

## НОВЫЕ ПУТИ НАУЧНОЙ МЫСЛИ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ \*

Физика в настоящее время переживает свой героический период; каждый год приносит целый поток новых фактов и идей, опережающих самые смелые наши ожидания.

Со стороны людям, интересующимся успехами физики, этот бурный период должен представляться полным внутренних противоречий. Здесь и такие открытия, как рентгеновы лучи и радиоактивность, непосредственное наблюдение атомов и электронов, теплового движения, расположения атомов в кристалле, приближающих физику к английскому типу конкретных моделей. А наряду с этим на немецкой почве вырастают статистическая термодинамика с чисто схоластической теорией квант и принцип относительности, который не только искажает пространство и время, но и лишает их самостоятельного существования и предлагает отказаться от геометрии Эвклида. Наконец, появляется модель атома Бора, которая сочетает в себе все эти элементы; модель, построенная по образцу Солнечной системы из электронов, но движущихся по законам относительности, и каким-то таинственным образом освобожденная теорией квантов от излучения. И эта модель, которая не есть даже модель, так как она заключает в себе элементы еще более абстрактные, чем те, которые должна объяснить, заполонила всю физику.

Всякий помнит физику XIX в. с ее непреложными и непрерывными законами природы, выражаемыми законами термодинамики и уравнениями Максвелла, с механической картиной мира, построенной на материи и эфире. И вот перед нами физика, в которой нет невозможного, а есть только более или менее вероятное, нет эфира. Раньше говорили — природа не знает скачков, теперь — все наоборот: и вещество, и электричество, и самая вероятность полны прерывностей.

И этот хаотический поток не остается в указанных ему берегах физики, он разливается широко по окрестности и грозит подорвать прочно заложенные здания соседних областей: у химии он отнимает устойчивость, непре-

\* Статья опубликована в сб.: Научно-технический вестник, 1921, т. 1, № 3, с. 1—3.

вращаемость элементов и предлагает новую модель атома, молекулы, валентности и т. д. У механики подрывает постоянство массы, параллелограмм скоростей. У кристаллографии разрушает идею элементарного кристаллического индивидуума и заменяет его атомными решетками. У геометрии оспаривает евклидово пространство и заменяет его иным, зависящим от тяготения. В гносеологии утверждением реальности атома и электрона нарушает добрый старый мир, заключенный на почве феноменологии и разрешения использования рабочих гипотез. Наконец, можно сказать, физика подрывает и основы самого здравого смысла теориями относительности и квантов.

Поэтому вопрос о том, что же происходит в физике и чем руководствуются физики, принимая новые странные теории и отбрасывая старые, столь прочно, казалось, основанные, — этот вопрос приобретает общий интерес для современной науки и, следовательно, неразрывно с ней связанной техники.

К сожалению, недостаток времени не позволяет мне исчерпывающим образом ответить на эти два вопроса и я принужден буду скорее назвать, чем излагать, важнейшие этапы научной мысли, противопоставляя новые взгляды прежним, а на вопрос о мотивах — дать самый тривиальный ответ, знакомый еще со времен Бэкона, а именно: «Опыт — это высший критерий, заставляющий принимать или отбрасывать теории».

Позвольте же проследить важнейшие этапы в развитии физики за 20 лет нашего столетия.

Первый этап — переход от термодинамики к статистике. Еще в 1873 г. Больцман дал статистическую теорию второго начала, но она, как и работа Карно, пролежала под спудом 30 лет, в стороне от хода научной мысли, увлеченной успехами классической термодинамики в теории растворов, физической химии, тепловой техники и т. д.

Потеряв надежду убедить в своей правоте, Больцман повесился в 1906 г., когда изучение броунова движения, а затем позднее электронов, вылетающих из металлов, радиоактивного распада с полной убедительностью доказало статистический характер второго начала. Все возможно, и все возможности действительно осуществляются, но только одних больше — они попадают на глаза, других меньше — их мы не встречаем. Вот простой смысл

второго начала, лишенный того мистического элемента целесообразности, который в нем сквозил.

Интерес переносится от суммарных законов термодинамики к элементарным явлениям, их обуславливающим. Отсюда следующий этап — победа атомизма.

Двадцать с лишним веков физика подходила к атому и наконец обнаружила его. Древний спор, начатый еще Демокритом, закончен. Вместе с атомом установлен электрон и намечен магнетон. Уже открыто строение кристалла. Мы накануне возможности получения объективного расположения атомов в молекуле и электронов в атоме. Уже намечены пути к проникновению и далее, в глубь атомного ядра, скрывающего его массу и химическую индивидуальность. Периодическая таблица Менделеева получила ясный и простой смысл.

Третий важный шаг — это переход от непрерывной статистики Больцмана к теории квантов Планка. Важнейший результат Больцмана — это закон равномерного распределения энергии по всем степеням свободы при тепловом равновесии. Этот закон натолкнулся на резкое противоречие в вопросе излучения. Лучистая энергия со своим бесконечным числом различных колебаний должна бы высосать всю энергию из материи, заключающей конечное число атомов, а между тем на опыте устанавливается вполне определенное равновесное излучение. Чтобы выйти из этого затруднения, Планк принял для вероятности прерывное строение, разбил все колебания по категориям, так что наиболее быстрые колебания оказались почти лишенными энергии. Этим было не только устранено противоречие, но и самый закон распределения энергии между различными колебаниями с поразительной точностью совпал с опытом. Сначала это был удачный математический трюк, но затем удалось показать, что свет действительно сообщает и получает от электронов как раз те порции энергии, которые были постулированы Планком.

Можно было думать, что здесь сказываются особые свойства эфира, но в 1907 г. Эйнштейн применил тот же принцип к тепловым колебаниям твердых тел и сразу предсказал найденное вслед затем школой Нернста исчезновение теплоемкости с приближением к абсолютному нулю. Стоило несколько точнее сформулировать мысль Эйнштейна, и выяснилось, что тепловое движение твердого тела — это его упругие колебания, вытекающие в свою очередь из свойственной ему кристаллической ре-

шетки. Оказалось, что упругие постоянные тела вполне определяют все его тепловые свойства, а вместе с тем и все его физико-химические свойства. Создалась упругостная теория тепла, объединяющая и объясняющая структуру, упругость, звук, теплоту и химическое средство тела, — теория не менее важная, хотя и менее известная, чем электромагнитная теория света.

Почин Эйнштейна был распространен и далее: куда ни вносились кванты, они сразу устраняли накопившиеся противоречия с опытом и правильно предсказывали новые законы. Кванты сделались каким-то философским камнем, а в то же время все попытки объяснить их терпели неудачу, смысл их и сейчас так же темен.

Наконец, в 1913 г. Бор ввел кванты как готовый рецепт в модель атома и сразу же объяснил не только спектр водорода и гелия, но и самые тонкие его детали. Рентгеновы спектры, хотя и не с точностью до 1%, но зато на всем протяжении периодической системы совпали с предсказаниями теории. И остальные спектры в гипотезе Д. С. Рождественского получили простое толкование. Ионизация, поглощение, радиоактивность с поразительной точностью подтверждают модель Бора. Точный расчет этой модели представляет еще большие трудности, но во всех областях физики она служит руководящей нитью научного исследования.

Учение об электричестве проделало за это время такую же эволюцию. Под влиянием открытия рентгеновых лучей и исследований кембриджской школы Д. Д. Томсона над ионизацией газов взор физиков, зачарованный картиной электромагнитного поля, принужден был обратиться к его источникам — электрическим зарядам. И здесь было установлено атомистическое строение электричества, доказано существование электрона — основного камня мироздания. Электронная теория, не разрушая уравнений Максвелла, дала им только иное толкование, но зато она лишила эфир его индивидуальности. Остался один универсальный эфир и универсальные в нем электроны. Электроны, оказалось, обладают основным признаком вещества — инерцией; такой же инерцией обладает и электромагнитная энергия. Отсюда не трудно было перейти и к утверждению, что и всякая иная инерция электромагнитного происхождения. Выяснив принципиальную невозможность свести электромагнетизм к законам механики, физика обернула задачу, и ей удалось

обосновать механику электродинамикой. От механической картины мира, которая представлялась идеалом в XIX в., мы перешли к электромагнитной картине, охватывающей все явления природы. В этой картине основной элемент прежнего мира — масса — получил совершенно второстепенный характер одной из производных, зависящих и от скорости, и от условий дифференцирования. Ее значение не больше теплоемкости в учении о теплоте.

Наконец, исчез последний оплот механического мировоззрения — эфир, когда выяснилось, что все тела, с одной стороны, не захватывают его в своем движении и в то же время не обнаруживают и своего перемещения относительно эфира. Лишившись всех своих конкретных свойств, эфир лишился и реальности в принципе относительности. Невозможность заметить движение тела по отношению к эфиру — факт, и притом один из наиболее твердо установленных фактов. Поэтому, вместо того чтобы придумывать ему объяснения, Эйнштейн и предложил исходить из него и приписать природе все те свойства, которые отсюда вытекают. При этом оказалось, что все наши привычки страдают самым жестоким образом, но ни в себе самом, ни в применении к другим явлениям этот принцип не приводит к противоречиям, наоборот, он с полной точностью выражает зависимость массы от скорости.

Наиболее изящное и адекватное выражение принципу относительности придал Минковский. Мнимое время, умноженное на скорость света, — совершенно эквивалентно любой координате пространства. Все наши явления протекают в этом четырехмерном и притом совершенно изотропном пространстве.

Этот частный принцип относительности справедлив только для одного вида движений — для равномерного и поступательного. Ускорение нельзя игнорировать. Мы его замечаем и приписываем тяготению, так как ведь в данном поле тяготения все тела обладают одинаковым ускорением. Инертная масса и масса тяготения совпадают. Мы можем поэтому с одинаковым правом говорить об ускорении или о тяготении. Подобное же рассуждение применимо и к центробежной силе. Если нет эфира, то чем может отличаться вращающаяся координатная система от неподвижной? По отношению к чему она вращается?

Оказалось, что все эти трудности устраняются, если четырехмерному пространству приписать особую геометрию, по которой квадрат элемента длины не равен сумме

квадратов составляющих, а равен некоей квадратичной форме, коэффициенты которой определяют поле тяготения.

Так в круг электродинамики было вовлечено и тяготение, со времен Ньютона оставшееся неразрешимой загадкой. И эта теория сразу устранила те недочеты, которые сохранялись в теории Ньютона, и предсказала искривление светового луча при прохождении мимо Солнца, обнаруженное, по-видимому, этой осенью.

Но зато этот обобщенный принцип относительности ставит нас перед альтернативой: либо признать, что привычные нам простые законы протекают в неевклидовом мире, либо допустить такое искажение всех тел и законов, которое приводит к тем же результатам.

Итак, я резюмирую важнейшие изменения: вместо законов термодинамики — игра случайностей; вместо непрерывности — атомы, электроны, магнетоны и кванты; вместо механики — электродинамика; вместо эфира — пространство, да еще неевклидово. Объединены новые области в упругостной теории тепла, в теории тяготения и в особенности в модели атома.

Отчего произошла эта революция в науке, имеющей ведь хорошие традиции? Быть может, покажется парадоксальным, а между тем довольно близко к истине, если я отвечу: оттого, что усовершенствовались методы наблюдений и техника эксперимента. Если раньше микроскоп ставил предел нашему любопытству в длине волны света  $10^{-5}$  см, то теперь рентгеновы лучи развинули этот предел до  $10^{-8}$  см. Если раньше скорость пули ( $10^5$  см/с) являлась пределом измеримых скоростей, то теперь для электронов этот предел почти дошел до скорости света. Если раньше мы измеряли время до  $10^{-4}$  с, то теперь электромагнитные колебания опускают этот предел до  $10^{-10}$  с; измерение массы с  $10^{-6}$  г дошло до  $10^{-13}$  г, а температура с  $80^\circ$  абс. — до  $1.1^\circ$  абс. Открылись новые области явлений, мы попали в мир новых масштабов, подобно Гулливеру, и неудивительно, что для них потребовались и новые теории. Ведь мы, в отличие от Свифта, не по фантазии и аналогии строим картины этих новых миров, а под строгим контролем опыта, и наши теории должны быть орудиями, которые позволят нам оперировать с реальными карликами и великанами, тогда как раньше оперировали себе подобными.

Поневоле произошел сдвиг и в психологии физиков. Мы перестали доверять так называемому здравому

смыслу, когда он заводил нас в тупик противоречий; но ведь часто мы называем здравым смыслом только концептированный опыт, накопленный в рамках прежних масштабов, а к новым масштабам наши представления применимы только путем экстраполяции; мы охотно готовы испытать всякую теорию, если она освещает нам путь и устрашает препятствия. Ведь и утверждения Коперника, Галилея и Колумба, как казалось современникам, противоречили здравому смыслу, тем не менее мы к ним привыкли. Мы надеемся привыкнуть и к новой геометрии, если она, как обещает, объяснит нам электродинамику и тяготение. От теории мы требуем правильного предсказания опыта и отсутствия внутренних логических противоречий. Мы верим, что наш мир и наша логика не прогиворечат друг другу, что объяснение природы возможно. И к счастью, надо сказать, что эта единственная наша вера не пострадала в круговороте новых идей и фактов.

Вот объяснение и оправдание происшедшего в физике переворота. Остается, однако, вопрос, как сочетаются столь разнородные элементы в одном мировоззрении и не потеряли ли мы цельной картины мира в беспринципной погопе за новыми теориями, руководствуясь принципом «успех оправдывает средства».

Нет, мне кажется, наоборот, современную картину следует признать более цельной. Раньше мы довольствовались теориями, обобщающими одну группу явлений, и сознательно закрывали глаза на другие. Так, рядом с термодинамикой существовала кинетическая теория газов, рядом с теорией Максвелла — явления электролиза и ионизации газов. Теперь мы требуем, чтобы вся совокупность известного охватывалась гипотезой, не допускаем ни одного противоречия. Мы готовы лучше примириться с неевклидовой геометрией, чем с ошибкой в 5-м знаке. И, в сущности, новые радикальные принципы на деле сводятся к поправке в этом знаке.

Правда, наряду с конкретными моделями, мы пользуемся и самыми абстрактными обобщениями, как например теорией квантов, но мы утешаем себя надеждой, что со временем, научившись применять кванты, научимся и понимать их. Кванты — это яйцо с сюрпризом: со временем мы узнаем его содержание, а пока вносим его в нашу картину как оно есть — в оболочке. Картина состоит из неравноценных элементов: одни части вскрыты до электрона, другие (ядро и кванты) существуют еще в запеча-

танном виде. И все же это части одного мировоззрения. Мистицизм и антропоморфизм изгнаны из своих прочнейших убежищ. В десятки тысяч раз раздвинутые рамки нашего опыта охватываются одной электромагнитной теорией, одинаково справедливой и в глубине атома, и на просторе Вселенной.

Мы не ставим заранее границ доступного нам мира, стремимся познать все существующее, как бы глубоки ни были его корни. Порвав с феноменологическим пессимизмом, предостережения которого провалились, современная физика полна веры в реальность мира и его доступность нашему анализу. И эта вера — лучшая предпосылка движения вперед. Пусть некоторые пути, проложенные последним десятилетием, и не приведут к цели, но на них обнаружено немало ценного и, бодро подымаясь по ним, можно будет рассмотреть и новые неведомые еще нам пути.

Физика не потому строит гипотезы, что она не знает гносеологии, а потому что выработанные ею гипотезы оказались плодотворнее сухой почвы скептицизма. Выше всего — опыт. И он оправдывает бодрый оптимизм современной физики.

## ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ «ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ» \*

Калифорнийский университет, пригласив меня для прочтения курса лекций, дал мне возможность привести в стройную систему результаты многочисленных исследований в области физики кристаллов, произведенных мною и моими сотрудниками за последние двадцать пять лет. Настоящая книга воспроизводит эти лекции. Рассматриваемая здесь область ограничивается упругими и электрическими свойствами твердых тел. Планируя этот материал, я пытался рассматривать все разнообразные вопросы, исходя из одной точки зрения, руководившей мною во всей моей работе в данной области. Обычно предполагалось, что твердое состояние вследствие крайней малости

\* Книга А. Ф. Иоффе «Физика кристаллов» опубликована на основе лекций, прочитанных им в Калифорнийском университете, издана в США в 1928 г., в СССР — в следующем году: *Иоффе А. Ф. Физика кристаллов. Л.: ГИЗ, 1929, 192 с.*