

НЕПРЕРЫВНОЕ И АТОМНОЕ СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ *

История вопроса о структуре вещества — одна из наиболее наглядных иллюстраций марксистской концепции науки. В настоящей статье я попытаюсь сопоставить моменты, характеризующие диалектический и исторический путь развития наших представлений о материи.

Что является прообразом материи: вода или песок? Так ставили вопрос греческие мыслители. Когда мы рассматриваем стекло, камень, металл, они представляются нам сплошь заполняющими занимаемый ими объем. Взаимная непроницаемость, однородность, сплошность — основные свойства той части пространства, которая занята материей. Непрерывность материи — исходный принцип миропонимания. На нем построен и математический анализ явлений природы — дифференциальное исчисление. Гидродинамика и теория упругости, развитые на протяжении XVIII и XIX вв., дали стройную теорию сплошности твердого и жидкого тела. По их образцу построена теория звуковых, световых и электромагнитных волн, теория электричества и магнетизма. К концу XIX в. физика материи и физика эфира представлялись как теории, описывающие непрерывно заполненное пространство, способное сжиматься в одних местах и расширяться в других, вызывая движение и взаимодействие отдельных своих частей. Идея непрерывности и эволюции нашла свое выражение в известном изречении: «Природа не знает скачков».

Оставались, однако, области, где упорно держались атомные представления, — это учение о газах и химия. Бернулли и Ломоносов еще в XVIII в. объяснили, исходя из представления о газе как о совокупности движущихся частиц, основные законы влияния давления и температуры на объем газа.

Действительно, в противоположность твердым телам газы обнаруживают величайшую взаимную проницаемость, делимость, непонятные в рамках представления о сплошности материи. Во второй половине XIX столетия

* Статья опубликована в кн.: Памяти Карла Маркса. М.; Л., 1933, с. 247—253, выпуск которой был приурочен к 50-летию со дня смерти К. Маркса.

кинетическая теория газов получила широкое развитие в трудах Максвелла и Больцмана, но она не оказала большого влияния на физику в целом. Здесь до такой степени господствовало упругое сплошное тело и феноменологическая энергетика, что наиболее последовательный представитель атомизма Больцман в припадке меланхолии повесился в 1906 г., когда его идеи были уже близки к победе.

Первая четверть XX столетия, наоборот, — эпоха безраздельного господства атомизма. Теория броуновского движения Эйнштейна в 1905 г. и ее блестящее подтверждение Перреном в 1907 г., открытие в 1895 г. рентгеновых лучей, привлекавшее внимание к прохождению электричества через разреженные газы за счет движения электронов и ионов, электролиз, радиоактивные лучи — все это дало столько доказательств атомной природы материи, что сомнений в ее зернистости не оставалось. Радиоактивное вещество испускает альфа-частички, каждую из которых мы можем отметить по вспышке, вызываемой ею при ударе о флюоресцирующий экран, по разряду, вызываемому в счетчике Гейгера, по тому следу из водяных капелек, который она оставляет, проходя сквозь пересыщенный водяными парами газ. Эти же альфа-частички, пройдя сквозь тонкое стекло запаянной трубки, создают в нем газ — гелий, который известен и в жидком и в твердом состоянии. Можно ли еще сомневаться в том, что этот гелий состоит из тех частичек-атомов, из которых он был получен, или что радиоактивное вещество заключает в себе те частички, которые выбрасывает? Все показания сходятся: более 20 способов определения числа атомов в теле приводят к совпадающим результатам — в 1 см^3 воздуха при нормальном давлении находятся $2.7 \cdot 10^{19}$ молекул.

В 1912 г. открытие Лауэ завершило окончательную победу атомизма. В типичном сплошном твердом теле — кристалле — рентгеновы лучи обнаружили периодическую атомную структуру. Мы не только знаем теперь, сколько атомов в теле, но и непосредственно видим их расположение. Итак, все тела состоят из атомов.

Но что такое атом? К тому времени, когда он завоевал себе признание, он потерял уже прежнее содержание: неделимого последнего элемента строения вещества. Из любого тела могут быть выделены электроны; радиоактивные

атомы испускают электроны и альфа-частички. И вот в 1912—1913 гг. ставится и разрешается новая проблема строения самого атома. Модель Резерфорда и Бора рисует атом как подобие Солнечной системы: положительное тяжелое ядро и вращающиеся вокруг него электроны. Мы знаем, какими зарядами они обладают, и знаем их массу, а это синоним энергии. Значит, можно определить степень концентрации заряда в электроне и в ядре, которая придала бы им тот запас энергии, который проявляется в их массе.

Электрон должен иметь размер порядка $2 \cdot 10^{-13}$ см, а ядра различных атомов — от 10^{-13} у водорода до 10^{-12} у более тяжелых элементов. Весь же атом в целом имеет размер около 10^{-8} см. Ядро и несколько десятков окружающих его электронов занимают лишь ничтожные участки объема, предоставленного атому, — 10^{-5} частей по размерам и 10^{-15} по объему. Итак, атом — пустота, в которой на громадных расстояниях движутся мелкие частицы. Чистый горный воздух гораздо больше заполнен твердыми частицами пыли, чем самое плотное тело веществом — ядрами и электронами.

Казалось, атомизм победил окончательно. Сплошность вытекала из грубости наших методов наблюдения природы. Более тонкие орудия измерения разбили сплошное тело на атомы, а атомы на электроны и протоны, связанные между собою лишь силовыми полями и динамическими взаимодействиями. Какой-нибудь синтез сплошности и прерывности, примирение этих двух концепций вещества казались невозможными, как раньше на основе теории Максвелла, казалось, окончательно утвердилась теория непрерывного электромагнитного поля. И все же за последние 5 лет волновая теория материи, квантовая механика пришли к действительному синтезу. Жесткие границы электрона-шарика исчезли: электрон, как и протон, расплылся в непрерывно сходящую на нет пульсирующую бесформенную массу. Резкая индивидуальность каждого электрона сменилась рассмотрением атомной системы или даже целого кристалла как целого. Проследить путь отдельного электрона, определить его принадлежность в данный момент к тому или другому атомному ядру невозможно. В молекуле валентные электроны сплошным облаком охватывают и связывают отдельные атомы. Пустоты, строго говоря, нет ни внутри тел, ни даже между телами. С одной стороны, это такая сплошность, о кото-

рой не мечтали ни во времена греков, ни в XIX в. С другой стороны, мы имеем атомную картину мира, простирающуюся в глубь атомного ядра.

То же противоречие сплошности и атомности определило историю учения о свете. Вопрос о том, исходит ли свет первично из глаза или из наблюдаемого предмета, сменился вопросом о строении светового луча. По Ньютону, это поток корпускул, выбрасываемых светящимся телом, по Гюйгенсу, — распространение упругих волн. Больше столетия авторитет Ньютона поддерживал атомистическую концепцию света. Открытия начала XIX в., казалось, окончательно уничтожили атомизм в учении о свете и свели его к поперечным волнам в эфире, а во второй половине XIX в. — к электромагнитным волнам в сплошной среде. Электромагнитная теория света Максвелла была полным триумфом волновой теории света — теории сплошности.

С самого начала XX в. стали, однако, вновь появляться признаки атомной структуры света. Их выдвинул тот же Эйнштейн в 1905 г. Одновременно со своей теорией относительности он лишил реального содержания мировой эфир как среду для распространения световых волн. И я пытался тогда создать теорию излучения, состоящего из отдельных квантов — фотонов.

Однако подобно тому, как волновая теория света не могла объяснить явлений испускания и поглощения (фотоэффекта, фотохимии, свечения), где проявляется атомность света, так и теория фотонов не в силах была охватить распространение света (интерференцию, дифракцию, дисперсию). Психологически положение было иным, чем в вопросе о структуре материи. Там была победа атомизма, здесь — неразрешимое противоречие противоположных свойств света. Глубочайшие мыслители, не привыкшие, однако, к диалектическому методу мышления, рассматривали это противоречие как тупик, как позорный провал науки. Создатель электронной теории Лоренц, формулируя безвыходность положения, мог только пожалеть, что он не умер раньше, чем оно выявилось во всей силе.

А между тем отчаявшийся Больцман проглядел уже подготовленную победу его идей. Он умер, когда уже развивалась теория квантов, а в 1905 г. было раскрыто молекулярное движение. В 1924 г., когда Лоренц считал теоретическую физику зашедшей в тупик, была представ-

лена диссертация де Бройля, формулировавшая волновую механику, а в следующем году Гейзенберг дал новую форму квантовой механики. Противоречие, обострившееся до пределов, привело к синтезу новой квантовой механики, где поглощение и испускание света определенными порциями не противоречит, а, наоборот, вытекает из периодического, волнового характера света.

Еще более замечательно, что противоречивые свойства света и противоречивые свойства вещества слились в одном общем синтезе. Одинаково были объяснены в этом новом понимании и движение тела, и луч света. Очень удачно, но далеко не случайно, что опыт вплотную подошел к теории и подкрепил ее. В дифракции электронов, протонов и тяжелых атомов мы наглядно видим волновую природу движения материи, а в космических лучах с такой наглядностью проявилась атомная теория света, что долго нельзя было даже найти критерий, чтобы отличить поток частичек от потока фотонов.

Едва достигнув этого синтеза, мы уже с его высоты видим новые противоречия и уже ищем пути к новому синтезу. Эти пути ведут нас к атомному ядру — центральной проблеме физики ближайших лет. Наряду с этим, предстоит еще громадная работа по освоению достигнутого синтеза, по использованию его для теории твердого и жидкого тела, для управления ходом химических процессов и т. п.

Оглядываясь назад, любопытно отметить, что электромагнитная теория света, которая в противоречии сплошности и атомности света представляла первую точку зрения, в свое время явилась синтезом, объединившим две существовавшие в то время противоположные теории света. Одна утверждала, что колебания в поляризованном луче света происходят в плоскости поляризации, другая считала, что колебания перпендикулярны к этой плоскости. Электромагнитная теория объединила эти, казалось бы, непримиримые противоречия. Колебания магнитного вектора лежат в плоскости поляризации, электрического — перпендикулярно к ней. Один вопрос был решен, встал новый.

Время Маркса было эпохой теорий непрерывности, время Ленина — периодом победы атомизма. Теория Маркса и Ленина, философия диалектического материализма, предвидела их неизбежный синтез, которого не могли видеть ни Больцман, ни Лоренц.

Не только дать цельную, лишенную противоречий картину уже известного, но и правильно предвидеть пути будущего — вернейший признак правильной теории. Этот признак для философии диалектического материализма целиком и полностью оправдывается на каждой новой ступени знания, на каждом новом этапе истории. В правильно подмеченные диалектические формы развития история вкладывает каждый раз новое содержание и новые черты. Только наполненная реальным содержанием в конкретных исторических условиях диалектическая трактовка дает теорию исторического процесса.

Другая еще более важная черта марксистской методологии — связь истории науки с социальными условиями, с развитием производительных сил. Какое отношение имеет тот или иной взгляд на строение материи и света к процессу техники? Ведь атомы, электроны и фотоны — это с точки зрения техники, имеющей дело с тоннами и киловаттами, комариная плешь, как выразился один из крупнейших русских инженеров-академиков.

Теория упругости и гидродинамика, ставшая основанием всех теорий сплошности, развились в стройную законченную систему под влиянием прямых запросов техники, постройки мостов, перекрытий зданий, гидравлических и оросительных сооружений. По многообразию отдельных приложений, по математическому аппарату эти области далеко обогнали в первой половине XIX в. все остальные отрасли физики. Появление движущихся и вращающихся машин не вызвало вначале серьезных сдвигов в учении о веществе. Та же теория упругости с добавкой сил инерции годилась не только для статических систем, на которых она создавалась, но и для сравнительно медленно движущихся машин. Если и были недочеты, то они покрывались излишком металла, большими, нелепыми с современной точки зрения запасами прочности. Машины, вычисленные по классической теории упругости и усиленные «на всякий случай» сверх расчета, работали.

В таком же положении были и материалы электротехники. Для невысоких напряжений в несколько сот вольт и сотни перемен направления тока в секунду не приходилось ставить высоких требований ни к изоляции, ни к железу электрических машин. Изолятор можно было рассматривать, по Максвеллу, как сплошное тело с определенной диэлектрической постоянной. Если и наблюда-

лись случаи, когда теория упругости или теория электромагнитного поля не оправдывали расчета, то они не привлекали внимания, их легко устраняли добавочной затратой материала. Они не делались источником углубленного научного исследования.

С начала XX в. положение резко изменилось. Появились быстро действующие машины, турбина Лаваля, делающая десятки тысяч оборотов в минуту вместо сотен, паровые турбины с громадными скоростями пара и вращения. Появилась авиация, которая поставила небывалые требования к экономии материала. Появилась радиотехника с искрой, дугой или электронными лампами как генераторами электромагнитной энергии и с числами колебаний, измеряемыми многими миллионами в секунду. Появились высоковольтные передачи, потребовавшие новой изоляции. Перед лицом этих новых требований старая физика и основанные на ней расчеты сопротивления материалов и электротехнических материалов оказались несостоятельными. После нескольких миллионов слабых ударов материал ломается, хотя он и способен был бы выдержать гораздо большие статические усилия, а при тысячах оборотов в минуту недолго и до миллиона ударов: через несколько дней хорошо рассчитанная по старым формулам деталь ломается от «усталости». Уже этот антропоморфный термин свидетельствует о несовершенстве физической теории. Здесь решающими являются не вычисленные по теории упругости усилия, а какие-то свойства структуры, которые вызывают «утомление». Этим свойствам не было места в рамках теории сплошности. Один из крупнейших специалистов в этой области, подводя в 1905 г. итог, признал, что приходится отказываться от всякой общей теории сопротивления материалов при быстрых и частых нагрузках, что приходится каждый кусок железа, используемый в машине, изучать отдельно. Очевидно, такое решение несовместимо с техникой массового производства. Понятен поэтому интерес, с которым техника отнеслась к атомной физике, раскрывшей механизм «утомления», «последствия», «пластичности», наклепа, разрушения. Изучение атомной структуры металлических кристаллов, механизма сдвигов и двойникования при течении материала, рентгеновских фотографий расположения (текстур) и строения кристалла, быстрое развитие учения о кристаллах в 20-х годах — результат требований техники.

С другой стороны, и электротехника потребовала более детального проникновения в механизм явления. Изоляция, которая прекрасно выдерживает большие напряжения постоянного или переменного тока, пробивается при ничтожных напряжениях на большой частоте. На первый план выступают потери. А их нельзя учесть, не разобравшись во вращении диполей, в переносе и скоплении ионов. Атомной теории диэлектриков, как и атомной теории механических деформаций, посвящены тысячи работ, сильно продвинувших саму атомную теорию. Нельзя не видеть здесь результата настоятельных потребностей техники.

Новый период синтеза сплошности и атомности также имеет свою техническую базу, которая настойчиво движет вперед науку о строении вещества. Это — производство пластических масс и изоляции, выдвигающее новую задачу изучения стекол, полимеризирующихся тел, коллоидов, аморфных масс. Химическая промышленность, искусственный шелк, удобрения, интенсификация сельского хозяйства могут быть созданы и построены лишь на базе новых идей химической физики, внесенных волновой механикой. Изготовление специальных сталей, легких сплавов, котлов высокого давления требует изучения не только кристаллических элементов металла, но и связывающих их прослоек, пограничных и поверхностных явлений. Автоматизация, телевидение выдвигают, наряду с металлами и изоляторами, новые материалы — полупроводники. Современная техника наполняет физику новым содержанием, новыми материалами, к изучению которых ее подводит новая квантовая механика.

Таким образом, ясно видно, что даже в таком, казалось бы, чисто теоретическом вопросе, как существование и строение атома, наука не идет своими путями раскрытия истины вне истории, техники и производственных отношений общества, в котором она развивается. Наоборот, отдельные этапы научного развития глубоко переплетаются с историей техники и не могут быть поняты вне этой истории. Темпы и направления развития новых идей самым очевидным образом определяются потребностями общества и техники. Электризацией трением перестали интересоваться с появлением гальванических элементов, а изучение элементов было заброшено, когда появились электродвигатели. С научной точки зрения вопросы эти **вовсе не** потеряли интереса: они и сейчас еще не разрешены и весьма актуальны. Но технике они не нужны, и

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.