

наука перестала ими заниматься. Дуга и искра были изучены и поняты, когда радиотехника воспользовалась ими. Сейчас они оставлены, и так же интенсивно изучается тепловое излучение электронов и механизм фотоэффекта. Те же требования техники сейчас выдвинули полупроводники и свечение газов. Такими примерами полна история физики. Среди них борьба сплошности и прерывности на протяжении веков особенно наглядно иллюстрирует правильность диалектического и исторического метода Маркса—Ленина.

РАЗВИТИЕ АТОМИСТИЧЕСКИХ ВОЗЗРЕНИЙ В XX ВЕКЕ*

Что представляла собой физика в 1908 г., когда Ленин писал свой «Материализм и эмпириокритицизм»? Необычность представлений, которые появились к этому времени, пожалуй, превосходит повизну того, что мы имеем сейчас и с чем не можем справиться.

В самом деле, тогда только что создалось совершенно новое представление о массе. В 1902 г. появилась кажущаяся масса электрона, которая, как думали сначала, только дополнила привычную массу, а потом и совершенно ее исключила и сделала переменной. Затем получила массу электромагнитная энергия; вслед за этим дано было обобщение понятия массы и энергии в теории относительности. Масса из меры материи сделалась мерой энергии. Этот резкий, катастрофический переворот касался одного из самых основных для материалиста вопросов — конкретного содержания понятия материи и массы. Масса перестала быть мерой материи, а материя отождествлялась с электрическим зарядом. Совокупность электрических зарядов представляла собой материю. Вместо меха-

* Статья опубликована в журнале «Под знаменем марксизма» (1934, № 4, с. 52—68) в выпуске, посвященном 25-летию со дня выхода в свет книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». А. Ф. Иоффе последовательно проводит мысль о плодотворности применения метода диалектического материализма к решению общих проблем физики и о том, что идеи, высказанные В. И. Лениным, находят свое подтверждение в успехах и новых открытиях современной физики.

ники, механических сил и движения, как основы всяких физических процессов, электрическое взаимодействие между зарядами сделалось тем основным орудием, при помощи которого эта материя проявляется во вне и взаимодействует между собой.

Наконец, к этому же времени были уже установлены основы квантовых явлений в природе. Прежде всего, появились кванты света, представление о которых было выведено побочным статистическим путем из рассмотрения равновесной лучистой энергии, но которые в 1905 г. в классической работе Эйнштейна получили физическое содержание. Вместо электромагнитных волн появились фотоны. В 1907 г. представления квантовой теории из области лучистой энергии были перенесены на само вещество: к этому году относится первая работа по квантовой теории теплоемкости Эйнштейна.

Таким образом, электромагнитная теория механики, связь материи с зарядом, а массы с энергией, квантовая природа элементарных явлений представляли действительную революцию всех основных понятий физики.

Я не стану здесь цитировать книгу Ленина — всем известно, что ни одно из этих новых представлений не было им отнесено к области идеализма, а наоборот, вся совокупность их рассматривалась как блестящее подтверждение диалектического материализма, чем она и была на самом деле.

Ближайший этап, 1907—1913 гг., был периодом чистого атомизма, с одной стороны, и установления квантовых фактов, с другой стороны. К этому периоду относится ряд новых методов, которые сделались основой новой физики, методов, которые уже не косвенно, а непосредственно убеждают нас в реальном существовании атомов и отдельных частиц. Здесь прежде всего нужно назвать изучение броуновского движения, впервые непосредственно показавшего реальность атомов. Вслед за этим появились еще более убедительные объективные факты: был создан счетчик Гейгера, в 1911 г. разработан Вильсоном замечательный метод обнаружения путей отдельных частиц. В это же время в ряде опытов Резерфорд прощупал недра атома и дал те основы, на которых потом была построена его модель.

Параллельно и одновременно с установлением непосредственных доказательств атомизма материи столь же непосредственными опытами обосновывались квантовые

представления. Сюда можно отнести опыты Милликена, из которых была установлена связь между скоростью фотоэлектронов и частотой света. Примерно в это же время, начиная с 1912 г., появился ряд работ, обосновывающих экспериментальным путем применимость квантовых законов не только к лучистой энергии, но и к самой материи. Это — исследование теплоемкости при низких температурах в связи с теоремой Нернста.

Эта эпоха закончилась в 1913 г. созданием модели атома Бора. Модель Бора, с одной стороны, есть микроскоп, повторение Солнечной системы, с другой стороны, однако, в этой модели имеются два постулата, совершенно чуждые этой модели и всей механике и электродинамике, на которых построена сама модель.

Первые применения этой модели были эпохой блестящего, я бы сказал, триумфального шествия атома Бора через все области физики. Ее успехи хорошо известны, и я только напому типичные моменты этой истории. В первой же работе Бора простая механическая картина электронов, движущихся по круговой орбите вокруг ядра, была исправлена вращением вокруг общего центра тяжести. Как известно, такое различие между спектрами водорода и гелия получило здесь элементарное толкование.

Затем последовало появление эллиптических орбит и связанное с этим расширение теории линейных спектров; квантование положения орбит в пространстве и их связь с магнитными моментами. Хорошо известно, какое ясное и простое толкование Бор дал периодической системе элементов, постепенно наслаивая на ядро один электрон за другим, как выявились парамагнитные и ферромагнитные материалы.

Все это — ряд блестящих успехов, не говоря о прямом, исключительном по своей точности и беспримерном в истории физики подтверждении сериальных законов.

Однако внутреннее противоречие между механической картиной движущегося электрона и квантовыми постулатами, определяющими положение орбит и условия перехода с одной орбиты на другую, все обострялось по мере применения теории ко все большему разнообразию явлений природы. Появился принцип соответствия Бора, который установил некоторый параллелизм между свойствами модели по обычным законам электродинамики, лежащими в основе ее, и теми свойствами, которые она получает благодаря добавочным квантовыми постулатам.

Получилась компромиссная теория, которая давала сначала последовательную электромагнитную картину атома. Потом эта механическая картина сопоставлялась с системой действительных, квантовых состояний.

Последним в развитии этой модели крупным теоретическим вкладом был принцип Паули. Вводя в дополнение к трем основным квантовым величинам, определяющим данную орбиту, еще четвертую, не имеющую поначалу четкого физического смысла, Паули показал, что можно дать полную схему всех атомов и всех спектров, испускаемых атомами любого элемента.

Вскоре, однако, ученики Эренфеста — Гаудсмит и Уленбек — нашли физический смысл четвертого квантового числа: так же, как Земля, вращаясь вокруг Солнца, в то же время вращается вокруг оси, так и электроны не только движутся по определенной орбите в пространстве, но в то же время вращаются вокруг собственной оси. И вот момент количества движения вокруг собственной оси и оказался четвертой величиной, характеризующей движение электрона в атоме.

До этого момента теория, противоречивая в самих своих основах, компромиссная по форме, все же была ведущим рычагом всей физики.

После этого кульминационного пункта теории Бора выступили на сцену трудности, которые были в ней скрыты. Несмотря на весь утопченный математический аппарат, не удавалось пойти дальше того первого шага, который сделал Бор в самом начале, количественно вычислив спектр водорода. Данные для следующего элемента — гелия с двумя электронами — получились хотя и близкими к действительности, но, несомненно, не совпадали с опытом. И все попытки дальнейшим уточнением достигнуть такого совпадения ни к чему не приводили. Стало ясно, что в этой модели что-то не совсем верно, что-то должно быть изменено, чтобы получить правильный результат.

Также неудачно было объяснение сложного явления Зеемана — количественное предсказание интенсивности отдельных линий. И, наконец, появилась чисто логическая трудность модели Бора, по которой электрон, хотя и находится на одной вполне определенной орбите и еще, может быть, на другую орбиту не перешел, по уже испытывает влияние всех тех орбит, на которые он может перейти.

Остроту момента, значение этих трудностей, которые испытывала теория атома, сейчас, пожалуй, даже трудно себе представить.

Наглядным примером этого положения может служить одна моя беседа с Лоренцем. В 1924 г., излагая ход развития своей научной деятельности, приведшей к блестяще подтвержденной электронной теории, Лоренц в квантовом атоме видел неразрешимое противоречие, которое приводило его в отчаяние: «Сегодня утверждаешь прямо противоположное тому, что говорил вчера; в таком случае вообще нет критерия истины, а следовательно, вообще неизвестно, что значит наука. Я жалею, что не умер пять лет тому назад, когда этих противоречий не было».

Все знают, кто такой был Лоренц. И такой отчаянный вывод из всей истории его научной жизни достаточно показателен для физики того времени. Но во время этой беседы с Лоренцем уже наметился выход из тупика, в который зашла, по мнению Лоренца, физика. В том же 1924 г. была создана одна из форм квантовой механики — неожиданная по тогдашнему времени теория де Бройля.

Скоро появилось другое решение этого противоречия — первые работы Гейзенберга, которые представляли собою нечто вроде словаря, с одной стороны которого стояли все операции старой электродинамики и механики, а с другой стороны каждая такая операция переводилась на новый язык, каждой прежней операции соответствовала некоторая новая операция.

Эта попытка была затем развита Гейзенбергом вместе с Борном и привела к матричной форме квантовых законов. Вместо отдельных координат, скоростей, с которыми мы имели дело раньше, каждая величина характеризовалась целой системой, матрицей, некоторой таблицей значений. Эта матрица сразу же уничтожила то логическое затруднение, о котором я говорил. Именно свойства данного состояния электрона определялись уже не его орбитой, а совокупностью всех возможных орбит. Противоречие было устранено. Можно было придать матрицам некоторый физический смысл, но уже отличный от прежнего. Вместо того чтобы говорить об электроны, движущемся по какой-то орбите, можно было говорить о пульсациях электрона, о стоячих волнах, в которых одновременно участвует этот электрон.

Параллельно с этим развилось и то направление, которое было намечено де Бройлем, — в систематической

теории Шредингера волновая механика получила свое законченное выражение. Вскоре выяснилось, что эти два пути, столь различные по своей математической форме, по своему исходному пункту оказались совершенно идентичными по выводам.

Теория Шредингера позволяла еще сохранить некоторую наглядность. Казалось, что можно себе представить электрон, исходя из волновой точки зрения, как совокупность отдельных волн, как пакет волн, сосредоточенный в сравнительно небольшом объеме. С другой стороны, казалось, что новые материальные электронные волны можно также представить себе в достаточной степени наглядно как волны, проходящие в трехмерном пространстве, хотя и отличные от электромагнитных.

Однако эта попытка оказалась неудачной. Выяснилось, что при помощи наглядных представлений, построенных на классической механике, невозможно выразить новую систему квантовой механики Гейзенберга и Борна или Шредингера и де Бройля. От такой наглядности пришлось отказаться.

Здесь я подхожу к очень существенному вопросу — к вопросу о наглядности теории. Почему это на определенном этапе развития физика вдруг перестает быть наглядной, не может больше пользоваться наглядными моделями? Нужно сказать, что это случается каждый раз и, как я попытаюсь показать, это неизбежно, когда физики переходят к существенно новому типу явлений, к существенно новой области.

Я хочу вспомнить из той же беседы с Лоренцем другой момент, касающийся не конца, а самого начала его деятельности, когда только что появилась теория Максвелла. Почувствовав громадное значение этой теории, Лоренц стал ее изучать, но убедился, что ничего не понимает, ничего, кроме формул, не может извлечь из этой теории.

Узнав, что вышло французское изложение теории Максвелла, Лоренц сейчас же поехал в Париж, ожидая, что автор, изложивший Максвелла, очевидно, его понимает. Но автор этого изложения ему сказал, что теорию Максвелла вообще нельзя понять: это чисто математическая, совершенно абстрактная форма; физического же смысла теория Максвелла иметь не может. Очень любопытно, что это утверждение почти дословно напоминает то, что мы сейчас слышим о новой квантовой механике.

Что это значит? Я думаю, что этот факт есть одно из доказательств материализма. Попытаюсь это обосновать.

Что значит, что для нас новая теория не наглядна? Это значит, что опыт привел нас к каким-то новым явлениям, для которых вся сложившаяся в нашем мозгу в результате всего предыдущего опыта система представлений оказывается непригодной, это значит, что мы не можем излагать новые факты при помощи старых образов, уже привычных для нас и поэтому наглядных. Но ведь это возможно только в том случае, если эти факты имеют место вне нас, в реально существующей природе. В нас самих не было никаких решительно предпосылок для того, чтобы придумать фотоны, в движении электронов заподозрить волновой процесс, чтобы создать синтез корпускул и волн, — у нас для этих понятий не нашлось ни слов, ни представлений.

Такие моменты, когда наука перестает быть наглядной, когда она по существу не может быть наглядной, могут быть обусловлены только реальным существованием внешнего мира. Поэтому, мне кажется, бояться отсутствия наглядности у нас нет оснований.

Я хотел бы на двух примерах показать действительную необходимость создания новых представлений, полную невозможность какой бы то ни было комбинации привычных величин. Одно из этих явлений — дифракция электронов, которая дала первое непосредственное опытное обоснование волновой природы движения. Эта электронная дифракция сделалась одним из широко распространенных методов изучения структуры поверхностных слоев и кристаллов, исследования коррозии и поверхностного катализа. Электронная дифракция, наряду с рентгеновской дифракцией, становится методом не только физических исследований, но и технического контроля. Это уже область, богатая экспериментальными фактами.

Будем ли мы рассматривать дифракцию электронов при прохождении их через два близких отверстия или при отражении от ряда последовательных атомных слоев кристалла, нам придется допустить, что одни и те же электроны одновременно проходят через оба отверстия или отражаются последовательно от целого ряда слоев, несмотря на то что потом мы можем их обнаружить как отдельные электроны, сконцентрированные в очень малом объеме, и что можем даже наблюдать пути, пройденные отдельным электроном после дифракции.

Другое явление — прохождение электронов сквозь энергетические барьеры, значительно превышающие запас их кинетической энергии. Это явление мы наблюдаем в фотоэффекте, в плохих контактах, в атомном ядре. Применяя понятие об определенной скорости электрона в определенной точке пространства внутри барьера, пришлось бы признать его скорость мнимой, его кинетическую энергию отрицательной. Все эти трудности устраняются принципом неопределенности и возникают оттого, что мы пытаемся объяснить новые явления старыми, совершенно для них непригодными, бессмысленными в этой области представлениями. Также нелепо, например, определять плотность тела в участках размером в 10^{-9} см, хотя в это определение и можно вложить определенный смысл.

Таким образом, волновые представления в атомной физике настойчиво диктуются нашим опытом и неизбежно требуют создания новых, нам еще не привычных, не допускающих наглядного истолкования законов. Пока они описываются уравнениями Шредингера.

С другой стороны, направление Борна и Гейзенберга тоже на первых же шагах получило блестящее подтверждение. При помощи матричной механики удалось определить интенсивность линий, разобраться в явлениях Штарка и Зеемана, дать им количественную теорию и т. д.

Таким образом, новая квантовая механика, хотя с момента ее рождения прошло еще немного лет, обоснована опытом не менее прочно и не менее широко, чем старая квантовая механика, электромагнитная теория Максвелла или ньютонова механика. Несомненно, что дуализм частицы и волны неразрешим в рамках тех величин и представлений, которыми мы описывали и объясняли окружающие нас макроскопические явления.

Простое рассмотрение любого из фактов атомной физики, а они нисколько не стали хуже от того, что являются новыми, с неизбежностью приводит нас к заключению, что здесь нужны новые понятия, новый язык.

Эти новые представления ищет и Дирак в своих уравнениях, и Шредингер в волновой механике, и Гейзенберг в своем принципе неопределенности. Эти новые методы еще несовершенны, им еще не удастся дать законченные, строго систематические формулировки, подобные системе классической механики Ньютона, тем не менее это черты той новой картины мира, которую мы видим пока в отдельные просветы в том или другом аспекте. Каждое из

этих представлений есть большой и несомненно положительный шаг вперед, и каждое из них, мне кажется, если его правильно разобрать, есть одно из новых подтверждений диалектического материализма. Они лишней раз показывают, насколько реальный, вне нас существующий мир сложнее, многостороннее, чем те схемы, которые мы создали на основе прошлого опыта, как этот мир раскрывается нам в своих проявлениях путем отдельных противоречивых аспектов, диалектически объединяемых по мере накопления опыта в активном практическом применении. В трудностях и противоречиях современной теории заложены новые обобщения, новый синтез.

Критерием ценности новых теорий является их соответствие всей совокупности нашего опыта. А этот экзамен теории Дирака, Шредингера и Гейзенберга выдержали. Конечно, эти новые представления затронули очень многое из логических привычек и макроскопического опыта и больно ударили по нашей психологической лени. Если бы мы были махистами, это было бы, мне кажется, убедительным возражением. Может быть, неэкономно перестраивать все наше мировоззрение для того, чтобы правильно описать определенную группу явлений. Не проще ли поступить так: все прежнее прекрасно можно описывать по-старому, а для нового можно добавить какие-нибудь мнемонические правила. Это будет гораздо экономнее. Если мы не уверены, что здесь проявляются свойства реального, вне нас существующего мира, то вряд ли стоит производить такую коренную ломку и создавать себе такие психологические неприятности.

Принцип неопределенности является одной из новых и, мне кажется, очень положительных форм описания существа тех новых свойств, которые мы усмотрели в природе, когда подошли к атомным явлениям. Он неизбежно вносит новое содержание в понимание причинности, существующей в природе.

Мы думали, что лишь макроскопические, грубые явления представляют собой результат статистической игры каких-то элементарных процессов, а элементарные механические или электродинамические явления подчиняются однозначно законам механики. Почему мы так думали? Да просто потому, что мы ничего о них не знали. Диалектично ли было так думать? Я бы сказал — нет. Считать, что разнообразие природы ограничивается атомами и на этом кончается, — вряд ли диалектично. На самом деле,

когда мы подошли к этим атомам, то оказалось, что атомы не только сложные тела — это нас не удивило, но что законы их вовсе не простые элементарные законы обычной механики, целиком перенесенные в атомные размеры, что и здесь та же статистика, то же колоссальное разнообразие. В основе грубой статистики лежит не однозначная механика, а опять-таки та же многозначная атомная статистика. Принцип неопределенности — это второй принципиально новый шаг в метрологии, в науке об измерениях, позволяющей количественно изучать природу. Первый существенный шаг был сделан теорией относительности.

До теории относительности мы не задавали себе вопрос о том, как следует производить измерения при быстром движении. Обыкновенно достаточно приставить масштаб и отсчитать его показания у двух отметок: здесь 12, там 34, значит, расстояние равно 22. Но оказалось, что, когда тело быстро движется, этот прием не годится: пока посмотрели на один конец, другой отъехал и отсчет теряет смысл. Нужно было разобраться в том, что значит измерять движущийся объект; частная теория относительности и дает ответ, как в таком случае поступать. Она дает единственный логически возможный, вытекающий из наших знаний о природе метод. Наилучшее орудие измерения — свет, но он движется с конечной скоростью, и это приводит к тем особенностям измерения пространства и времени, которые дает теория относительности. Это первый этап метрологии.

Но, измеряя какую-то величину, мы должны помнить, что при всяком измерении возможна ошибка. Мы и здесь поступали некритически; мы рассуждали так: этот прибор дает такую-то ошибку, а другой — иную. Приборы наши вообще несовершенны. Но если бы они были совершенны, мы могли бы измерять с какой угодно точностью. Почему это так? Только потому, что мы были далеки от истинного предела точности. Если вы знаете, что ничего лучше светового луча для измерения нет, а световой луч — это совокупность квантов, значит, в природе нет ничего, что могло бы быть измерено с точностью кванта. Но не в этом только дело. Дуализм частицы материи выявил более глубокие стороны этого явления. Оказывается, что существует принципиальная граница точности, вытекающая из основных свойств материи. Еще в самом начале нашего столетия первая квантовая теория лучистой энергии

Планка принуждена была разбить фазовое пространство на отдельные участки, площадь которых равна постоянной Планка. Ничего другого не утверждает принцип неопределенности. Он только более последователен. По Планку, в самом пространстве как бы имелись уже твердые перегородки, хотя они определяли не отдельные координаты, а их произведения, площади. Только переход из одной площадки в другую есть реальное явление. Теперь нет перегородок, но размер площадки — это предел неопределенности. Следовательно, мы не можем точно задать начальное состояние. Раньше мы без всяких оснований считали, что можем, потому только, что мы не ставили перед собой этого вопроса. А если, как оказывается, его задать нельзя, то никакая механика не может дать однозначного предсказания того, что произойдет. Невозможность однозначной причинности просто вытекает из того, что априорные предположения, которые когда-то делались без всяких оснований, оказались неверными. Начальные состояния в том виде, как это нужно для расчета, задавать нельзя.

Следует ли из этого, что теперь есть свобода воли вместо причинности? Я недавно был на Днепрострое и не видел, чтобы он капризничал. Он действует по самым настоящим законам, как и следует по принципу неопределенности Гейзенберга, и свободы воли не проявляет. Это не шутка. На самом деле макроскопические явления, на изучении которых построен наш опыт, протекают, конечно, закономерно. Но в основе этой закономерности лежит статистика — и далее, как оказалось, еще более глубокая статистика статистик.

В какой степени это нарушает наше основное логическое понятие причинности? Мне кажется, что ни в какой степени. Здесь есть только его уточнение, его углубление, но не его отрицание. Надо помнить, что неопределенность относится только к той новой области внутриатомных явлений, которые имеют размер, сравнимый с длиной волны атомных движений, только в таких миллиардных долях миллиметра эти свойства и проявляются.

Почему мы это положение вещей воспринимаем как новое затруднение? Причина здесь вот в чем. Если бы мы удовлетворились волновой картиной описания, то не было бы никаких трудностей. Она определяется однозначно. Трудность возникает оттого и только оттого, что мы фактически умеем наблюдать не только эту волновую

статистику, но и элементарные электроны, отдельные атомы, отдельные молекулы. Мы не можем довольствоваться статистической трактовкой волновой картины, так как она не указывает, где и в каком месте мы поймем этот электрон, а определяет вероятность нахождения его в том или другом месте.

Мне кажется, что более подробный разбор того, что вытекает из принципа неопределенности, заставляет считать его очень крупным достижением, льющим воду на мельницу диалектического материализма, а не каким-то подводным камнем.

Но, кроме принципа неопределенности, который совсем не страшен, а, наоборот, представляет собою развитие и конкретизацию диалектических воззрений на природу, новая физика выдвигает целый ряд других более сложных проблем. Из того же закона статистической закономерности вытекает весьма мало наглядное следствие — лишение частицы ее индивидуальности. Имея совокупность частиц, мы можем сказать, что здесь находится 2 360 000 этих частиц, и в то же время одна частица не только не отличима от другой, но не имеет своей индивидуальности. Ничего физически не значит, что какая-то одна частица стала на место другой, а другая — на место первой. От такого представления нужно отказаться. Этого требует практическое применение новой статистики фотонов для лучистой энергии, статистики электронов в металлах, статистики газовых молекул и вычисление химических постоянных. Наконец, именно на отсутствии индивидуальности, на необходимости рассматривать две отдельные взаимодействующие частицы как одну неделимую систему основана вся химия. Все основные взаимодействия, с которыми мы имеем дело, химические и молекулярные, сводятся, наряду с электростатикой, к силам обмена, которые именно в том и заключаются, что два электрона двух частиц представляют собой как бы двойной электрон; он может быть в одной и другой частице, может обмениваться местами, и результат этого проявляется как новая система сил, которая играет в природе решающую роль. Это можно объяснить и более наглядно. Вы можете представить себе эти атомы окутанными облаками электронов. Это электронное облако, связывающее атомы, соответствует во всех деталях тем валентностям, которыми издавна пользовались в химической науке. Вопрос о потере индивидуальности частицами принципиально более важен,

чем новая форма причинных связей, с которой он, впрочем, тесно связан.

Наконец, неисчерпаемый кладезь трудностей (в том смысле, что все новое трудно) имеется в новых фактах, вскрытых изучением атомного ядра примерно с 1932 г. Прежде всего оказалось, что когда мы от 100-миллионных долей сантиметра перешли к триллионным долям сантиметра, к ядру, то здесь и квантовая механика оказалась бессильной, по крайней мере по отношению к легким частицам, к электронам. Электрон в ядре потерял свои свойства, ему там нет места. Как известно, эти трудности электрона в ядре как раз и показали предел применимости квантовой механики, показали, что здесь мы вступаем в новую область явлений, для которой непригодна вся та система представлений, которая только что создана новой волновой механикой. Здесь и возник вопрос о справедливости закона сохранения энергии. На эту постановку вопроса у нас накинудись как на некое преступление против диалектического материализма (конечно, это относится далеко не ко всем философам, но к очень многим из них). Я уверен, что такое обвинение есть совершенное непонимание основ диалектического материализма. Наоборот, вполне возможно, что, переходя в новую, неисследованную область при таком резком количественном изменении масштаба, мы натолкнемся на новые качественные свойства. В этом не было бы ничего удивительного, и отрицать это заранее ни в каком случае нельзя. Всякий закон природы, в частности и закон сохранения энергии, не априорный закон, не какая-то категория нашего сознания, а результат обобщения опыта, обширной практики. Никакой опытный закон не может претендовать на то, чтобы быть обязательно справедливым для такой области явлений, которая впервые становится доступной опыту. Святых законов в физике не может быть, закон сохранения энергии тоже не есть святой закон, и канонизировать его нет никаких оснований. Однако, по моему мнению, нет оснований считать, что те факты, которые заставили усомниться в законе сохранения энергии, его действительно опровергают.

Из того, что в новой области при резком количественном изменении могут быть установлены новые качественные закономерности и что даже закон сохранения энергии может измениться, не следует, что непременно каждый раз, когда мы подходим к новому явлению, нужно

прежде всего считать все прежние обобщения неверными.

На самом деле дальнейший ход опытов подтвердил, что достаточных оснований для отказа от закона сохранения энергии в ядре не было. За отказ говорил только тот факт, что радиоактивные вещества испускают электроны (бета-лучи) всевозможных скоростей, хотя можно было думать, что при радиоактивных процессах ядра переходят из одного определенного состояния в другое состояние столь же определенной энергии. Это не соответствует схеме сохранения энергии. Но потому ли, что самый закон сохранения энергии неверен, или потому, что мы знаем только часть явления? Аналогичных противоречий можно найти сколько угодно. Например, стакан чаю охлаждается на столе. Что же, значит, закон сохранения энергии неверен? Мы знаем, как на самом деле обстоит дело, и если рассмотреть, что происходит в воздухе, то можно найти пропавшую энергию. Поэтому не было достаточных оснований утверждать, что в ядре мы натолкнулись на противоречие в самом законе, а не на некоторую неполноту наших знаний.

Паули предположил, что, может быть, вместе с электронами из ядра вылетает и еще что-нибудь, отнимающее часть энергии. То, что вылетает, не может обладать зарядом, так как не меняет заряда ядра. Эти нейтральные частички должны обладать и очень малой массой, раз мы не замечаем их ударов о другие ядра. Это — нейтрино.

Если верно то, что энергия при переходе распределяется между видимым, измеримым электроном и уходящим, незаметным для нас нейтрино в разных пропорциях, то крайним пределом будет тот, когда вся энергия была бы поглощена электроном, а нейтрино получили бы ее мало или почти ничего. Но тогда наибольшая энергия, которую получает электрон, и будет всей энергией. Это те случаи, когда на долю нейтрино почти ничего не остается. Поэтому наивысшая скорость испускаемых электронов должна отвечать всей энергии, которая освобождается в ядре.

И вот недавно Эллис очень тщательными и чрезвычайно точными наблюдениями с несомненностью показал, что именно для этого предела, т. е. для энергии, теряемой ядром, ни малейшего отступления от закона сохранения энергии нет.

Таким образом, закон сохранения энергии к настоящему моменту пока сохранен. Нельзя утверждать, что для этого нет другого пути, кроме нейтрино. Это только один из возможных способов, подтверждающийся, впрочем, и другими явлениями. На основе этого представления Ферми создал теорию испускания бета-лучей, которая находится в хорошем согласии с опытом. Таким образом, нейтрино имеет пока две точки опоры. Может быть, этого недостаточно для полной устойчивости и достоверности, но некоторую возможность существования эти две точки соприкосновения с опытом ему дают.

Вместе с этим нейтрино и с твердо установленным нейтроном в наши представления о внешнем мире входит нечто новое и очень существенное. В результате эволюции, которая выявилась к моменту написания книги Ленина, у нас было сравнительно простое представление об энергии, материи, веществе и т. д. Мы представляли себе дело так, что материя есть совокупность электрических зарядов.

Эти электрические заряды в зависимости от расстояния и их движения обладают определенной энергией. Мера энергии, которой обладает данная система электронов, есть масса, измеряемая весом данной системы. Значит, взвешивание определяет запас энергии, которой обладает электрическая материя. Материя была носителем энергии или массы тела — очень простая и удобная концепция, исходившая из того, что вся физическая материя состоит из электрических зарядов.

Это представление теперь уже под сомнением, поскольку, кроме протонов и электронов, а потом и позитронов, появились еще нейтроны, а потом и нейтрино. В физической материи есть и электрическая, и неэлектрическая части. Конечно, может быть, нейтрон представляет собою систему электрических зарядов. Более спорно такое допущение по отношению к нейтрино, если он существует. Абсолютной необходимости утверждать, что существует неэлектрическая материя, нет, но к этому пужно быть готовым. Со дня на день факты могут нас подвести к тому, что мы должны будем отказаться от универсальности электрической природы материи.

Другая область фактов — это явления, которые носят очень странные названия: аннигиляция материи и материализация энергии и, конечно, очень легко могут послужить основанием для любой идеалистической философии,

так же как в 1908 г. утверждения, что материя исчезла. Самые факты тем не менее существуют.

Опять-таки в данный момент нельзя еще с полной уверенностью сказать, происходит ли такое явление, что позитрон соединяется с электроном в пустом пространстве и единственным результатом при этом оказывается испускание двух световых квантов. Но есть основание думать, что это может происходить в природе.

Очевидно, конечно, что философская система, и в частности система материализма, не может быть опровергнута или доказана таким опытом: если окажется, что позитроны аннигилируют только около ядра, то материализм правилен, а если аннигиляция имеет место вне ядра, то материализм надо отбросить. Конечно, от того или иного решения этого опыта совсем не может измениться признание существования внешнего мира, но очень сильно изменится конкретное содержание того, что мы понимаем под физической материей и ее соотношением с энергией.

Если, действительно, положительный и отрицательный электроны, соединясь, могут создать световой квант и наоборот, то у нас имеется следующая альтернатива. Пользуясь прежними нашими представлениями и приспособляя их к этим новым фактам, мы могли бы продолжать считать заряд материей, но тогда материя должна быть алгебраической, а не арифметической, материя может быть положительной и отрицательной, плюс и минус могут взаимно уничтожаться. Отсюда становится очевидным, какие трудности связаны с такого рода обобщением понятия о физической материи, с переходом от арифметики к алгебре.

Если же исходить из того, что материей может быть только то, что сохраняется, причем сохраняется арифметически, т. е. буквально, а не в расширенном алгебраическом смысле, то можно считать материей энергию, единственную сейчас величину, которая не исчезает и не создается нигде. И этот выход не лишен новых больших трудностей. Хорошо было представить себе, что материей является заряд, а эта электрическая материя является носителем энергии. Если сама энергия и есть физическая материя, то представление о материи как носителе этой энергии и об энергии как одном из свойств этого носителя отпадает — сама энергия становится тогда материей.

И хотел этими примерами только указать на новые, по-моему, очень серьезные проблемы, которые ставятся современной физикой. И мне кажется, что активная методология и философия физики должны уже сейчас анализировать эти передовые вопросы физики, подготавливая почву для творческой работы. Марксистская философия должна идти в ногу с современной физикой, ставя и освещая передовые ее проблемы не только тогда, когда идеалисты начинают толковать и наводить туман вокруг новых фактов. Еще в ходе исследования, когда эти факты выясняются и изучаются, нужно давать им правильную, методологически четкую интерпретацию и ясный анализ всех вытекающих возможностей.

25 лет развития атомной физики дали столько наглядных подтверждений марксистской философии, что они должны были бы вдумывающегося в ход этого развития физика привести к единственно возможной методологической позиции, к позиции диалектического материализма.

И на самом деле многие физики отчетливо поняли, что это единственный путь для правильного понимания истории физики. В 1933 г. на физико-химическом конгрессе Ланжевен высказался в том смысле, что хотим мы или не хотим марксизма, но другого выхода нет — вся история ведет нас к нему, как к единственно возможной теории. На еще более отчетливой марксистской позиции стоит другой крупный ученый современности — Блеккет, один из ведущих физиков в области учения о ядре, и целый ряд других. Если разобраться во взглядах Бора, то непрерывно им применяемое слово «диалектика» на самом деле означает, что он совсем не так далек от диалектического понимания физики.

Позволю себе напомнить те черты в истории физики, которые особенно убедительны в этом отношении. Прежде всего замечу, что хотя вышедшая в 1909 г. книга Ленина была посвящена борьбе с махизмом, в самой физике махизм, собственно говоря, уже потерял корни, что Ленин и показал. Махизм был запоздалым философским отражением научной системы, существовавшей до Маха, в 1855—1895 гг., когда развилась феноменологическая физика на основании уравнений термодинамики, теории сплошности, теории упругости и уравнений Максвелла. Это чистая теория сплошности и термодинамика действительно являлись областью, где феноменологический метод одно время

был основным методом физического исследования. Но XX в. с самого начала характеризуется отказом от феноменологической физики. С 1900 по 1925 г. мы всегда искали механизм явлений, а не формальные законы. Весь смысл этой эпохи физики заключался в признании реальности внешнего мира, в раскрытии внутреннего механизма явлений природы. Так что в то время, когда взгляды Маха стали проникать в философию и получили здесь настолько широкое развитие, что сделались орудием реакции, политически опасным явлением, в это время они уже не соответствовали содержанию самой физики. Среди физиков махизм и не встречал особого сочувствия, потому что он тормозил творческую работу. Для физики это была реакционная философия. Последним ее успехом было самоубийство Больцмана в 1906 г. С 1905 г. атомизм победил.

В эту эпоху с необычайной яркостью проявилась теснейшая связь между наукой и производительными силами, в частности техникой.

Появление авиации и быстро вращающихся машин потребовало совершенно иного подхода к изучению материалов. Явление усталости сделалось лимитирующим свойством материала. Здесь феноменологическая теория сплошности оказалась совершенно недостаточной, потребовалась и в связи с этим очень широко развилась целая система изучения структуры кристаллов и других тел. Радиотехника и высоковольтная техника, которая сейчас уже достигла 200 000 В, настоятельно потребовали изучения механизма электрических явлений; под их влиянием развилась вся электронная физика. Развитие новых источников света точно так же стимулировало и непосредственно двигало развитие учения об излучении. Автоматизация, которая играет все большую и большую роль по мере укрепления производств и объединения заводов в большие технические комбинаты, вместе с радио активно содействовала изучению фотоэффекта, полупроводников как узловой проблемы физики, появлению электронного микроскопа. Все это — большие области физики, созданные благодаря развитию соответственной техники. Наконец, необходимость использования бедных руд привела к учению о флотации, к учению об адсорбции.

Последнее, о чем я в этой связи хочу упомянуть, заключается в следующем. Любопытно, что и учение об

Атомном ядре в своем развитии теснейшим образом связано с прогрессом техники. Когда техника высоковольтных передач стала перед задачей перехода на постоянное напряжение и перед задачей выпрямления переменного тока, когда были созданы первые выпрямители на пол-миллиона вольт, при помощи которых удалось разрушить атом лития, а затем целый ряд других, начался новый этап развития учения о ядре.

Очень любопытно, что выросшее на основе техники исследование атомного ядра в свою очередь уже начинает воздействовать на нее. Для изучения ядра необходимо перейти к миллионам вольт; создаются новые пути сверхвысоковольтной техники, которые поднимают ее на более высокую ступень. Таким образом, на этом примере мы ясно видим взаимообусловленность техники и научного исследования.

Перейду к ряду других наглядных подтверждений диалектического хода развития физики. Совершенно ясно виден переход количества в качество на определенном этапе количественных изменений. Переход от макроскопических величин к молекулярной теории выдвинул статистическую физику как совершенно новую форму закономерностей, проявившуюся в этой именно области. Переход к строению атомов вызвал появление новой квантовой механики. Дальнейший переход от атома к атомному ядру ведет к релятивистской квантовой механике, лишь неясные очертания которой уже виднеются, которой мы еще не знаем.

Точно так же не вызывает сомнений развитие в сторону синтеза противоположностей. Прерывность и непрерывность в современной картине синтезированы с некоторой высшей точки зрения, а не соединены как частицы и волны, электромагнитное поле и заряд.

Затем диалектически неизбежно непрерывное обобщение наших частных познаний о природе в более общую картину. Старое соединение теплоты и работы в понятие об энергии, обобщение этой энергии с массой в одно уже более общее понятие об энергии, включающее массу, объединение этой энергии с количеством движения в один тензор, объединение пространства и времени в четырехмерной картине и т. д.

Типичная черта диалектического описания явлений — это замена двух крайностей, «да» и «нет», целой непрерывной цепью промежуточных ступеней. Возьмем поня-

тие о степени свободы, которая в начале этого периода рассматривалась чисто арифметически: степень свободы либо присутствует, либо ее совсем нет. Как известно, сейчас это понятие заменено непрерывным включением данной степени свободы, от полного ее отсутствия вплоть до полного ее появления.

Нас интересовали металлы и изоляторы. Сейчас мы концентрируем свое внимание на полупроводниках, которые дают непрерывный мост между этими двумя крайностями. Только изучение полупроводников и позволяет попятить два крайних случая: проводника и изолятора, которыми занималась физика прежних десятилетий. Пропасть между кристаллом и жидкостью также заполнилась богатым разнообразным содержанием — аморфными телами.

Наконец, последняя черта диалектического материализма, которую подчеркивает и Ленин в своей книге, — это неисчерпаемость материи. Материя, которая сначала составлялась из отдельных молекул, потом молекулы — из атомов, атомы — из ядра и системы электронов, ядра — из протонов и нейтронов, потом появились позитроны, нейтрино и т. д., развивается как неисчерпаемое богатство и разнообразие материи, а не как некоторая детская система камешков, из которых все построено.

Именно в этом же смысле я понимаю развитие статистических закономерностей, выражающих необычайную, необозримую сложность механики, переход от статистических закономерностей макрокосмоса к статистическим же закономерностям в микроскопическом мире атомов.

В такой же степени, как диалектический материализм, оправдывается и исторический материализм, может быть, политически наиболее важный: связь развития науки с развитием социальных отношений, связь не только с техникой в узком смысле слова, но и с состоянием производительных сил вообще, с социальными отношениями и с социальными условиями. К большому сожалению, наша марксистская критика в этом направлении почти ничего не сделала. А я думаю, что это один из важнейших вопросов. Например, не затронута такая задача, как выявление специфических черт развития науки в наших советских условиях. Исторически впервые наука поставлена в совершенно иные социальные условия, совершенно иные производственные отношения, наряду и во взаимо-

действию с наукой капиталистической. Мне не известно ни одного исследования, ни одной попытки разобраться в том, как изменение социальных отношений сказалось на развитии науки. Мне кажется, что эта задача чрезвычайно благодарная и чрезвычайно важная.

В заключение я хотел бы сказать несколько слов по вопросу о союзе материалистов-диалектиков с естествоиспытателями для борьбы с идеализмом. Не только от своего лица, но и от лица подавляющей массы всех физиков СССР я могу сказать, что мы всячески приветствуем такой союз. Я думаю, не только на словах, но и на деле мы уже показали, что стремимся к нему. Но утверждение того, что он уже осуществился, было бы, пожалуй, слишком оптимистично и весьма далеко от истины.

Мы охотно готовы бороться с идеализмом, и мы очень хорошо понимаем его опасность и его вред. Мы знаем, что на почве кризиса, на почве фашизма вырастает идеализм, который пытается истолковать каждый новый факт в свою пользу. Мы ясно видим громадный вред его для науки и еще больший вред для политического развития: идеализм поддерживает капиталистическую систему, ослабляет борьбу за освобождение от ее гнета. И поэтому мы готовы всеми силами бороться с идеализмом. Но как с ним бороться? Я думаю, что бояться нового потому, что в нем может оказаться идеалистический душок, и потому топтаться на месте, — это метод, которым никого не победишь. Нужно идти вперед, нужно создавать свои теории в противовес идеалистическим теориям, свое понимание новых идей, подрывающее почву всяких идеалистических попыток. Нужно осветить наш путь фарами правильной теории — это лучший способ развеять мистический туман идеализма.

В замечательной книге Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» мы найдем указания и для настоящего момента. Ленин знал физику так, как очень хорошо было бы знать ее многим современным ее критикам. Он знал диковинные с точки зрения «здравого смысла» вещи, о которых я говорил вначале. Но тем не менее ни одной строчки во всей его книге вы не найдете, в которой бы он утверждал, что Абрагам — идеалист, потому что он массу назвал кажущейся, или что Планк — идеалист, потому что он лучистой энергии приписал массу и считал ее лишь коэффициентом. Наоборот, каждое новое, расширен-

ное, хотя и непривычное, понимание физических явлений Ленин воспринимает как блестящее подтверждение диалектического хода развития, как проявление громадного разнообразия неисчерпаемой реальной материи. Поэтому мы все время должны перестраивать свои взгляды. В этом достоинство, в этом главное преимущество диалектического метода. Ленин говорил, что физики в основном, конечно, материалисты, потому что они занимаются изучением внешнего мира. Считать, что этот мир нами же создан, что его реально не существует, и все-таки изучать его свойства — это довольно-таки неблагодарная задача для физики. Зачем заниматься физикой? Зачем изучать мир, когда вы сами можете построить его как хотите, — это гораздо интереснее. Ленин показал, что материя исчезла не в физике, а в слабых головах идеалистических философов.

Не странно ли, что в прямую противоположность Ленину некоторые и сейчас считают идеалистами отдельных активных физиков, стремящихся найти те новые представления, которые адекватно выразили бы свойства вне нас существующей материи. Что-то неладно! И Бор, и Шредингер, и Дирак, и Гейзенберг, и Френкель, и решительно все, кто стремится найти адекватное выражение свойств микрокосмоса атомного мира, все они идеалисты! Наоборот, их непривычные нам представления, в том числе и новое представление о причинности и принцип неопределенности, — блестящее подтверждение и обогащение содержания диалектического материализма. Когда в популярных работах и книжках они пускаются в философские обобщения своих научных исканий, тогда, конечно, на философии некоторых из них сказывается воздействие тех социальных условий, в которых они находятся, и тех социальных заданий, которые они выполняют сознательно или бессознательно. Я не хочу сказать, что все то, что говорит Гейзенберг, — святая истина и диалектический материализм. Это, конечно, не так. Но научная теория — это есть теория материалистическая, т. е. наиболее полное приближение к реальному, вне нас существующему миру.

Мне кажется, что и сейчас еще есть некоторые не вполне пережитые остатки старого. Такого продолжателя Ленина, который с того момента, до которого дошел 25 лет тому назад Ленин, в том же духе, как это делал Ленин, с таким же знанием физики и с такой же способностью диалектически толковать и оценивать новейшие

пути ее развития шел бы в передовых рядах нашего знания, — такого продолжателя еще нет.

С большим удовлетворением мы видим, что в последнее время появляется стремление идти вперед, а не только критиковать старое. Признаки этого есть, и их нужно всячески приветствовать. С большой радостью принимаю призыв к союзу, я хотел бы заключить союз не только на борьбу с идеализмом (это, конечно, необходимо), но и на движение науки вперед, в ту сторону, которая для нас наиболее существенна. Мы хотим познать природу для того, чтобы ее изменить, для того, чтобы ею овладеть, для того, чтобы рабство и угнетение были уничтожены не только на одной шестой части земной поверхности, для того, чтобы создать новое коммунистическое общество во всем мире. Это и есть на самом деле та главная пружина, которая всеми нами движет.

Для того чтобы это было, нам нужно захватить самые передовые позиции, нужно смело двигаться вперед, не боясь ошибок, потому что у нас есть прекрасное оружие, которое нас от них предохраняет. Наша теория строится не в безвоздушном пространстве, мы создаем теорию реально существующего мира, и реальные проявления этого мира, то отражение, которое он получает в наших ощущениях, дает нам метод проверки практикой. Опыт, практика дают нам гарантию того, что мы не построим абстрактной идеалистической схемы, а в своих теориях будем все больше приближаться к познанию действительного мира, который мы хотим узнать и который мы хотим переделать.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО НА II ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ФИЗИКЕ АТОМНОГО ЯДРА *

Приступая к работе нашей, второй уже Всесоюзной конференции по атомному ядру, нельзя не вспомнить, что эта вторая конференция совпадает с 20-летием одного из величайших событий в истории человечества — события,

* Вступительным словом А. Ф. Иоффе открыл конференцию, которая началась 24 сентября 1937 г. в Москве. Его речь была опубликована: Изв. АН СССР. ОМЕЖ. Сер. физ., 1938, № 1/2, с. 8—11.