует определенная величина корпускулы: фиолетовым лучам — наименьшая, красным — наибольшая. В ньютоновой корпускулярной теории отражение света объясняется на основе контактных механических представлений. Корпускула света — упругое тело, сталкиваясь с гладкой поверхностью, отражается под углом, равным углу падения.

Однако все поверхности по сравнению с малыми размерами световой корпускулы не являются идеально ровными, поэтому корпускулы должны отражаться от поверхности под различными углами, чего не наблюдается в действительности. В мемуаре «Одна гипотеза, объясняющая свойства света, изложенная в нескольких моих статьях», датированном 1675 г., Ньютон стремится преодолеть эту трудность, прибегая к гипотезе эфира.

По Ньютону, существует некая эфирная среда, во многом имеющая то же строение, что и воздух, но значительно разреженнее, тоньше и эластичнее. Будучи очень тонким и эластичным, эфир, по Ньютону, обволакивает тело настолько ровно, заполняя все шероховатости и неровности, что оно принимает видимость полированного.

Здесь важно подчеркнуть, что истолкование оптических явлений на основе механических представлений неизбежно приводит Ньютона к необходимости построения гипотезы эфира исходя из механических представлений. Рефракцию света Ньютон также объяснял посредством этой среды. Свет и эфир, полагал он, взаимодействуют: эфир преломляет свет, а свет нагревает эфир, при этом более плотный эфир действует на световой луч сильнее, чем менее плотный. Ввиду того что в телах эфир (будучи менее плотным по сравнению с пространством, заполненным этим эфиром) уменьшает свою плотность в зависимости от углубления в тела, луч света под воздействием более

плотной среды отклоняется в сторону менее плотной, одновременно ускоряясь в этой среде.

Анализ истолкования Ньютоном одновременного преломления и отражения света, интерференции и дифракции показывает, что он исходил из корпускулярной гипотезы света¹¹. В то же время объяснение Ньютоном перечисленных выше световых, а также магнитных явлений на основе механических представлений привело его к идее дискретности эфира. «Нельзя, однако, предполагать, — пишет он, — что эта среда есть однородная материя, она складывается частью из основного косного тела эфира, частью из других различных эфирных газов во многом подобно тому, как воздух слагается из косного тела воздуха, перемешанного с различными парами или выдыханиями. В пользу такой разнородности, по-видимому, говорят электрические и магнитные истечения и начало тяготения. Может быть, общий остов природы не что иное, как различные сплетения некоторых эфирных газов или паров, конденсируемых как бы осаждением, подобно тому как пары сгущаются в воду, или выдыхания в более грубые субстанции, хотя и не столь легко»¹². Из этого видно, что эфир Ньютона во многом напоминает материальную среду Декарта. Как и у последнего, эфир Ньютона более тонок по сравнению с телами (по Декарту, с частицами третьего элемента), способен трансформироваться в любые материальные объекты¹³. И самое главное, он структурен, т. е. дискретен.

Более определенно о строении эфира Ньютон вы-

¹¹ См. С. И. Вавилов. Собр. соч., т. III. М., 1956, стр. 217—220.

¹² «Успехи физических наук», 1927, т. 7, вып. 2, стр. 137.

¹³ В той же работе Ньютон пишет: «Итак, может быть, все вещи произошли из эфира». — «Успехи физических наук», 1927, т. 7, вып. 2, стр. 137.

сказывался в письме к Р. Бойлю от 28 февраля 1679 г.: «Я добавляю еще одну догадку, пришедшую мне в голову во время писания этого письма. Она касается причин тяжести. Для этой цели я предполагаю, что эфир состоит из частиц, бесконечно, разнообразно отличающихся друг от друга по тонкости»¹⁴.

При объяснении частичного отражения и преломления приведенная картина усложняется: «...свет, — пишет исследователь в «Оптике», — находится в состоянии приступов легкого отражения и легкого прохождения и до падения на прозрачные тела. И вероятно, он получил такие приступы при первом испускании от светящегося тела, сохраняя их во время всего своего пути»¹⁵.

Явления двойного лучепреломления света Ньютон в вопросной форме объясняет тем, что «каждый луч света имеет... две противоположные стороны, изначально наделенные свойством, от которого зависит необыкновенное преломление, и две другие стороны, этим свойством не наделенные»¹⁶.

Сущность дифракции света интерпретируется им также в осторожной форме. Вопрос первый «Оптики» гласит: «Не действуют ли тела на свет на расстоянии и не изгибают ли этим действием его лучей; и не будет ли это действие сильнее всего на наименьшем расстоянии?»¹⁷

Изложенное выше позволяет нам прояснить представления Ньютона о природе света. Истолкование Ньютоном световых явлений вытекает в основном не из эксперимента, а из исходной посылки экспериментатора: свет есть поток корпускул.

Осознавая трудности, вытекающие из односторон-

¹⁴ Цит. по: С. И. Вавилов. Собр. соч., т. III, стр. 222.

¹⁵ Ньютон. Оптика. М.—Л., 1927, стр. 220.

¹⁶ Там же, стр. 280.

¹⁷ Там же, стр. 263.

него подхода (в конечном счете из абсолютизации момента дискретности в объяснении структуры материальных объектов), Ньютон стремится преодолеть их применительно к объяснению световых явлений посредством механического соединения теории истечения с противоположной, волновой теорией при доминирующем положении первой. Основная причина создания такой корпускулярно-волновой теории света заключается в стремлении Ньютона объяснить природу световых явлений на основе механических представлений. Эта же причина обусловила ньютоново признание не только материальной среды, но и ее сложного строения.

Однако такое соединение корпускулярной и волновой теорий (следовательно, в итоге соединение противоположностей — прерывного и непрерывного в энергетических процессах) было искусственно, а уровень, характер и истолкование экспериментов настолько неоднозначны, что автор не смог окончательно определиться по отношению к собственной теории. В частности, Ньютон сомневался в наличии эфира вне тел¹⁸. Отметим здесь, что эта неопределенность отношения исследователя к своей теории стала одной из причин, приведших большинство его последователей к отвержению гипотезы эфира, следовательно, к отстаиванию ими односторонней позиции по отношению к прерывности — непрерывности среды.

В тесной связи с оптическими исследованиями находятся взгляды Ньютона на строение вещества. В последнем, 31-м вопросе «Оптики» он пишет: «Все тела, по-видимому, составлены из твердых частиц... Даже лучи света, по-видимому, твердые тела, ибо иначе они не удерживали бы различных свойств по различным сторонам»¹⁹. Выше отмечалось, что при объяснении

¹⁸ См. там же, стр. 281—288.

¹⁹ Там же, стр. 302.

оптических явлений у Ньютона наблюдается определенный отход от традиционного понимания атомизма. Этот отход, как мы видели, наиболее явствен в гипотезе эфира. В теории вещества у исследователя также намечается возможный путь к преодолению абсолютизации момента дискретности в строении тел.

Стремясь объяснить проникающую способность силы тяготения и световых лучей, автор «Оптики» обосновывает пористое строение тел. Однако при такой интерпретации строения тел возникает противоречие. С одной стороны, свет проходит через прозрачные твердые тела прямолинейно; с другой стороны, ньютонова теория цветности тел приводит к заключению, что частицы, составляющие тела и определяющие их окраску, должны быть достаточно велики (порядка световой волны). Такая величина частиц, образующих тела, должна приводить либо к поглощению, либо к рассеиванию света. Напомним, что, по Ньютону, нет качественного различия между частицами, составляющими как прозрачные, так и непрозрачные тела. Из этого противоречия Ньютон предлагает следующий выход. «Представим себе, — пишет он, — что эти частицы тел расположены так, что промежутки или пустые пространства между ними равны им всем по величине, что частицы могут быть составлены из других частиц, более мелких, пустое пространство между которыми равно величине всех этих меньших частиц, и что подобным же образом эти более мелкие частицы снова составлены из еще более мелких, которые все вместе по величине равны всем порам или пустым пространствам между ними»²⁰. Далее Ньютон делает следующий подсчет. Если в каком-нибудь теле имеются частицы, например, различные по величине (трех степеней), наименьшие из которых твер-

²⁰ Там же, стр. 209—210.

дые, то в этом теле будет в семь раз больше пор, чем твердых частей. Если же будет четыре таких степени частиц, наименьшие из которых твердые, то тело будет иметь в пятнадцать раз больше пор, чем твердых частей. Если есть пять таких степеней, в теле будет в тридцать один раз больше пор, чем твердых частей. Очевидно, что если степень будет стремиться к бесконечно большой величине, то суммарный объем уменьшающихся частиц будет соответственно приближаться к нулю.

Такая интерпретация намечает возможный для того времени выход за пределы представления о бесструктурном атоме. В то же время она позволяет утверждать о преувеличении сложившихся представлений, согласно которым ньютонова концепция вещества резко противопоставляется декартову учению о материи. Безусловно, между этими теориями имеется различие: у Декарта протяженность выступает единственным существенным свойством материи, у Ньютона же протяженность является наряду с силой притяжения одним из существенных свойств тел. Другие их существенные свойства: твердость, инерция, непроницаемость, по Ньютону, — производные от двух первых.

Сближение взглядов Ньютона и Декарта по этому вопросу, как нам представляется, не случайно. Выйдя за пределы механики, Ньютон в значительной степени теряет те преимущества, которые ему дает количественный анализ. Объясняя взаимодействие разнокачественных явлений, Ньютон логикой развития собственных исходных положений вынужден был вопреки собственному заявлению «гипотез не измышляю» выдвигать, как и Декарт, одну гипотезу за другой. Причем эти гипотезы, как и гипотезы Декарта, не могли быть в то время ни подтверждены, ни опровергнуты.

Однако если брать учение Ньютона в целом, а не только его гипотезы в области оптики, то можно утверждать, что оно построено на понятии конечного бесструктурного атома. Таким образом, Ньютон в отличие от Декарта противопоставляет абсолютную непрерывность пространства и абсолютную дискретность вещества.

Говоря о строении материи, Ньютон утверждает, что материя имеет первоначальную форму твердых, массивных, непроницаемых, подвижных частиц. «Эти первоначальные частицы, — пишет он, — являясь твердыми, несравнимо тверже, чем всякое пористое тело, составленное из них, настолько тверже, что они никогда не изнашиваются и не разбиваются в куски»²¹. Неизменность форм, размеров частиц наряду с постоянством сил взаимодействия между ними определяет, по Ньютону, неизменность нашего мира, постоянство законов природы, изменить которые может только сверхъестественная сила. Итак, полагал Ньютон, в основе мира и законов, им управляющих, находятся атомы в различных сочетаниях и силы.

Из изложенного вытекает, что в классической физике к началу XVIII в. господствующее положение занимают представления, согласно которым пространство, время, движение считались только непрерывными, материя — дискретной. Именно исходя из этого формулировались законы механики, в частности закон инерции — отправной пункт ньютоновой физики. Сочетание названных представлений в рамках этой физики возможно лишь при обособлении материи от ее атрибутов — движения, пространства и времени. Но благодаря такому решению стала возможна математизация физики, переход к количественному анали-

²¹ Там же, стр. 311.

зу — основе грандиозных достижений не только физики, но и всей науки.

Учитывая, что представления Ньютона о прерывности материи и непрерывности движения, пространства, времени легли в основу механической картины мира, целесообразно рассмотреть влияние на автора «Начал» и «Оптики» философских представлений о дискретности материи.

В XVII в. наиболее последовательно эти идеи развивались в учении Гассенди. Возрожденная им античная атомистика оказала существенное влияние на становление классической физики. В свою очередь на мировоззрение Гассенди оказала значительное влияние специфика развития науки XVII в., особенно формирование метафизического метода мышления, что, естественно, сказалось и на решении мыслителем проблемы взаимосвязи свойств материи, движения, пространства и времени.

Следует напомнить, что значительным достижением античной философии является установление (на уровне механических представлений) взаимозависимости прерывности и непрерывности пространственных размеров тел, движения, пространства, времени. Признание факта конечной делимости или бесконечной делимости одного из перечисленных выше свойств материи с необходимостью приводит к признанию прерывности или непрерывности остальных. Как известно, Демокрит и его последователи отстаивали эту взаимосвязь, т. е. исходили не только из атомизма в строении материальных объектов, но и из дискретности движения, пространства и времени²².

Казалось бы, последовательно излагая атомистику античных мыслителей, Гассенди должен был осветить

²² См. С. Я. Лурье. Демокрит. Л., 1970, стр. 270—274, 475—477.

взаимосвязь материи, движения, пространства и времени. Однако он не сделал этого. Более того, по существу Гассенди в работе «Свод философии Эпикура» отверг указанную взаимосвязь: движение и пространство он мыслил как непрерывные²³. Он особенно четко противопоставляя дискретность тел континуализму пространства, что вытекало из представлений Гассенди о пространстве как абсолютной пустоте, являющейся лишьместилищем для всех материальных объектов.

Мир, по Гассенди, состоит из тел и пустоты, ничего третьего вообразить себе нельзя. Тела, полагал он, обладают свойствами: величиной или массой, фигурой и упругостью (иначе: плотностью и непроницаемостью), тяжестью, способностью касаться и испытывать соприкосновения. «Пустота же (или вакуум), — писал он, — противопоставляемая телам, специфическое свойство которой — бестелесность, мыслится как отрицание перечисленных выше свойств тел и, главное, как нечто по природе своей неосязаемое, лишенное всякой плотности, неспособное ни действовать, ни подвергаться воздействию; единственное, что она допускает, — это максимальную свободу движения для проходящих через нее тел»²⁴. Приведенное определение говорит о том, что, по Гассенди, пространство является абсолютной пустотой, неспособной взаимодействовать с чем-либо. Будучи абсолютной пустотой, пространство может мыслиться только как непрерывное, причем идея континуальности здесь выступает в своем предельном случае, ибо понятие абсолютной

²³ П. Гассенди. Соч., т. 1. М., 1966, стр. 139, 140, 160, 162 и др. Только один раз, в посмертно изданной «Синтагме», Гассенди, стремясь преодолеть апории Зенона, рассматривает возможность устранения трудностей при описании различных скоростей посредством прерывистого движения.

²⁴ Там же, стр. 139.

пустоты исключает даже в возможности переход к дискретности.

Определенным упрощением атомистики Демокрита—Эпикура можно считать также отстаивание Гассенди неизменной конфигурации атомов.

Из изложенного выше можно сделать вывод о том, что Гассенди, возрождая античную атомистику, в значительной степени лишил ее довольно существенных диалектических моментов. Но, как ни парадоксально, именно метафизическая концепция атомистики Гассенди оказала значительное влияние на естествоиспытателей, в том числе и на Ньютона. «Нужно знать, — свидетельствует Вольтер в «Элементах философии Ньютона, доведенных до всеобщего понимания», — что во всем, относящемся к пространству и к длительности, к границам мира, Ньютон следовал за древними, за Демокритом и Эпикуром и множеством других философов, выправленных нашим знаменитым Гассенди. Ньютон неоднократно говорил французам, живущим и сейчас, что считает Гассенди мыслителем весьма точным и мудрым и что он, Ньютон, вменяет себе в славу то, что он придерживается мнения Гассенди во всех вопросах, только что указанных»²⁵. Воссозданная и «выправленная» Гассенди картина мира была принята Ньютоном как исходная для построения первой физической картины мира — механической. Все основные исходные понятия и принципы, за исключением важнейшего понятия силы (соот-

²⁵ *Voltaire. Oeuvres complètes*, 1784, t. 31, p. 37. Нужно добавить, что, по мнению В. П. Зубова (см. его «Развитие атомистических представлений до начала XX века». М., 1965, стр. 291), в учении об абсолютности времени Ньютон испытал влияние своего учителя Барроу (*J. Barrow. Lectiones Geometricae*.—«*The Mathematical Works*». Cambridge, 1860, p. 160—161), который в свою очередь в этом вопросе находился под влиянием идей Платона.

ветственно — принципа дальнего действия) гассендиевой картины мира перешли в ньютонову механику. Соответственно решение Гассенди проблемы прерывности — непрерывности материи, движения, пространства и времени остается в целом верным и для ньютоновой механики.

Приведем еще одно свидетельство влияния взглядов Гассенди на Ньютона. Так Дж. Бернал пишет: «Данное им (т. е. Гассенди. — *Авт.*) определение атомов чуть ли не дословно такое же, как у Ньютона в его «Оптике», изданной пятьдесят лет спустя. Гассенди так убедительно обосновал эту точку зрения, что она была принята всеми натурфилософами, не принадлежавшими к числу ревностных приверженцев декартовой заполненности с ее вихрями»²⁶.

Действительно, сопоставление определений атомов у Гассенди²⁷ и у Ньютона²⁸ показывает, что эти определения в основном схожи. Но у них есть и существенные различия в понимании свойств самих атомов. Например, по представлению Ньютона, атомы «движутся некоторыми активными началами, каково начало тяготения и начало, вызывающее брожение и сцепление тел»²⁹. Признавая движущие силы присущими изначально атомам, Ньютон (в отличие от Гассенди) освободился от необходимости объяснить сцепление атомов посредством их разнообразных фигур. Отсюда же вытекает, как мы отмечали выше, безразличие Ньютона в большинстве случаев к форме и величине атомов.

Таким образом, в физике рассматриваемого периода наибольшее распространение получили два понятия материи: картезианское и ньютоновское. Соглас-

²⁶ Дж. Бернал. Наука в истории общества. М., 1956, стр. 256.

²⁷ П. Гассенди. Соч., т. 1, стр. 151.

²⁸ Ньютон. Оптика, стр. 311.

²⁹ Там же.

но первой точке зрения, материя, будучи отождествленной с пространством, в основе своей непрерывна. Структурность, т. е. прерывность материи, есть результат привнесения в нее извне движения и является вторичной по отношению к ее континуальности. Согласно второй точке зрения, материя представляется как совокупность неделимых атомов, составляющих тяготеющие тела и невесомые субстанции, т. е. как только прерывная. Здесь непосредственно с атомами связано не движение, а разнородные силы, выступающие в качестве причины движения. Если в содержании первого понятия материи идея прерывности уже получила известное развитие, то в содержании второго понятия материи идея непрерывности находится в возможности, точнее, она существует не в структурном плане, а в функциональном. Только в процессе длительного развития науки идея непрерывности такой характеристики материи, как изменение величины силы, претерпит метаморфозу и разовьется в теорию непрерывности поля.

Общим для этих двух понятий материи является их механико-геометрическое истолкование, что предопределяет пространственно-временную интерпретацию прерывности и непрерывности материи.

В связи с рассмотренными в настоящем параграфе причинами господствующее положение в физике XVIII в. заняла атомистическая концепция материи. Соответственно абсолютная ее дискретность и непрерывность изменения величины силы, а также непрерывность движения, пространства, времени стали оказывать значительное влияние на познание природы через механическую картину мира.

Утверждению атомистики и формированию представлений о взаимной отгороженности всеобщих свойств материи (в том числе дискретности от непрерывности) способствовало в значительной мере гос-

подство аналитического метода в научном исследовании физических явлений. Именно посредством анализа Галилей, Декарт, Ньютон и другие физики смогли выделить простейшие виды движения, изучить их, а затем на основе этого изучения, используя такие понятия, как «материальная точка», «сила», и другие (полученные также аналитически), сформулировать законы механики, выработать математический аппарат для последовательной реализации динамического принципа причинности. Разложение природы на отдельные части, писал Ф. Энгельс, было основным условием исполинских успехов науки за последние четыреста лет. Но этот способ изучения создал, подчеркивал он, специфическую ограниченность последующих столетий — метафизический способ мышления³⁰.

Этот метафизический способ мышления и предопределил основной подход к исследованию проблемы прерывности и непрерывности в физике и большинстве философских систем XVIII — первой половины XIX в.

3. РАЗВИТИЕ ИДЕЙ ПРЕРЫВНОСТИ И НЕПРЕРЫВНОСТИ В ПЕРИОД УТВЕРЖДЕНИЯ ГОСПОДСТВА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА

Идея о неделимости атомов, как уже отмечалось, приводит в ньютоновой физике к отождествлению понятия материи с понятиями атома и массы. Согласно этой теории, свойства материи как совокупности атомов определялись неизменными свойствами атомов.

Поскольку в этой физике постулировалась непрерывность изменения величины силы, то и движение, производное от этой силы, рассматривалось как непрерывное, а это предопределило представление о не-

³⁰ См. К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 20—21.

прерывности пространства, времени и динамических цепей причинения. Именно такое представление становится типичным для большинства атомистических систем. Оно явилось одной из предпосылок механистического материализма, ограниченность которого все явственнее обнаруживалась в процессе дальнейшего развития физической науки.

Наука середины и второй половины XIX в. обогатилась, как известно, рядом крупных открытий, которые значительно ускорили развитие естествознания. Диалектическое содержание этих открытий вступило в противоречие с метафизическим методом мышления, господствовавшим в тот период. Ключевым вопросом в философии и естествознании становится проблема строения (следовательно, прерывности и непрерывности) материи.

В числе сравнительно немногих физиков первой половины и середины XIX в., сумевших в значительной степени преодолеть ограниченность метафизического способа мышления, наиболее яркой фигурой был, несомненно, Фарадей.

Необходимо указать на открытия, повлиявшие на работы Фарадея. Это создание постоянного источника электроэнергии — гальванического элемента, что позволило исследовать тепловые, магнитные и химические проявления электрического тока, а также условия его протекания. В 1819 г. Эрстед, руководствуясь идеей Шеллинга о единстве сил природы, установил действие электрического тока на магнитную стрелку, чем положил начало исследованиям по изучению электромагнитных явлений. Продолжая изучение электромагнетизма, Ампер в 1820 г. выдвинул гипотезу о магните как теле, в котором магнитные свойства порождаются циркуляцией электрического тока. Он показал, что проволоочная спираль при прохождении через нее тока ведет себя, как магнит.

В 1821 г. Фарадей подтверждает гипотезу Ампера открытием так называемого электромагнитного вращения. В дальнейшем Фарадей, руководствуясь идеей о единстве и взаимопревращаемости сил природы, в ходе работы над «образованием электричества из магнетизма» установил явление, получившее название электромагнитной индукции. Исходя из экспериментальных данных, Фарадей пришел к убеждению, что явление индукции обладает всеобщностью в электрических процессах. Это явление, по Фарадею, заключается в поляризации частиц в материальной среде. Сначала поляризуется точка, соприкасающаяся с телом, затем поляризуются другие точки, соседствующие с первыми, и т. д. Вследствие непроводимости среды в диэлектриках индукция сохраняется, в проводниках же, наоборот, она непрерывно нарушается; указанное нарушение и образует электрический ток. Но будет ли наблюдаться индукция в пустоте, где не существует обычная среда и, следовательно, не может быть поляризующихся обычных частиц? Для ответа на поставленный вопрос Фарадей проводит большое количество экспериментов. В результате он приходит к представлению о существовании реальных (по Фарадею, «физических») силовых линий как в веществе, так и в пустом пространстве.

Однако реальность силовых линий свидетельствует о наличии в так называемой пустоте какого-то агента. «Из результатов прежних опытов, — пишет Фарадей, — следует, что пустота обладает своими особыми свойствами притяжения; и вследствие этого пустота по отношению к материальным телам стоит не на одном из концов их ряда, а *посередине*, скажем, между золотом и платиной, а другие тела располагаются по ту и другую сторону»³¹.

³¹ М. Фарадей. Экспериментальные исследования по электричеству, т. III. Б/м., 1959, стр. 590—591.

Очевидно, что такой вывод несовместим с классической атомистикой, и Фарадей подвергает ее основательной критике. Приняв атомы и пространство между ними как две абсолютные сущности и допустив пространство непрерывным, Фарадей пришел к выводу, что оно «должно пронизывать все массы материи во всех направлениях подобно сети, с той разницей, что вместо петель оно образует ячейки, изолируя каждый атом от его соседей и только само оставаясь непрерывным»³². Исходя из этих представлений и принимая во внимание существование изоляторов, можно сделать единственный, полагает Фарадей, вывод: пространство — не проводник. Действительно, допустив обратное, т. е. представив пространство проводником (чем-то вроде металлической ткани, пронизывающей вещество по всем направлениям), мы, по Фарадею, должны признать, что в природе нет изоляторов. Но такой вывод противоречит эксперименту.

Однако, принимая как экспериментальный факт наличие проводников, например металлов, мы, согласно Фарадею, исходя из изложенных выше представлений, должны прийти к заключению о пространстве как проводнике, ибо только оно является непрерывным. Из этого противоречия, делает вывод Фарадей, «следует, что, принимая обычную атомную теорию, надо считать пространство непроводником в непроводящих телах и проводником в проводящих телах, но такой окончательный вывод является полным провалом этой теории...»³³. Следовательно, сведение материи к традиционному атому вступило в противоречие с экспериментальными фактами.

Предлагаемый Фарадеем выход из создавшегося противоречия состоял в отказе от отождествления ма-

³² М. Фарадей. Экспериментальные исследования по электричеству, т. II. Б/м., 1951, стр. 394.

³³ Там же, стр. 395.

терии с атомами в классическом их понимании. В аспекте проблемы прерывности и непрерывности это означало отказ от абсолютизации момента дискретности в строении материи, что, несомненно, представляет собой существенный шаг в преодолении метафизического решения проблемы прерывности и непрерывности.

Отвергая классическую атомистику, Фарадей подчеркивал, что наименьшей гипотетичностью (по сравнению с другими представлениями о структуре материи) обладает учение известного хорватского философа Бошковича. «Его атомы, — продолжает он, — являются просто центрами сил или действия, а не частицами материи, на которых эти силы находятся»³⁴. Фарадей оспаривает взгляд, согласно которому кроме воспринимаемых сил имеется еще и бездейственный и никак не проявляющийся носитель этих сил, и развивает мысль о невозможности различать систему сил, действий (обозначаемых через символ *ш*) и атом без сил (обозначаемый через *а*). В металлическом калии, к примеру, пишет Фарадей, проводящая способность, а также другие свойства определяются не атомом *а*, который без сил не способен к действию, а силами *ш*. «Но тогда очевидно, — продолжает он, — материей калия является *ш*, ибо какое, хотя бы малейшее, основание (разве только произвольное допущение) существует для того, чтобы предполагать какое-либо различие между природой пространства, находящегося между центрами двух смежных атомов, и любого другого места между этими центрами? Я могу допустить различие в степени и даже в природе сил, согласующееся с законом непрерывности, но различия между предполагаемой маленькой

³⁴ Там же, стр. 399.

твердой частицей и силами вокруг нее я не могу представить»³⁵.

Как видно, Фарадей, во-первых, отождествляет в сущности свойства материи со свойствами пространства (т. е. в значительной степени возрождает картезианское понятие материи), во-вторых, он растворяет неизменный носитель сил, т. е. традиционный атом, в самих силах.

Последнее обстоятельство породило у ряда исследователей представление об идеализме Фарадея. Так, известный историк естествознания Т. П. Кравец в комментарии к работам Фарадея пишет: «Явное отрицание материи и замена ее энергией видны в тех рассуждениях, которые читатель найдет в последнем абзаце стр. 399 и далее на стр. 400. Конечно, это не материалистическое миропонимание, а нечто ему противоположное»³⁶.

Нам представляется, что позиция Т. П. Кравца по данному вопросу совпадает с точкой зрения тех философов-идеалистов, которым было выгодно ссылаться на Фарадея как своего единомышленника³⁷. Но великий физик отрицал не материю как познаваемую объективную реальность, а выступал против сведения

³⁵ Там же, стр. 399—400.

³⁶ Цит. по: там же, стр. 422.

³⁷ «Уже Фарадей, — пишет, например, П. Вальден (в предисловии к опубликованной речи Оствальда «Несостоятельность научного материализма»), стремясь обосновать свою мысль об идеализме английского физика, — высказал убеждение в том, что атомы сами по себе не могут иметь физического существования; что они суть не что иное, как точки пересечения бесконечно многих линий энергии, сходящихся с разных сторон вселенной. По Фарадею, постоянная материя есть только выражение возможности непрерывного повторения внешних явлений: материя — это сила, а атомы — центры сил» (*В. Оствальд. Несостоятельность научного материализма. Рига, 1895, стр. IV*). Как видно из приведенного, П. Вальден выдает континуализм за идеализм.

материи к совокупности атомов в традиционном их понимании. Это показывает следующее рассуждение Фарадея.

Исключение *a*, не зависящего от сил, пишет Фарадей, возможно, затруднит мысль о «силах материи, независимых от чего-то отдельного, что должно называться материей, но, конечно, гораздо труднее и даже невозможно думать или воображать эту материю независимой от сил. Но силы нам известны, и мы узнаем их в каждом явлении вселенной, а отвлеченную материю — ни в одном; зачем же тогда предполагать существование того, чего мы не знаем, чего не можем себе представить и для чего нет никакой научной необходимости»³⁸.

Из приведенной цитаты следует, что Фарадей отрицает существование такой материи, которая, строго говоря, выключена из какого-либо взаимодействия и поэтому принципиально непознаваема. В то же время не следует забывать, что понятие силы у исследователя предполагает прежде всего физическую линию силы, обладающую всеми атрибутами объективной реальности. Поэтому сведение Фарадеем материи к силам означает не дематериализацию природы, а материализацию самих сил.

Соответственно и пустота у него материальна. «...Материя, — пишет физик, — присутствует везде, и нет промежуточного пространства, не занятого ею. В газах атомы касаются друг друга точно так же, как и в твердых телах. Отсюда следует, что атомы воды касаются друг друга, в каком бы виде они ни находились: в виде льда, воды или пара; пустого промежуточного пространства вовсе нет. Без сомнения, расстояния между центрами сил меняются, но то, что яв-

³⁸ М. Фарадей. Экспериментальные исследования по электричеству, т. II, стр. 400.

ляется сущностью материи одного атома, касается материи его соседей»³⁹.

Отсюда вытекает, что главным свойством материи, по Фарадею, является непрерывность. «Значит, материя, — продолжает он, — будет всюду непрерывной и, рассматривая ее массу, нам не надо предполагать различия между ее атомами и каким-то промежуточным пространством»⁴⁰. Именно такой взгляд на сущность и свойства материи, подчеркивает исследователь, позволяет преодолеть все противоречия, проистекающие от установления фактов электрической изоляции и проводимости.

Очевидно, что такое немеханическое понимание материи, логически подводящее к отождествлению ее с пространством, несовместимо с традиционным представлением об эфире, и Фарадей его отвергает. В статье «Мысли о лучевых колебаниях» исследователь, отстаивая идею передачи излучения посредством колебаний физических линий сил, пишет: «Точка зрения, которую я имею смелость предположить, рассматривает, таким образом, излучение как колебания высокого порядка в силовых линиях, которые, как известно, соединяют друг с другом частицы и тем самым материальные массы. Эта точка зрения стремится устранить эфир, но не колебания»⁴¹. Последовательно развивая эту точку зрения, Фарадей формирует представление о поле как физической реальности. Если у Ньютона представление о поле использовалось только как вспомогательная формально-математическая абстракция, помогающая облегчить расчеты гравитационных взаимодействий, то у Фарадея поле — это объективная реальность, играющая определяю-

³⁹ Там же, стр. 400—401.

⁴⁰ Там же, стр. 401.

⁴¹ М. Фарадей. Экспериментальные исследования по электричеству, т. III, стр. 623.

щую роль в электромагнитных и иных взаимодействиях.

Фарадеевское понимание поля имело большое значение для развития не только учения об электромагнетизме, но для физики в целом. Однако английский исследователь, развивая свою концепцию материальности сил, приходит к выводу, что поле является единственным, основным физическим видом материи. «...То, — пишет Фарадей, — что представляет размеры (частичек. — Авт.), можно считать распространенным на любое расстояние, на которое распространяются силовые линии частицы. В этом случае необходимо предполагается, что частица существует только через эти силы и находится там, где находятся они»⁴². Таким образом, Фарадей, растворив вещество в поле, по существу отождествил понятие поля с понятием материи.

В работах Фарадея налицо качественный скачок в развитии естественнонаучного представления о материи. Если в ньютоновой физике господствующее положение занимала вещественная модель материи, субстратом которой признавались неизменные себе тождественные атомы, то в учении об электромагнитных явлениях, начиная с исследований Фарадея, формируется полевая концепция материи, субстрат которой растворяется в протяженности. Этот скачок влечет за собой качественный переход от представления о материи как дискретной (по причине допущения абсолютной неделимости атомов) к представлению о ней как континуальной, поскольку допускалось, что протяженность делима на части, всегда делимые.

В плане движения познания по пути раскрытия единства таких противоположностей в строении материи, как прерывность и непрерывность, важно обра-

⁴² Там же, стр. 619.

тить внимание на следующее. В ньютоновой физике определяющим свойством материи является дискретность; непрерывность же характеризует материю через общие свойства атомов (протяженность, плотность, тяжесть и др.), позволяющих в аспекте этих свойств рассматривать вещественную модель материи как непрерывную, кроме того, и это наиболее существенно, через непрерывность изменения величины силы. В концепции Фарадея непрерывность такого внешнего свойства материи, как сила, развернулась в континуальность поля.

Качественный скачок в развитии понятия материи, совершившийся в работах Фарадея, хотя и явился необходимым этапом в постижении объективной истины, еще не привел к последовательно диалектическому решению проблемы прерывности и непрерывности. У Фарадея основной физической реальностью выступает поле, физические свойства которого определяет течение электромагнитных процессов. Отсюда следует, что непрерывность является ведущей стороной в содержании понятия материи, а прерывность оказывается в конечном счете как бы вторичной, производной от континуальности поля. Такое понимание в принципе оставалось неизменным в дальнейшем развитии электродинамической картины мира.

Диалектико-материалистическое же решение проблемы, допуская выдвижение на первый план в различных объективных ситуациях и на различных уровнях нашего знания то прерывности, то непрерывности, предполагает в качестве важнейшего момента тождество этих противоположностей и их взаимопереход⁴³.

Фарадеевское понятие материи сложилось в процессе его многолетних исследований в области элект-

⁴³ См. В. С. Готт. Философские проблемы современной физики. М., 1972, стр. 146—161.

ричества. В то же время именно такому понятию материи он был обязан своими выдающимися успехами в области электромагнетизма. Кроме электромагнитной индукции Фарадею принадлежит, как известно, честь открытия электростатической индукции, законов электролиза, диамагнетизма, явлений магнитооптики и ряда других. Однако, и это важно подчеркнуть, все эти открытия допускали в то время удовлетворительное объяснение и с позиции теории дальнего действия.

Действительно, истолкование явлений статического характера как в теории дальнего действия, так и в теории ближнего действия не учитывает конечной скорости распространения напряжений. Фарадеево объяснение явлений динамического характера электромагнитной индукции учитывает конечную скорость распространения напряжений. Но возможность доказать это положение в эксперименте появилась значительно позже, благодаря работам Гельмгольца и Герца. В теории дальнего действия явления электромагнитной индукции объяснялись посредством конечной скорости не поля, а зарядов. Нейманом (1845 г.), Вебером (1846 г.), Риманом (1853 г.), Клаузиусом (1877 г.) и другими учеными были предложены гипотезы, согласно которым заряды вызывают силы (дополнительные к кулоновским силам), зависящие от величины этих зарядов и их скоростей.

Допустимость интерпретации новых открытий Фарадея в рамках ньютоновой физики привела к тому, что его современники, восторгаясь экспериментами и открытиями великого исследователя, отвергали или просто не понимали его идеи о материи. «Я заявляю, — писал, например, английский физик Дж. Эйри, — что мне трудно себе представить, чтобы кто-нибудь знающий практическое и численное совпадение данных наблюдения с результатами вычисления, основанного на действии на расстоянии, мог хотя бы одно

мгновение колебаться между этим простым и точным действием, с одной стороны, и чем-то столь расплывчатым и изменчивым, как линии сил, с другой»⁴⁴.

Противоречие между идеями Фарадея относительно прерывности и непрерывности и взглядами большинства его современников отражало противоречие, возникшее в физической науке между диалектикой и метафизикой в аспекте рассматриваемой проблемы. Их эклектическое соединение в работах ряда естествоиспытателей привело лишь к углублению этого противоречия.

Дальнейшее развитие полевой концепции материи в физике связано, как известно, с именем Максвелла. В своих уравнениях он дал количественную формулировку законов электромагнитного поля. На основе анализа этих законов и ряда экспериментально установленных фактов усилиями большого отряда исследователей были сделаны выводы о сущности и свойствах этого поля. Для нас важны следующие выводы:

а) непрерывное поле — основное, не сводимое ни к чему иному состояние материи, являющееся объектом исследования в электродинамике. Частицы — носители электрических зарядов можно представить в виде предельных концевых точек силовых линий поля;

б) изменение напряженности поля протекает во времени и описывается дифференциальными уравнениями в частных производных: иными словами, передача действия происходит непрерывно с конечной скоростью от точки к точке поля, от мгновения к мгновению;

в) свет есть электромагнитный процесс;

г) пространство является единственным носителем поля, т. е. физические свойства пространства совпадают с физическими свойствами поля.

⁴⁴ Цит. по: Б. И. Спасский. История физики, ч. 1. М., 1963, стр. 302.

С качественной стороны эти выводы, как нетрудно заметить, содержат в более развитой форме идеи Фарадея. В них сохраняются элементы диалектики прерывности и непрерывности, присущие воззрениям английского физика. Однако для того, чтобы эти идеи, получив количественную обработку в трудах Максвелла и других исследователей, стали общепринятыми, естествоиспытателям нужно было убедиться в ограниченности механической картины мира, в невозможности непротиворечивого (в смысле формальной логики) описания явлений электромагнетизма в понятиях классической механики. Этот сложный, порою драматический процесс представлял собой крушение иллюзии о единственности и всеобщности первой (т. е. механической) физической картины мира.

Идеи Фарадея—Максвелла несовместимы с принципом дальнего действия. По этой причине появление электромагнитной теории было воспринято крайне прохладно. Планк отмечает особенно сдержанное отношение к новой теории в Германии в связи с тем, что там разработка электродинамики проходила по пути расширения ньютоновой идеи дальнего действия. «Утверждение Фарадея и Максвелла, — пишет он, — что непосредственного дальнего действия не существует и что силовое поле обладает самостоятельным физическим существованием, было так чуждо всему этому ходу мыслей, что теория Максвелла не имела вообще в Германии никакой почвы и вряд ли принималась во внимание. В лучшем случае электромагнитную теорию света рассматривали как интересный курьез»⁴⁵.

Мысль Фарадея о том, что эффект задержки в передаче электромагнитных состояний, т. е. включение временного параметра в описание поля, служит ре-

⁴⁵ М. Планк. Джемс Клерк Максвелл и его значение для теоретической физики в Германии. — Дж. К. Максвелл. Статьи и речи. М., 1968, стр. 239.

шающим доказательством в пользу близкодействия, строго говоря, была не совсем верной, ибо в терминах дальнодействия, как уже отмечалось, удавалось построить гипотезы, объясняющие эту задержку. Однако применительно к одному из видов цепей, считавшихся до максвелловой теории разомкнутыми, — например, с включением конденсаторов — эти гипотезы перестают «работать» по той причине, что они не учитывают протекание между пластинами конденсатора тока смещения, открытого Максвеллом. Ток смещения является основным в формулировке законов электромагнитного поля. Этот ток неразрывно связан со средой (как и понятие тока с понятием среды), так как представляет собой (по Максвеллу) смещение электричества в каждой точке пространства. Понятие пустоты исключает такую возможность.

Отсюда ясно, что экспериментальное подтверждение факта существования токов смещения может рассматриваться как доказательство в пользу максвелловой теории⁴⁶. По инициативе Гельмгольца Н. Н. Шиллером, а затем и Роуландом была поставлена серия опытов с незамкнутыми токами, которая, однако, не дала возможности сделать окончательный выбор⁴⁷. Только в 1887 г. Герцу (тоже по предложению Гельмгольца) удалось экспериментально доказать индукционное действие токов смещения в изоляторе. В следующем 1888 г. Герц получил электромагнитные волны и дал тем самым окончательное подтверждение теории электромагнитного поля. С этого момента она была признана большинством исследователей, а вме-

⁴⁶ Интересно отметить, что даже в 1888 г. Томсон писал, что гипотезу о токе смещения трудно защитить (*W. Thomson. Report of British Association, 1888, p. 567*).

⁴⁷ См. Б. И. Спасский. История физики, ч. 2, § 64. Экспериментальное обоснование теории электромагнитного поля. М., 1964.

сте с ней восторжествовала в физике идея близкодействия.

А. Эйнштейн писал об этом: «Стало ясно, что в физике произошло нечто весьма важное. Было создано новое понятие, для которого не было места в механическом описании. Постепенно понятие поля утвердило за собой руководящее место в физике и сохранилось в качестве одного из основных физических понятий. Для современного физика электромагнитное поле столь же реально, как и стул, на котором он сидит»⁴⁸.

На основании своих уравнений Максвелл пришел к выводу о том, что переменное электромагнитное поле распространяется в пустоте со скоростью света. Отталкиваясь от этого вывода, а также опираясь на идеи Фарадея о сущности света и на экспериментальные данные о равенстве скорости света электромагнитной константе, он выдвигает гипотезу об электромагнитной природе света. Вытекающий из этой гипотезы вывод о существовании светового давления был подтвержден П. Н. Лебедевым, что было воспринято как еще одно доказательство верности не только представления о свете как электромагнитных волнах, но и о теории Максвелла в целом.

Установление факта единой природы световых, электрических и магнитных явлений привело исследователей к заключению о тождественности светоносного, электрического и магнитного эфиром.

По представлениям подавляющего большинства физиков XIX в., единый эфир, с одной стороны, подчиняется максвелловым уравнениям поля, с другой стороны, конструируется ими при помощи механических представлений. Так возникло противоречие между немеханическим содержанием законов поля и понятия-

⁴⁸ А. Эйнштейн и Л. Инфельд. Эволюция физики. М., 1948, стр. 144.

ми, принципами ньютоновой картины мира. Если сведение физической формы движения материи к механической представлялось исследователям вполне выполнимым, то с выяснением качественного своеобразия электродинамических процессов такая задача становилась для этих исследователей все более и более бесперспективной.

Неудачи целого ряда предложенных механических конструкций эфира привели к тому, что впоследствии задачу перевернули: стали предпринимать усилия в направлении объяснения механических понятий и законов посредством законов и понятий электродинамики.

Из имевших место в истории науки попыток свести электродинамику к механическим концепциям проанализируем (преимущественно в плане прерывности и непрерывности) взгляды Максвелла, во-первых, потому, что эти взгляды (если исключить некоторые особенности, несущественные здесь) наиболее типичны для представлений физиков второй половины XIX в., во-вторых, потому, что он является создателем уравнений поля. Взгляды этого исследователя привлекают наше внимание еще и потому, что, развивая «след в след» фарадеевы идеи поля, он упустил наиболее революционную идею гениального самоучки (а вместе с нею и элементы диалектики, содержащиеся в работах Фарадея и в собственной электромагнитной теории) и не смог в должной мере освободиться от механической концепции эфира, от механического истолкования законов электродинамики⁴⁹.

⁴⁹ Пуанкаре подчеркивал: «Максвелл не дает механического объяснения электричества и магнетизма: он ограничивается тем, что доказывает возможность такого объяснения» (*А. Пуанкаре. Введение к кн. «Электричество и оптика».* — В сб.: «Вариационные принципы механики». М., 1959, стр. 773). Нужно отметить, что и в нашей литературе нет единого мнения по этому вопросу.

Попытка Максвелла свести электромагнитные явления к механическим обнаруживается в его статье «Эфир».

Анализируя вопрос о роли эфира в отношении распространения излучений, исследователь приходит к выводу, что «свет не вещество, а процесс, происходящий в веществе...»⁵⁰. Доказывается это интерференцией света. Если одна часть луча может уничтожить действие другой, то отсюда вытекает ошибочность допущения субстанциальности света, ибо «нельзя же предположить, — пишет он, — чтобы два тела, расположенные рядом могли уничтожить друг друга...»⁵¹.

Уже здесь сказывается ограниченность (по сравнению, скажем, с Фарадеем) максвелловского понимания материи. Материя, утверждает Максвелл, есть основное первовещество, обладающее свойствами постоянной плотности, абсолютной подвижности и доступное для нашего восприятия. Доступной восприятию ее делает движение. Поэтому в нашем восприятии, по Максвеллу, материя есть способ движения первовещества, сущность же ее заключается в способности быть субстратом движения. «Мы вообще

Так, П. С. Кудрявцев пишет, что Максвелл «ясно понимал, что его уравнения являются законами новой области физических процессов, не сводимых к механике» (П. С. Кудрявцев. Развитие теории электромагнитного поля. — «Очерки развития основных физических идей». М., 1959, стр. 252); М. В. Мостепаненко полагает, что Максвелл «не давал эфиру механического истолкования...» (М. В. Мостепаненко. Философия и физическая теория. Л., 1969, стр. 126). У. И. Франкфурт и М. Г. Шраер пишут: «Вопрос о том, стремился ли сам Максвелл дать строгую теорию электродинамических явлений, целиком опирающуюся на механическое объяснение электричества и магнетизма, отнюдь не решается однозначно» (У. И. Франкфурт и М. Г. Шраер. Некоторые замечания к электродинамике Максвелла. — Дж. К. Максвелл. Статьи и речи, стр. 380).

⁵⁰ Дж. К. Максвелл. Статьи и речи, стр. 195.

⁵¹ Там же.

предполагаем, — писал Максвелл, — что сущность материи — быть носителем количества движения и энергии, и даже Томсон, в определении своей основной жидкости, приписывает ей обладание массой. Однако, согласно Томсону, хотя основная жидкость и есть единственная истинная материя, но то, что мы называем материей, не есть сама основная жидкость, а способ движения этой основной жидкости»⁵².

Если учесть, что энергия у Максвелла понимается только как механическая⁵³, то становится очевидным, что понятие материи у него не выходит за рамки механистических представлений. По сути дела понятие материи отождествляется у Максвелла с понятиями эфира и весомых тел. Причем атомы (следовательно, и тела, состоящие из атомов) допустимо рассматривать как вторичные по отношению к эфиру. Это подтверждается, во-первых, тем, что Максвелл полностью соглашается с гипотезой Томсона об атомах как кольцевидных образованиях среды, во-вторых, тем, что, по Максвеллу, понятие «молекула электричества» (т. е. заряда одновалентного иона) представляет собой временную гипотезу, которая в последующем развитии полевой теории отпадает⁵⁴.

⁵² Там же, стр. 152.

⁵³ В «Динамической теории электромагнитного поля» Максвелл пишет: «...говоря об энергии поля, я хочу, чтобы меня понимали буквально. Вся энергия есть то же, что и механическая энергия, независимо от того, существует ли она в форме движения, или в форме упругости или в какой-либо другой форме. Энергия электромагнитных явлений есть механическая энергия» (Дж. К. Максвелл. Статьи и речи, стр. 260).

⁵⁴ «Крайне невероятно, — пишет Максвелл, — чтобы мы удержали в той или иной форме теорию молекулярных зарядов, если нам удастся понять истинную природу электролиза, так как тогда у нас будет надежная основа, на которой можно построить правильную теорию электрических токов и таким образом освободиться от этих временных гипотез» (Цит. по: Б. И. Спасский. История физики, ч. 2, стр. 119—120).

Характерно отношение Максвелла к вихревой гипотезе атомов, предложенной Томсоном. Согласно этой гипотезе, атомы представляют собой устойчивые кольцообразные вихри исходной непрерывной праматерии, равномерно заполняющей все пространство и обладающей свойством постоянной плотности и совершенной подвижности. Сама эта праматерия в состоянии покоя недоступна для восприятия. Движение же превращает ее отдельные участки в вихреобразные кольца, т. е. в атомы.

Такое толкование атомистики, полагает Максвелл, содержит минимум гипотетического. «Теория вихрей-атомов, — пишет исследователь, — не имеет в себе ничего произвольного, не оперирует никакими центральными силами или скрытыми свойствами какого-либо другого рода. Здесь мы имеем дело только с материей и движением, и раз вихрь образовался, то все его свойства определяются первоначальным импульсом и никакие другие допущения уже больше невозможны»⁵⁵.

Нетрудно заметить, что эта гипотеза, хотя и исключает центральные силы, остается в рамках классической механики. Материя, согласно этой гипотезе, не является источником движения, она лишь объект приложения, носитель привнесенных импульсов и энергии. Хотя в общей форме идея о движении как источнике дискретности материи безусловно прогрессивна, однако во второй половине XIX в. такая механическая конкретизация этой идеи не может рассматриваться как значительное достижение. Идея атома как части среды, получившей извне движение, свидетельствует о значительном отставании естественнонаучной мысли от достижений философии в истолковании проблемы прерывности и непрерывности

⁵⁵ Дж. К. Максвелл. Статьи и речи, стр. 13.

материи. Дискретные образования (вихри-атомы) отличаются от континуума лишь геометрическими свойствами, так как внутренняя структура движущейся части праматерии изменений не претерпела. Иными словами, дискретность здесь привнесена в праматерию извне.

Метафизичность взглядов Максвелла на атомистику проявляется и в том, что он абсолютизирует момент устойчивости молекул и атомов: «...я прихожу к заключению, — пишет он, — что, поскольку ни один из процессов природы в течение разнообразных воздействий на различные отдельные молекулы не вызвал после ряда веков даже ничтожнейших различий между свойствами одной молекулы и свойствами другой, история сочетания которых была бы различной, мы не можем приписать ни их существование, ни тождество их свойств действию каких-нибудь из тех причин, которые мы называем естественными»⁵⁶.

Исключение центральных сил, геометризация атомов, абсолютизация их устойчивости — все это сближает максвеллово понимание атомистики с античной атомистикой.

Анализируя способность среды передавать энергию, Максвелл приходит к заключению о наличии у эфира свойств упругости, твердости и плотности, т. е. механических характеристик. Затем он рассматривает вопрос о движении эфира, его скорости, возможности ее определения относительно Земли и Солнечной системы, т. е. здесь исследователь употребляет общепринятые в то время представления, возникшие из допущения эфира как материального тела, взаимодействующего с другими телами в рамках законов классической механики.

Сравнив затем свойства электромагнитной среды со

⁵⁶ Там же, стр. 35.

свойствами светоносного эфира и исходя из равенства скорости света и скорости распространения возмущения электромагнитной среды, Максвелл приходит к заключению о тождественности этих двух эфиров и, следовательно, к выводу об электромагнитной природе света.

У Максвелла, следовательно, электромагнитное поле — это не вид материи, а процесс, состояние эфира, еще одно свойство среды. Коль скоро сама среда интерпретируется на уровне механических представлений, то на этом же уровне интерпретируется и данное свойство. Наш вывод о преимущественно механическом истолковании Максвеллом явлений электромагнетизма подкрепляется еще и тем обстоятельством, что он объяснял энергию, а также напряжение поля, опираясь на представления ньютоновой механики⁵⁷.

Такое решение в значительной мере предопределило максвеллово истолкование проблемы прерывности и непрерывности материи. Излагая свои представления о строении эфира, не соглашаясь с допущением объяснения упругости и сжимаемости промежутками между частицами среды, в статье «Эфир» он пишет: «Но нет ничего несовместимого с опытом в предположении, что упругость или сжимаемость суть свойства каждой части, как бы мала она ни была, и можно представить, что вся среда разделена на такие части, а в таком случае среда была бы строго непрерывна. Среда, однородная и непрерывная в отношении ее плотности, может быть, однако, сделана разнородной

⁵⁷ «Другая теория электричества, — пишет Максвелл, — которую я лично предпочитаю, отрицает действие на расстоянии и приписывает электрическое действие напряжениям и давлениям во всепроникающей среде, причем напряжения принадлежат к тому же роду, который известен технике...» (Там же, стр. 18).

ее движением, как в гипотезе В. Томсона о вихревых молекулах в совершенной жидкости»⁵⁸.

Мысль Максвелла о том, что среда, непрерывная в одном отношении, может быть одновременно дискретной в другом отношении, интересна. Но конкретизация этой идеи посредством механистических представлений обедняет ее, исключает элементы диалектики, присущие ей. Плотность, упругость или сжимаемость, по Максвеллу, — основные, определяющие свойства эфира. При переходе от континуального аспекта к дискретному эти свойства не меняются: следовательно, здесь нет качественного перехода. Континуальная среда выступает необходимым условием, основанием для возникновения дискретных образований. Максвелл не говорит об обратной обусловленности. Иными словами, эти противоположности у него не равноправны. Непрерывность — фундаментальная, определяющая сторона отношения, дискретность низведена до роли вторичной, подчиненной его стороны. Это и понятно, ибо уравнения электромагнитного поля описывают только непрерывные процессы, что возможно лишь при допущении последовательно континуальной среды (прежде всего в пространственном аспекте), так как любой разрыв среды исключает близкодействие. «Обширные межпланетные и межзвездные пространства, — писал Максвелл, — уже нельзя рассматривать как пустые места Вселенной. Мы находим их уже наполненными этой средой — наполненными так, что ничто не может удалить ее из самомалейшего участка пространства или произвести легчайший разрыв в ее бесконечной непрерывности». И далее следует наглядный образ, показывающий взаимосвязь континуализма Максвелла с его теорией поля: «Она (т. е. среда. — Авт.) простирается сплошь

⁵⁸ Там же, стр. 205.

от звезды до звезды; и когда молекула водорода колеблется в созвездии Пса, среда воспринимает импульсы этих колебаний и, неся их по своему беспредельному лону в течение трех лет, прямым путем, в правильной последовательности и полным счетом передает их в спектроскоп м-ра Гютгинса...»⁵⁹

Итак, по Максвеллу, материя в основе своей непрерывна. Дискретные же образования (тела, атомы, элементарные заряды) представляют собой поверхностный, вторичный структурный слой, который, собственно, и является объектом наших восприятий.

В самой общей форме представления Максвелла о непрерывности как фундаментальном, определяющем свойстве материи совпадают с фарадеевым истолкованием проблемы. Идеи Фарадея, получив математическую разработку и конкретизацию в исследованиях Максвелла, были сохранены им, хотя и в упрощенном виде. Это упрощение заключается прежде всего в том, что мысль Фарадея о поле как материальном образовании Максвелл в соответствии с механической картиной мира трансформировал в представление о поле как состоянии эфира. Соответственно континуальность поля подменяется у последнего континуальностью носителя этого поля — эфира.

В основе такого расхождения представлений Фарадея и Максвелла лежит различное понимание ими материи. Принятие Максвеллом господствовавшей в то время вещественной модели материи создало для него непреодолимую трудность в последовательном раскрытии элементов диалектики прерывности и непрерывности, объективно содержащихся в электромагнитной теории поля и уже в определенной степени осознанных Фарадеем. Это определило эклектическое соединение в работах Максвелла элементов диалек-

⁵⁹ Там же, стр. 61.

тики с односторонне механическим истолкованием электромагнитной теории поля.

Различное понимание Фарадеем и Максвеллом материи проявилось и в их отношении к теории динамизма Бошковича. Если Фарадей воспринимает силы в теории Бошковича как материальные⁶⁰, а источники этих сил преобразует в окончания и центры пересечения силовых линий, то Максвелл отказывается рассматривать эти силы в качестве материальных. Согласно теории Бошковича, пишет он, «...материя есть собрание математических точек, одаренных каждая способностью притягивать или отталкивать другие по определенным неизменным законам»⁶¹. Соответственно сама эта теория интерпретируется Максвеллом как описывающая взаимодействие тел на расстоянии⁶², в то время как Фарадеем она рассматривается в плане близкого действия.

Таким образом, различное содержание понятия материи у Фарадея и Максвелла с необходимостью приводит к противоположному истолкованию одних и тех же явлений действительности, что еще раз подтверждает центральное место категории материи в познании природы. Ясно, что через содержание этой категории философия оказывает существенное влияние на развитие естествознания, выступая в качестве методологии научного поиска.

Содержание понятия материи свидетельствует о процессе перехода от одной физической картины мира к другой. Действительно, с одной стороны, материя у Максвелла рассматривается как нечто находящееся в абсолютном пространстве, в этом сказывается влия-

⁶⁰ См. Б. Г. Кузнецов. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. М., 1966, стр. 292—293.

⁶¹ Дж. К. Максвелл. Статьи и речи, стр. 55.

⁶² Там же, стр. 125.

ние атомистических идей прошлого. С другой стороны, Максвелл почти отождествлял материю с пространством. Почти все механические свойства пространства определяются у него механическими свойствами среды, все механические свойства среды определяются соответствующими свойствами пространства. Здесь явно сказывается влияние картезианства.

Конечно, последующее развитие теории поля сняло это «почти» (мы имеем в виду в основном ньютоново объяснение инерционных сил) и освободило идею тождества пространства и материи от механистического истолкования. Однако до того, как это произошло, такое «переходное» понятие материи в одной из ее конкретизаций в виде эфира и оторванного от материи пространства послужило источником неразрешимых (в рамках такого понимания материи) противоречий.

Попытки разрешить эти противоречия привели к появлению множества механических гипотез эфира. Их провалы (особенно представление о покоящемся эфире, опровергнутое экспериментами Майкельсона-Морли) привели к убеждению о бесперспективности механического объяснения бурно развивающегося учения об электромагнитных явлениях. «Сперва поле рассматривали как нечто, — писали Эйнштейн и Инфельд, — что впоследствии можно будет истолковать механистически с помощью эфира. Со временем стало ясно, что эту программу нельзя осуществить, что достижения теории поля стали уже слишком поразительными и важными, чтобы их можно было заменить механистическими догмами. С другой стороны, задача придумывания механической модели эфира представлялась все менее и менее интересной, а результат, в силу вынужденного и искусственного характера допущений, все более и более обескураживающим.

Единственный выход — это допустить, что пространство обладает физическим свойством передавать электромагнитные волны...»⁶³.

Декартова идея тождества протяженности и материи через свое отрицание в ньютоновой механике снова возродилась в более развитой — электродинамической — картине мира. С утверждением идеи о тождественности поля с пространством, а также с признанием поля основным состоянием материи завершается процесс перехода от механической картины мира к электродинамической. Соответственно изменяется набор и содержание основных принципов и понятий физической картины мира. Так, понятие атома перестает быть первичным. Оно рассматривается уже как нечто производное от понятия континуума. Иными словами, фундаментальная идея абсолютной дискретности материи трансформируется в электродинамической картине в фундаментальную идею ее абсолютной континуальности.

Исходное понятие силы, преимущественно рассматривавшееся ранее как внешняя причина движения материи, заменяется здесь понятием энергии, истолковываемым в качестве атрибутивного свойства материи. Понятия пространства (через отождествление с полем) и времени (путем отказа от представления о бесконечной скорости взаимодействий) теряют свою независимость от понятия движущейся материи. Наиболее последовательно эта точка зрения проводится Эйнштейном в теории относительности.

Прежде чем начать ее рассмотрение в интересующем нас плане, необходимо сказать несколько слов об электронной теории Г. А. Лоренца.

Парадоксально, но именно Фарадей открыл законы, подтверждающие атомную теорию вещества (речь

⁶³ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV. М., 1967, стр. 452.

идет о законах электролиза и о введенном им понятии иона), указал на атомную структуру электрического заряда.

Начиная с 1878 г. Г. А. Лоренц, опираясь на труды Фарадея и Максвелла, начал разрабатывать электронную теорию вещества. Он пытался объединить идеи Френеля о взаимодействии эфира и вещества с максвелловским описанием электромагнитных явлений и с атомистическими воззрениями на электричество Вебера и Клаузиуса. Но Лоренц, даже после создания теории относительности, отстаивал взгляды об абсолютности времени и о независимости пространственных и временных переменных.

Характеризуя сложившуюся ситуацию в понимании взаимосвязи электромагнитного поля и заряда, М. Лауэ писал: «Подобно тому как Ньютон и его последователи рассматривали гравитацию как причинно обусловленный результат действия масс, так каждый физик первоначально рассматривал электрические силы как результат действия зарядов. Фарадей и Максвелл выдвинули на передний план понятие поля, а заряды были сведены к своего рода сингулярным точкам поля. Но отношение опять перевернулось, когда в связи с электронной теорией на передний план выступили атомные носители электрических элементарных зарядов. Нам кажется, что ни одно из этих воззрений не соответствует фактам. Заряды и поле настолько связаны друг с другом, что одно не может существовать без другого. Поэтому наука может с одинаковым успехом как принимать заряды за основу для познания поля, так и заключать о зарядах из изменений электрических силовых линий»⁶⁴.

Созданные Лоренцем электродинамика движущихся сред, знаменитые преобразования координат и вре-

⁶⁴ М. Лауэ. История физики. М., 1956, стр. 68—69.

мени (носящие его имя) сыграли роль предтечей специальной теории относительности.

Классическая физика, по Эйнштейну, построена на следующих взаимно несводимых основных понятиях: материальная точка, сила взаимодействия между материальными точками, инерциальная система, электромагнитное поле⁶⁵. Носителем дискретности в этой физике выступает понятие «материальная точка». Все остальные понятия интерпретировались в ней только в аспекте непрерывности.

Специальная теория относительности изменила набор фундаментальных понятий классической физики: она добавила в качестве исходного положения постоянство скорости света и отказалась от понятия материальной точки. Первое изменение было обосновано экспериментом, второе — тем, что, как пишет Эйнштейн, «относительность одновременности делает невозможным дальнейшее сохранение концепции дальнего действия и потенциальной энергии»⁶⁶.

По представлениям Эйнштейна, признание дискретности вещества необходимо приводит к принципу дальнего действия, т. е. к признанию взаимодействия тел через абсолютную пустоту, через пространство, не связанное с материей. Признание же идеи электромагнитного поля и ее последовательное развитие предполагает непрерывность всех элементов теории как во времени, так и в пространстве. Следовательно, материальной точке как фундаментальному понятию, подчеркивает Эйнштейн, нет места в полевой теории материи. С исключением из числа основных понятий «материальная точка» автоматически отбрасывается понятие «сила взаимодействия между точка-

⁶⁵ См. А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. II. М., 1966, стр. 787.

⁶⁶ Там же.

ми». Последнее, по Эйнштейну, тождественно понятию «потенциальная энергия».

Отказ от понятия «материальная точка» приводит к расширению классического понятия поля, оно теряет свою специфичность, так как перестает быть описанием только электромагнитных процессов. Эйнштейн считает, что полевая концепция материи способна однозначно описать любые процессы, протекающие в действительности.

Таким образом, по Эйнштейну, специальная теория относительности исходит из следующих фундаментальных понятий: поле, постоянство скорости света и инерциальная система отсчета. В этих исходных понятиях уже не находит своего отражения атомизм материи.

Из названных выше понятий лишь понятия «поле» и «постоянство скорости света» опираются на эксперимент. Поэтому Эйнштейн стремился освободиться от абстракции «инерциальная система отсчета» как исходной. В общей теории относительности он сводит инерциальную систему отсчета к так называемому полю смещения, являющемуся составной частью единого поля. Посредством этого единого поля, полагал Эйнштейн, не только можно отобразить все процессы, но оно есть единственное средство описания физической реальности. Эйнштейн подчеркивал, что полевая трактовка физической реальности неустранима, так как без нее невозможно сформулировать общую теорию относительности.

Из изложенного вытекает, что фундаментальное понятие «поле», на котором основывается общая теория относительности, выступает только как отражение непрерывности. Но если поле только непрерывно, то это с необходимостью приводит к признанию таковым и пространства-времени, поскольку, по Эйнштейну, физические свойства пространства-времени сводят-

ся к физическим свойствам поля. В общей теории относительности не существует понятия пространства, лишенного какого бы то ни было физического содержания. Физическая реальность пространства, по Эйнштейну, представляется полем, компоненты которого есть непрерывные функции четырех независимых переменных — пространственных координат и времени. Именно этот особый вид зависимости отражает пространственный характер физической реальности⁶⁷.

Данный сугубо континуальный подход Эйнштейна противоречит известным фактам дискретности вещества, энергетических процессов, электромагнитного излучения, атомизма электрического заряда. К тому же в сознании большинства физиков укоренились представления, что атомизм, как и непрерывность, выступают фундаментальными, всеобщими характеристиками структуры физической реальности. Но Эйнштейн настойчиво отстаивал противоположные позиции.

Он утверждал, что общая теория относительности, подразумевая описание физической реальности непрерывным полем, не может придавать фундаментальное значение таким понятиям, как частицы, материальные точки, движение, что частица — это лишь ограниченная область пространства, в которой напряженность поля или плотность энергии особенно велики. В работе «Обобщение теории тяготения», вышедшей в 1953 г., Эйнштейн делает следующий вывод из своей идеи о необходимости описания физических процессов посредством поля: «По этой причине я не вижу в существующей ситуации другого возможного пути, кроме чисто полевой теории, которая, впрочем, должна тогда решить такую чрезвычайно трудную задачу, как вывод атомистического характера энергии»⁶⁸.

⁶⁷ См. там же, стр. 725.

⁶⁸ Там же, стр. 789.

Таким образом, в теории относительности Эйнштейна в аспекте рассматриваемой нами проблемы существенны две идеи: во-первых, возможность независимого от прерывности существования непрерывности, во-вторых, неравнозначность этих категорий; непрерывность — понятие фундаментальное, прерывность — понятие вторичное, как бы производное от понятия непрерывности.

Такое толкование соотношения категорий прерывности и непрерывности, отражающих противоположные стороны структуры движущейся материи, представляет собой логическое завершение идей Фарадея—Максвелла об отождествлении свойств поля со свойствами физического пространства, в конечном счете понятия материи с понятием протяженности. Иными словами, здесь доведено до возможного предела определение материи через одну из противоположностей, а именно через непрерывность.

Используя в качестве общеметодологической основы свою идею о возможности свести дискретность материи к ее непрерывности, Эйнштейн попытался посредством дальнейшего обобщения понятия поля создать «единую теорию поля».

В результате многолетней работы он пришел к убеждению, что физическую реальность можно представить как обобщенное гравитационное поле, законы которой являются соответственно обобщенными законами гравитационного поля.

Однако весь этот напряженный многолетний труд не привел исследователя к желаемому результату. Своеобразное резюме своим достижениям, поискам, неудачам, надеждам и сомнениям великий ученый дал в конце «Автобиографических набросков».

«Со времени завершения теории гравитации, — писал он, — теперь прошло уже сорок лет. Они почти исключительно были посвящены усилиям вывести пу-

тем обобщения из теории гравитационного поля единую теорию поля, которая могла бы образовать основу для всей физики. С той же целью работали многие. Некоторые обнадеживающие попытки я впоследствии отбросил. Но последние десять лет привели, наконец, к теории, которая кажется мне естественной и обнадеживающей. Я не в состоянии сказать, могу ли я считать эту теорию физически полноценной; это объясняется пока еще непреодолимыми математическими трудностями; впрочем, такие же трудности представляет применение любой нелинейной теории поля. Кроме того, вообще кажется сомнительным, может ли теория поля объяснить атомистическую структуру вещества и излучения, а также квантовые явления. Большинство физиков, несомненно, ответят убежденным «нет», ибо они считают, что квантовая проблема должна решаться принципиально иным путем. Как бы то ни было, нам остаются в утешение слова Лессинга: «Стремление к истине ценнее, дороже уверенного обладания ею»»⁶⁹.

Трудности, вставшие перед Эйнштейном в процессе создания им единой теории поля, оказались непреодолимыми. Наряду с трудностями объективного характера у Эйнштейна возникли и трудности, проистекающие из недооценки великим физиком диалектического характера исследуемых процессов, прежде всего, на наш взгляд, взаимообусловленности и взаимоперехода, взаимоотрицания таких противоположных сторон в структуре движущейся материи, как прерывность и непрерывность.

Академик В. Л. Гинзбург отмечал, что начиная с работ Эйнштейна 1919 г. образовалось целое направление в теоретической физике, представители которого пытались построить «единую теорию поля». Однако

⁶⁹ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 355—356.

на этом пути до сих пор не достигнуты положительные результаты. «Нужно думать, что неудачи единых теорий поля не случайны, а связаны с тем, что в рамках этих теорий проблеме элементарных частиц пытаются решать совсем без привлечения квантовых представлений или во всяком случае на классическом фундаменте»⁷⁰.

Рассмотрим кратко итоги одной из попыток Эйнштейна вывести из обобщенного поля гравитации дискретные значения масс и электрических зарядов элементарных частиц. Используя решение Шварцшильдом уравнения общей теории относительности для статистического сферически симметричного случая и применяя специальный класс сингулярностей, Эйнштейн пришел к выводу, что полученные новые величины симметричного тензорного поля можно интерпретировать следующим образом. Четырехмерное пространство, математически описываемое двумя конгруэнтными областями, можно представить себе как физическое пространство, состоящее из двух «листов». Эти листы соединяются между собой частью пространства — «мостом», т. е. определенной гиперплоскостью, на которой определитель, составленный из тензоров поля тяготения, превращается в нуль. В соответствии с такой интерпретацией нейтральная, как и электрически заряженная, частица — это часть пространства (мост), соединяющая два «листа».

Так Эйнштейн качественное отличие дискретных характеристик материи по сравнению с полем гравитации по существу сводит к количественному различию. Частица, по Эйнштейну, есть часть пространства, физической реальностью которого является поле. Отличие части пространства от остального пространства заключается только в ее конфигурации. Как по-

⁷⁰ «Успехи физических наук», 1956, т. 59, вып. 1, стр. 39.

ле в целом, так и его часть (пространственно конечный «лист»), описываются посредством уравнения гравитационного поля без привлечения переменных, отражающих дискретный характер микрообъектов, т. е. на основе только абсолютизированной непрерывности.

Необходимо подчеркнуть, что стремление Эйнштейна свести дискретность материи к ее непрерывности носит не случайный характер. Это стремление исходило из его убеждения в том, что все разнокачественные процессы можно свести в конечном счете к однокачественным. Так, рассматривая в статье «Физика, философия и научный прогресс» характер изменений, происходящих в мышлении под влиянием научного прогресса, Эйнштейн отнес к неизменным особенностям нашего мышления принцип полноты пространственно-временного описания действительности. Эта полнота означает, считает ученый, что все законы природы можно свести к такому закону, который формулируется на языке пространственно-временных понятий. «Из этого принципа, — продолжает он, — вытекает, например, убежденность в том, что психические явления и связи между ними в конечном счете можно будет свести к физическим и химическим процессам, протекающим в нервной системе»⁷¹. Если психические процессы можно свести к физическим и химическим, а последние сформулировать на языке пространственно-временных понятий, то в конечном счете оказывается, что все разнокачественные процессы сводимы к однокачественным.

Так как разнокачественность движущейся материи и определяет ее дискретность, то отрицание этой разнокачественности с необходимостью влечет за собой отрицание в качестве фундаментального свойства прерывности материи. Сведение многокачественности ма-

⁷¹ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 321.

терии к ее однокачественности (или бескачественности) также необходимо связано с допущением только однородности, непрерывности как наиболее существенного свойства материи.

На наш взгляд, одна из причин, затруднивших Эйнштейну (особенно в последний период деятельности) научный поиск, заключается в некоторой ограниченности понятийного аппарата, используемого этим выдающимся физиком. Особенно это сказалось в отношении рассматриваемой проблемы. Действительно, анализ работ Эйнштейна показывает, что непрерывное определяется им через делимое, произвольно изменяемое; дискретное — через неделимое, состоящее из неделимых величин⁷². Поскольку у него в содержание понятия континуума включен в качестве основного признак произвольной делимости, то тем самым затрудняется возможность перехода этого понятия в свою противоположность. Таким образом, основное, принятое Эйнштейном содержание рассматриваемых понятий не только не способствовало раскрытию существенных связей противоположных аспектов в строении материи, свойств пространства и времени, но и закрепило в его теории отгороженность континуального от прерывного.

Если у Фарадея и Максвелла переход к континуальной интерпретации материи есть необходимый очередной шаг в раскрытии единства противоположных определений материи, если создание Эйнштейном теории относительности представляет вполне закономерный и существенный вклад в движение знания по пути раскрытия этого единства, то его попытка разработать общую «теорию поля», опираясь на один лишь принцип непрерывности, хотя в известном смысле за-

⁷² См. там же, стр. 138, 222, 223, 513, 514, 542; т. II, стр. 722, 873.

кономерна, но бесперспективна и негативна по итогам. В условиях, когда уже сформировалась и стала общепринятой квантовая механика (исключающая абсолютизацию континуальности как исходного определения материи), эта попытка строилась без должного учета результатов, полученных физикой микромира.

Поскольку в зарубежной, а иногда и в советской литературе утверждается, что на мировоззрение Эйнштейна и, следовательно, на создание им теории относительности оказала влияние философия Маха, особенно его принцип «экономии мышления», постольку нам представляется необходимым проанализировать этот вопрос, конечно, в аспекте рассматриваемой в данной книге проблемы. Нельзя оставаться в стороне от анализа этого вопроса и потому, что здесь проходит одна из линий борьбы между идеализмом и материализмом за творческое наследие создателя теории относительности.

Так, известный историк естествознания из ГДР Ф. Гернек, опираясь на единственное известное письмо Эйнштейна к Маху от 25 июня 1913 г., считает, что автор теории относительности в развернувшейся в то время полемике между Планком и Махом по вопросу о «принципе экономии мышления» придерживался взглядов последнего. Однако начиная с 20-х годов Эйнштейн, как пишет Гернек, стал пересматривать свое отношение к позитивизму Маха.

Рассмотрим аргументацию Ф. Гернека. Он цитирует отрывок из письма Эйнштейна к Маху: «В этот день Вы, вероятно, получите мою работу⁷³ об относительности и гравитации. В ближайший год при солнечном затмении должно сказаться, насколько мне

⁷³ По-видимому, имеется в виду статья, написанная в 1913 г. А. Эйнштейном и М. Гроссманом «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения».

известно, действительно ли сбудется лежащее в основе фундаментальное допущение об эквивалентности ускорения системы отсчета, с одной стороны, и поля тяжести, с другой. Если да, то Ваши гениальные исследования основ механики, вопреки несправедливой критике Планка, получают блестящее подтверждение»⁷⁴. Ф. Гернек из этого выводит, что «письмо позволяет ясно определить точку зрения Эйнштейна в полемике между Планком и Махом. Известно, что критика, данная Планком, направлялась тогда особенно против «принципа экономии мышления» Маха и всего маховского позитивизма. Из замечания Эйнштейна о «несправедливой критике», которую дал Планк, вытекает, что Эйнштейн в этой полемике держался партии Маха и не одобрял планковской критики. До сих пор это не было известно с такой определенностью»⁷⁵.

Но в своем письме Эйнштейн пишет о критике Планком исследований Маха в области основ механики, а Гернек уже говорит о положительном отношении Эйнштейна ко всему маховскому позитивизму и о принципе «экономии мышления» в особенности. Это неправомерно. Как известно, Эйнштейн в статье «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения» установил принцип эквивалентности, согласно которому нет возможности отличить поле тяготения от поля, создаваемого ускоренным движением. Подтверждения этого принципа и ожидал Эйнштейн от наблюдений солнечного затмения, которое должно было состояться в 1914 г. Экспериментальное подтверждение принципа эквивалентности, полагал Эйнштейн, может говорить также о верности «иссле-

⁷⁴ Ф. Гернек. К письму Альберта Эйнштейна Эрнсту Маху. — «Вопросы философии», 1960, № 6, стр. 104. Более точный перевод см. «Эйнштейновский сборник». М., 1968, стр. 262—263.

⁷⁵ Там же, стр. 105.

дования основ механики» Махом. Здесь необходимо рассмотреть, что же имел в виду Эйнштейн, давая высокую оценку теории Маха.

Эйнштейн в статье «Эрнст Мах» (1916 г.), анализируя ту часть «Механики» Маха, где последний вскрывает несостоятельность ньютоновских понятий абсолютного движения, абсолютного пространства и абсолютного времени, пишет, что «Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы придти к общей теории относительности»⁷⁶. И далее он поясняет: «Рассуждения Маха о ньютоновском опыте с ведром показывают, сколь близко его духу было требование относительности в обобщенном смысле (относительности ускорения). Во всяком случае, в этих рассуждениях чувствуется ясное понимание того, что требование равенства инертной и тяжелой массы тел приводит к постулату относительности в более широком смысле, ибо с помощью эксперимента мы не можем отличить, обусловлено ли падение тела относительно некоторой системы отсчета наличием какого-то гравитационного поля или ускорением системы отсчета»⁷⁷. Вот это утверждение Маха об относительности ускорения и имел в виду Эйнштейн в письме к Маху⁷⁸. Достоверность именно такой интерпретации приведенной Гернеком части письма подтверждается всем его содержанием⁷⁹. В частности, вслед за процитированной Гернеком выдержкой в письме говорится: «Тогда неизбежным следствием будет то, что инерция проявляется

⁷⁶ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 31.

⁷⁷ Там же.

⁷⁸ Заметим попутно, что впоследствии Эйнштейн пересмотрел свое отношение к «принципу Маха» на том основании, что этот принцип оказался в противоречии с «духом теории поля» (А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 268—269).

⁷⁹ См. «Эйнштейновский сборник», стр. 262—263.

как своего рода взаимодействие тел, вполне в духе Вашей критики ньютоновского эксперимента с вращающимся сосудом»⁸⁰.

Таким образом, в своем письме Эйнштейн, говоря об исследовании Махом основ механики, имел в виду объективный результат этих исследований, но не субъективно-идеалистический подход Маха к анализу основ классической механики. Как же тогда толковать слова Эйнштейна из его письма к Маху «...вопреки несправедливой критике Планка...»? Ведь действительно Планк в своем докладе «О единстве физической картины мира», прочитанном им в 1908 г., начал полемику с Махом преимущественно по гносеологическим вопросам, включая принцип «экономии мышления»⁸¹.

Нам представляется, что Эйнштейн имел в виду не критику Планком гносеологии Маха, а некоторые существенные моменты традиционно-классического подхода Планка к основам механики. В период полемики с Махом Планк в основном еще стремился в своей научной работе исходить из принципов классической физики⁸². Так, в статье «Теория физического познания Эрнста Маха» (1911 г.), показав научную несостоятельность основных положений книги Маха «Принципы учения о теплоте» и перейдя затем к его «Механике», Планк утверждал, что и здесь Мах довольно часто делает ошибки. К их числу, полагал Планк, принадлежит и принцип, который Эйнштейн

⁸⁰ Там же, стр. 262.

⁸¹ «...Развитие науки, — говорил Планк в этом докладе, — было бы роковым образом задержано, если бы принцип экономии Маха действительно сделался центральным пунктом теории познания» (М. Планк. Единство физической картины мира. М., 1966, стр. 49).

⁸² К примеру, последняя попытка Планка дать обоснование закону излучения в духе классической физики датируется 1914 г.

впоследствии назвал «принципом Маха». Планк опровергает этот принцип следующим образом: «Но возьмем следующее общее, как и простое положение: угловая скорость бесконечно удаленного тела, вращающегося вокруг оси, находящейся на конечном расстоянии, никогда не может быть величиной конечной. Ведь это положение для Маха или неправильно, или неприемлемо, ибо и то и другое плохо для Механики Маха»⁸³.

Вот об этом возражении Планка, мы полагаем, и писал Эйнштейн Маху. Приведенное возражение Планка, во-первых, основано на представлениях, не выходящих за пределы классической физики; во-вторых, оно не носит философского характера. Таким образом, вывод Ф. Гернека не имеет достаточного основания.

Для решения вопроса о том, оказал ли влияние принцип «экономии мышления» Маха на Эйнштейна, выделим основные черты, признаки этого принципа. По Маху, названный принцип является всеобщим в науке, ибо «экономия мышления» есть основная характеристика познания вообще⁸⁴. В силу своей всеобщности «экономия мышления» объявляется им основным методологическим принципом познания. Принцип «экономии мышления» у Маха связан с идеей непрерывности.

Чтобы выяснить, какое содержание вкладывал Эйнштейн в понятие «экономия мысли», приведем его высказывание, относящееся к 1936 г.: «Целью науки является, с одной стороны, возможно более *полное* познание связи между чувственными восприятиями в их

⁸³ М. Планк. Теория физического познания Эрнста Маха. Возражение. — «Новые идеи в философии». Сб. 2. СПб., 1912, стр. 155—156.

⁸⁴ См. Э. Мах. Механика. СПб., 1909, стр. 402, 409.

совокупности и, с другой стороны, достижение этой цели путем *применения минимума первичных понятий и соотношений* (добиваясь, насколько это возможно, логического единства в картине мира, т. е. стремясь к минимуму логических элементов)»⁸⁵. Нетрудно заметить, что здесь у Эйнштейна «экономия мышления» выступает в качестве всеобщего метода научного познания.

Для выяснения философской сути этих положений Эйнштейна нужно исходить из его решения проблемы соотношения чувственного и рационального в познании. Абсолютизируя существенные различия между этими моментами в познании, автор теории относительности пришел к выводу о логической независимости понятий и суждений от ощущений: «...я не считаю правильным, — писал он, — скрывать логическую независимость понятия от чувственного восприятия. Отношения между ними аналогично не отношению бульона к говядине, а скорее — отношению гардеробного номера к пальто»⁸⁶.

Отсюда вытекает, что не существует логического пути от ощущения к понятиям. «Понятия и предложения, — писал Эйнштейн в «Автобиографических заметках», — получают смысл, или «содержание», только благодаря их связи с ощущениями. Связь последних с первыми — чисто интуитивная и сама по себе нелогической природы. Научная «истина» отличается от пустого фантазирования только степенью надежности, с которой можно провести эту связь или интуитивное сопоставление, и ничем иным. Система понятий есть творение человека, как и правила синтаксиса, определяющие ее структуру»⁸⁷. Безусловно, такая нечеткая в философском плане позиция Эйн-

⁸⁵ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 203.

⁸⁶ Там же, стр. 203; см. также стр. 226, 570 и др.

⁸⁷ Там же.

штейна является уступкой идеалистическому рационализму.

Из своих представлений о логической независимости понятий от ощущений Эйнштейн делает вывод, что основные, исходные понятия и аксиомы свободно творятся мыслителем⁸⁸. Отсюда вытекает «экономия мысли» как стремление оперировать наименьшим числом этих понятий и аксиом, которая выступает у него в какой-то мере произвольным, субъективистским принципом.

И наконец, о связи принципа «экономии мышления» Маха с идеей непрерывности. Эйнштейн прямо не связывает идею континуальности с «экономией мысли», но в то же время эта идея для него является руководящей при создании теории относительности и при попытках построить единую «теорию материи». Идея непрерывности у Эйнштейна связана с его «экономией мысли» в том плане, что он, постулировав произвольность выбора наименьшего числа фундаментальных идей, «произвольно» выбрал среди идей не дискретность, не единство дискретности-континуальности, а непрерывность.

Из всего сказанного можно было бы сделать вывод, что Эйнштейн признавал принцип «экономии мышления» и руководствовался им в своей творческой деятельности. Некоторые соображения в пользу такого вывода приведены. Поэтому позиция исследователей, придерживающихся такой точки зрения, не лишена, казалось бы, определенных оснований.

Однако, на наш взгляд, такой вывод носит преждевременный и научно не обоснованный характер. Дело в том, что принцип «экономии мышления» у Маха тесно связан с другим не менее важным для него принципом — утверждением о «чисто описательном»,

⁸⁸ См. там же, стр. 251.

феноменологическом характере науки⁸⁹. Как известно, сводя всю объективную действительность к ощущениям и назвав их «элементами мира», Мах объявил целью научного познания наиболее полное описание этих элементов и комплексов, состоящих из них, в соответствии с принципом «экономии мышления». Все, что существует за пределами «опыта» (в маховском понимании), подлежало устранению из науки.

Поэтому позиция Маха в теории познания может быть квалифицирована как субъективно-идеалистическая и эмпирическая. В позиции же Эйнштейна существенный «уклон» в субъективный идеализм сочетается с преувеличением рационального момента в познании.

Это различие существенно сказывается на отношении Эйнштейна к основной идее принципа «экономии мышления» Маха — концепции непрерывности.

Требование «биологически-экономного» приспособления к среде, полагал Мах, приводит к необходимости экономного описания фактов. Последнее достигается лишь «чистым» описанием, т. е. установлением наиболее близкой, прямой связи между рядом, состоящим из данных опыта, и параллельным рядом, образованным из понятий. Если эта цель достигнута, то мы, утверждает Мах, описали явления, т. е. познали их. Причем точность описания явления должна быть такова, что небольшое изменение в факте (то же самое — в ряде, состоящем из фактов) сразу приводит к соответствующему изменению в понятии (или в параллельном ряде, состоящем из понятий).

Таким образом, идея непрерывности у Маха не

⁸⁹ О взаимосвязи принципа «экономии мышления» и требования «чистого» описания фактов у Маха см.: Э. Мах. Основные идеи моей естественнонаучной теории познания и отношение к ней моих современников. — «Новые идеи в философии». Сб. 2, стр. 126—129.

только является основой принципа «экономии мышления», но и вытекает из маховского требования феноменологического изучения явлений.

Действительно, у Маха, во-первых, сами ряды по возможности составляются из ощущений и понятий непрерывно⁹⁰. Во-вторых (и это основное), изменения самих параллельных рядов тоже происходят непрерывно⁹¹.

Характеризуя метод мышления Галилея, Мах писал: «Во всех своих рассуждениях Галилей к величайшей выгоде естествознания руководствовался одним принципом, который можно, пожалуй, назвать принципом непрерывности. Придя к определенному взгляду относительно какого-нибудь специального случая, мы постепенно изменяем в мыслях условия этого случая, насколько это вообще возможно, стараясь по мере возможности удержать этот взгляд. Нет никакого другого метода, который с большей вероятностью вел бы к простейшему пониманию всех процессов природы, достижимому с наименьшей затратой душевных сил и умственного труда»⁹². Мах подчеркивал, что существо выдвинутой и отстаиваемой им концепции «экономии мышления» составляет идея непрерывности: «В исследовании, — писал он, — исходят из принципа непрерывности, потому что, только исходя из этого принципа, можно достичь полезного и экономного понимания опыта»⁹³.

Таким образом, по Маху, с помощью категории «непрерывность» мысль человека фиксирует определенные моменты действительности. На самом же деле такая фиксация «схватывает» лишь одну сторону в

⁹⁰ См. Э. Мах. *Механика*, стр. 404.

⁹¹ См. об этом: Э. Мах. *Метод и цель научного познания*. М., 1901, стр. V.

⁹² Э. Мах. *Механика*, стр. 114.

⁹³ Там же, стр. 410.

явлениях; другая же, противоположная сторона единого — дискретность — Махом отбрасывается.

Маховская произвольная интерпретация соотношения прерывности и непрерывности в познании явилась закономерным результатом того, что сам принцип «экономии мышления» Маха, как показал В. И. Ленин, априористичен⁹⁴.

Проанализировав теорию познания махизма, В. И. Ленин, как известно, сделал следующий вывод: «Мы видели, что исходный пункт и основная посылка философии эмпириокритицизма есть субъективный идеализм. Мир есть наше ощущение, — вот эта основная посылка, затушевываемая, но нисколько не изменяемая словечком «элемент», теориями «независимого ряда», «координации» и «интроекции»⁹⁵.

Отождествление мира с нашими ощущениями и лежит в основе маховского отрицания идеи дискретности, а также физической конкретизации ее в форме атомов. С одной стороны, ощущения якобы не свидетельствуют в пользу реальности атомов; с другой стороны, атомистическая гипотеза, как определенная связь понятий, не соответствует исходному маховскому методологическому принципу познания — «экономии мышления». Отсюда вывод: того, чего нет в ощущениях в настоящее время, не будет в ощущениях в будущем — именно так утверждает принцип «экономии мышления» — не может быть и в «реальности», т. е. в тех же ощущениях, взятых в ином отношении. Иной реальности Мах не признавал.

Здесь необходимо подчеркнуть, что Мах отрицал реальность не всех понятий, которые не удовлетворяли требованию наглядности, а только тех, которые не соответствовали принципу «экономии мышления» —

⁹⁴ См. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 177.

⁹⁵ Там же, стр. 92.

идее непрерывности. «Но даже там, — писал он, — где не может быть и речи о непосредственной наглядности, мысли физика развиваются при невозможном соблюдении принципов непрерывности и достаточного дифференцирования в экономически стройную систему понятий, которые, по крайней мере, кратчайшими путями ведут к наглядности»⁹⁶.

Так как наши мысли, по Маху, могут «экономно» приспособиться только к тому, что в фактах постоянно (т. е. непрерывно), то этим самым уже предрешен вопрос о дискретности. Она не может служить объектом познания. Дискретное, следовательно, непостоянно; ко всему непостоянному наши мысли не могут приспособиться. Следовательно, все дискретное находится «по ту сторону» познания. По существу это — воспроизведение точки зрения Канта. Однако Мах идет дальше; он «преодолеывает» Канта. Разделавшись с кантовской «вещью в себе», Мах исключил возможность предположения, что вне сферы познания может оставаться момент дискретности как всеобщее свойство реальности.

Таким образом, отрицание Махом дискретности природы происходит из: а) отождествления субъективного и объективного; б) требования феноменологического подхода к описанию явлений; в) признания идеи непрерывности в качестве руководящего принципа мышления (как следствие двух первых пунктов).

Таковы истоки идеи непрерывности у Маха, но они не могли быть основой континуализма Эйнштейна. Как известно, в решении первой стороны основного вопроса философии Эйнштейн был материалистом⁹⁷. Его уступки идеализму обнаруживаются в

⁹⁶ Э. Мах. Анализ ощущений. М., 1907, стр. 262.

⁹⁷ См. А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 136, 142, 143, 167, 252 и др.

подходе к проблеме соотношения чувственного и рационального. Однако он ее истолковывает иначе, чем Мах. Эйнштейн отрицательно относился к феноменологизму Маха. Причем это отрицательное отношение сложилось у Эйнштейна еще до 1922 г. и не изменялось впоследствии.

В дискуссии по теории относительности в Сорбонне 6 апреля 1922 г. Эйнштейн так ответил на поставленный Меерсоном вопрос об отношении создателя теории относительности к Маху: «Система Маха изучает отношения, которые существуют между данными эксперимента; совокупность этих отношений есть для Маха точная наука о природе. Это — плохая точка зрения; в общем, то, что сделано Махом, это каталог, а не система. Насколько Мах был хорошим механиком, настолько он был жалким философом»⁹⁸.

Существует еще один вариант записи знаменитого ответа Эйнштейна, более наглядно показывающий сущность его расхождений с Махом: «Далее, в ответ на вопрос, предложенный ему Г. Меерсоном по поводу идей Маха, Эйнштейну пришлось точно сформулировать свою концепцию науки. Он, в согласии с Махом, вполне и всегда подчиняет научные понятия данным опыта, но он отказывается допустить, что наука состоит лишь в элементарном связывании этих данных. Для него наука — система, т. е. логическим путем полученный синтез, а не просто каталог фактов, как думал Мах»⁹⁹.

В «Автобиографических заметках» (1949 г.) Эйнштейн по сути дела воспроизвел оценку, данную им в 1922 г.: «...в мои молодые годы на меня произвела сильное впечатление также и гносеологическая уста-

⁹⁸ Цит. по: «Вопросы философии», 1960, № 6, стр. 105.

⁹⁹ Ш. Нордманн. Эйнштейн в Париже (изложение теории и дискуссии). М., 1922, стр. 30.

новка Маха, которая сегодня представляется мне в существенных пунктах несостоятельной. А именно: он недостаточно подчеркнул конструктивный и спекулятивный характер всякого мышления, в особенности научного мышления»¹⁰⁰.

У Маха континуальность — центральная идея «экономии мышления» и познания вообще. Все, что противоречит этой идее, отбрасывается. У Эйнштейна там, где он ведет речь об «экономии мысли», критериях науки или принципах познания, идея непрерывности и не упоминается. Для него континуальность не всеобщий принцип познания, а одно из исходных понятий, лежащих в основе физической теории, претендующей на достоверность. Эйнштейн не отрицает атомистики, дискретности излучения; ему самому принадлежат фундаментальные открытия в этих областях. По Эйнштейну, атомизм, дискретность вещества и поля есть производное, вторичное от более глубокого континуального состояния материи.

Истоки континуализма Эйнштейна иные, чем у Маха, они идут от рационализма Декарта и Спинозы. Именно идея о том, что только разум является источником общих истин, выступает у них одним из оснований понимания протяженности как самого существенного свойства материи. У Эйнштейна также одним из оснований континуализма является право выбора ученым исходных понятий для конструирования научной теории¹⁰¹. В «выборе» Эйнштейном именно идеи непрерывности сказалось влияние картезианства, конечно, не только в гносеологическом плане, но и в онтологическом. Эйнштейн завершил в очередном, более высоком витке познания (Фарадей—Максвелл—Эйнштейн) развитие декартовой философской

¹⁰⁰ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 266.

¹⁰¹ См. там же, стр. 203—204, 237—238, 263.

идеи тождества, материи как протяженности, с физическим пространством.

Характерное для рационализма требование ясности и отчетливости положений наглядно прослеживается у Эйнштейна в ряде его работ, связанных с рассмотрением гносеологических вопросов. Так, понятие корпускулярно-волнового дуализма в теории Эйнштейна не имело достаточной ясности и отчетливости. Более того, попытки Бора и других физиков посредством принципа дополнительности нащупать пути раскрытия объективного содержания этого понятия он воспринимал как определенный рецидив феноменологического подхода к явлениям. Отвергая принцип дополнительности, он видел в нем тенденцию к такому подходу, при котором теоретическое описание становится непосредственно зависимым от эмпирических наблюдений.

Таким образом, у нас нет оснований утверждать, что принцип «экономии мышления» Маха оказал влияние на Эйнштейна в период создания им специальной и общей теории относительности. Более того, у нас имеются доказательства, что и в последующее время названный принцип им безусловно отвергался.

Глава вторая

ИДЕИ ЕДИНСТВА ПРЕРЫВНОСТИ И НЕПРЕРЫВНОСТИ В ФИЗИКЕ МИКРОМИРА

Конец XIX—начало XX в. ознаменовались целой серией открытий в физике, которые свидетельствовали о том, что физика «рожает диалектический материализм».

Исследования физиками мира атомов, атомных ядер и элементарных частиц, их «диких» свойств и поведения наносили серьезные удары по привычному, метафизическому способу мышления, заставляли физиков часто на ощупь, вслепую, двигаться по пути диалектического мышления. Особенно чувствительный удар метафизическому способу мышления был нанесен открытием в физике таких форм проявления прерывности и непрерывности, как корпускулярные и волновые свойства микрообъектов.

1. КАТЕГОРИИ ПРЕРЫВНОСТИ И НЕПРЕРЫВНОСТИ И КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

В классической физике представление о частицах и волнах основывалось на резком противопоставлении их свойств, на их полной взаимоисключаемости. Так, частицы характеризовались такими свойствами, как масса, пространственная локализация (определен-

ность объекта), непроницаемость. Было установлено, что они являются носителями электрического заряда и магнитных свойств. Движение частиц связывалось с наличием у них в данной системе отсчета определенных траекторий. Взаимодействие частиц трактовалось как различные виды их столкновений (упругие и неупругие, центральные и нецентральные), при которых происходит обмен импульсами и энергиями. Частицы рассматривались так же, как структурные элементы вещества: каждая движущаяся частица переносит массу и вещество, а вместе с веществом энергию и импульс с одного места на другое.

Волны в классической физике рассматривались как поток возмущения среды, под которым понимались деформации ее поверхности (морские волны), ее сжатие и расширение (звуковые волны), изменение ее электромагнитного состояния (электромагнитные волны). Волны характеризовались периодичностью определенных параметров возмущения среды в пространстве и времени, т. е. повторяемостью, например максимальными и минимальными возмущениями среды (амплитуда) через определенные промежутки времени (период колебаний) и через определенные расстояния в пространстве (длина волны).

Считалось, что распространяющиеся в пространстве волны не переносят вещество, но переносят энергию и импульс. Волны не имеют определенных траекторий, хотя распространяются в пространстве в определенных направлениях. Если не встречается никаких препятствий для распространения волны, то она заполняет все пространство и, следовательно, она не имеет пространственной локализации. За основные параметры волны принимались: длина волны, частота, амплитуда и фаза волны. В классической физике энергия, переносимая волной, пропорциональна квадрату ее амплитуды. Важнейшим свойством волн счи-

талась их способность огибать препятствия и при соответствующих условиях накладываться друг на друга (интерферировать).

Вышеприведенное сравнение показывает, что в классической физике свойства волны резко отличались от свойств частиц: частицы движутся по траекториям, а волны нет, частицы локализованы в пространстве, а волны лишены этой локализации, частицы не могут огибать препятствия, а волны могут, частицы не накладываются друг на друга, а волны интерферируют.

В то же время классическая физика установила, что волны переносят энергию и импульс так же, как и частицы.

Очевидно, что волны обладают рядом существенных признаков непрерывности, а частицы, наоборот, дискретности. Поэтому противопоставление волн и частиц, имеющее место в классической физике, есть противопоставление прерывности и непрерывности, и в этом проявляется одна из ограниченностей этой физики.

Однако уже в классической физике это жесткое противопоставление волн и частиц постепенно размывалось. Введение в физику представления об электромагнитном поле приводило к выводу, что всякая электрически заряженная частица (дискретный объект) неразрывно связана с непрерывным объектом — электромагнитным полем.

Постепенно и гравитационное поле стало рассматриваться в физике как непрерывный объект, связанный с любым дискретным материальным объектом. Таким образом, представление о полях как непрерывных материальных объектах, связанных с дискретными материальными объектами, давало основание для более общего вывода о том, что дискретность и непрерывность всегда сопутствуют друг другу. До того

как в физике укрепились представление о полях как физической реальности, были обнаружены тепловые лучи, обладающие всеми признаками волн, т. е. способные к дифракции и интерференции. Это давало возможность представить теплоту не только как хаотическое движение частиц, но и как волновой процесс, имеющий, как это было установлено в дальнейшем, электромагнитную природу.

Итак, в физике появилось новое подтверждение ранее известного положения, что одно и то же движение можно интерпретировать и как движение частицы, и как волновое движение.

Принцип Гюйгенса — Френеля давал возможность с позиции волнового движения объяснить прямолинейное распространение света. Явление отражения света объяснялось и с позиции корпускулярной и волновой теории света. Оптико-механическая аналогия, известная еще в первой половине XIX в., давала возможность сопоставить друг с другом некоторые корпускулярные и волновые параметры. Это означало, что прерывность и непрерывность, как ни пытались их разделить метафизическое мышление, через самые разнообразные факты заявляли о своем неразрывном существовании.

Интересно обратить внимание и на особенности поведения коротких электромагнитных волн в связи с открытием рентгеновских лучей (1895 г.). В течение почти 20 лет после открытия рентгеновских лучей многие физики имели все основания сомневаться в их волновой природе, так как характерных для волновых процессов признаков (дифракция, интерференция) у них не удавалось обнаружить. Эти лучи во многих отношениях вели себя как поток частиц. Их прохождение через оптическую дифракционную решетку не вызывало дифракционной картины, и только, когда Лауэ пропустил эти лучи через кристаллическую ре-

шетку, он получил типично дифракционную картину, т. е. открыл волновую природу рентгеновских лучей.

Таким образом на примере поведения коротких электромагнитных волн, т. е. в рамках классической физики, было получено еще одно подтверждение единства волновых и корпускулярных, непрерывных и дискретных характеристик движущейся материи.

Волны высокой частоты (короткой длины) во многих отношениях ведут себя как частицы. Такая, например, форма движения, как теплота, включает в себя и волновую компоненту — тепловое излучение. То же нужно сказать и о движении электрически заряженных частиц — оно всегда сопровождается распространением электромагнитных волн.

А. Эйнштейн показал всеобщность пропорциональной зависимости между энергией и массой, а это привело к выводу о том, что волны, передавая энергию, передают и массу. Введенные же в специальной теории относительности понятия о массе покоя и массе движения позволили создать в дальнейшем представление о частицах, обладающих только массой движения и весьма близких по этому параметру к полям, а значит, и к волновым процессам.

Во многих случаях колебательные и волновые движения воспринимаются нами непосредственно (волны на воде, колебания маятника и т. д.). Некоторые волновые и колебательные движения воспринимаются нами как определенные свойства тел, например их цвета, или как состояния окружающей среды, или как звуки, а некоторые эти движения — как дрожания тел, их вибрация.

Уже на уровне чувственных восприятий можно наблюдать у некоторых колебательных и волновых движений периодичность во времени и пространстве. В то же время волновые и колебательные движения (происходящие, например, в воде) не всегда сопро-

вождаются обязательным переносом вещества, хотя в определенных границах и могут быть передвинуты большие массы вещества (морские волны могут выбросить на берег очень большие массы воды). На теоретическом уровне познания было установлено, что волна может передвинуть вещество на расстояние, равное ее амплитуде. Здесь же нужно заметить, что вышеотмеченные, чувственно воспринимаемые, фиксируемые нами свойства волн вошли в качестве существенных признаков и в их теоретическое определение.

Большое значение имело установление зависимости между движением по кривым линиям и колебательными движениями. У этих видов движений были установлены некоторые общие параметры, признаки: например, соответствие периода обращения и периода колебания, т. е. была установлена периодичность этих движений как общий их признак. Причем колебательные движения в математическом выражении оказались проекциями движения по криволинейным траекториям. Любое движение по криволинейным траекториям можно представить в его проекции как колебательное движение. Учитывая, что метод проецирования движения точки на какую-то плоскость или прямую обнаруживает общие параметры, общие черты у различных движений, можно сказать, что посредством этого метода обнаруживается и симметрия различных движений, их внутренняя связь. Интересно, что колебательные движения могут совершаться по различным траекториям: криволинейным, прямолинейным и смешанным. Распространение колебательных движений в пространстве и времени может иметь различную физическую природу, а поскольку распространение колебательных движений представляет собой волны, то, следовательно, и волны могут иметь различную физическую природу. В общем виде

волны, волновые движения имеют определенные геометрические, пространственные формы.

Понятия траектории движения и направления движения не являются идентичными понятиями. Понятие траектории включает в себя указание на определенное направление движения в пространстве, так и на локализацию движения в определенных местах пространства. Таким образом, понятие о направлении движения является понятием более абстрактным и общим, чем понятие о траектории движения. Первое применимо и к волновому движению, а последнее — только к движению частиц.

Долгое время в физике понятие о волнах строилось только на характеристике некоторых движений в веществе, например в воде, в воздухе, в гипотетической вещественной среде — эфире, в твердых телах. Затем, когда было открыто существование особого вида материи — поля (электромагнитного поля), волновое движение стали относить не только к веществу, но и к полю. Причем для поля волновое движение толковалось как единственная форма его распространения в пространстве (перемещение поля представлялось как имеющее определенное направление, но не локализованное в определенных местах, т. е. как бестраекторное движение).

Особенно важно подчеркнуть, что вещество стали рассматривать только как имеющее корпускулярную структуру, а поле — как волновую. Различие между веществом и полем в доквантовой физике стало выступать и как различие между частицами и волнами. Однако наличие волн в веществе, а не только в поле, естественно, приводило к мысли, что волны — это вид движения, а не вид материи, тогда как частицы — это вид материи. Из этого следовало, что поле — это не материя, а состояние движения, или, как стали полагать, поле — это энергия. Поле интерпретировалось

как особое энергетическое состояние вещества. Очевидно, что подобная трактовка поля исключала его существование в отрыве от вещества, однако это противоречило фактам, свидетельствующим о том, что электромагнитное поле существует и без вещества. Данное противоречие пытались преодолеть путем постулирования существования движения без материи, энергии без массы.

Так, в результате противоречивого развития представлений о волнах, о поле, о взаимоотношении поля и вещества, при отсутствии диалектико-материалистического подхода к явлениям появился такой бесперспективный, ненаучный, антиматериалистический подход к познанию природы, как энергетизм (Мах, Оствальд), допускающий существование движения без материи.

Наибольший интерес для нас, однако, представляет вопрос о том, как возникло противопоставление волн и частиц. Ведь наличие общих параметров между волнами и частицами было хорошо известно уже в последней четверти XIX в. Было установлено, что энергия, импульс и момент импульса переносятся как частицами, так и волнами. Также было известно, что движение волн и частиц происходит в определенных направлениях и что и то и другое движение совершается с определенными скоростями. Обнаружена была и связь между вращательными и колебательными движениями, о чем уже говорилось выше. Правда, движение частиц рассматривалось как движение траекторное, а движение волн — как бестраекторное. Но было установлено, что волновое движение, например света, можно рассматривать как траекторное движение, так как с траекторией можно сопоставить луч (геометрическая оптика), т. е. рассматривать траекторное движение как предельный случай бестраекторного движения.

Так что на первый взгляд абсолютное противопоставление движения частиц и волнового движения не имело никаких оснований. Противопоставлялись волны и частицы в другом отношении, а именно: первые рассматривались как «представители» непрерывности, а вторые — прерывности.

Таким образом, мы приходим к выводу, что метафизическое представление, что прерывность и непрерывность находятся только в отношении взаимоисключения, было перенесено и на отношения между волнами и частицами. Правда, это убеждение как бы подтверждалось рядом физических аргументов, в частности такими явлениями, как дифракция и интерференция, которые при движении частиц долгое время не обнаруживались. Явления дифракции и интерференции стали считать критериями, позволяющими противопоставить волны частицам. Отсюда было сделано заключение, что волны могут огибать препятствия, а частицы такой способностью не обладают. Волны могут усиливать или ослаблять друг друга, а затем расходиться с прежними параметрами, тогда как частицы, передавая друг другу энергию и импульс, свои прежние параметры не восстанавливают. Иными словами, частицы рассеиваются друг на друге, а волны нет.

В принципе было доказано, что должно существовать и рассеяние волн друг на друге. Однако оно не обнаруживалось в эксперименте. Это привело к тому, что рассеяние частиц друг на друге рассматривали как линейный эффект, имеющий место только лишь при малых интенсивностях волнового движения. Так что никаких глубоких принципиальных оснований рассматривать частицы и волны как изолированные друг от друга объекты природы у физики никогда не было.

Только господство метафизического способа мышления тормозило отражение в науке объективной диа-

лектики природы. Правда, при этом следует иметь в виду и относительную ограниченность физических знаний. Например, утверждение о том, что частицы переносят вещество, а движущиеся волны — нет, могло быть доказано только с позиций жесткого противопоставления вещества и поля. Признавая же, на основе современных данных, возможность превращения вещества в поле и обратно, мы можем утверждать, что волны также переносят вещество, но превратившееся в поле. Например, частицы вещества (электрон и позитрон), превратившись в фотон, являющийся квантом электромагнитного поля, могут возникнуть уже в другом месте из данного фотона.

Итак, на основе современных данных нельзя ставить непреодолимую грань между объектами природы, деля их на частицы и волны. Речь может идти только о том, что объекты природы обладают взаимосвязанными свойствами: корпускулярными и волновыми. Поскольку в том или ином объекте природы на первый план выступает то один, то другой тип его свойств, волновой или корпускулярный, постольку образы частиц и волн имеют объективное содержание. К этому выводу мы пришли, сравнивая частицы и волны и отмечая у волн свойства, тождественные свойствам частиц. Теперь же сделаем обратную операцию. В первом случае мы находили у волн свойства, относящиеся к частицам, теперь же будем находить у частиц свойства, характерные и для волн.

Одним из специфических параметров волн, как известно, является длина волны. Наиболее общим определением длины волны может служить следующее: длина волны — это расстояние между периодически повторяющимися в пространстве событиями. Иначе говоря, длина волны — это параметр, характеризующий пространственную периодичность какого-то события. Понятие о длине волны может быть применено

и для характеристики пространственного отдаления друг от друга и таких параметров, как вероятность каких-то событий. В физике даже существует понятие о волнах вероятности.

Если в данной точке пространства имеется вероятность каких-то событий и вероятность этих же событий возникает в другой точке пространства, то расстояние между этими точками может рассматриваться как длина волны, т. е. в данном случае длина волны характеризует периодичность появления вероятности осуществления каких-то событий. Исходя из сказанного понятие о волне можно использовать для характеристики всех изменений, имеющих определенную периодичность, повторяемость, независимо от того, относятся ли эти изменения к состояниям вещества, поля или каких-то их свойств.

Периодичность событий имеет как пространственный, так и временной аспект. Если пространственный аспект периодичности выражается понятием длины волны, то временной аспект периодичности выражается понятием периода волны. Период волны — это промежуток времени между появлением событий в одной и другой точках пространства, т. е. временное расстояние между появлением, например, гребня волн в точке А и в точке В. Очевидно, что такие параметры, как длина волны и период волны, находятся в определенной зависимости друг от друга. Отношение между длиной и периодом волны представляет собой тоже параметр волны, а именно ее скорость. Обозначив

длину волны λ , период волны — T , получаем: $\frac{\lambda}{T} = c$,

или, заменяя T величиной, ей обратной $\frac{1}{T}$, т. е. ча-

стотой волны ν , получаем: $c = \lambda\nu$. Отсюда следует, что скорость волны прямо пропорциональна ее длине и

частоте, а длина волны и ее частота обратно пропорциональны друг другу. При $c = \text{const}$ увеличение ν ведет к уменьшению λ и наоборот.

Оставляя пока в стороне ряд вопросов, связанных с соотношением длины волны, частоты волны и ее скорости, скажем следующее: как понятие длины волны, так и понятие о ее периоде или о ее частоте можно применять ко всем изменениям, обладающим определенной повторяемостью, периодичностью, цикличностью. Понятия повторяемости, периодичности, цикличности хотя и близки друг к другу, но не тождественны. Периодичность — это повторяемость каких-то событий, состояний, свойств через определенные постоянные интервалы пространства и времени, это частный случай повторяемости. Цикличность — это особый вид изменений, в которых повторяется исходное состояние как периодически, так и аperiodически.

Повторяемость же включает в себя как периодичность, так и цикличность. Как наличие любой повторяемости, так и наличие ее сторон — периодичности и цикличности — во многих явлениях создает возможность применения к ним понятия о волне и ее длине и частоте. Очевидно, что эти понятия могут быть применимы для характеристики и переходов возможности в действительность и случайности в необходимость.

Следующим параметром волновых процессов является их амплитуда. Этот параметр характеризует размах колебаний волны, т. е. ее значение в максимуме и минимуме. Здесь мы сталкиваемся с такими свойствами волновых процессов, как максимальные и минимальные значения определенных, присущих им величин. Например, в электромагнитном поле имеются максимальные и минимальные значения напряженностей электрического и магнитного полей, области максимального и минимального давления в среде при прохождении звуковой волны и т. д.

В волновом процессе происходит перемещение этих максимумов и минимумов, их повторение в различных точках пространства и в различные моменты времени. Иными словами, в волновых процессах происходит перемещение амплитуды волн. В указанном смысле понятие амплитуды применяется в весьма широкой сфере. Это понятие можно применить, например, для характеристики неравномерного движения тела, в котором такие его параметры, как скорость, изменяются от некоторого максимума до некоторого минимума, от $v=0$ до $v=x$. Очевидно, что среднее значение скорости такого движения зависит от амплитуды колебания ее значения. Чем больше амплитуда колебаний значений скорости, тем больше отклоняется средняя скорость от ее мгновенных значений в сторону максимума или минимума.

Понятие об амплитуде волны может быть применено и к вероятностям каких-то событий. Вероятности осуществления событий могут изменяться в каких-то пределах и иметь максимумы и минимумы, а значит, и определенную амплитуду, а именно — от нуля до единицы.

Распространение вероятности в пространстве и времени аналогично распространению волны, и вполне можно говорить не только об амплитуде вероятности, но и о длине волн вероятности, и об их частоте.

Таким образом, исследование физических характеристик волнового и корпускулярного состояния движущейся материи ведет к существенному обогащению содержания понятий прерывности и непрерывности.

Итак, можно сказать: развитие физики не только противопоставило частицы и волны друг другу, но и подготовило почву для устранения этого противопоставления, обнаружив глубокие связи между частицами и волнами и их движением. Отсюда следует, что классическая физика дала большой материал и для

установления связи между прерывностью и непрерывностью в явлениях природы. Но установление связи между теми или иными различными противоположными сторонами еще не означает установления их единства. Понятие единства включает в себя не только наличие взаимосвязи, но также наличие взаимопереходов, взаимопроникновения и отождествления противоположностей.

Установление единства прерывности и непрерывности на материале единства частиц и волн стало возможным в квантовой физике. Началом этой физики явилось открытие дискретности и скачкообразности в процессах излучения и поглощения энергии электромагнитных волн веществом и установления характерной для этого процесса постоянной величины h — постоянной Планка. Представления классической физики о передаче энергии как обязательно непрерывном процессе было поколеблено сначала в определенной области передачи энергии, а впоследствии опровергнуто открытием закона, согласно которому энергия всегда передается только определенными порциями — квантами.

На основе этого закона о непрерывности в процессах передачи энергии можно говорить только тогда, когда разность между передаваемыми квантами энергии настолько мала, что спектр передаваемой энергии приобретает непрерывное строение. Учитывая известное еще классической физике обстоятельство, что электромагнитная волна переносит энергию, а также открытый по существу М. Планком закон о дискретном характере передачи энергии, А. Эйнштейн создал фотонную теорию света, т. е. электромагнитного поля. Согласно этой теории, свет не только излучается и поглощается квантами, но и распространяется так, что каждой его волне соответствует фотон с энергией, пропорциональной ее частоте: $E = h \cdot \nu$.

По существу частица (фотон) и электромагнитная волна здесь выступают как две стороны единого целого — распространяющегося электромагнитного поля. Чем меньше энергии несет фотон, тем больше длина связанной с ним волны, тем ярче выступают волновые свойства в распространении электромагнитного поля. Волне с бесконечно большой длиной соответствует фотон с бесконечно малой энергией, и никаких корпускулярных свойств у такой волны практически обнаружить нельзя. Наоборот, чем больше энергия фотона, тем короче длина электромагнитной волны и тем ярче выступают корпускулярные свойства в распространении электромагнитного поля. Электромагнитная волна с бесконечно малой длиной по существу уже не волна, а частица. Понятие частицы и волны — это, вообще говоря, понятия, отображающие предельные случаи существования объектов природы.

Следующий крупный шаг в раскрытии единства волны и частицы, а значит, и прерывности и непрерывности был сделан в теории де Бройля, провозгласившей всеобщность соответствия импульсно-энергетических параметров частиц таким специфическим параметрам колебаний и волн, как длина волны и частота колебаний.

Согласно этой теории, энергия и частота, импульс и длина волны являются пропорциональными не только в волновых процессах, но и в процессах движения частиц. Это значит, что частицы могут обладать и специфическими для волн свойствами (дифракция, интерференция, поляризация), что и было подтверждено экспериментом. Причем оказалось, что, чем меньше энергия частицы и, следовательно, чем меньше частота эквивалентной ей волны, тем ярче у частицы проявляются волновые свойства.

Учитывая пропорциональность между энергией и массой, можно сказать, что частица с небольшой мас-

сой покоя по сути дела является волной, а не частицей. Верно и обратное: чем больше масса частицы и чем быстрее она движется, тем ярче выступают ее корпускулярные свойства. Частицы, имеющие только массу движения, могут существовать именно как частицы лишь при движении со скоростью света в вакууме. Фотоны-кванты электромагнитного поля и существуют лишь при данной скорости.

Таким образом, оказывается, что проявление у объектов природы корпускулярных или волновых свойств зависит от таких их параметров, как масса и скорость движения. А так как эти параметры у объектов природы изменяются в их взаимодействиях, то они являются относительными, а значит, относительны и их корпускулярные и волновые свойства. В одних взаимодействиях объект ведет себя как частица, а в других — как волна. В предельных экстремальных случаях, а именно при минимуме значения энергии, частица есть волна, а в максимуме — волна есть частица.

Стало быть, в процессе взаимодействия, движения объектов природы они выступают или как частицы, или как волны по отношению к своим состояниям взаимодействия и движения. Отсюда следует вывод, что понятия о частицах и волнах в принципе применимы к одному и тому же объекту, что эти понятия и тождественны и различны. Следовательно, обладают тождеством и различием и лежащие в основе понятий частицы и волны более общие понятия прерывности и непрерывности.

Оперируя в квантовой механике понятиями частицы и волны, прерывности и непрерывности, мы постоянно переходим от их различия к их тождеству и наоборот. Эти переходы от тождества к различию и от различия к тождеству и составляют существо единства понятий о волне и частице, прерывности и непре-

рывности, отображающих одну из сторон диалектики самой природы. Таким образом, мы видим, как более адекватное отображение реальной действительности требует от исследователя применения не просто понятий в их изолированности, а диалектики понятий.

Единство тождества и различия, проявляющееся в прерывности и непрерывности, выражается и через единство волновых и корпускулярных свойств объектов природы. А одним из аспектов в единстве этих свойств является их аналогичность друг другу, их соответствие и взаимозаменяемость.

Э. Ферми в лекциях по квантовой механике дает следующую таблицу аналогичных понятий, отображающих корпускулярные и волновые свойства объектов природы:

АНАЛОГИЯ МЕЖДУ ОПТИКОЙ И МЕХАНИКОЙ

Механика	Оптика
Материальная точка	Волновой пакет
Траектория	Луч
Скорость v	Групповая скорость V
Простой аналогии нет	Фазовая скорость v
Потенциальная энергия: функция координат $U-U(x)$	Показатель преломления (или фазовая скорость v как функция координат)
Энергия E	Частота ν

Аналогия между перечисленными понятиями, относящимися соответственно к частицам и волнам, пишет он, позволяет «...переводить утверждения механики на язык оптики и наоборот»¹.

¹ Э. Ферми. Квантовая механика. М., 1965, стр. 15.

Это значит, что движение частиц можно выразить с помощью понятий, описывающих распространение волн, а распространение волн можно описать понятиями, описывающими движение частиц. Такое описание возможно лишь потому, что частицы и волны во многом тождественны друг другу. Аналогия между понятиями механики и волновой оптики является отражением объективных моментов, существующих между частицами и волнами.

Итак, единство понятий о частицах и волнах в теории де Бройля, или, иначе, в свете принципа корпускулярно-волнового дуализма, раскрывается и со стороны их тождества, соответствия и взаимозамещаемости.

Большой вклад в становление диалектики понятий частицы и волны внес В. Гейзенберг, создавший матричный вариант квантовой механики и сформулировавший так называемый принцип неопределенности.

В. Гейзенберг неоднократно писал о том, что в теорию микромира должны входить только наблюдаемые величины, т. е. измеряемые в эксперименте атомные частоты и интенсивности излучения, и что «принцип наблюдаемости» явился основой созданного им варианта квантовой механики.

Однако в действительности В. Гейзенберг опирался не на этот принцип, а на опытные данные, которые противоречили классической механике и требовали создания новой теории, качественно отличной от классической.

Если Л. де Бройль и Э. Шредингер концентрировали свое внимание на волновом (непрерывном) аспекте поведения микрообъектов, то В. Гейзенберг — на корпускулярном (прерывном), и принцип наблюдаемости, особенно в его позитивистской трактовке, был только помехой в научном творчестве В. Гейзенберга.

Об этом свидетельствует, например, одна из последних публикаций В. Гейзенберга. В июне 1968 г. в Международном центре теоретической физики в Триесте на симпозиуме по проблемам современной физики В. Гейзенберг в своей интересной и содержательной лекции «Теория, критика и философия»² наряду с другими вопросами рассмотрел и вопрос о наблюдаемых величинах. «Мне бы не хотелось сейчас говорить об отдельных деталях, пожалуй, лучше всего было бы остановиться на следующем вопросе: какие идеи оказались наиболее важными в этом научном процессе (т. е. в создании матричной механики. — *Авт.*). Сначала я думал, что, возможно, наибольшую роль сыграла мысль об описании явлений только с помощью наблюдаемых величин. Но когда в 1926 г. в Берлине мне пришлось делать доклад о квантовой механике, Эйнштейн выслушал меня и внес поправки». Далее он рассказывает о том, что Эйнштейн пригласил его к себе домой, чтобы продолжить обсуждение. «Что за идеология, — спросил Эйнштейн, — лежит в основе вашей столь странной теории? Теория довольно привлекательна, но что вы подразумеваете под «только наблюдаемыми величинами»?» Гейзенберг ответил ему, что, несмотря на существование треков в камере Вильсона, он больше не верит в электронные орбиты, что следует вернуться к тем величинам, которые реально можно наблюдать, что это именно та идеология, которой Эйнштейн сам придерживался при создании теории относительности, поскольку он отказался от абсолютного времени и ввел только время данной координатной системы и т. д. Выслушав Гейзенберга, Эйнштейн рассмеялся, а затем сказал: «Но вы должны понимать, что это

² См. «Успехи физических наук», 1970, т. 102, вып. 2, стр. 303—304.

абсолютно неверно!» Гейзенберг ответил: «Да, но разве не верно то, что вы сами придерживаетесь этой идеологии?» «Конечно, — сказал он, — возможно, что я пользовался ею, и все же это чепуха!»

Эйнштейн объяснил ему, что в действительности это был «обходной маневр». Он сказал: «Можно ли наблюдать данное явление или нет — зависит от вашей теории. Именно теория должна установить, что можно наблюдать, а что нельзя». Его аргументы были примерно таковы: «Наблюдение означает некоторую связь между явлением и нашим пониманием явления. Что-то произошло с атомом, он излучил свет, свет попал на фотопластинку и т. д. и т. п. Во всей этой цепочке событий от атома до вашего глаза и до вашего сознания вы должны предполагать, что все происходит, как в старой физике. Если вы измените теорию относительно хода этих событий, тогда, конечно, изменятся и наблюдения». Таким образом, Эйнштейн настаивал на том, что именно теория должна решать, какие величины наблюдаемы, а какие — нет. «Это замечание Эйнштейна, — отмечает В. Гейзенберг, — сильно помогло мне в дальнейшем, когда я вместе с Бором пытался обсуждать физическую интерпретацию квантовой теории...»

Эйнштейн, продолжая беседу, заметил, что говорить о том, будто следует принимать во внимание только наблюдаемые величины, весьма опасно. Потому что каждая разумная теория должна позволять измерять не только прямо наблюдаемые величины, но и величины, наблюдаемые косвенно. Мах, например, всегда считал, что понятие атома приемлемо только с точки зрения удобства, с точки зрения «экономии мышления», он никогда не верил в реальное существование атома. В наше время каждый скажет, что это чепуха, т. е. реальное существование атома стало вполне очевидно. Более того, я думаю, продолжал

Эйнштейн, что наши знания не станут богаче, если мы будем рассматривать атом просто как удобное понятие, хотя логически такая точка зрения вполне допустима. Таково было кредо Эйнштейна. В. Гейзенберг отсюда сделал следующий вывод: в квантовой механике это означало, что доступными для наблюдения являются не только частоты и амплитуды, но также, в частности, и амплитуды вероятности, и волны вероятности и т. д., которые, конечно же, представляют собой объекты совершенно другой природы.

«Мне следует еще добавить, — продолжал Гейзенберг, — что при изобретении новой схемы решающим является вопрос: от каких старых концепций вы можете, по существу, отказаться? В случае квантовой теории было более или менее очевидно, что вы можете отказаться от понятия электронной орбиты»³.

Таким образом, здесь мы имеем новое дополнительное свидетельство о том, что пресловутый позитивистский принцип «принципиальной наблюдаемости» не играл фундаментальной роли в создании квантовой механики.

Выразив с помощью математического аппарата взаимосвязь между различными характеристиками микрообъектов, Гейзенберг как следствие получил соотношение между неопределенностями в определении координаты и импульса, энергии и времени.

Позитивистские утверждения об особой роли «принципа наблюдаемости» в создании квантовой механики вызывают все больше и больше критических оценок не только со стороны сознательных сторонников диалектического материализма, но и многих ученых капиталистического мира, в том числе и философов.

³ Там же.

В. С. Швырев⁴ справедливо обратил внимание на антипозитивистский подход к проблеме научных понятий современного американского философа Г. Максвелла, который, например, критикует позитивистские утверждения о том, что ненаблюдаемые объекты науки лишены предметного содержания. «Тот факт, что многие теоретические сущности, например сущности квантовой теории, сильно отличаются от наших обыкновенных, повседневных физических объектов, не является какой-либо причиной, чтобы приписывать им сомнительный онтологический статус или утверждать, что они лишь «вычислительные средства» (calculating devices). В конце концов тот самый воздух, которым мы дышим, так же как и такие вещи, как тени и зеркальные отражения, представляет собой сущности совершенно иного рода, чем стулья и столы, но это не дает никаких оснований для опровержения их онтологического статуса»⁵.

Особенно важно подчеркнуть, что принцип неопределенности устанавливает ограниченность применимости понятия о траекторном движении по отношению к микрочастицам и тем самым ограниченность и понятия о строгой локализации частиц в пространстве и времени, т. е. показывает предел применимости классической механики. Микрообъект, обладающий такими дискретными, принадлежащими ему характеристиками, как заряд — e , спин — s , в своем движении как бы заполняет собой все пространство-время, где он существует, а взаимодействие с другими объектами приводит его к локализации с точностью, устанавли-

⁴ См. В. С. Швырев. Анализ научного познания в современной «философии науки». — «Борьба философских направлений в современном естествознании». М., 1973.

⁵ G. Maxwell. The Ontological Status of Theoretical Entities. — «Minnesota Studies in the Philosophy of Science», 1966, vol. III, p. 24.

ваемой принципом неопределенности Гейзенберга. Таким образом, само движение микрообъектов качественно отличается от движения макрообъектов, их движение не обязательно характеризуется траекторией. Бестраекторное движение микрочастиц — это движение, аналогичное распространению волн, так что при таком движении частиц, при их взаимодействии со средой закономерно возникают явления дифракции и интерференции.

Однако принцип неопределенности, вопреки широко распространенному представлению, не исключает полностью траекторного движения микрочастиц. При определенных условиях, когда длина волны, соответствующая импульсу частицы, достаточно мала по сравнению с пространственной областью движения, например с расстоянием между стенками катодной трубки, движение в ней электронов происходит по траекториям, и электроны ведут себя не как волны, а именно как частицы, обладающие в данный момент времени определенным положением в пространстве.

Принцип неопределенности, с одной стороны, еще более сближает понятия о волне и частице, а с другой — показывает, когда, при каких условиях эти понятия необходимо рассматривать не в их тождестве, а в их различии, т. е. когда корпускулярные свойства частично можно отделить от их волновых свойств и противопоставить первые вторым. Этот принцип устанавливает и меру отождествления волн и частиц, и границу их различия, отделения друг от друга.

Из соотношения неопределенности для координаты и импульса частицы $\Delta P_x \cdot \Delta x \sim \hbar$ видно, что если изменения координаты в результате изменения импульса или, наоборот, импульса в результате изменения координаты малы по сравнению с их значениями, то этими изменениями можно пренебречь и рассматривать движение частицы как классическое, не

учитывать потенциально присущих ей волновых свойств. Короче говоря, отождествлять волны и частицы возможно лишь при таких параметрах частиц, которые сравнимы по своей величине с величиной постоянной Планка, которая, как известно, очень мала:

$$\hbar = 1,05444 \cdot 10^{-27} \text{ эрг/сек} \quad \left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right).$$

В квантовой механике ни понятие частицы не сводится к понятию волны, ни понятие волны не сводится к понятию частицы.

В проявлении волновых или корпускулярных свойств объекта большую роль играют и размеры пространственно-временных параметров среды по отношению к размерам параметров объекта (это означает, что пространственно-временные характеристики материи переплетаются с ее динамическими характеристиками).

Экспериментальное доказательство существования волновых свойств у микрочастиц отнюдь не является доказательством того, что они суть волны: частицы продолжают оставаться частицами, и свести их к волнам так же невозможно, как невозможно прерывность свести к непрерывности.

Микромир с его качественно отличными от макромира объектами и законами их движения требовал от ученых последовательного отказа от метафизического и механистического способа мышления, но это нелегкая задача, с которой и ныне многие физики мира еще далеко не справились.

Следует подчеркнуть, что такие выдающиеся физики, создатели квантовой теории, как М. Планк, А. Эйнштейн, Л. де Бройль, Э. Шредингер, не признавали ее за замкнутую, полную научную теорию и надеялись, что ее парадоксальность (с точки зрения метафизического подхода) будет устранена. Так, де

Бройль писал: «...возможно, в один прекрасный день окажется, что квантовая теория дает нам лишь статистическое представление определенных аспектов лежащей за ним физической реальности, которую она не в состоянии описать полностью»⁶.

Аналогичные идеи неоднократно высказывал и А. Эйнштейн. В конце жизни он писал: «Действительно, если статистическая квантовая теория не претендует на полное описание индивидуальной системы (и ее поведения во времени), то попытки найти это полное описание индивидуальной системы где-то еще, по видимому, неизбежны... В рамках концептуальной схемы статистической квантовой теории элементов такого описания не содержится. С учетом этого приходится признать, что указанная схема в принципе не может служить базисом теоретической физики»⁷.

Метафизический отрыв и противопоставление динамических и статистических средств отображения действительности, непрерывности и прерывности, необходимости и случайности, отождествление детерминизма с лапласовской формой причинности — таков тот фундамент, на котором строилось недоверие к статистической форме выражения закономерностей микромира.

М. Борн, в отличие от Л. де Бройля, Э. Шредингера, А. Эйнштейна и других, которые считали, что необходимо отказаться от представления о частицах и квантовых скачках, думал о том, как «найти путь, позволяющий примирить представления о частицах и волнах. Связующее звено, — писал М. Борн; — я увидел в вероятностном подходе... Моя статистическая интерпретация ψ -функции была только первым шагом в нашем понимании взаимоотношения частиц и

⁶ «Journal Phys. Rad.», 20, 963 (1959).

⁷ *Einstein. Philosopher, Scientist*. New York, 1951, p. 31.

волн в атомной физике»⁸. Надо сказать, что лучшей интерпретации законов микромира, чем та, которую дали М. Борн, В. Гейзенберг, Н. Бор и другие (представители так называемой копенгагенской школы), пока никто еще не предложил.

Эта физическая теория является полной, так как в ее пределах не обнаружены элементы, которые зависят от других элементов, не учитываемых данной теорией. Описание квантово-механических объектов с помощью ψ -функции (имеющей статистический характер) не требует введения в теорию новых элементов и дополнительных идей, и в этом смысле квантовая механика — замкнутая и полная теория. Но как всякая научная теория в философском плане она представляет собой относительную истину, и дальнейшее познание микромира ведет к развитию физики, к созданию новых физических теорий.

Квантовая механика более адекватно по сравнению с классической механикой отразила прерывность и непрерывность физических явлений, но она не исчерпала объективную диалектику микрообъектов и их взаимодействий.

2. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ — ОСНОВНАЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИ-ГНОСЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Установление корпускулярных характеристик излучения и волновых свойств микрочастиц поставило чрезвычайно сложную гносеологическую проблему: как осмыслить, понять, т. е. выразить в логике понятий, это качественно новое явление? Проблема истолкования корпускулярно-волнового дуализма в квантовой механике стала предметом острой дискуссии, продолжающейся и по сей день.

⁸ М. Борн. *Моя жизнь и взгляды*. М., 1973, стр. 29, 30.

Попытки Шредингера и ряда других физиков истолковать корпускулярно-волновой дуализм в духе классической физики потерпели неудачу. Иначе и не могло быть. Почему же эти попытки (предпринимаемые некоторыми учеными и в наши дни) оказываются несостоятельными?

На наш взгляд, ответ может быть следующим. Во-первых, при таком подходе игнорируется диалектико-материалистическое положение о разнокачественности форм движения материи и несводимости их друг к другу. Движение материи на уровне микромира обладает четко выраженной специфичностью, что было подтверждено серией экспериментально установленных фактов. Качественное своеобразие экспериментальных данных, относящихся к микромиру, действительно требует от исследователей такого подхода к их истолкованию, который бы учитывал, что качественно различные виды материи обладают особыми, только им присущими формами движения. Отсюда все попытки свести качественные различия в строении и движении материи только к количественным неизбежно приводят исследователей к представлению об однокачественности (т. е. бескачественности) материи, т. е. к последовательному механицизму.

Попытка истолковать корпускулярно-волновой дуализм на основе классической физики означает по существу игнорирование специфичности видов материи, изучаемых на уровне микромира, сведение качественной определенности этого вида движущейся материи к количественным различиям.

Иллюстрацией подобного методологического просчета является, на наш взгляд, попытка, предпринятая в 1952 г. Д. Бомом, создать квантовую механику на основе представлений, согласно которым микрообъекты движутся в соответствии со «скрытыми» параметрами. Он полагал, что предложенная им «интер-

претация представляет более широкие возможности, чем старая (копенгагенская.— *Авт.*), ибо она допускает точное и непрерывное описание всех процессов даже в квантовой области»⁹.

Своеобразие движения микрочастиц, по Бому, вытекает из того, что эти по существу «классические» частицы испытывают дополнительное влияние особого квантовомеханического поля, иначе говоря, квантовомеханической силы, определяемой ψ -полем. Гипотетическая квантовомеханическая сила, по Бому, должна обладать необычными свойствами: мгновенностью действия, конечностью его величины на каких угодно расстояниях от источника этой силы и др.

В соответствии с такими исходными позициями Бом допускает принципиальную возможность точного определения импульса и координаты микрообъекта одновременно. «Оказывается, — пишет он, — что в принципе «скрытые» параметры точно определяют результат любого индивидуального акта измерения. Практически, однако, при всех измерениях, которые мы умеем производить в настоящее время, измерительный аппарат искажает состояние системы непредсказуемым и неконтролируемым образом; поэтому соотношение неопределенностей все же имеет место как практически неизбежное ограничение точности опыта. Но это ограничение не связано органически со всем нашим пониманием теории. Так, если несколько изменить математический формализм теории одним из способов, указанных в предыдущей статье, то одновременное сколь угодно точное измерение координат и импульса частицы окажется в принципе возможным»¹⁰.

⁹ Д. Бом. О возможности интерпретации квантовой теории на основе представления о «скрытых» параметрах. — «Вопросы причинности в квантовой механике». М., 1955, стр. 34.

¹⁰ Там же, стр. 65.

Если согласиться с Бомом и признать, что индивидуальная микрочастица движется непрерывно и обладает одновременно точной координатой и определенным импульсом, автоматически снимается вопрос о специфике свойств этих частиц по сравнению со свойствами объектов классической физики, в то время как в экспериментах они ведут себя двойственно, «дуалистически». Предложенный Бомом в последние годы «усовершенствованный» вариант квантовой механики, в которой «скрытые» параметры заменены на «случайные» параметры, не устранил теоретическую несостоятельность этого подхода.

Неправомерность истолкования корпускулярно-волнового дуализма в духе классической физики вытекает, кроме того, из следующего. Классические представления формировались, как мы уже указывали, в основном во время господства метафизического метода мышления. Это обстоятельство привело к тому, что диалектический характер физических процессов отражался законами классической физики в довольно «ослабленном» виде, причем метафизичность ряда понятий традиционной физики не удается преодолеть вплоть до настоящего времени. К примеру, электромагнитное поле в классической электродинамике рассматривается только как непрерывное. Поэтому далеко не случайно Шредингер, создавая волновой вариант квантовой механики, руководствовался идеей всеохватывающей непрерывности энергетических процессов. Именно непрерывность пространства, времени, движения, энергии рассматривалась в качестве одной из фундаментальных идей всей науки до 1900 г.

Шредингер с помощью последовательного применения идеи непрерывности стремился свести физику микромира к классической. В этой связи интересно привести воспоминания В. Гейзенберга. В июле 1926 г. во время дискуссии с Шредингером и его сто-

ронниками «...я привел, — пишет он, — доводы в пользу предположения, что вследствие толкования Шредингера совершенно невозможно объяснить закон излучения Планка, но они никого не убедили, а Вильгельм Вин, профессор экспериментальной физики при Мюнхенском университете, мне довольно резко ответил, что теперь действительно будет покончено с квантовым скачком и всей атомной физикой и что упомянутые мной трудности, несомненно, будут преодолены Шредингером в ближайшем будущем»¹¹.

Выше уже была показана несостоятельность абсолютизации идеи непрерывности объектов познания в философском плане. Напомним, что и в чисто физическом плане концепция Шредингера не выдержала испытания.

Неудача попыток подхода к явлениям микромира исключительно в духе классической физики, в духе противопоставления прерывности и непрерывности привела к тому, что среди физиков усилилось стремление преодолеть односторонность в интерпретации корпускулярно-волнового дуализма. В этом плане определенного внимания заслуживает концепция Бора, получившая название «принцип дополнительности».

Сам Бор на примере света так излагает содержание этого принципа: «...пространственная непрерывность распространения света в нашей картине и атомистичность световых эффектов являются дополнительными аспектами одного и того же явления. Дополнительность мы понимаем в том смысле, что оба аспекта отображают одинаково важные свойства световых явлений, причем эти свойства не могут вступать в явное противоречие друг с другом, поскольку

¹¹ В. Гейзенберг. Квантовая теория и ее интерпретация. — «Нильс Бор. Жизнь и творчество». М., 1967, стр. 15.

более подробный анализ их на основе понятий механики потребовал бы взаимно исключających экспериментальных установок»¹².

Два аспекта (волновой и корпускулярный) описания микрообъектов вытекают из того факта, что принципиально невозможно одновременно точно измерить импульс и координату (соответственно энергию и время) частицы. Измеряя точно, допустим, координату микрочастицы, мы неизбежно создадим условия, при которых частица будет обмениваться количеством движения (следовательно, и импульсом) с прибором. Для точного измерения импульса частицы (учета баланса количества движения) конструкцию прибора необходимо изменить таким образом, что становится невозможным точно определить координату микрообъекта.

Отсюда получается, что существуют два класса измерительных приборов: один класс фиксирует микрочастицу как дискретное образование, локализованное в пространстве и во времени; другой — фиксирует микрочастицу как объект, не обладающий локализованностью в пространстве и времени, но имеющий определенный импульс и энергию.

Бор полагает, что экспериментальные данные, полученные посредством двух классов приборов, дополняют друг друга и дают достаточно полную информацию о микрообъектах. «Как бы ни были велики контрасты, — пишет он, — которые обнаруживают атомные явления при различных условиях опыта, такие явления следует назвать дополнительными, в том смысле, что каждое из них хорошо определено, а взятые вместе они исчерпывают все поддающиеся определению сведения об исследуемых объектах»¹³.

¹² Н. Бор. Атомная физика и человеческое познание. М., 1961, стр. 18; см. также стр. 35, 143—144 и др.

¹³ Там же, стр. 124.

Действительно, углубленный анализ роли прибора в познании микромира, проведенный наряду с Бором рядом исследователей, показал, что принципиально невозможно одновременно точно измерить сопряженные величины: в явлении нам даны либо корпускулярный, либо волновой аспекты микропроцессов. Здесь позиция Бора не вызывает критики. Однако нельзя согласиться с некоторыми гносеологическими выводами, которые из этого делает датский исследователь. Особенно это относится к проблеме реальности дискретно-континуальных свойств микрообъектов.

Решение вопроса об объективной реальности корпускулярно-волновых (следовательно, и прерывно-непрерывных) свойств микрообъекта Бор ставит в зависимость от возможности непротиворечивого употребления пространственно-временных и импульсно-энергетических понятий применительно к этому объекту. «Следует напомнить, — писал Бор, — что и в соотношении неопределенности мы имеем дело с таким следствием формального аппарата, которое не может быть недвусмысленно выражено словами, приспособленными для описания классической картины физического явления. Так, после фразы: «Мы не можем одновременно узнать положение и количество движения атомного объекта» — немедленно возникает вопрос о физической реальности двух таких атрибутов объекта; а на этот вопрос можно ответить, только исследуя условия для недвусмысленного применения пространственно-временных понятий, с одной стороны, и динамических законов сохранения — с другой»¹⁴.

Так как одновременное непротиворечивое (в смысле формальной логики) употребление этих понятий

¹⁴ Там же, стр. 61—62.

недопустимо, то отсюда, по Бору, вытекает недопустимость утверждения об одновременном существовании прерывно-непрерывных свойств у микрообъекта.

Но микрообъект — это не шарик и не точка, он характеризуется и волновыми и корпускулярными параметрами. Причем эти моменты, стороны существуют в единстве в объекте познания реально, независимо от факта восприятия и от способа измерения. В процессе познания мы можем отвлекаться от одного из двух моментов, фиксируя свое внимание либо на непрерывности, либо на прерывности. Наше познание может также опираться на такие эксперименты, которые фиксируют только непрерывность или только дискретность. Более того, мы видим, что при изучении микромира такой подход необходим. Однако все это: и отвлечение, и эксперименты (если они даже связаны со значительным энергетическим воздействием на объект исследования) — ни в коем случае не приводит к тому, что сам объект теряет такие существенные свойства, как прерывность и непрерывность.

Если же следовать Бору, то можно прийти к выводу, что в зависимости от различных видов приборов прерывное и непрерывное существует в объекте в разное время и в различных отношениях. Утверждать об одновременном существовании этих противоположностей в объекте, по Бору, неправомерно. Более того, Бор полагает, что некорректно вообще говорить о свойствах, присущих микрообъектам вне их взаимодействия с прибором. «Взаимодействие между измерительными приборами, — писал он в 1954 г., — и исследуемыми физическими системами составляет неотъемлемую часть квантовых явлений. Признание этого факта не только обнаружило не подозревавшуюся раньше ограниченность механического понимания природы (в котором физическим системам приписываются самостоятельные свойства), но и заставило

нас, при упорядочении опыта, обращать должное внимание на условия наблюдения»¹⁵.

Конечно, свойства материального объекта проявляются во взаимодействии с другими объектами. Взаимодействие микрообъекта с прибором есть частный случай связи данного объекта с миром вообще. Поэтому во взаимодействии с прибором свойства микрообъекта, безусловно, проявляются, но эти свойства проявляются также и в других взаимодействиях. Даже если расширить понятие «прибор» и рассматривать в качестве регистрирующих установок все макротела, с которыми взаимодействует частица, то и в этом случае остается бесконечное число взаимосвязей с объектами на уровне микромира. И самое существенное: свойства объектов не возникают во взаимодействии с приборами, телами, а обнаруживаются в этих взаимодействиях: «...свойства данной вещи, — писал К. Маркс, — не возникают из ее отношения к другим вещам, а лишь обнаруживаются в таком отношении...»¹⁶.

Бор, как и другие создатели квантовой механики, встретился с огромными трудностями, и он искал возможности непротиворечивого описания явлений микромира посредством математического аппарата, который еще далеко не совершенен и не выражает достаточно полно противоречивую сущность микропроцессов, требующих для своего адекватного отражения более полных знаний о сущности микромира, субъективной диалектики и нового математического аппарата.

Как видно, Бор сделал существенный шаг в сторону диалектики по сравнению с исследователями, пытающимися корпускулярно-волновой дуализм микро-

¹⁵ Там же, стр. 104.

¹⁶ К. Маркс и Ф. Энгельс. Собр. соч., т. 23, стр. 67.

объектов свести либо к волне, либо к частице. Он признает и волновой, и корпускулярный аспекты, однако эти аспекты он рассматривает не как предполагающие, обуславливающие друг друга, а только как дополняющие. Иными словами, вскрыв противоречивую сущность микрообъектов, он, да пока и никто другой, не нашел формально-логических и математических средств для отражения объективной диалектики прерывности и непрерывности и поэтому был вынужден разрывать диалектическое, нераздельное единство противоположностей прерывного (корпускула) и непрерывного (волна), а затем объединять их таким образом, что это единство оказывалось чем-то внешним, рядоположенным, а не внутренним, взаимопроницающим. Внешность, рядоположенность этого единства выражается у Бора прежде всего в том, что названные противоположности не предполагают друг друга одновременно, они могут существовать независимо одна от другой.

Такое понимание единства противоположностей ограничено, в нем исключается взаимопроникновение, взаимообусловленность, взаимодействие противоположных сторон, тенденций в развитии. В конечном счете в тени остается самодвижение природы на уровне микромира. Тем не менее потенциально диалектическая направленность принципа дополнительности Бора оказала значительное влияние на исследователей, прежде всего на физиков, специализирующихся в области микромира. Это объясняется, во-первых, тем, что данный принцип, по Бору, обладает всеобщностью, т. е. является философско-методологическим принципом¹⁷ (но заметим, не диалектико-материалистическим). Поэтому он и используется как общеметодологическая основа при исследовании квантовых

¹⁷ См. *Н. Бор. Атомная физика и человеческое познание*, стр. 147.

процессов. Во-вторых, по своему объективному содержанию принцип дополнительности Бора представляет собой существенный шаг вперед на пути от метафизики к диалектике. Метафизические концепции уже не в состоянии продуктивно выполнить методологические функции в исследовании диалектики микромира, где дискретный и непрерывный характер процессов нераздельны. Фактически стараясь с помощью элементов диалектики понятий отразить диалектику объектов и процессов, Бор, Борн и многие другие физики Запада в то же время отрицают значение диалектического материализма для физики, не признают его в качестве методологической основы современного естествознания.

Оценивая как самую удачную из существующих попытку Н. Бора с помощью принципа дополнительности выразить объективную противоречивость микрообъектов, мы не можем согласиться с мнением ряда философов-марксистов и историков физики, которые безоговорочно считают принцип дополнительности диалектическим принципом, адекватно выражающим единство и борьбу противоположностей. Этой точки зрения, например, придерживается Ф. Гернек. В книге «Пионеры атомного века» он пишет: «...принцип дополнительности, отражающий непримиримые противоречия микромира, является диалектическим принципом *в полном смысле слова*» (курсив наш. — Авт.)¹⁸. К сожалению, Ф. Гернек не аргументирует это утверждение и тем затрудняет полемику с ним по данному вопросу. Диалектическое противоречие, как уже отмечалось, включает в себя взаимопроникновение и взаимообусловленность противоположностей, чего нет в принципе дополнительности.

Принцип дополнительности благодаря своему зна-

¹⁸ Ф. Гернек. Пионеры атомного века. М., 1974, стр. 268.

чению для физики привлек внимание философов и получил среди них различное толкование. Представители таких философских направлений, как неокантианство, неопозитивизм, неоплатонизм и другие, стремятся интерпретировать этот принцип в соответствии с исходными идеями, защищаемыми тем или иным направлением.

Для ряда сторонников копенгагенской школы характерен преимущественно позитивистский подход к решению проблемы реальности микрообъекта и его свойств. В центре их внимания оказывается способ описания микропроцессов. В результате смазывается (а зачастую и стирается) граница между субъектом (наблюдателем) и объектом наблюдения. Отсюда делаются выводы, сущность которых сводится к утверждению, что микромир как реальность создается в процессе наблюдения. Оценивая в целом научные позиции Н. Бора как стихийно-материалистические, необходимо отметить, что он сам в определенной степени нередко способствовал позитивистским выводам из достижений квантовой механики, особенно своими высказываниями о необходимости радикального пересмотра укоренившихся взглядов на проблему физической реальности¹⁹.

Если признать верным утверждение, что микрообъект не является объективной реальностью, то почему бы из этого утверждения не сделать вывод в ду-

¹⁹ «По квантовому постулату, однако, — писал он, — всякое наблюдение атомных явлений связано с таким взаимодействием последних со средствами наблюдения, которым нельзя пренебречь, и поэтому невозможно приписать самостоятельную физическую реальность в обычном смысле как феномену, так и средству наблюдения». — *Н. Бор*. Квантовый постулат и новое развитие атомистики. — «Успехи физических наук», 1928, т. 8, вып. 3, стр. 307. Нужно отметить, что в своих последних работах Бор выступал против идеалистических выводов из специфики познания микрообъектов.

хе берклианства и не сказать, что реально только то, что фиксирует прибор и воспринимается субъектом посредством прибора. Такой вывод некоторыми физиками и был сделан. «Позитивизм учит нас, — писал физик-теоретик П. Иордан, — что подлинная физическая реальность — это только совокупность экспериментальных результатов»²⁰. Другой физик, В. Ленцен, также приходит к подобному выводу: «Мы должны избежать взгляда, — пишет он, — что электрон реально имеет определенное положение до наблюдения. Понятие существования «до наблюдения» недопустимо; до наблюдения, строго говоря, есть только возможность его положения, которое соответственно теории не является строго детерминированным»²¹.

В утверждении В. Ленцена содержится верный момент. Действительно, говорить об *определенном положении* электрона до наблюдения (в классическом смысле) *неправильно*, но *совершенно ошибочно утверждать, что понятие «существование до наблюдения» недопустимо*, тем самым отрицается существование объективной реальности независимо от наблюдения.

Согласно взглядам сторонников операционализма²², значение понятий физики может быть выяснено только посредством такой экспериментальной процедуры, которая четко указывает последовательность операций; осуществление этих операций позволяет от этапа к этапу выявлять физический смысл этих понятий. Безусловно, подобный подход содержит в себе

²⁰ P. Jordan. *Physics of the 20th Century*. New York, 1944, p. 123.

²¹ «Possibility». Ed. by G. Adams, J. Leovenberg and S. Pepper. California, 1934, p. 74.

²² Операционализм — разновидность современного позитивизма, название происходит от исходной концепции этого направления; понятия приобретают смысл только тогда, когда они определяемы посредством описания операций, используемых при формировании, употреблении и проверке этих понятий.

рациональный момент, отражающий сложность исследований микромира при помощи макроприборов. Однако сосредоточив все внимание на анализе исследовательских процедур и конкретных методов исследований физиков, операционалисты подменяют проблему познания качественного своеобразия микромира вопросом об особенностях макроскопических измерений частиц.

Абсолютизируя это звено в процессе познания микромира, операционалисты и их сторонники пришли к заключению, что физической реальностью можно считать только совокупность операций, совершаемых исследователем, т. е. субъектом. Отсюда вывод: вне экспериментальной установки, а в конечном счете вне воспринимающего субъекта нет объективной реальности. «Общая черта всех явлений, — пишет родоначальник операционализма физик Бриджмен, — которым мы приписываем «физическую реальность», — это то, что они могут быть определены посредством инструментальных операций, сделанных в данном месте и в данный момент»²³.

Из того обстоятельства, что человек сам создает инструменты и сам (актуально или потенциально) осуществляет операции, вытекает, по Бриджмену, утверждение: объективная реальность создается целенаправленной творческой активностью субъекта. Причем эта творческая активность не только порождает реальность, как таковую, но одновременно создает ее качественную определенность. Именно целенаправленная деятельность субъекта предопределяет (если рассматривать этот вывод применительно к физике микромира), какая реальность создается в эксперименте: в форме волны или в форме корпускулы.

²³ P. W. Bridgman. *The Nature of Thermodynamis*. Cambridge, 1943, p. 216—217.

По существу здесь в несколько ином аспекте воспроизводятся концепции эмпириокритицизма о неразрывном единстве субъекта и объекта («принципиальная координация» Авенариуса), психического и физического («элементы мира» Маха). Существенное отличие состоит лишь в большем подчеркивании целенаправленной активности субъекта в формировании реальности²⁴.

Бесспорно, активность исследователя играет большое значение. Познающий субъект, которому объект познания в силу неисчерпаемости своих свойств не дан сразу, всесторонне, во всех отношениях, целенаправленно исследует объективную действительность. Причем эта целенаправленность определяется в конечном счете практическими потребностями общества. В соответствии с этими потребностями, опираясь на достигнутый уровень практики и познания, исследователь ставит вопросы, определяет пути их решения, он стремится выделить прежде всего те аспекты, те стороны реальности, которые необходимы для решения поставленных обществом задач.

Несомненно, на выбор путей исследования, на характер вопросов, «задаваемых» изучаемой действительности, влияет и внутренняя логика развития науки, и интересы самого исследователя. Однако не они являются решающими в определении направленности и интенсивности изучения тех или иных аспектов действительности.

У операционалистов же именно последнее — субъект, его интересы не только возводятся в ранг определяющих стимулов направленности исследования, но и выступают в качестве исходного пункта познания как

²⁴ По Маху, субъект в соответствии с избранной точкой зрения выделяет те или иные связи, посредством которых образует «комплексы элементов».

основы самой действительности. «Я стою, — пишет Бриджмен, — один во всей вселенной, с одними лишь интеллектуальными орудиями, которыми я обладаю... В известном смысле я лишь играю в захватывающую умственную игру с самим собою»²⁵.

Сторонники операционализма и ряда других направлений в идеалистической философии стремятся опереться на тот факт, что во многих случаях непосредственно объект познания микромира нам не дан. В частности, из этого положения они делают вывод о субъективности (применительно к микромиру) наших знаний. Если квантовая механика, полагают они, может рассматривать микропроцессы только относительно к средствам наблюдения, то отсюда следует, что мы не имеем данных, на основе которых можем судить о поведении микрообъектов вне прибора. А если это так, правомерно, с их точки зрения, следующее заключение: то, что мы называем «физической реальностью», есть лишь результат взаимодействия объекта с прибором в определенный момент времени. Наше знание о физической реальности есть соответственно только состояние знаний наблюдателя в определенный момент времени. Отсюда в свою очередь следует, что физическая реальность не обнаруживается, а порождается наблюдением. Иными словами, наши знания о микромире не объективны, т. е. содержание этих знаний зависит от конструкции экспериментальной установки, в конечном счете от познающего субъекта.

Такой вывод, безусловно, отвергается всей историей познания и общественной практикой, диалектическим материализмом. В основе приведенного выше рассуждения лежит допущение, что мы не вправе пе-

²⁵ P. Bridgman. *Reflections of a Physicist*. New York, 1950, p. 79.

реносить знания, полученные в результате изучения взаимодействия частицы с прибором, на микропроцессы вне прибора. Это допущение неверно. Несостоятельность его следует, во-первых, из признания материального единства мира, из того, что человек может воздействовать на физические объекты только в пределах самих физических законов. «Человек, — писал К. Маркс, — в процессе производства может действовать лишь так, как действует сама природа, т. е. может изменять лишь формы веществ»²⁶.

Отсюда воздействие прибора, сконструированного человеком, ничем принципиально не отличается от воздействия других материальных объектов на микрообъект. Во-вторых, из положения о всеобщей взаимосвязи и взаимообусловленности явлений вытекает, что микрообъект всегда находится во взаимодействии с бесчисленным множеством других объектов. Поэтому свойства, которые микрообъект обнаруживает во взаимодействии с прибором, присущи этому микрообъекту всегда, ибо он не может находиться в состоянии полной изоляции от среды.

Все это позволяет нам утверждать, что законы движения микрообъектов, открытые в результате изучения взаимодействия прибора с микрообъектом, присущи самому микромиру. В этом смысле наши знания о микромире объективны. Конечно, если мы будем рассматривать вопрос о взаимодействии прибора и микрообъекта не в аспекте «объективное — субъективное», т. е. в плане основного вопроса философии, то, как было показано выше, эта специфика существует, но она вовсе не свидетельствует против объективности наших знаний о микромире.

Если несостоятельность идеалистических выводов из квантовой механики совместными усилиями мате-

²⁶ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23, стр. 51—52.

риалистов-философов и физиков в настоящее время в основном раскрыта, то задача преодоления метафизических тенденций в истолковании корпускулярно-волнового дуализма оказалась значительно сложнее.

Существенный вклад в диалектико-материалистическое истолкование корпускулярно-волнового дуализма микромира сделан исследователями, разрабатывающими концепцию реальности квантовых состояний и концепцию квантовых ансамблей.

Рассмотрим кратко эти концепции.

Как уже нами отмечалось, статистическая интерпретация корпускулярно-волнового дуализма является общепризнанной. Согласно этой интерпретации, квадрат модуля ψ -функции (волновой функции) выражает вероятность нахождения микрообъектов в той или иной области пространства. Однако в решении вопроса о том, описывает ли эта ψ -функция совокупность невзаимодействующих частиц (ансамбль) или отдельный микрообъект (отдельную квантовую систему), нет общей точки зрения.

Сторонники копенгагенской школы, в том числе и автор статистической интерпретации волновой функции М. Борн, полагают, что волновая функция описывает поведение отдельной квантовой системы. Эйнштейн не соглашался с таким решением проблемы. Согласно его представлениям, волновая функция описывает статистическое среднее поведение большого количества совокупностей микрочастиц. «Функция, — писал он, — ни в коем случае не описывает состояние, свойственное одной единственной системе; она относится скорее к нескольким системам, т. е. к «ансамблю систем», в смысле статистической механики. Если, исключая некоторые особые случаи, функция дает только статистические данные об измеримых величинах, то причина состоит не только в том, что *операция измерения* вносит неизвестные элемен-

ты, которые можно уловить лишь статистически, а в самом факте, что функция ψ ни в коем смысле не описывает состояния *одной* отдельной системы»²⁷.

В основе несогласия Эйнштейна с представителями копенгагенской школы по данному вопросу лежит, как полагал Эйнштейн, расхождение в оценке роли динамических и статистических закономерностей микромира. Согласно Эйнштейну, поведение отдельного микрообъекта подчиняется законам динамического типа. Однако он считает, что эти законы пока нам неизвестны. Мы уже писали, что, по Эйнштейну, квантовая механика, основанная на законах статистического типа, является относительно верной, но неполной теорией и именно неполнота квантовой механики вынуждает исследователей оперировать не динамическими закономерностями, а их «суррогатами» — статистическими закономерностями, не дающими исчерпывающей информации о состоянии микрообъектов в определенной точке пространства и в конкретный момент времени. Неполнота квантовой механики — явление временное, преходящее; поэтому усилия исследователей, полагал Эйнштейн, должны быть направлены на создание новой, более полной теории. Статистическая концепция, подчеркивал он, не позволяет выяснить, какие процессы протекают в отдельной системе. В этой связи Эйнштейн задает вопрос: «...неужели какой-нибудь физик действительно верит, что нам не удастся узнать что-либо о важных внутренних изменениях в отдельных системах, об их структуре и причинных связях?»²⁸. И отвечает: «Думать так логически допустимо, но это настолько противоречит моему научному инстинкту, что я не могу отказаться от поисков более полной концепции»²⁹.

²⁷ А. Эйнштейн. Собр. научных трудов, т. IV, стр. 221.

²⁸ Там же, стр. 222.

²⁹ Там же, стр. 222—223.

Итак, требование полноты квантовой теории, по Эйнштейну, необходимо приводит к признанию динамических законов в качестве фундаментальных, первичных по сравнению со статистическими законами. В свою очередь первичность динамических законов у Эйнштейна находится в тесной взаимосвязи с его убеждением в том, что единство прерывности-непрерывности движения, пространства и времени можно свести только к континуальности. Действительно, по современным представлениям, законы динамического типа управляют поведением отдельного микрообъекта так, что позволяют однозначно установить его изменение в пространстве и во времени. А это допустимо только тогда, когда микрообъект движется по траектории в непрерывном пространстве — времени. Подчеркнем — только непрерывность траектории частицы, непрерывность пространства и времени позволяют однозначно определить изменение объекта исследования от мгновения к мгновению, от точки к точке пространства.

Исходя из этого, Эйнштейн полагал, что прерывные переходы, описываемые ψ -функцией, мнимые, они есть результат оперирования исследователей квантовым ансамблем. «Тот факт, — писал он, — что квантовая механика позволяет столь просто получить выводы, касающиеся прерывных переходов (кажущихся) из исходного состояния системы в другое, не давая фактически представления об отдельных процессах, связан с другим фактом, а именно: что теория в действительности оперирует не с отдельной системой, а с ансамблем систем»³⁰.

Последовательное проведение этой точки зрения разрывает диалектическое единство прерывного и непрерывного при истолковании корпускулярно-волно-

³⁰ Там же, стр. 222.

вого дуализма; пространство, время, движение предполагаются только континуальными, частицы — только дискретными³¹.

Необходимо подчеркнуть, что сама по себе концепция квантовых ансамблей не предопределяет отрицательного отношения к возможности построения теории единичного микропроцесса. Однако одновременное признание этой концепции с допустимостью построения теории поведения одной микрочастицы приводит к заключению о неполноте (незавершенности) квантовой механики. Сама же концепция квантовых ансамблей в этом случае переносит решение проблемы о специфике проявления корпускулярно-волнового дуализма микропроцессов по существу на отдельный микрообъект. Именно такой точки зрения, как мы видели, придерживался Эйнштейн.

Среди советских исследователей позицию Эйнштейна разделял К. В. Никольский. Полемизируя с В. А. Фоком, он писал: «Квантовая механика — принципиально статистическая теория, не имеющая дела непосредственно с индивидуальными квантовыми явлениями»³². «Точка зрения на квантовую механику, — продолжал он, — как на статистическую дисциплину, неполно описывающую квантовые процессы, развиваемая в моей статье, примыкает к взглядам А. Эйнштейна, высказанным им в недавней дискуссии с Н. Бором о физической реальности»³³.

Д. И. Блохинцев, развивая вслед за К. В. Никольским концепцию ансамблей, полагает (в отличие от

³¹ Наряду с неявным допущением представления о частице в классическом ее понимании Эйнштейн (как это показано в предыдущей главе) стремится в разрабатываемой им теории поля свести дискретность частицы к континуальности поля.

³² К. В. Никольский. Ответ В. А. Фоку. — «Успехи физических наук», 1937, т. 17, вып. 4, стр. 557.

³³ Там же, стр. 558.

последнего), что квантовая механика является замкнутой, т. е. полной теорией³⁴. Отстаивание им положения о том, что волновая функция применима к ансамблю независимых друг от друга отдельных микросистем, и признание полноты квантовой механики с необходимостью приводят к отрицанию возможности описать поведение отдельного микрообъекта методами квантовой механики. Однако Д. И. Блохинцев по этому вопросу занимает несколько уклончивую позицию. Так, анализируя возможность создания индивидуальной истории частицы, он заключает: «...индивидуальная история частицы выражается в последовательности макроскопических событий»³⁵. Далее на вопрос о том, можно ли предположить возможность более «тонкого» описания истории отдельной частицы, отвечает: «Кажется, ничто не обнадеживает поиски подобного, более тонкого описания истории микрочастицы: в самом деле, нельзя указать ни одного опытного факта, который указал бы на неполноту квантовой механики, в том круге атомных явлений, который образует подвластная ей территория микромира. Но будем все же осторожными и вспомним Козьму Пруткова: «Кто мешает выдумать порох неподмокаемый?»»³⁶.

Более последовательное, на наш взгляд, решение вопроса (в рамках концепции квантовых ансамблей) наметил в свое время П. Ланжевэн. «Мне кажется, — писал он, — что основной причиной всех наших современных трудностей является введение представления об индивидуальных частицах, сущность принципа неопределенности заключается именно в утверждении

³⁴ См. Д. И. Блохинцев. Принципиальные вопросы квантовой механики, § 15 «Является ли квантовая механика полной теорией?». М., 1966.

³⁵ Там же, стр. 157.

³⁶ Там же.

невозможности проследить за движением отдельного электрона, т. е. невозможности представить его себе в качестве отдельного предмета. Поэтому единственным выходом является, по-моему, отказ от представления об индивидуальной частице, индивидуальном фотоне или электроне»³⁷. Такой подход, на наш взгляд, с одной стороны, исключает абсолютизацию момента дискретности в строении материи на уровне микромира, снимает вопрос только о непрерывном движении микрообъектов, следовательно, и об адекватности описания микрообъектов посредством системы понятий, основанной на абсолютизации однозначной причинно-следственной связи, но, с другой стороны, противоречит тому, что, скажем, электрон обладает присущими ему как индивидуальному объекту рядом, массой, спином.

Заканчивая изложение взглядов основных представителей концепции ансамблей, следует подчеркнуть единую, в философско-методологическом отношении, принципиально существенную черту в их взглядах — все они рассматривают корпускулярно-волновые свойства микрообъектов безотносительно к средствам наблюдения.

Рассмотрим теперь другую, более распространенную среди исследователей концепцию (копенгагенскую), которую защищают противники квантовых ансамблей, прежде всего В. А. Фок и А. Д. Александров. В противоположность концепции ансамблей они выдвинули идею о том, что волновая функция является объективной характеристикой реального состояния единичного микрообъекта в «классически определенных» внешних (микро или макро) условиях. В этой трактовке волновая функция выступает как характеристика свойств, присущих микрообъекту в

³⁷ П. Ланжевен. Избр. произведения. М., 1949, стр. 362.

данном состоянии, через реальные возможности (вероятности) результатов взаимодействия этого микрообъекта с окружающими телами («обстановкой»). Если же многократно воспроизводить определенные внешние условия, то вероятности результатов взаимодействия реализуются в виде определенной частоты появления тех или иных результатов. Отсюда непосредственно следует возможность статистического истолкования волновой функции. Такова вкратце суть концепции реальности квантовых состояний микрообъектов В. А. Фока и А. Д. Александрова. Она выгодно отличается от концепции квантовых ансамблей отсутствием логической противоречивости, которая присуща последней (о ней мы скажем несколько ниже), и является в настоящее время наиболее распространенной точкой зрения на природу волновой функции, хотя она также не лишена недостатков, о чем будет идти речь несколько дальше.

В квантовой механике элементами статистических коллективов являются не сами микрообъекты, а результаты опытов над ними, при этом определенной постановке опыта соответствует свой определенный коллектив. Так как получаемые из волновой функции распределения вероятностей для разных величин относятся к разным постановкам опыта, то они относятся и к разным коллективам. Эти утверждения легко понять, если обратиться к определению статистического коллектива, данному В. А. Фоком: «Представим себе неограниченную серию элементов, обладающих различными признаками, по которым можно сортировать эти элементы и наблюдать частоту появления элемента с данным признаком. Если для появления элемента с каждым данным признаком существует определенная вероятность, то рассматриваемая серия элементов представляет статистический коллектив». Далее, переходя к квантовой механике, Фок го-

ворит: «Какой же статистический коллектив можно рассматривать в квантовой механике? Очевидно, только коллектив из элементов, описываемых классически, так как только таким элементам можно всегда приписать определенные значения параметров, по которым производится сортировка. По этой причине квантовый объект не может быть элементом статистического коллектива, даже если он находится в таких условиях, что его можно сопоставить с волновой функцией. Таким образом, о «микромеханическом» и «электронном» коллективе в смысле Мандельштама говорить нельзя» (Л. И. Мандельштам считал, что вероятности в квантовой механике относятся к статистическому коллективу, представляющему собой собрание определенным образом приготовленных микрообъектов, или «микромеханический коллектив»).

Исходя из этого, Фок делает следующее фундаментальное заключение: «Элементами статистических коллективов, рассматриваемых в квантовой механике, являются не самые микрообъекты, а результаты опытов над ними, причем определенная постановка опыта соответствует одному определенному коллективу. Поскольку же результаты, получаемые из волновой функции распределения вероятностей для разных величин, относятся к разным постановкам опыта, они относятся и к разным коллективам. Таким образом, волновая функция ни к какому определенному статистическому коллективу относиться не может»³⁸. Фок считает, что основная причина того, что волновую функцию нельзя сопоставить ни с каким статистическим коллективом, заключается в том, что понятие волновой функции относится к *потенциально возможному* (к не произведенным еще опытам), тогда как

³⁸ «Успехи физических наук», 1957, т. 52, вып. 4, стр. 470—471.

понятие статистического коллектива относится к *осуществившемуся* (к результатам уже произведенных опытов).

Сторонники концепции квантовых ансамблей считали эту точку зрения неправильной, как и всякую попытку истолкования волновой функции в качестве объективной характеристики отдельного микрообъекта.

Мы уже говорили, что электрон, как и всякий другой микрообъект, качественно отличается от обычной макрочастицы в силу присущих ему диалектически противоречивых корпускулярно-волновых свойств и игнорирование этого чревато разрывом, изоляцией момента континуальности от момента прерывности в движении (следовательно, и в строении) микрочастиц, поскольку однозначное динамически-причинное описание изменения состояния объектов «схватывает» только непрерывность движения и предполагает четкую локализованность в пространстве (т. е. пространственную дискретность) движущихся объектов. Пренебрежение этим фундаментальным фактом привело защитников концепции квантовых ансамблей микрочастиц к существенным трудностям и противоречиям.

На самом деле, например, отнесение волновой функции лишь к ансамблю микрочастиц автоматически отрицает возможность приписывать волновую функцию отдельному микрообъекту (микрочастице), что фактически означает отрицание волновых свойств единичного микрообъекта. Это же противоречит результатам экспериментов по интерференции и дифракции предельно слабых потоков микрочастиц (об этом свидетельствуют опыты Тейлора, Демпстера и Бато в 1927 г., опыты С. И. Вавилова в 1932—1941 гг., опыты Л. Бибермана, Н. Сушкина и В. Фабриканта в 1949 г. и др).

Итак, опираясь на вышеизложенное, можно признать, что концепция реальности квантовых состояний микрообъекта, выдвинутая В. А. Фоком и А. Д. Александровым, учитывающая диалектически противоречивую корпускулярно-волновую природу микрообъекта и его неразрывную материальную связь с окружающими телами, несомненно, явилась шагом вперед в развитии диалектико-материалистической интерпретации квантовой теории.

Однако дискуссия продолжается, опубликованы новые работы вышеупомянутых авторов. Рассмотрим некоторые из них под углом зрения определения физического смысла волновой функции (ψ -функции).

Все известные интерпретации физического смысла волновой функции можно условно отнести к двум основным направлениям: онтологическому и гносеологическому. Сторонники первого направления стремятся в первую очередь указать на природный аналог волновой функции, понимая под ним или особые виды взаимодействия (взаимодействие частиц с особым волновым полем, по Бому), или особые материальные образования (волновой пакет Шредингера).

Не затрагивая характеристики всех других подобных попыток³⁹, коротко отметим только следующее: во-первых, общей основой этих попыток является известная недооценка как особенностей микромира, так и особенностей его познания, а также стремление в той или иной форме истолковать понятия квантовой механики в духе классической физики, в частности с позиций лапласовского детерминизма. Во-вторых, бесспорно положительным во взглядах представителей данного направления является их убежденность, кото-

³⁹ См. М. Бунге. Причинность. М., 1962, стр. 453—463; «Нильс Бор и развитие физики». М., 1958, стр. 29—39 и др.

рую разделяет большинство физиков, в том, что волновая функция имеет объективное содержание, т. е. отражает какую-то физическую реальность, а также и то, что эти физики резко выступают против всех попыток индетерминистски истолковать квантовую механику. Так что во взглядах сторонников первого направления имеются и отрицательные, и положительные стороны.

Что же касается взглядов сторонников второго направления (гносеологического) в определении смысла волновой функции, то нужно отметить, что эти взгляды весьма разнородны. Среди них встречаются и такие, которые начисто отрицают объективное содержание в понятии волновой функции и рассматривают его просто как математический символ, а волны де Бройля — как «волны нашего знания». Но среди сторонников этого направления имеются такие, которые придерживаются взглядов, основанных на позициях диалектического материализма (мы имеем в виду таких ученых, как Д. И. Блохинцев, В. А. Фок, А. Д. Александров). Их усилия направлены против попыток индетерминистского и субъективистского истолкования квантовой механики.

У всех сторонников гносеологического подхода к определению волновой функции имеется то общее, что они признают борновскую трактовку волновой функции как выражение амплитуды вероятности и ее статистическую или вероятностную сущность. А это значит, что такое понимание волновой функции может быть интерпретировано с самых различных позиций. Видимо, все дело в том, как отметил А. Д. Александров, какое содержание вкладывается в понимание существа физических величин, их измерения и вероятности.

Очевидно, что сторонники диалектического материализма, раскрывая гносеологический аспект вопро-

са о смысле волновой функции в силу его переплетения с онтологическим аспектом и признания объективного содержания в понятии волновой функции, приходят и к некоторым общим выводам об ее природном аналоге⁴⁰.

Как Д. И. Блохинцев, так и В. А. Фок, на наш взгляд, раскрыли весьма важные стороны содержания понятия волновой функции и наметили правильный путь к определению ее объективного аналога в природе посредством раскрытия ее связей с другими понятиями и принципами квантовой механики. Для того чтобы определить природный аналог волновой функции, необходимы дальнейшие исследования ее связей с основными понятиями и принципами квантовой механики: в первую очередь с особенностями действия законов сохранения в микромире, с принципами квантовой суперпозиции, единства симметрии и асимметрии, с принципом Паули, с постоянной Планка и т. д. Для этого следует продолжить и философский анализ главным образом следующих вопросов: о существе диалектического понимания детерминизма, об основах вероятностной характеристики законов микромира, о соотношении возможности, случайности, необходимости и действительности, прерывности и непрерывности — и ряда других.

Ответы на эти вопросы связаны с дальнейшим развитием содержания категорий диалектического материализма. В этом деле большая роль принадлежит тем выводам, к которым пришла квантовая механика в отношении особенностей нашего познания микромира и его закономерностей.

Квантовая механика, как и предвидел Л. Мандельштам⁴¹, закладывает основы «нового физического

⁴⁰ См. В. С. Готт, В. С. Тютин, Э. М. Чудинов. Философские проблемы современного естествознания. М., 1974, стр. 101—112.

⁴¹ См. Л. Мандельштам. Соч., т. 5. М., 1950, стр. 402.

мировоззрения», ибо она дает огромный материал для философских обобщений, а также для развития категорий диалектического материализма.

3. ПРЕРЫВНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ В КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Следующий шаг в развитии физической теории микромира связан с созданием квантовой электродинамики. Это — квантовая теория электромагнитного поля и его взаимодействия с электронами и фотонами (которые сами являются квантами данного поля). Так как масса покоя фотона равна нулю и он движется со скоростью света только в вакууме, то квантовая механика фотона должна быть с самого начала релятивистской теорией.

Таким образом, в этой теории описывается, в том числе и с помощью понятий прерывности и непрерывности (выступающих в виде различных физических объектов и понятий: частицы-фотон, электрон, μ -мезон, а также электромагнитное поле, электронно-позитронное поле), поведение некоторых микрообъектов и полей в их взаимосвязи и взаимодействии.

Важной предпосылкой для создания квантовой электродинамики явились работы Дирака по релятивистской квантовой механике электрона. Он вывел дифференциальные уравнения (носящие его имя), являющиеся релятивистским обобщением уравнения Шредингера, и показал, что электрон должен обладать особым внутренним моментом количества движения — спином, равным $1/2$, а также предсказал существование античастицы — позитрона (которая вскоре была открыта).

Принципиальное значение имело открытие возможностей фотона превращаться в пару электрон-позитрон (в поле атомного ядра). Это открытие пока-

зало на практике, что электромагнитное поле, а также электроны и позитроны выступают в квантовой электродинамике как два равноправных вида объективной реальности, изучаемой физикой.

Понятия полей — электромагнитного и электронно-позитронного — являются основными в квантовой электродинамике. Эти понятия должны, однако, отражать не только волновые свойства материи, что обеспечивается тем, что рассматриваемые как функции координат и времени электромагнитное и электронно-позитронное поля удовлетворяют определенным волновым уравнениям. Они должны также отражать корпускулярные свойства материи. Поэтому математически они должны описываться операторами, удовлетворяющими определенным перестановочным соотношениям.

Таким образом, мы приходим к понятиям квантованных полей, удовлетворяющих как функции координат и времени системе связанных дифференциальных уравнений Максвелла и Дирака и подчиняющихся как операторы определенным перестановочным соотношениям. Некоммутативность операторов означает принципиальную невозможность абсолютно точно измерить в один и тот же момент времени соответствующие величины.

Поля и соответствующие им частицы взаимодействуют между собой. В результате этого взаимодействия одни частицы исчезают, а другие возникают. Например, в процессе излучения возникает фотон, а в процессе образования фотоном электронно-позитронной пары фотон исчезает, а появляются электрон и позитрон.

Различные квантовоэлектродинамические процессы, как и все квантовые эффекты, характеризуются определенными вероятностями. Эти вероятности равны (с точностью до простых кинематических множи-

телей) квадратам модулей элементов некоторой матрицы — так называемой матрицы рассеяния.

Чтобы найти матрицу рассеяния, а ее нахождение представляет собой главную задачу квантовой электродинамики, нужно решить связанную систему операторных дифференциальных уравнений квантовой электродинамики (т. е. уравнения Максвелла и уравнения Дирака).

Однако точное общее решение этой задачи неизвестно. Удастся найти только приближенное решение уравнений квантовой электродинамики в рамках теории возмущений. Возможность применения теории возмущений связана с тем, что интенсивность электромагнитного взаимодействия невелика: она характеризуется так называемой постоянной тонкой структуры, пропорциональной квадрату заряда электрона и равной $1/137$. Поэтому решения уравнений квантовой электродинамики и матрицу рассеяния можно искать в виде бесконечных рядов по степеням постоянной тонкой структуры.

Однако высшие приближения теории возмущений содержат расходящиеся выражения, смысл которых был понят не сразу. Поэтому на начальной стадии развития квантовой электродинамики различные электромагнитные процессы исследовались только в первом, исчезающем приближении теории возмущений, которое не приводит к появлению расходимостей.

Новый этап в развитии квантовой электродинамики, который можно с полным правом назвать вторым ее рождением, начался в пятидесятых годах нашего столетия, когда были открыты физические причины расходимостей в квантовой электродинамике и установлены методы их устранения.

Чтобы понять создавшееся в квантовой электродинамике положение, следует иметь в виду, что кван-

тованные поля обладают определенными физическими свойствами даже в том случае, когда числа частиц, связанных с полями, равны нулю. В этом случае говорят, что система полей находится в состоянии вакуума. Чрезвычайно существенно, что вакуум, обладающий физическими свойствами, — это не пустота (пустоты как отсутствия материи вообще не существует), а «реальный» вакуум, т. е. своеобразная физическая среда, которая проявляется в целом ряде физических процессов.

Прежде всего любой внешний заряд поляризует вакуум. Благодаря этой поляризации каждый электрон, образно выражаясь, покрывается поляризационной электронно-позитронной «шубой», которая воспринимается внешним наблюдателем как эффективное уменьшение заряда электрона. Иными словами, если e_0 — заряд «голого» электрона, находящегося в «шубе», то наблюдаемый заряд электрона будет равен $e = e_0 + \Delta e$, где Δe — изменение заряда, вызываемое поляризацией вакуума.

Но этим не исчерпывается взаимодействие электрона с вакуумом. Дело в том, что электрон постоянно испускает и вслед за тем поглощает фотоны, благодаря чему должна изменяться его энергия, или, что то же самое, масса электрона.

Изменение массы электрона, обусловленное его взаимодействием с вакуумом, носит название электромагнитной массы электрона. Если m_0 — масса «голого» электрона, т. е. гипотетического электрона, не взаимодействующего с вакуумом, то наблюдаемая масса реального электрона будет $m = m_0 + \Delta m$, где Δm — электромагнитная масса электрона.

Возникает задача первостепенной важности — определить величины Δe и Δm . При ее решении ученые столкнулись с принципиальной трудностью, заключающейся в том, что если буквально следовать те-

ории, то для Δe и Δm получаются бесконечные выражения, имеющие вид расходящихся интегралов.

Это значит, что квантовую электродинамику нельзя базировать только на уравнениях для квантованных полей, т. е. уравнениях Максвелла и Дирака. Эта теория нуждается еще в определенной процедуре регуляризации, т. е. устранения бесконечностей из различных величин, имеющих непосредственный физический смысл. Эта процедура основана на простой физической идее перенормировки, согласно которой величины $e_0 + \Delta e$ и $m_0 + \Delta m$ должны отождествляться с наблюдаемыми конечными значениями заряда и массы электрона.

Таким образом, физики закрывают пока глаза на то, что на современном этапе развития физической теории они получают для заряда и массы электрона бесконечные значения. Это в какой-то мере оправдывается тем, что все равно из современных физических теорий невозможно получить величины заряда и массы частиц.

Сложившаяся в квантовой электродинамике ситуация примечательна тем, что она свидетельствует, с одной стороны, об историчности достигнутого уровня познания действительности (является относительной истиной), но, с другой стороны, эти ограниченные знания содержат такие непреходящие элементы (зерна абсолютной истины) знания, с помощью которых осуществляется движение от неполного ко все более полному отражению действительности в законах науки.

Сама по себе идея перенормировки не содержится в исходных уравнениях квантовой электродинамики и должна рассматриваться наряду с этими уравнениями как одна из основных составных частей современной квантовой электродинамики. Эта идея, оказавшись на редкость плодотворной, позволила

предсказать целый ряд замечательных физических явлений и дать их количественную теорию. К числу этих явлений относится существование аномального магнитного момента электрона, радиационное смещение атомных уровней, различные нелинейные электродинамические эффекты (например, рассеяние света светом в пустоте).

Эти явления, наблюдаемые в опыте (не обнаружено пока только рассеяние света светом), помимо чисто физического представляют значительный интерес и с философской точки зрения. Действительно, они — новое подтверждение ленинской идеи неисчерпаемости движущейся материи.

Подводя некоторые итоги, можно сказать, что на базе уравнений Максвелла для электромагнитного поля, уравнений Дирака для электронно-позитронного поля и идеи перенормировки удалось развить физическую теорию, которая объясняет и предсказывает огромный круг явлений, относящихся к электромагнитным взаимодействиям электронов и фотонов. Она оказывается верной в гигантском интервале значений энергии электронов и фотонов, и соответственно в гигантском диапазоне пространственных величин. Этот диапазон простирается от субъядерной длины в 10^{-15} см до космической длины в 10^{10} см, т. е. охватывает 25 порядков, и во всем этом диапазоне, которому соответствуют энергии до 20 млрд. электрон-вольт, квантовая электродинамика не знает ни одного отклонения от своих законов, с потрясающей точностью объясняет и предсказывает самые различные электродинамические процессы, происходящие в космосе и на земле, в мире молекул и атомов, электронов и атомных ядер и в субъядерной материи.

Эксперименты, проведенные на мощнейших ускорителях, построенных для исследования свойств и взаимопревращений элементарных частиц и с тайной

надеждой «опровергнуть» квантовую электродинамику, только подтвердили ее и поставили квантовую электродинамику на недостижимую для других физических теорий высоту.

Дело, однако, не ограничивается практической ценностью квантовой электродинамики для расчета, анализа и предсказания различных физических эффектов, хотя ценность эта огромна. Важнейшее значение имеет и сам метод построения квантовой электродинамики, являющейся классическим образцом построения науки, без элементов эклектики и мешанины понятий и без привлечения произвольных констант для «подгонки» под существующие экспериментальные данные.

Квантовая электродинамика строилась на основе логического синтеза фундаментальных физических идей и концепций, составляющих физическую картину мира, явилась итогом всего предыдущего развития физической науки. В ней слились в единое органическое целое классическая электродинамика Максвелла, специальная теория относительности и квантовая механика. Поэтому она представляет собой новейший этап в естественном и закономерном развитии этих трех великих физических теорий.

Удивительная красота логического построения квантовой электродинамики на основе самых общих фундаментальных физических представлений о веществе и поле, пространстве-времени, огромная мощь ее математических методов, естественно, привели к представлению о квантовой электродинамике как образце «последовательной и замкнутой» физической теории. Поэтому по образцу и подобию квантовой электродинамики стали строиться и другие теории элементарных частиц.

На этом пути были достигнуты многие важные результаты, например, было предсказано существова-

ние античастиц, установлена связь между спином и статистикой частиц: частицы с целым спином подчиняются статистике Бозе—Эйнштейна, а частицы с полуцелым спином — статистике Ферми—Дирака, а главное, был сделан большой шаг в дальнейшей диалектизации физического мышления, которое обогатилось новыми представлениями и понятиями. Так, например, возникли и утвердились понятия поля для каждого сорта частиц и понятие вакуума для такого поля.

Но хотя мы не знаем ни одного явления, которое противоречило бы квантовой электродинамике, тем не менее такие явления могут и должны существовать, так как квантовая электродинамика, строго говоря, не является внутренне замкнутой теорией. Дело в том, что при построении квантовой электродинамики и реализации идеи перенормировки (для согласования выводов теории с экспериментом) вводится некоторый граничный импульс, очень большой, но конечный, и предполагается, что изменения импульсов взаимодействующих частиц (электронов и фотонов) малы по сравнению с этим импульсом. В этом случае все физические результаты не зависят от величин граничного импульса.

Но исходя из идеи перенормировки этот импульс следует считать бесконечно большим. Однако если этот граничный импульс устремить в бесконечности, то физический заряд электрона обратится в нуль. Этот результат (полученный Ландау и Померанчуком) не согласуется с физической реальностью и показывает, что квантовая электродинамика формально не является замкнутой теорией. Физический смысл этой ситуации состоит в том, что квантовая электродинамика непригодна в области очень больших импульсов (значительно больших произведения массы электрона на скорость света и на численный множитель

порядка 10^{60} !). С другой стороны, бóльшим импульсам соответствуют малые расстояния. Поэтому можно сказать, что, очевидно, квантовая электродинамика не может быть справедливой в области малых расстояний — равных по порядку величины частному от деления постоянной Планка на граничный импульс. Это значит, что граничный импульс должен иметь глубокое физическое содержание, выражая существенное изменение свойств пространства-времени и характера взаимодействий, но, в чем конкретно заключается это содержание, до сих пор неизвестно.

Имея важнейшее принципиальное значение, вопрос о граничном импульсе ныне не имеет, однако, сколько-нибудь серьезного практического значения для квантовой электродинамики. Это связано с тем, что квантовая электродинамика должна нарушаться при изменениях импульсов, значительно меньших граничного импульса, т. е. задолго до наступления внутренней незамкнутости квантовой электродинамики.

Действительно, необходимо гораздо раньше учитывать различные процессы, в которых участвуют частицы, отличающиеся от электрона и фотона, но эти новые частицы (их так же, как и электроны и фотоны, называют элементарными) и процессы с их участием не входят в схему квантовой электродинамики и не подчиняются законам квантовой электродинамики. Здесь проявляется другая сторона вопроса о границах применимости квантовой электродинамики, которая может быть в общем виде сформулирована как *невозможность построения замкнутой физической теории ограниченного круга явлений без учета более широкого класса взаимосвязей и взаимодействий, существующих в природе.*

Основанная на квантовой механике, квантовая электродинамика ввела ряд новых понятий, относящихся к движению, энергии и массе. Это прежде

всего понятие о нулевом движении и нулевой энергии. В классической физике считалось, что при температуре, равной абсолютному нулю, движение внутри системы полностью прекращается, а значит, исчезает и кинетическая энергия. Такое утверждение вызывает сразу сомнение, так как оно противоречит проверенному на практике положению о неуничтожимости движения, о движущейся материи. Все это не соответствует также давно установленной абсолютности движения и относительности покоя. Последующее развитие физики принесло подтверждение истинности этого положения диалектического материализма, что нашло воплощение, например, в принципе неопределенности, согласно которому координаты и импульсы частиц одновременно совместно не могут иметь строго определенных значений. В случае же абсолютного покоя внутри системы все ее частицы должны иметь неизменные координаты, Δx для них равна нулю, нулю же равны и импульсы всех частиц такой системы. Чтобы сохранить действие принципа неопределенности, нужно допустить, что и при абсолютном нуле внутреннее движение в системе не прекращается, а значит, и не исчезает ее внутренняя кинетическая энергия. Движение частиц системы при абсолютном нуле и свойственная ей энергия соответственно называются нулевым движением и нулевой энергией.

Особенность нулевого движения и нулевой энергии состоит в том, что они никакими способами не могут быть отняты у системы или уменьшены. Понятия о нулевом движении и нулевой энергии являются одним из выражений неотделимости движения от материи, а энергии от массы. Из сказанного очевидно, что нулевое движение и нулевая энергия могут быть представлены как минимальные величины импульса и кинетической энергии частиц в любой системе, при любой ее температуре. Состояния частиц с минималь-

ными импульсом и энергией называются основным состоянием системы. Над этим ее состоянием расположены различные возбужденные состояния, причем по обе его стороны. Из сказанного далее следует, что состояния, аналогичные состоянию при абсолютном нуле, имеют место в любых системах, при любой температуре. У частиц в основном состоянии спектр энергии и импульсов, очевидно, имеет непрерывное строение, так как разности между их импульсами и энергиями очень малы. А это значит, что по параметрам энергии и импульса основные состояния можно рассматривать как непрерывные состояния, как состояния, не имеющие частиц, как состояния, аналогичные полю.

Таким образом, дискретная совокупность частиц, принадлежащая к основному состоянию системы, по своим импульсно-энергетическим характеристикам обладает ярко выраженной непрерывностью, так что можно сказать, что непрерывность входит в прерывность как ее сторона, как ее характеристика.

С аналогичным обстоятельством мы встречаемся, по существу говоря, при характеристиках любой совокупности частиц, сильно связанных между собой. Совокупность частиц, образующих жидкие и твердые тела, можно рассматривать как сплошные среды, а последние как непрерывный континуум. Это еще раз подтверждает, что непрерывность выступает как характеристика дискретных совокупностей, как их состояние. Прерывность может быть в состоянии непрерывности, а непрерывность в состоянии прерывности.

Электромагнитное поле, как известно, может рассматриваться как совокупность фотонов, как их система. В данном случае дискретность является состоянием непрерывности. Любой объект природы всегда существует и в состоянии дискретности и в состоянии непрерывности. Выделение того или иного состояния

объектов природы характеризует уровни нашего познания объектов природы. То, что в нашем познании является ступенькой в его развитии, в самой природе представляет одно из состояний, одну из форм существования изучаемых объектов природы. Такое состояние электромагнитного поля, когда оно проявляет себя как система фотонов, существовало и до того, как мы его узнали. Но в нашем познании характеристика этого поля как системы фотонов относится к определенному уровню наших знаний об электромагнитном поле. Уровни нашего познания природы своей объективной основой имеют неисчерпаемое многообразие состояний ее объектов. То, что в природе существует одновременно, в нашем познании раскрывается в различное время, на различных уровнях его развития.

История нашего познания природы своей существенной стороной имеет отнесение наших знаний, полученных в различное время о тех или иных объектах, к одновременно существующим у этих объектов различным свойствам и состояниям. Так, наши знания, полученные при изучении химических взаимодействий атомов, об их устойчивости и неизменности, и наши знания об их изменчивости и превращаемости, полученные значительно позже, мы относим к тем же самым атомам. При этом мы утверждаем, что атомы всегда обладали в одних взаимодействиях устойчивостью, а в других, наоборот, — изменчивостью. Указанная сторона нашего познания в итоге основана на том, что в процессе познания никаких свойств, состояний изучаемых объектов не создается, что история нашего познания отнюдь не обуславливает историю природы и отнюдь ее не воспроизводит.

То, что устойчивость атомов была обнаружена раньше изменчивости, не дает основания рассматривать первую как предшествующую второй в истории

самых атомов. Мы справедливо полагаем, что атомы на всех этапах своей истории всегда обладали и устойчивостью и изменчивостью и что вообще эти свойства друг без друга не существуют. То, что в истории нашего познания природы выступает как некая последовательность знания о свойствах ее объектов, в самой природе является чаще всего единством ее различных состояний, свойств, и мы убеждены, например, в том, что электроны имели полуцелый спин и тогда, когда мы еще не знали о наличии у них этих свойств. В исторической последовательности наших знаний о явлениях природы реализуется присущая их свойствам, отношениям и состояниям объективная неисчерпаемость, их бесконечное многообразие.

Квантовая электродинамика с самого начала формулируется как теория многих тел, в частности, в ней отражается возможность процессов рождения и поглощения частиц. В ней при этом производится дальнейшее обобщение понятия волновой функции. Прежние волновые функции являются теперь операторами в пространстве чисел заполнения (представление вторичного квантования). Эти операторы удовлетворяют некоторым перестановочным соотношениям и образуют то, что называется квантовыми полями. Введение квантовых полей отражает в теории единство корпускулярной и волновой природы физических объектов, являющееся важнейшим свойством видов материи, изучаемых физикой. Относимые на более раннем этапе развития теории к различным физическим объектам, понятия частицы и поля сливаются при этом в единое понятие квантового поля, отражающее возможность процессов рождения и поглощения частиц. Возникновение понятия «квантовое поле», снявшего традиционное деление физических объектов на вещество и поле, в значительной степени способствует

преодолению противопоставления прерывности и непрерывности в структуре этих объектов. Развитие понятия квантового поля позволило придать физической теории новую математическую форму.

На примере теории квантовых полей можно убедиться в том, что математическая форма этой теории является не формальным привеском к ее физическому содержанию, а неотделима от нее.

Квантовая электродинамика позволила получить ряд существенных выводов о свойствах вещества и поля. Она установила связь между спином и статистикой элементарных частиц (статистика Ферми—Дирака и Бозе—Эйнштейна), привела к важнейшему выводу о взаимопревращаемости вещества и излучении друг в друга.

Еще более значительных результатов следует ожидать от создаваемой релятивистской квантовой теории. Уже имеется огромная литература по релятивистской квантовой теории, но так как сама теория еще находится в стадии становления, то мы ограничимся только некоторыми философскими, общеметодологическими замечаниями, связанными со становлением этой физической теории⁴².

Присоединение к принципам квантовой механики требований теории относительности может изменить саму формулировку основных закономерностей в области очень малых длин и промежутков времени. Как это понять? Известно, что важнейшим результатом квантовой электродинамики является установление

⁴² Читателям, имеющим достаточную физико-математическую подготовку, можно рекомендовать работы: *С. Швебер*. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля. М., 1963; *А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий*. Квантовая электродинамика. М., 1969; *В. Гейзенберг*. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М., 1968.

возможности преобразования электронно-позитронных пар в электромагнитное поле и обратно. Пары образуются при условии, что длина волны фотона меньше чем $2 \cdot 10^{-11}$ см. Электромагнитное поле с такими длинами волн в чистом виде уже существовать не может из-за возможности образования электронно-позитронных пар. Отсюда следует важный вывод о невозможности существования волновых пакетов, размеры которых были бы меньше «критической длины» $2 \cdot 10^{-11}$ см. Поэтому при переходе к столь малым пространственным протяженностям можно наблюдать качественно новые явления, которые наложат новые ограничения, связанные с процессами измерения. Иными словами, в релятивистской квантовой теории может иметь место своеобразная формулировка связей между явлениями, отличная не только от формулировки механического детерминизма, но и от формулировки причинных связей, принятой в обычной квантовой теории (нерелятивистской).

Фундаментальным понятием квантовой электродинамики, позволившим дать объяснение многим неясным до этого явлениям (радиационное смещение атомных уровней, аномальный магнитный момент электрона, радиационные поправки к рассеянию электронов во внешнем поле и т. п.), является понятие вакуума, отражающее факт существования относительно недавно открытого вида материи (вакуум электромагнитного поля и вакуум электронно-позитронного поля). Вакуум представляет собой состояние с наименьшей энергией. В состоянии вакуума у электромагнитного поля, как уже говорилось, отсутствуют фотоны, но имеются так называемые нулевые колебания вакуума, проявляющиеся в целом ряде эффектов.

Наличие вакуума и его взаимодействие с другими полями приводит к серьезным трудностям в кванто-

вой электродинамике из-за появления ряда расходящихся выражений в математическом аппарате теории, о чем у нас уже шла речь.

Квантовая теория поля, являющаяся дальнейшим развитием квантовой механики, дает более глубокое понимание движения микрообъектов. В обычной нерелятивистской квантовой механике уже существовало представление о вторичном квантовании, которым пользовались при определении систем тождественных частиц. Квантовая теория поля последовательно использует это представление в сочетании с требованием релятивистской инвариантности. Таким образом, квантовая теория поля является синтезом основных современных теорий — теории относительности, дающей нам новое понимание свойств пространства и времени, и квантовой механики, показывающей нам ограниченность применения классических понятий в микромире. В то время как квантовая механика была нерелятивистской теорией одного тела, квантовая теория поля стала релятивистской теорией многих тел, отражающей возможность процессов рождения и поглощения частиц и взаимопревращаемость всех физических видов материи. Это еще более углубило наши знания о видах материи, о пространстве, времени и движении.

Квантовая теория поля с единой точки зрения рассматривает все элементарные частицы; различие частиц сказывается лишь в различии уравнений, которым подчиняются соответствующие операторы полей. Теперь уже нельзя сказать, что фотон — это поле, а электрон — частица. Понятия частицы и поля, которые раньше относили к различным физическим объектам, сливаются теперь в единое понятие квантового поля как особого вида материи. Частица теперь — это всего лишь особое состояние поля, квант поля. С точки зрения квантовой теории поля нет принци-

пиального различия между вакуумом и частицей, различие между ними — это различие между двумя состояниями одной и той же физической реальности.

Из приведенного вытекает, на наш взгляд, вывод о том, что в квантовой теории поля и физике элементарных частиц (в отличие от квантовой механики) осуществляется процесс выдвигания на первый план не аспекта дискретности в строении объектов познания, а аспекта континуальности. Это подтверждается, во-первых, тем, что в квантовой теории поля и физике элементарных частиц структура частиц в большей степени (по сравнению с квантовой механикой) зависит от внешних связей, во-вторых, в этих теориях устанавливается всеобщая взаимопревращаемость частиц, сравнительно невысокая устойчивость их структурной организации.

Отмеченное обстоятельство свидетельствует о том, что человеческая мысль в процессе движения «в глубь» материи достигла такого уровня, где взаимосвязь и взаимодействие играют более значительную роль, чем, скажем, в традиционной физике. Если учесть, что в основное содержание понятия непрерывности входит, прежде всего, понятие связи, то становится очевидным, что в исследовании этого уровня строения материи категория непрерывности начинает играть более значительную роль.

Процесс выдвигания на передний план аспекта непрерывности в познании микроявлений вполне закономерен, он являет собою очередное звено в цепи диалектических отрицаний на пути познания единства прерывности и непрерывности применительно к физическим явлениям. Однако абсолютизация момента континуальности, недоучет взаимосвязи, взаимобусловленности, взаимопроникновения и взаимоперехода прерывности и непрерывности может создать гносеологические предпосылки для неверных выводов.

Более глубокое понятие частицы, даваемое квантовой теорией поля, проливает некоторый свет на необычность поведения микрообъекта, что нашло отражение уже в квантовой механике. Обычно понимание частицы так или иначе сводится к ньютоновскому физическому телу, «плавающему» в «пустом» пространстве. Движение такой частицы трудно представить себе без траекторий. Такое понимание частицы соответствует определенной ступени познания реальности — познанию определенной области, явлений макромира. В области микромира это понятие не дает адекватного отображения действительности. Реальная микрочастица движется не так, как к этому мы привыкли, наблюдая движение макротел: она «заполняет» сразу все пространство. С другой стороны, прежнее понятие поля также перестает соответствовать действительности; совершенно новое свойство приобрела дискретность, квантованность поля. Поле само стало частицей. Это диалектическое единство двух понятий, казавшихся ранее несвязанными и противоположными, является хорошим примером относительности и условности наших понятий, неполно отражающих диалектику природы. Если в макроусловиях вещество было для нас совокупностью обычных классических частиц, то в микроусловиях деление материи на вещество и поле теряет свой смысл. Новый объект, изучаемый квантовой физикой, — это уже и не вещество, и не поле, а диалектическое единство того и другого. Наиболее логичным было бы вообще отказаться от употребления названий «частица» и «поле» в применении к микрообъекту и рассматривать его как новый вид материи, которую при известных условиях можно «разложить» на частицу и поле. Эта частица и поле проявят в зависимости от условий движения то одну, то другую сторону своих свойств, рассматриваемых ранее как раз-

личные свойства различных движений. Макроусловия — это и есть такие условия существования материи, в которых она проявляет лишь одну из сторон своих свойств. Соответственно этому мы и называем такую форму материи веществом или полем.

Надо отметить, что до сих пор существует тенденция делить элементарные частицы на вещество и поле, обладающие не только качественно различными, но даже «в известном отношении противоположными» законами движения. Фактически же никакой противоположности законов движения различных микрообъектов не существует, хотя, безусловно, чисто количественные различия, вызванные в основном разницей в массах покоя, переходят на известной ступени в качественные: квантовая физика на известной ступени дает описание, совпадающее с классическим.

Много времени потребовалось физикам, чтобы осознать, что электромагнитное поле — совершенно новый вид материи и бессмысленно пытаться описать его с помощью ньютоновской механики. Конечно, трудно и сейчас представить, что микрообъект никак нельзя уложить в привычные классические представления о механическом движении, произвольно мы хотим «потребовать», чтобы что-то перемещалось в пространстве, чтобы мы всегда могли однозначно сопоставить с «частицей» именно эту, а не другую точку пространства. Здесь следует вспомнить, с каким трудом воспринимались понятные теперь идеи классической теории поля. Нелегко теперь сказать, насколько «элементарны» свойства микрообъекта, но уже очевидно, что мы имеем дело с более сложной формой движения, поэтому маловероятно, чтобы ее можно было свести к более простым, привычным для нас формам движения, с которыми мы давно уже имеем дело в макромире.

Квантовая механика, несмотря на поразительные успехи в объяснении микроявлений, нашедших свое применение в науке и технике, является все же только простейшей формулировкой квантовой теории движения. Она не отражает такие важные явления, как взаимопревращаемость элементарных частиц, она не вскрывает глубокую общность и диалектику взаимосвязи полей и частиц.

В нашем изложении мы обращаем основное внимание на те разделы физической науки, где сложившиеся теории прошли испытание временем, вошли в золотой фонд науки. Хотя они и обнаружили свою ограниченность, но тем самым способствовали дальнейшим поискам более совершенных физических теорий.

Известно, что квантовая электродинамика столкнулась с существенными трудностями, связанными с наличием в ней бесконечных значений собственной энергии электрона и других бесконечностей. Эти трудности физики-теоретики пытались преодолеть с помощью создания теории дискретного пространства и времени. Начиная с работ В. А. Амбарцумяна и Д. Д. Иваненко (1930 г.), опубликовано большое число статей, где делаются попытки сформулировать подобную теорию⁴³, однако все эти попытки не увенчались успехом, и поэтому мы не останавливаемся на их философском анализе.

Хорошо известно, что В. И. Ленин обращал большое внимание на проблему прерывности и непрерывности пространства и времени. Ныне современная физика уже вплотную подошла к частичному решению этой проблемы средствами своей науки. В этой связи осуществление своей методологической роли диа-

⁴³ Краткий обзор этих работ см. в кн.: М. Д. Ахундов. Проблема прерывности и непрерывности пространства и времени. М., 1974, стр. 232—252; А. М. Мостепаненко. Пространство и время в макро-, мега- и микромире, стр. 226—229.

лектическим материализмом по отношению к физике настоятельно требует безотлагательного рассмотрения диалектики прерывности и непрерывности атрибутов материи.

Одной из характеристик физического пространства является расстояние, длина, размеры областей, в которых происходят те или иные физические явления. Интересные идеи, относящиеся к проблеме длин, высказывает М. А. Марков⁴⁴. Он утверждает, что иерархия длин — иерархия закономерностей, что в физике существует исторически определенная тенденция исследовать явления в области все меньших и меньших размеров и иллюстрирует эти утверждения следующей таблицей:

см	Мир физических явлений	Энергия ускорения частиц
10^{-6} — 10^{-7}	Мир молекулярной физики	~ 1 эв.
10^{-8}	Мир атомных явлений; атомные спектры	~ 10 эв.
10^{-11}	Открытие рождения e^+, e^- —пар; квантовая теория Дирака	~ 1 — 10 Мэв
10^{-13}	Физика атомного ядра	~ 100 — 1000 Мэв
10^{-14} — 10^{-15}	Мир странных частиц	~ 10 —100 Гэв
10^{-17}	(Раскрытие природы слабых взаимодействий)	1000 Гэв в лабораторной системе
— — —	— — —	— — —
10^{-33}		10^{19} Гэв

«Как видно из таблицы, — пишет М. А. Марков, — историческая закономерность пока действительно такова, что проникновение в область физических явле-

⁴⁴ См. М. А. Марков. Будущее науки. — «Успехи физических наук», 1973, т. III, вып. 4, стр. 719—741.

ний, на два-три порядка меньше по своим размерам, вело к открытию нового мира физических явлений».

Почему в данной таблице выделены размеры 10^{-17} см, хотя никаких опытных данных об области микромира, характеризваемой этими размерами длины, физика еще не имеет? Отвечая на этот вопрос, М. А. Марков пишет: «...на рубеже предстоящих длин, именно длин порядка 10^{-17} см, можно уверенно говорить о большом ожидаемом прогрессе в наших знаниях. Дело в том, что именно этот рубеж длин, как рубеж длин, имеющих фундаментальное значение, уже органически содержится в современной теории слабых взаимодействий. Размерная константа, определяющая слабые взаимодействия, характеризуется квадратом длины l^2 , где l как раз близка к 10^{-17} см. Во всяком случае мы можем с *уверенностью* сказать, что на этих длинах получим ответ на один из наиболее интригующих вопросов современной физики, именно: *какова природа слабых взаимодействий?* В чем же заключается нераскрытая пока тайна слабых взаимодействий?»⁴⁵ Значит, определенные пространственные области (и связанные с ними временные интервалы) характеризуют отличные друг от друга виды материальных объектов с их специфическими структурами и взаимодействиями.

В физической и изредка в философской литературе встречаются, иногда достаточно однозначные, утверждения о том, что в мире структурных элементов, элементарных частиц пространственно-временные представления окажутся неприменимыми, материальные объекты лишатся их как своих атрибутов. С нашей точки зрения, для подобных утверждений нет оснований.

В. Л. Гинзбург обращает внимание на то, что «сейчас можно, видимо, утверждать, что вплоть до рас-

⁴⁵ Там же, стр. 728.

стояний порядка 10^{-15} см обычные пространственные соотношения справедливы или, точнее, их применение не приводит к противоречиям. Из некоторых соображений этот предел, быть может, отодвинется до примерно 10^{-20} см. В принципе не исключено, что *предела нет вообще* (курсив наш. — Авт.), но все же значительно более вероятно существование какой-то фундаментальной (элементарной) длины $l \geq 10^{-15} - 10^{-20}$ см, которая ограничивает возможности *классического* (курсив наш. — Авт.), пространственного описания. Более того, в настоящее время кажется разумным считать, что фундаментальная длина l_0 во всяком случае не меньше гравитационной длины $l_g = \sqrt{Ch/c^3} \sim 10^{-33}$ см⁴⁶. Следует добавить, что гравитационной длине l_g соответствует время $t_g \sim c/l_g$ порядка $0,5 \cdot 10^{-43}$ сек.

Будут ли эти l и t играть роль «квантов» пространства и времени в будущих физических теориях, сейчас сказать невозможно, но исходя из общеметодологических соображений можно ожидать создания физических теорий, более полно и последовательно использующих диалектику прерывности и непрерывности пространства и времени.

Современная физика пришла к выводу, что нет чисто дискретных микрообъектов и нет только непрерывных полей; есть единство прерывно-непрерывных характеристик в строении и движении микрообъектов, есть корпускулярно-волновой дуализм. Высказываются также идеи единства прерывности и непрерывности пространства и времени. Какова физическая природа этого единства, пока неизвестно. Статистическое толкование корпускулярно-волнового дуализма, к сожалению, не отвечает на вопрос «почему», оно отвечает лишь на вопрос «как».

⁴⁶ «Физика сегодня и завтра». Л., 1973, стр. 27.

Излагая идеи Ф. Энгельса о прерывности и непрерывности материи, мы подчеркивали то положение, что он рассматривал соотношение прерывности и непрерывности в движении на основе глубокого раскрытия взаимодействия количественных и качественных изменений. Эти идеи Ф. Энгельса еще не нашли достаточно полного и конкретного воплощения в существующих физических концепциях по той причине, что основной подход к изучаемому физическому виду движения материи состоит преимущественно в исследовании структуры объектов, вне их генетического развития. Безусловно (хотя эти два подхода и имеют глубокое единство), второй — более продуктивен и необходим. Однако его успешное применение связано, видимо, с дополнительным накоплением знаний о более глубоком структурном уровне тех видов материи, изучением которых занимается физика.

4. ПРЕРЫВНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ И КВАЗИЧАСТИЦЫ

В современной физике в связи с потребностями техники, а также дальнейшим развитием теоретических и экспериментальных работ возрастает интерес к проблемам твердого тела. Особое значение в этом разделе физической науки приобрели приложения методов квантовой механики к исследованию свойств макроскопических тел и связанный с ними целый спектр понятий (фононы, экситоны, поляроны и др.), объединяемых общим понятием «квазичастицы». Это понятие (квазичастицы) представляет большой интерес и для философии, так как с ним связано дальнейшее развитие содержания философских категорий прерывности и непрерывности.

Понятие «квазичастицы» (почти частицы), прежде всего, связано с фундаментальным принципом кван-

товой физики — принципом корпускулярно-волнового дуализма. В этом понятии отражается переплетение и глубокая взаимозависимость корпускулярных и волновых свойств, прерывности и непрерывности во всех тех процессах, которые происходят в макротелах и определяют их свойства и состояния.

Как известно, квантовая физика изучает не только процессы, происходящие в микромире: в молекулах, атомах, ядрах атомов и т. д., но и микропроцессы, происходящие в макротелах. Классическая физика, изучая макротела, конечно, не только описывала их свойства и состояния, но и в какой-то мере раскрывала существующие между ними связи и зависимости. Однако классическая физика, не располагая знанием законов и особенностей микропроцессов, не могла объяснить происхождение многих явлений, наблюдаемых при экспериментах с макротелами. Так, например, открытое классической физикой у некоторых веществ при температуре, близкой к абсолютному нулю, свойство сверхпроводимости ею объяснено не было. Не было установлено также, почему это свойство исчезает при повышении температуры и под воздействием магнитных полей. Не могла раскрыть классическая физика и механизма теплопроводности, электропроводности, поглощения и испускания света веществом, возникновения и исчезновения магнитных свойств вещества и многое другое.

Только создание теорий, отражающих сущности более высоких порядков, например квантовой теории, могло дать причинное объяснение существованию и изменению многих свойств макротел. Квантовая физика значительно расширила область причинного объяснения свойств и состояний явлений природы по сравнению с классической физикой. В последней вопрос о причинах существования тех или иных свойств данных явлений природы во многих случаях не мог

быть решен, а поэтому зачастую она ограничивалась просто констанцией факта, что у такого-то объекта, явления в таком-то состоянии существуют такие-то свойства.

В процессе развития причинного объяснения свойств и состояний макротел по мере раскрытия тех процессов, которые происходят в макротелах и являются фундаментом их свойств, и возникло понятие «квазичастицы». Возникновение и формирование этого понятия шло под влиянием различных факторов. Перечислим некоторые из них:

а) принцип корпускулярно-волнового дуализма. О существовании волновых процессов в макротелах классическая физика знала давно и обстоятельно. Так, было известно распространение в макротелах звуковых (вообще волн упругости) и электромагнитных волн. Другими словами, было установлено, что в макротелах существуют различные поля волн. Согласно принципу корпускулярно-волнового дуализма, каждой волне можно сопоставить соответствующий квант, электромагнитной волне, например, — фотон, энергия и импульс которого с частотой и длиной волны связаны соотношениями:

$$E = h \cdot \nu; \quad p = \frac{h}{\lambda}.$$

Естественно, напрашивается вопрос, можно ли волне упругости, в том числе и звуковой, сопоставить особые кванты, так же связанные с длиной волны, как фотон с электромагнитной волной? Такое сопоставление было сделано. Квант, сопоставленный волне упругости, был назван фононом. А так как фотон-квант электромагнитной волны является частицей, то можно рассматривать как частицу и фонон.

Однако сразу же было ясно, что между фотоном и фононом существует большое различие, заключаю-

щееся в том, что фотон, как и электромагнитная волна, может существовать и при отсутствии вещества, тогда как фонон, как и волна упругости, может существовать только в веществе, в определенной среде, от которой он неотделим. Это первое обстоятельство, заставившее рассматривать фонон не как обычную частицу, а как квазичастицу. Фонон, как и любая обычная частица, переносит энергию и импульс, взаимодействует с обычными частицами, но в отличие от них существует только в определенной среде, в которой происходит какой-то волновой процесс, т. е. в среде, находящейся в состоянии возбуждения. Фононы сами вещество не образуют, как, например, электроны, протоны, нейтроны и т. д., не являются его структурными единицами. Фононы, как и фотоны, входят в структуру полей: первые — упругости, вторые — электромагнитных. Но поля упругости существуют только в веществе, а электромагнитные — и без вещества. Поэтому, несмотря на наличие указанного сходства между фотонами и фононами, они все же резко отличаются друг от друга.

Из сказанного вытекает глубокое различие между обычными частицами и квазичастицами: каждый вид обычных частиц может существовать и без других видов частиц: электроны могут существовать без протонов, протоны без нейтронов и т. д., но любой вид квазичастиц (о видах квазичастиц будет сказано ниже) не может существовать без обычных частиц. Фононы (и вообще все квазичастицы) являются квантами полей, существующих в веществе. Так как каждый квант можно рассматривать как элементарное возбуждение поля, то квазичастицы можно определить как элементарные возбуждения полей в веществе. Сказанное представляет только один из аспектов в определении понятия о квазичастицах;

б) другим аспектом в определении квазичастиц

является аналогия между ними и физическими частицами в квантовой теории поля. В этой теории имеют место понятия о «затравочных частицах» и «физических частицах»⁴⁷. «Затравочная частица» и вызванная ею поляризация вакуума образуют физическую частицу, так как последняя представляет собой комплекс из «затравочной частицы» и некоторого возмущения поля⁴⁸. «Затравочные частицы» в квантовой теории поля соответствуют обычным частицам в системах многих частиц, а физические частицы — квазичастицам. Отсюда следует, что квазичастицы — это комплексы из обычных частиц и какого-то поля, существующего в веществе, т. е. возмущения в данном веществе. Так, нуклон в ядре атомов, окруженный возмущенным близлежащим ядерным веществом, может быть в этом плане назван квазичастицей⁴⁹. В более общем, абстрактном виде квазичастицы можно рассматривать как комплексы материальных точек с возмущенными их окрестностями;

в) важным аспектом в характеристике квазичастиц является их определение как комбинации какой-либо обычной частицы с некоторыми, тоже обычными частицами ее среды. В электролите ион, слабо связанный с переменным числом молекул воды, представляет собой квазичастицу. Положительные ионы, вернее, их последовательное возникновение в результате процесса ионизации атомов называется дыркой. Представим себе, что данный атом потерял электрон и стал положительным ионом, у соседнего атома он отбирает недостающий ему электрон, и атом становится

⁴⁷ «Затравочная частица» — это частица, существующая вне какого-либо поля. По сути это абстракция, так как все физические частицы существуют вместе с каким-либо полем.

⁴⁸ См. Д. Таулес. Квантовая механика системы многих частиц. М., 1963, стр. 13.

⁴⁹ См. там же, стр. 12—13.

ся положительным ионом, и т. д. Получается, что сами атомы остаются на месте, а состояние положительной ионизации передвигается от одного атома к другому атому. Вот такое перемещающееся состояние положительной ионизации и называется дыркой.

В системе многих частиц материальным субстратом дырки является положительный ион, а в квантовой теории поля — позитрон. Общее здесь в том, что любой процесс удаления отрицательного электрического заряда приводит к появлению положительного электрического заряда, носителем которого могут быть различные материальные объекты: ионы, протоны, позитроны и т. п. Дырка сама по себе является квазичастицей, а в комбинации с такой обычной частицей, как электрон, образует особую квазичастицу, названную советским физиком Я. И. Френкелем экситон. Итак, квазичастицы могут быть комбинациями как обычных частиц, так и квазичастиц с обычными частицами;

г) существенным аспектом в представлении о квазичастице является понятие об эффективной массе. Оно основывается на том положении, что поведение каждой частицы в системе частиц зависит от всего коллектива частиц, так что каждая частица как бы отражает особенность всего их коллектива. Иными словами, на каждой частице данного коллектива есть отпечаток тех взаимодействий, которые существуют между частицами данного коллектива.

Динамическим параметром, отражающим зависимость поведения каждой частицы от поведения всего их коллектива, и служит понятие об эффективной массе частиц, т. е. такой их массе, в которой в какой-то мере учтены ее изменения в процессе взаимодействия частиц, составляющих макротело. Одной из особенностей макротел, т. е. систем многих частиц, является то, что они не могут находиться в стацио-

нарных состояниях, поскольку они состоят из множества частиц с самыми различными энергиями, распределение их по энергетическим уровням характеризуется почти непрерывным спектром и разности между их энергетическими уровнями очень малы.

Отсюда следует, что любое воздействие на макротело почти всегда больше по своей энергии, чем разности энергетических уровней между его частицами, и поэтому всегда вызывает какое-то возбуждение в макротеле. А так как в силу того, что спектр распределения частиц в макротеле почти непрерывный, макротело можно рассматривать как нечто аналогичное полю, как квазиполе, притом всегда возбужденное, то и любую частицу макротела нужно рассматривать вместе с полем, т. е. с какими-то волнами его возмущения. Масса частицы, не сама по себе, а вместе со своим полем, вместе с какой-то волной возмущения, и есть эффективная масса. Эффективная масса — это не параметр частицы самой по себе, а параметр частицы, взаимодействующей с другими частицами. В системе свободных частиц эффективная масса зависит только от массы этих частиц $Q=f(m)$ и их эффективная масса соответствует их обычной массе. В системе же взаимодействующих частиц их эффективная масса вводится через соотношение между скоростью и энергией частиц и между их ускорением и напряженностью поля, в котором они находятся.

Эффективная масса частиц обладает рядом особенностей по сравнению с обычной массой: ее нельзя определить через соотношение $m_0 = \frac{E_0}{a^2}$, т. е. она

не является массой покоя частиц, у покоящихся частиц нет эффективной массы. К ней неприменим принцип относительности Галилея, так как она имеет значение, не равное нулю, только в движущихся систе-

мах отсчета, а не покоящихся. Не имеет эффективная масса какого-либо отношения и к совпадению инертной и гравитационной массы, к их эквивалентности. Эффективная масса анизотропна, т. е. зависит от направления, в котором движется частица в данной среде. Эффективная масса не скаляр, а тензор, т. е. величина, не имеющая направления, но зависящая от направления, подобно такой величине, как момент инерции. Эффективная масса может иметь не только положительное, но и отрицательное значение своей величины.

Однако нельзя сказать, что понятие об эффективной массе чисто условное понятие. Эффективная масса — это объективный динамический параметр взаимодействующих частиц — частиц, связанных с каким-то полем, и определяемый экспериментально, например в циклотронном резонансе.

Введение параметра эффективной массы позволяет в первом приближении рассматривать систему взаимодействующих частиц как некоторое поле, в котором нет взаимодействующих частиц. Такой метод изучения систем многих частиц называется методом эффективного поля. Квантование этого поля дает квазичастицы. Аналогичным этому методу является метод коллективного поведения частиц, основанный также на введении параметра их эффективной массы. Коллективное поведение частиц какой-то системы — это зависимость движения и состояния каждой частицы от движения и от состояния всех других частиц данной системы, например зависимость состояния колебаний атомов кристаллической решетки друг от друга и от состояния движения других частиц в этой решетке: электронов, фотонов и т. д. Любое коллективное движение аналогично распространению волн, в данном случае в кристаллической решетке. Квантование этих волн приводит к квазичастицам.

Как метод эффективного поля, так и метод коллективного поведения позволяет системы многих взаимодействующих частиц рассматривать как эквивалентные системы многих невзаимодействующих квазичастиц, с некоторой не всегда вполне определенной эффективной массой;

д) необходимым аспектом в характеристике квазичастиц является абстрактная характеристика обычных частиц без учета их структуры и их взаимодействий. Так, представление о молекулах как о едином целом, т. е. без учета того, что они состоят из атомов, ионов, радикалов, или представление об атомах без учета их строения из ядер и электронной оболочки есть представления о них как о квазичастицах. Отсюда следует, что в идеальном газе, когда атомы, из которых молекулы состоят, рассматриваются как единое целое, а от их взаимодействия друг с другом абстрагируются, понятия об обычных и квазичастицах совпадают, эти понятия в таком случае отождествляются. Такая идеализация классической механики, как материальная точка, очевидно, относится и к обычным частицам и квазичастицам (любая обычная частица в определенной среде есть квазичастица).

Во всех вышеперечисленных аспектах характеристики квазичастиц имеется общее, а именно такой основой выступает взаимосвязь и взаимопереходы понятий дискретности и непрерывности.

В первых четырех аспектах (а, б, в, г) эта диалектика дискретности и непрерывности выступает в формах взаимосвязи частиц и волн, вещества и полей, локализованных в пространстве и времени объектов и их среды⁵⁰.

⁵⁰ Когда В. А. Фок говорит о том, что микрочастицы неотделимы от той среды, в которой они существуют, и что среда отражается в свойствах частиц, то он по существу характеризует один из важнейших признаков квазичастиц (см. «Методологические проблемы науки». М., 1964, стр. 234).

В последнем, пятом аспекте в форме идеализированной абстрактной модели частиц (молекул, атомов и т. д.) дается характеристика дискретных объектов (частиц) через некоторые стороны понятия непрерывности, а именно как внутренняя слитность объекта. Действительно, молекула, рассматриваемая вне ее структуры, как что-то сплошное, слитное и неделимое, рассматривается по отношению к своему внутреннему содержанию как непрерывный объект исследуемой реальности.

Предельная же абстракция частицы — понятие о материальной точке вообще по отношению к внутреннему содержанию частиц устраняет дискретность и вводит абсолютную непрерывность в форме абсолютного предела дальнейшей делимости частицы, дискретность в итоге всегда приводит к непрерывности.

Таким образом, мы видим, что решающую роль в формировании понятия о «квазичастицах» играют: принцип корпускулярно-волнового дуализма и неразрывно с ним связанное понятие о глубокой взаимосвязи частиц и волн и принцип единства объекта и его среды, их неотделимость друг от друга. С помощью понятия «квазичастицы» физика получила возможность дополнительно отразить некоторые свойства макрообъектов. На примере развития понятия о «квазичастицах» ярко обнаруживается диалектика, присутствующая развитию всех понятий науки.

Остановимся теперь на свойствах квазичастиц. Квазичастица существует в определенных пространственных и временных пределах. Так, фононы существуют только в тех пространственных областях среды, где распространяются определенные возмущения, где возникли волны упругости. По мере увеличения данных возмущений среды возникают новые фононы, а по мере исчезновения этих возмущений происходит и исчезновение фононов. Значит, фононы возникают

и исчезают в определенных областях пространства и в определенные интервалы времени.

Все виды квазичастиц являются носителями энергии, импульса, заряда, причем в дискретных количествах, как и обычные частицы. Исключением являются квазичастицы в твердых кристаллических телах, в которых они являются носителями не импульса, а квазиимпульса.

Понятие о квазиимпульсе — специфическое понятие квантовой физики, обусловленное особенностями распространения возмущения в кристаллах. Последние в свою очередь связаны с неоднородностью, присущей кристаллам в силу дефектов их периодической структуры. Только при условии однородности среды и идеальной ее периодичности частицы могут обладать вполне определенным импульсом.

Квазичастицы, подобно обычным частицам, обладают спином, т. е. величиной, аналогичной собственному моменту количества движения, причем как с целочисленными, так и с полуцелыми его значениями. Квазичастицы с полуцелым спином возникают только парами, а квазичастицы с целочисленным спином — поодиночке. Возникшие одновременно две квазичастицы с полуцелыми спинами отличаются друг от друга величиной импульса, так что импульс одной из них выше, а другой ниже некоторой «граничной величины импульса P_0 ». Такие квазичастицы при столкновении могут взаимно аннигилировать, т. е. исчезать, при наличии третьей частицы, которой передается их энергия и импульс.

Квазичастицы многообразны, однако в основе всех их видов лежат два типа квазичастиц: фононы и экситоны.

Интересно провести некоторое сравнение между фононами и фотонами. И те и другие представляют собой кванты определенных волн: первые — упругости,

вторые — электромагнитных. И фононы и фотоны являются квантовыми частицами, а соответствующие им волны — классическими волнами. Фотоны не существуют вне электромагнитного поля, а фононы — вне определенной вещественной среды, фотоны могут двигаться только с одной скоростью, скоростью света в пустоте, фононы могут двигаться с самыми различными скоростями. Но как фотон, так и фонон не обладают массой покоя, а поэтому и не могут существовать в состоянии покоя. Вся масса фотонов — это масса движения, а масса фононов — эффективная масса. Таким образом, между фононами и фотонами много общего.

Наличие общих моментов между фотонами и фононами обуславливает возможность их взаимного порождения: фотоны могут порождать фононы и наоборот. Это порождение имеет место в процессе превращения волны упругости в электромагнитные волны и наоборот. Известные в классической физике явления сегнето и пьезо электричества в своей основе имеют вышеуказанные превращения.

Что касается квазичастиц — экситонов, то они являются квантами электромагнитного поля в веществе, т. е. коллективным образованием. Свет, т. е. электромагнитная волна, падающая на кристалл, поглощается всеми электронами кристалла, так что возникает коллективное возбуждение всех электронов кристалла, которое и называется экситоном. Здесь речь, однако, идет не о классической картине поглощения света, согласно которой световая волна передает свою энергию сразу нескольким электронам, а о том, что поглощенный электроном фотон данной волны как бы вырывает его из атома, так что возникает положительный ион и относительно свободный электрон. Образовавшиеся носители — позитроны, положительно заряженные пионы и т. д. — благодаря кулоновскому

взаимодействию сохраняет связь с электроном, в силу чего возникает система, распространяющаяся, подобно волне, по кристаллу. Эта система, в которой ее компоненты (положительный заряд, обычно называемый в таких случаях дыркой, и электроны) непрерывно меняются, т. е. данный электрон замещается другим электроном, а данная дырка — другой дыркой, так что такая система перемещается в кристалле, хотя ее первичные компоненты в таком перемещении не участвуют. Таким образом, экситон можно рассматривать как перемещающийся комплект из электрона и дырки.

Для точности следует отметить, что электроны и дырки, образующие экситон, сами являются квазичастицами, так как электроны, входящие в экситон, не свободны, а находятся в потенциальном поле, то же самое нужно сказать и о дырке, а частицы, свойства которых зависят от среды, называются квазичастицами. Экситоны могут переносить энергию и импульс, а поэтому могут быть компонентами в потоках и электромагнитной и тепловой энергии.

Большой интерес представляет вопрос о взаимодействии квазичастиц. Как и любое физическое взаимодействие, взаимодействие квазичастиц представляет совокупность отдельных процессов, а именно: перенос энергии, массы импульса, упругого и неупругого рассеяния, возникновения и уничтожения квазичастиц. При разборе этого явления мы сталкиваемся с очень интересной ситуацией: сами квазичастицы характеризуют взаимодействие обычных частиц и взаимодействуют между собой. Получается что-то вроде взаимодействия с взаимодействием. Но ничего бессмысленного в понятии о взаимодействии квазичастиц не содержится. Взаимодействие так же неисчерпаемо, как и любой другой физический процесс. Взаимодействия сами изменяются, приобретают различные фор-

мы и обнаруживают различные стороны. Понятие о взаимодействии квазичастиц выражает изменение взаимодействия обычных частиц, а значит, и процессы появления в системах многих частиц каких-то новых и исчезновение каких-то старых свойств и состояний, например, возникновение сверхпроводимости у некоторых веществ в условиях, близких к абсолютно нулю температуры.

Вообще, основой многих свойств макротел являются определенные взаимодействия квазичастиц. В этом плане квазичастицы можно определить как дискретные, локализованные по параметрам энергии, импульса и заряда, состояния взаимодействия обычных частиц, в свою очередь взаимодействующих друг с другом.

Взаимодействие квазичастиц зависит от их качества, т. е. в итоге — от интенсивности возмущения системы, в которой они существуют. Это значит, что взаимодействие квазичастиц является характеристикой и интенсивности взаимодействия обычных частиц в системе, и взаимодействия данной системы с другими.

Любая обычная частица, попадая в систему многих частиц, в частности в кристалл, превращается в силу своей двойственной корпускулярно-волновой природы в квазичастицу. Так, например, нейтрон, попав в кристалл, становится в нем квазинейтроном, обладающим новыми свойствами, обусловленными структурой кристалла и его корпускулярно-волновой сущностью.

Как только частица, попав в кристалл, стала квазичастицей, она уже по-другому взаимодействует с другими частицами в кристалле, в частности с ядрами его атомов. Например, нейтрон, превратившись в квазинейтрон, не рассеивается на ядрах атомов, а главным образом поглощается ими, хотя колебания

ядер приводят к появлению на них и некоторого рассеяния нейтронов.

Представление о квазичастицах, которым пользуются в современной физике, — это одна из ступенек в процессе углубления нашего понимания физических взаимодействий, их изменений и их роли в становлении свойств и состояний физических систем многих частиц. Но ни одну, даже из самых глубоких ступенек нашего познания нельзя считать конечной и превращать ее в абсолют. Нельзя и теорию квазичастиц рассматривать как исчерпывающее знание о физических взаимодействиях и о присущем им единстве дискретности и непрерывности.

Понятие о квазичастицах, как и другие методы физики, является ограниченным методом. Во-первых, он применим по существу только к взаимодействиям, к движениям, происходящим в системах, имеющих явно или неявно выраженную периодическую структуру. К жидкостям этот метод применим постольку, поскольку в их структуре имеется ближний порядок атомов, молекул, т. е. какое-то подобие кристаллов, а к газам — потому, что в них могут происходить периодические процессы, например, сгущения и разрежения. В основном же этот метод применим к твердым кристаллическим телам, а по отношению к аморфным твердым телам он имеет только ориентирующее значение. Неприменим этот метод и к твердым кристаллическим телам в состоянии сильного возбуждения. При наличии сильного возбуждения волновые пакеты квазичастиц быстро расплываются и тем скорее, чем меньше отношение его энергетической ширины к энергии пакета. Таким образом, метод квазичастиц, основанный на одной из форм единства дискретности и непрерывности, в природе ограничен, как ограничена и сама эта форма.

В чем заключаются философские аспекты метода

квазичастиц? Первой исходной философской предпосылкой, которую использовали (в основном неосознанно) создатели метода квазичастиц, является общее для всех методов познания природы положение диалектического материализма о неотделимости движения от материи. В методе квазичастиц это положение выступает в виде следующих требований: а) сопоставлять каждое динамическое свойство с определенным его носителем. Так, например, свойству электрического сопротивления соответствует столкновение потоков определенных квазичастиц. И вообще, любое состояние движения представлять как совокупность его носителей, например, тепловое движение — как газ фононов, электронов проводимости и других квазичастиц. Иными словами, речь здесь идет о требовании рассматривать все виды энергии не сами по себе, а на основе их носителей, которыми могут быть как корпускулярные, так и волновые объекты, а в общем случае — объекты с корпускулярно-волновой сущностью. В этом требовании метода квазичастиц содержится глубокая позитивная критика философских представлений энергетизма, а именно: представления энергии без вещества, а поля и движения — без материи; б) устанавливать соответствие между структурой материи: вещества и поля и структурой движения. Атомистичность материи сопоставить с атомистичностью движения, т. е. определить структурные элементы движения. Такими структурными элементами движения вещества и являются разнообразные квазичастицы, возникающие как коллективные образования в вещественной среде со свойствами, зависящими от свойств среды и ее основного состояния, и связанные с определенными волновыми процессами, происходящими в этой среде. Так что структурные элементы движения неотделимы от структурных элементов в данном случае вещества, а вообще материи.

Второй философской предпосылкой, лежащей в основе метода квазичастиц, служит положение диалектического материализма о материальном единстве мира. Это положение в методе квазичастиц выступает в форме единства макро- и микроявлений.

В методе квазичастиц подчеркивается не только то, что микропроцессы являются фундаментом свойств и состояний макротел, но и то, что состояния макротел влияют на микропроцессы. Это выражено уже в понятии квазичастиц. Здесь, собственно говоря, развивается идея квантовой механики о неотделимости микрообъекта от его макроусловий.

О первой стороне этого единства, об обусловленности свойств макротел микропроцессами, говорилось уже раньше. Поэтому остановимся на второй стороне этого единства, на влиянии макросостояний на микроскопические процессы.

Известно, что потенциальные возможности проявления корпускулярных и волновых свойств микрочастиц реализуются в зависимости от тех условий, в которых находится частица. В квантовой физике макротел оказывается возможной и такая постановка вопроса: «Может ли кристаллическая структура или вообще агрегатное состояние вещества влиять на интенсивность ядерных реакций и скорость распада возбужденных состояний ядер?»⁵¹ Подобная постановка вопроса предполагает, что любой микрообъект, находясь в системе других объектов, в какой-то мере теряет свою индивидуальность и многие его состояния приобретают коллективный характер.

В кристаллах, например, их возбужденное состояние оказывается не возбужденным состоянием отдельного ядра, а возбужденным состоянием всего кристалла⁵². Это значит, что поглощение нейтронов,

⁵¹ «Квантовая физика и твердое тело». М., 1966, стр. 8.

⁵² См. там же, стр. 9.

гамма-кванта и т. д. производится не отдельным ядром в этом кристалле, а всеми ядрами находящихся в нем атомов.

Здесь налицо аналогия с возникновением таких квазичастиц, как экситоны, появляющиеся в кристалле в результате коллективного возбуждения всех его электронов в процессе поглощения света. Таким образом, метод квазичастиц, связанный с учетом коллективных состояний микрообъектов, распространяется и на изучение атомных ядер⁵³.

Важной философской предпосылкой метода квазичастиц является диалектико-материалистический принцип единства дискретности и непрерывности в явлениях мира. Этот философский принцип, как это уже было показано, лежит в основе всех аспектов понятия о квазичастицах.

Метод квазичастиц не только опирается на принцип единства дискретности и непрерывности, но и обогащает его новыми сторонами и связями, углубляет понимание как прерывности, так и непрерывности.

⁵³ См. там же, стр. 10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В. И. Ленин отмечал, что в процессе развития познания раскрываются все более глубокие взаимозависимости между различными понятиями науки. Он указывал, что диалектика понятий состоит в переходах одних понятий в другие, что для нее существенна относительность их противоположностей. Противоположные понятия не только исключают друг друга, но и обуславливают друг друга и относятся к одному и тому же объекту. Понятия, например, о неизменном атоме и об атоме изменяющемся противоположные, но противоположность эта относительная. Так, атом, неизменный в одних взаимодействиях, изменяется в других взаимодействиях, и оба эти понятия относятся к одному и тому же объекту — атому. Также относительной противоположностью обладают и понятия о частицах и волнах. Один и тот же объект может выступать и как частица и как волна в различных условиях своего существования. Поэтому понятие об объекте как волне не исключает и понятия о нем как о частице.

В. И. Ленин говорил, что понятиям свойственно тождество противоположностей. Это значит, что противоположные понятия могут быть взаимозаменяемы, эквивалентны по своему значению, а также сливаться друг с другом в определенных своих сторонах. Физика знает много примеров отождествления различных понятий в определенных отношениях и преобра-

зованиях. Например, понятия массы и энергии являются тождественными в отношении массы покоя и связанной с ней энергией. В этом отношении они взаимозаменяемы.

Опираясь на ленинские идеи о диалектике понятий, мы стремились показать, как общее для всех парных категорий проявляется в отдельном, в диалектике прерывности и непрерывности. В то же время мы подчеркивали недопустимость сведения всех категорий диалектики к какой-либо паре ее основных категорий с тем, чтобы определять через эти основные категории все категории диалектики. Известно, что Гегель осуществил на идеалистической основе такую попытку, выдвинув в качестве исходных категорий пару категорий «нечто» и «ничто», а для раскрытия связи между ними — другую пару категорий: тождество и различие.

Тождество категорий «нечто» и «ничто» в его логическом смысле дает категорию становления, а различие между ними — категорию наличного бытия, включающего в себя определенные «нечто» и «ничто». В какой-то мере схема строения гегелевской логики используется и сегодня рядом философов-марксистов, стремящихся определить другие категории на основе категорий изменения и сохранения. Так в основном поступают при определении категории симметрии, инвариантности, дискретности, непрерывности и ряда других. В таком стремлении мы видим вполне законное желание способствовать созданию системы категорий материалистической диалектики, раскрытию их закономерностей субординации, но в то же время мы думаем, что такой подход нельзя считать единственно возможным и правильным.

Опираясь на материал данной работы, мы приходим к выводу, что категории прерывности и непрерывности в самом общем виде можно определить только

как отражение свойств взаимосвязанных форм существования материи. Такое определение прерывности и непрерывности позволяет эти категории отнести не только к материи, но и к движению, к пространству и времени. В единстве прерывности и непрерывности, как и в других категориях марксистско-ленинской философии, проявляется и материальное единство мира, и единство его пространственно-временных форм.

Современная физика дает богатый материал, свидетельствующий о том, что система ее понятий, методы исследования становятся все более и более диалектичными, а сам процесс познания физической реальности подтверждает истинность и адекватность действительности всей системы законов и категорий материалистической диалектики.

В связи с вышесказанным хотелось бы обратить внимание на одну из особенностей развития физических теорий и показать ее через призму категорий прерывности и непрерывности.

Ряд физиков-исследователей отмечали спиралевидный характер развития физических теорий и дискретно-континуалистических идей в физике. Так, например, Луи де Бройль, рассматривая развитие науки, пришел к выводу, что теоретические концепции «видимо, могут быть сведены к некоторым противоречивым идеям, из которых самыми известными, без сомнения, являются идеи непрерывности и дискретности. Противоречию непрерывного и дискретного в механике соответствует противоположность материальной точки и непрерывной жидкости, а в физике — противоречие частицы и поля, в биологии — противоречие эволюции и мутации...». Далее он говорит, что теоретическая наука, заключенная в довольно узкий круг тенденций и представлений, могла бы на первый взгляд оказаться обреченной на вечное движение по кругу, причем различные типы истолкований пооче-

редно появлялись бы, исчезали и снова появлялись. Но, утверждает он, пессимистическое суждение неверно. Если концепции и появляются вновь, то они появляются обогащенными в процессе синтеза. «Прогресс науки, — пишет де Бройль, — нельзя сравнивать с круговым движением, которое нас все время возвращает в одну и ту же точку; скорее он сравним с движением по спирали (курсив наш. — Авт.); движение по спирали периодически приближает нас к некоторым уже пройденным стадиям, но не следует забывать, что число витков спирали бесконечно и что витки увеличиваются и поднимаются вверх»⁵⁴. Таким образом выдающийся физик-материалист стихийно пришел к выводу о том, что в познании действует закон отрицания отрицания. Не менее интересными являются и мысли видного швейцарского математика и философа Ф. Гонсета и ученых, группирующихся вокруг журнала «Диалектика». Рассматривая историю развития науки, они также подчеркивают спиралеобразный характер этого процесса. Ф. Гонсет, например, неоднократно писал, что в науке имеет место постоянный возврат к исходным пунктам и уточнение их содержания на новом уровне («круги» и «круги кругов») ⁵⁵. Действительно, если окинуть взором путь развития физической науки, то мы убедимся в том, что роль понятий прерывности и непрерывности в этом развитии изменялась в соответствии со спиралевидным характером движения от незнания к более полному знанию.

Так, в картезианской физике идея прерывности как одной из сторон противоположности связана с представлением о разделенности материи на различные части. Однако ведущей стороной противоположностей здесь выступает идея непрерывности, что

⁵⁴ Л. де Бройль. По тропам науки, стр. 310.

⁵⁵ F. Gonseth. Le probleme du langage et l'ouvertzre a l'experience. — «Dialektika» (Neuchatel), 1958, vol. 47/48.

обуславливается отождествлением материи с протяженностью.

В ньютоновой физике корпускулы Декарта преобразуются в атомы в классическом их понимании. Соответственно момент дискретности становится ведущим в содержании понятия «материя». Иными словами, здесь завершается переход от рассмотрения противоположных моментов в строении материи, взятых преимущественно со стороны непрерывности, к рассмотрению этих противоположностей со стороны дискретности. Момент континуальности, будучи подчиненным, сохраняется здесь не в субстратном, а в функциональном (непрерывность изменения величины силы) и атрибутивном (общность ряда свойств атомов) планах.

В электродинамике (соответственно в электродинамической картине мира) такое внешнее свойство атомов, как непрерывность изменения величины силы, трансформируется в континуальность поля. Само понятие поля становится определяющим в системе фундаментальных понятий и принципов электродинамической картины мира. Отмеченное обстоятельство в свою очередь приводит к тому, что единство моментов прерывности и непрерывности в строении материи на качественно ином уровне — на уровне электромагнитных процессов — берется уже со стороны непрерывности. Свое завершение этот «виток спирали» в познании получает в трудах Эйнштейна по теории относительности. В этих работах понятие материальной точки полностью исключается из числа фундаментальных понятий, что влечет за собой последовательное отождествление понятий «поле» и «материя». Допуская неразличимость физического содержания поля от физического содержания пространственно-временного континуума, Эйнштейн растворяет понятие материи в понятии протяженности. А это означает, что на более раз-

витой ступени познания через отрицание фундаментальной роли понятия атома в системе понятий, принципов и законов, образующих основу электродинамической картины мира (т. е. качественно иной по сравнению с доньютоновой картиной мира), происходит как бы возрождение картезианской идеи сведения содержания понятия материи к понятию протяженности.

Следуя закону отрицания отрицания, мы вправе ожидать, что дальнейшее движение познания по пути раскрытия единства прерывности и непрерывности материи в физике микромира (следовательно, и в квантово-полевой картине мира) будет проходить в направлении преодоления непрерывности как ведущей стороны противоположностей.

Дальнейшее движение познания в рамках физики микромира вскрыло относительность подразделений физических объектов на вещество и поле, тем самым подтвердив диалектико-материалистическое положение о соотносительном единстве моментов прерывности и непрерывности применительно к этой форме движения материи. В последующем квантовая теория поля, установив невозможность разделения микропроцессов (протекающих при высоких энергиях) на вещество и поле, позволила установить это единство на более глубоком структурном уровне.

Однако установленное в физике микромира единство названных противоположностей не исключило на данной, качественно более развитой ступени познания преобладания момента прерывности. Анализ современного состояния физической науки показывает, что современные интерпретации квантовой механики ведут к выдвиганию на передний план момента дискретности при рассмотрении структуры материи на уровне микроявлений. Преобладание момента дискретности проступает в абсолютизации мировых констант, в преувеличении роли закономерностей стати-

стического типа, в недооценке взаимосвязи частиц в ансамбле у сторонников концепции квантовых ансамблей. В форме скрытой тенденции преобладание момента дискретности наблюдается и у сторонников концепции реальности квантовых состояний через сведение всего многообразия внешних взаимодействий преимущественно к потенциально возможным.

Оценивая современное состояние проблемы и отвечая на вопрос о том, преодолено ли в физике отставание в раскрытии диалектического единства прерывности и непрерывности, можно, на наш взгляд, утверждать следующее: современные интерпретации физической формы движения материи (теория относительности, квантовая механика и другие) еще далеко не полно отражают объективную диалектику единства прерывности и непрерывности материи и ее атрибутов; материалистическая диалектика и в этом, исследуемом нами аспекте выдержала испытание новейшими открытиями в физике. Она показала, что марксистско-ленинская философия опередила (конечно, только в самой общей форме) те выводы, которые были сделаны физиками на основе этих открытий; тем самым она вновь подтвердила действенность своей методологии в научном познании. Глубокое, творческое освоение исследователями-физиками материалистической диалектики дает им надежный ориентир в научном поиске. В частности, учет такой закономерности, как спиралевидный характер движения познания по пути раскрытия противоречивого единства прерывности и непрерывности в физической форме движения материи, будет способствовать постановке новых исследований, а также выбору наиболее правильного направления в процессе перехода от одной физической теории к другой.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава первая. ПЕРЫВНОСТЬ И НЕПЕРЫВНОСТЬ В ДОКВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ	30,
1. Дискретно-континуалистические идеи в картезиан- ской физике	31
2. Проблема прерывности и непрерывности в ньютоно- вой физике	37
3. Развитие идей прерывности и непрерывности в пе- риод утверждения господства электродинамической картины мира	56
Глава вторая. ИДЕИ ЕДИНСТВА ПЕРЫВНОСТИ И НЕПЕРЫВНОСТИ В ФИЗИКЕ МИКРОМИРА	105
1. Категории прерывности и непрерывности и корпуску- лярно-волновой дуализм	—
2. Корпускулярно-волновой дуализм — основная онто- логически-гносеологическая проблема квантовой ме- ханики	130
3. Прерывность и непрерывность в квантовой элект- родинамике	159
4. Прерывность и непрерывность и квазичастицы . . .	182
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	200

Готт В. С. и Недзельский Ф. В.

Г73 Дialeктика прерывности и непрерывности
в физической науке. М., «Мысль», 1975.

207 с. (На обл.: Философия и естествознание.)

Авторы анализируют развитие идей прерывности и непрерывности в классической и современной физике, показывают решающее значение категорий диалектического материализма для дальнейшего развития физической науки. Особое внимание уделено раскрытию мировоззренческой, методологической и эвристической функции материалистической диалектики в процессе познания прерывности и непрерывности физических явлений.

Г $\frac{10502-003}{004(01)-75}$ БЗ-54-7-74

53

**Готт, Владимир Спиридонович
Недзельский, Франц Владиславович**

**ДИАЛЕКТИКА ПРЕРЫВНОСТИ
И НЕПРЕРЫВНОСТИ
В ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКЕ**

Редактор В. А. ШИРЯЕВА
Младший редактор Л. В. КРИВЫХ
Оформление художника Е. Б. АДАМОВА
Художественный редактор А. А. БРАНШМАН
Технический редактор И. Г. МАКАРОВА.
Корректор З. Н. СМЕРНОВА

Сдано в набор 7 августа 1974 г. Подписано в печать 22 января 1975 г.
Формат 70×108¹/₃₂. Бумага типографская № 1. Усл.-печатных листов 9 1.
Учетно-издательских листов 9,13. Тираж 10 000 экз. А 01609. Заказ № 10362.
Цена 58 коп.

Издательство «Мысль».
117071. Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.
Типография издательства «Калининградская
правда», г. Калининград обл.,
ул. Карла Маркса, 18.

58 коп.

№ 216-33

Б-75

25