

териализма, идейная направленность, указания и деятельная помощь партии и правительства создают почву, на которой расцветают таланты, растут и множатся открытия и изобретения.

Такова советская наука, такова и советская физика.

За 30 лет она охватила весь диапазон от механики до ядерной физики почти без пробелов и вышла далеко за свои пределы в области химии, биологии, электротехники, теплотехники, агрономии, геофизики, изучения моря и геологии. По всему этому обширному фронту советские физики проложили новые пути, создали новые научные направления и научные школы, получившие признание во всем мире. Важнейшие из таких школ я попытался охарактеризовать в настоящем очерке. В эпоху Отечественной войны физики показали себя достойными сынами своей Родины.

Характерной чертой советской физики является тесная связь теории и практики, четкая марксистская методология, плановое развитие важнейших для народного хозяйства областей физики, коллективный характер научного творчества. Благоприятные условия, созданные эпохой бурного строительства социалистической индустрии и сельского хозяйства, привели к мощному росту нашей науки. Тысячи талантливых высококвалифицированных физиков выдвинули из своей среды рабочие и колхозное крестьянство. В десятки раз возрос объем и размах научного творчества; высоко поднят идейный его уровень по сравнению с дореволюционным прошлым. Из года в год Государственные премии не могут охватить всех достойных кандидатов, выдвигаемых страной.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ*

Обильный материал новых фактов привел к новым представлениям, характеризующим современную физику в отличие от классической физики XIX в.

Началом новой эпохи можно считать последние годы прошлого столетия. В 1895 г. были открыты рентгеновы

* «Методологические выводы» представляют собой часть VI книги: *Иоффе А. Ф. Основные представления современной физики.* Л.; М.: ГТТИ, 1949, 368 с. Печатаются с небольшими сокращениями.

лучи, а в 1898 г. — радий и полоний. В 1897 г. было получено опытное доказательство существования электрона. На самом пороге XX в. впервые выступили на сцену кванты, которые приобрели в 1905 г. физическое содержание в форме фотонов. В 1905 г. была сформулирована частная теория относительности, а в 1915 г. — общая теория относительности и тяготения. Теория броуновского теплового движения и ее опытная проверка создали в 1909 г. твердую основу статистической физики и опытом закрепили атомное строение вещества. В 1912 г. открытие интерференции рентгеновых лучей в кристаллах наглядно показало также атомное строение твердых тел и природу рентгеновых лучей. Спустя год модель атома Бора ввела нас в чудесную область квантовых свойств атома и осветила с новой стороны атомный мир и периодическую систему Менделеева. Дальнейшее развитие привело в 1925—1930 гг. к квантовой механике, охватившей всю совокупность наших физических знаний того времени. Но уже непосредственно вслед за ней факты ядерной физики вышли за пределы квантовой механики в еще более глубокие, неизведанные области релятивистских квантовых теорий и ядерных сил. На смену устоявшимся, сделавшимся привычными классическим представлениям и наглядным моделям пришла теория относительности и квантовая механика как теоретическая основа вновь открытого нового мира электронов и атомов. Исчезли модели — не только механические, но и заменившая их почти столь же наглядная электродинамическая картина явлений природы.

Физика перестала быть наглядной. Такое прочное положение, как постоянство массы, оказалось лишь частным случаем закона сохранения энергии. Установление одновременности двух событий, измерение длины и времени, как оказалось, зависят не только от изучаемого объекта, но и от движения его по отношению к наблюдателю. Понятия дискретной частицы, сосредоточенной на малом объеме и размытой по всему пространству волны, сочетались в квантовой механике вопреки нашим прежним представлениям, опиравшимся на многочисленные наблюдения над полетом снарядов и динамикой машин, с одной стороны, над радиоволнами, светом и звуком — с другой.

Корни новых понятий легко найти в новых фактах, но их нет в представлениях классической физики. И это,

по моему мнению, одно из убедительных доказательств реального существования внешнего мира вне нашего сознания.

На примере физики XX в. мы ясно видим, что не внешний мир строится нами так, как нам удобно или привычно его себе представлять, а наоборот, наши идеи направляются под влиянием фактов реальной действительности. Иногда приходится коренным образом перестраивать привычные представления. Мы тогда говорим, что наше знание потеряло наглядность. И эта ситуация повторяется закономерно на всем протяжении истории науки.

Когда Коперник заменил «наглядное» движение Солнца по небесному своду вращением Земли вокруг Солнца и собственной оси, когда по шаровидной Земле антиподы стали ходить вниз головами — геофизика потеряла для современников наглядность, хотя сейчас эти представления кажутся очевидными.

Когда Ньютон создал систему механики и ввел мировое тяготение — это был переворот во всех привычных представлениях об окружающем мире. Вместо разрозненных наблюдений появились объединяющие их уравнения механики, которые казались абстрактными формулами.

Столь же мало «наглядной», математичной казалась современникам энтропия второго начала термодинамики, пока ее смысл не вскрыла статистическая физика.

И совсем уже подобно современным упрекам квантовой механике звучали высказывания о теории электромагнитных явлений Максвелла. Автор электронной теории Лоренц рассказал мне, что, познакомившись впервые с уравнениями Максвелла, он не мог понять их физического смысла и обратился за разъяснениями к переводчику сочинений Максвелла. Но и этот подтвердил, что никакого физического смысла эти уравнения не имеют, понять их нельзя; их следует рассматривать как чисто математическую абстракцию. Больцман в эпиграфе к первому тому своего блестящего изложения теории Максвелла привел слова Фауста: «Я должен научить вас тому, чего сам не знаю».

Таким образом, как правило, накопление новых фактов на известном этапе отвергает привычные взгляды и заставляет заменить их иными представлениями, которые лучше отображают новые знания о внешнем мире.

Эти исторические факты подрывают всякую почву у идеалистической философии и приводят нас непосредственно к материализму. Никогда еще они не проявлялись с такой очевидностью, как в наш век теории относительности и квантовой механики.

Другим столь же убедительным доводом в пользу материализма может служить судьба наиболее признанных физических теорий. Механика Ньютона, оптика Френеля, электродинамика Максвелла охватывали каждая в своей области обширный опытный материал, принявший законченную математическую форму, и казались завершением этой области. Планк рассказывал, что профессор Жоли, которому он в начале своей деятельности сообщил о желании заняться теоретической физикой, убеждал его отказаться от этой мысли, так как «теоретическая физика уже закончила свою задачу, сведя ее к дифференциальным уравнениям. Теоретикам остается лишь решение их в отдельных частных случаях». И это было в 80-х годах прошлого столетия, перед началом бурного периода перестройки физики! Такие же утверждения о конце теоретической физики раздавались после формулировки законов квантовой механики. Снова многим казалось, что дальнейший путь науки — лишь применение теории к конкретным случаям.

И все же каждый раз, когда научное знание в данной области принимало законченную форму теории, опыт и наблюдение вне нас существующего мира обнаруживали новые факты, которые никак не укладывались в рамки теории, а наоборот, явно ей противоречили. Под давлением новых фактов вырастала новая теория.

Механика Ньютона лишь как предельный случай вошла в теорию относительности. Оптика Френеля была заменена сначала электромагнитной теорией света, а потом с ней сочеталась чуждая ей идея фотонов. За электрической картиной физического мира последовали нейтроны и ядерные силы; за квантовой механикой — проблема ядерных взаимодействий и элементарных частиц.

Плавное развитие идей сменяется эпохой нарастающих противоречий и их синтезом на основе новых фактов и в форме иногда совершенно неожиданных новых идей.

Здесь мы видим уже не только материалистическую основу, но и диалектическую форму развития наших знаний о природе.

Неожиданный результат опыта Майкельсона и других аналогичных опытов заставил заменить устоявшуюся систему механики теорией относительности. В свойствах реального мира открылась новая сторона, которую и должна была отобразить теория.

Волновая теория света, владевшая в течение 150 лет умами физиков и блестяще подтвержденная явлениями интерференции, диффракции и поляризации, наткнулась в XX в. на несовместимые с ней свойства фотоэффекта и на неожиданные особенности спектрального состава теплового излучения.

Ни одному оптику не могла прийти в голову мысль, что энергия, получаемая электроном от поглощенного им света, совершенно не зависит от интенсивности света и определяется целиком его частотой. И тем не менее опыт дал именно этот неожиданный результат. Идеи пришлось радикально перестроить, чтобы привести их в согласие с фактами.

Внимательный анализ истории физики не оставляет сомнений в том, что развитие науки о природе идет по пути все лучшего отображения реального мира. Его свойства, конечно, не зависят ни от наших ожиданий, ни от стройности существующих теорий. Многогранность же явлений природы настолько велика, что самые совершенные теории не могут охватить описываемый процесс во всей его полноте и раньше или позже наталкиваются на проявления неучтенных новых сторон явления. Для марксиста проявление неполноты всякой теории — неизбежный этап развития наших знаний. Для человека, незнакомого с диалектикой, каждое противоречие — катастрофа.

Противоречия между классической электродинамикой и стационарными уровнями движущихся в атоме электронов воспринимались таким крупным мыслителем, как Лоренц, как показатель потери наукой логической стройности. Что же на «самом деле» — излучает ли электрон при криволинейном движении, как того требуют законы электродинамики, или, двигаясь по квантовым орбитам, не излучает, как утверждает модель атома Бора? Если оба утверждения справедливы, значит, нет науки как познания истины. Так говорил Лоренц, когда, излагая блестящий путь своей научной деятельности, он дошел до последнего периода — обострения противоречий между созданной им электронной теорией и квантовой теорией атома. Не видя выхода, он мог только выразить сожаление

ние, что не умер 5 годами раньше, когда этих противоречий не было.

Эта беседа происходила в 1924 г. Но за 20 лет до этого так же стоял вопрос о том, движется или стоит световой эфир: по Физо, он стоял, по Майкельсону, двигался вместе с телом. Этот конфликт разрешила теория относительности.

Еще раньше казалось неразрешимым противоречие между принципами статистики и составом лучистой энергии. И это противоречие исчезло в квантовой статистике.

Не прошло и трех лет после пессимистических слов Лоренца, как новая квантовая механика дала синтез тех противоречий, которые казались ему неразрешимыми.

Ланкевенг, излагая в 1933 г. перед обширной аудиторией международного съезда историю исследования атомного ядра, сказал: «Хотите вы этого или не хотите, нет другого пути к пониманию ядра, кроме диалектического материализма».

И действительно, на примере современной физики мы особенно отчетливо видим, как развитый Лениным научный метод марксистской диалектики освещает и пройденный путь и предстоящие перспективы.

Синтез противоположностей как неизбежный и снова повторяющийся этап в развитии наших идей — типичная черта материалистической диалектики. Сочетания в единый образ таких сторон явления, которые сначала представлялись противоречивыми, а иногда и взаимно исключаящими друг друга, могут принимать различные формы. Здесь нет готового шаблона. Поэтому интересно подробнее рассмотреть различные стороны синтеза, внесенного в физику квантовой механикой.

1. Противоположность атомизма и сплошности. Техника строительства зданий и гидротехнических сооружений, построенная на теории упругости и гидравлике, вызвала к жизни физические модели со свойствами, заимствованными из опытов с твердыми и жидкими телами; тогда господствовали представления о сплошности и непрерывности. Так родились идеи теплорода, электрической и магнитной жидкости, упругого светового эфира.

Появившиеся позже паровые и газовые двигатели, потом электротехника и радиотехника направили внимание на кинетическую теорию газов, атомы и электроны как

основу наглядных моделей, воспроизводящих механизм физических процессов. Развитие этих представлений привело к атомизму в его крайней форме — к картине маленьких шариков (электронов и атомных ядер), движущихся в пустом пространстве. Шарики имели размеры порядка 10^{-13} см, а расстояния между ними составляли $10^{-8} - 10^{-9}$ см.

Квантовая механика сохранила электроны и ядра, но их волновые картины заполнили сплошь весь объем тела. Если изучать волновые свойства движения электронов, то тело нам представится как среда, заполненная электрическим зарядом, переменным во времени и пространстве. Электрическое поле зарядов заполняет все пространство как внутри атома, так и междуатомные промежутки. Но мы располагаем и такими приборами, которые отмечают отдельные электроны и ядра. Такие приборы показывают, что размеры ядра в десятки тысяч раз меньше атома, что почти весь объем атома прозрачен для быстрых частиц, что ядра и электроны можно выделить из атома и наблюдать их пути как движение индивидуальных частиц. Электрическое поле и среднее распределение заряда в теле дают картину сплошности, изучение зарядов приводит к атомизму, сам же объект сочетает в себе обе стороны.

Когда мы наблюдаем пути частиц в камере Вильсона или в фотографическом слое, мы не сомневаемся, что движется частица вещества. Когда же мы изучаем интерференцию тех же частиц в кристалле, мы склонны приписать ее волновому явлению. Эти волны, охватывающие весь кристалл, определяют вероятность обнаружения индивидуальной частицы в том или ином месте сплошной волновой картины.

2. Непроницаемость или взаимное проникновение. Все учебники физики XIX в. определяли взаимную непроницаемость как основное свойство вещества. Это положение получило более ограниченный смысл, когда было установлено, что диффузия — взаимное перемешивание атомов и молекул — одно из наиболее общих явлений не только в газах и жидкостях, но и в твердых телах.

Квантовая механика идет дальше, сливая волновые функции отдельных атомов и электронов так, что нельзя даже различить каждый электрон в отдельности. Прибор,

с помощью которого можно обнаружить частицы, всегда позволяет выделить из этой картины целые частицы, но в одном и том же месте может оказаться либо одна, либо другая из частиц, участвующих в общей волновой картине. В то же время одно твердое тело, состоящее из тех же зарядов, при столкновении с другим отбрасывает его назад или в сторону как сплошная непроницаемая масса.

3. **Индивидуальный электрон или коллективный заряд.** Квантовая механика рассматривает совокупность электронов в металле как один коллектив, в котором свойства каждого электрона определяются присутствием остальных членов коллектива. Во всем теле не может быть, например, двух электронов, занимающих одинаковое квантовое состояние. В металле нельзя выделить отдельные электроны и проследить за их движением как за отдельными дискретными частицами.

С другой стороны, когда под действием света (фотоэффекта) или высокой температуры (теплового испускания) заряды выходят за пределы кристаллической решетки металла, они покидают его в виде отдельных электронов с зарядом $4.8 \cdot 10^{-10}$ абс. ед. и массой $9.1 \cdot 10^{-28}$ г. Когда нам удастся построить опыт так, чтобы в определенном участке твердого тела создать свободный заряд (внутренний фотоэффект), то и здесь этим зарядом оказывается тот же электрон. Таким образом, не только вне, но и внутри тела можно заметить электроны, хотя все они в других опытах представляются как единый сплошной коллектив, который нельзя рассматривать как сумму независимых электронов.

4. **Фотоны или электромагнитные волны.** Синтез частицы и волны в световых явлениях обладает тем своеобразием, что каждую из этих двух сторон мы воспринимаем дополняющим приемом. Мы не обладаем экспериментальными методами для того, чтобы одновременно охватить обе характеристики светового луча, как нельзя сразу видеть лицо и затылок человека, хотя мы не сомневаемся, что и лицо и затылок — неотделимые части одной головы. С помощью фотоэффекта мы легко можем заметить место поглощения или испускания фотона и определить его энергию; с помощью узких отверстий можно установить координаты луча света, но при этом мы в такой же мере теряем возможность узнать импульс фотона и его волновые свойства.

Оптическими приборами удается наблюдать тончайшие явления интерференции и дифракции света и направление его распространения, но мы не можем сказать с определенностью, в каком месте световой волны будет обнаружен данный фотон. Пытаясь обнаружить фотоны, мы забываем волновую сторону света и наоборот.

Напомним два опыта, сопоставление которых с особенной остротой показывает кажущееся противоречие волновых и корпускулярных свойств. Оба опыта относятся к той же области рентгеновых лучей.

Первый из них — интерференция рентгеновых лучей при прохождении их сквозь кристаллы. Рассеиваясь от атомов, расположенных в ряде лежащих друг за другом кристаллографических плоскостей, лучи собираются в узкие пучки, которые дают на фотографической пластинке систему симметрично расположенных пятен.

По резкости ограничения пятен необходимо заключить, что в рассеянии участвуют тысячи атомов в каждом слое и тысячи слоев. Следовательно, электромагнитная волна, созданная ударом электрона об антикатод рентгеновской трубки и распространяющаяся от него в виде шаровой волны, охватывает миллионы атомов кристаллической решетки. Так представляли себе распространение света в течение 150 лет.

Сопоставим с этой привычной картиной волновой теории света опыт, произведенный в 1924 г. мной и Н. И. Добронравовым.

Катод маленькой рентгеновой трубки (размером всего 8 мм) имеет форму острия и освещается слабым ультрафиолетовым светом. Примерно 1000 раз в секунду с острия срывается электрон и с энергией в 10 000 эВ ударяет в антикатод, создавая здесь кратковременный импульс рентгеновых лучей. К тому моменту, когда на антикатод попадает следующий электрон, импульс от предыдущего уйдет уже на сотни-тысячи километров. Не может быть поэтому и речи о том, чтобы складывалось действие многих импульсов.

Вблизи рентгеновой трубки в электрическом поле конденсатора была взвешена крупинка висмута размером около одного микрона. Раз в несколько часов можно было наблюдать, что под влиянием проходящих сквозь нее рентгеновых лучей крупинка вдруг срывалась с места и начинала двигаться, что указывало на потерю ею одного электрона. Из других опытов было известно, что вышед-

ший из крупинки электрон должен был получить энергию порядка 10 000 эВ, затраченную тем электроном, остановка которого создала рентгеновы лучи на антикатоде трубки.

Таким образом, вся энергия, затраченная на создание электромагнитного импульса рентгеновых лучей в трубке, целиком отдана вылетевшему из крупинки электрону. Из закона сохранения энергии следует, что нигде больше в пределах данного импульса энергии нет, что каждый единичный импульс создает только один фотон. А между тем крупинка захватывает меньше одной миллионной части всего телесного угла, в котором распространялась, по нашим волновым представлениям, электромагнитная волна, вышедшая из антикатада.

С точки зрения электромагнитной теории света, такой результат непонятен. Что же представляет собой та часть волны, которая распространяется в других направлениях, если она не обладает энергией? Каким образом поглощение энергии одним электроном в крупинке мешает проявлению энергии электромагнитного поля рентгеновых лучей в противоположном от крупинки направлении?

Этот второй опыт приводит как будто к неизбежному выводу, что энергия каждого импульса сосредоточена в фотоне, вылетающем из антикатада каждый раз в одном каком-нибудь направлении. Тот из фотонов, который проходит через крупинку, может передать одному из ее электронов свою энергию. Остальные фотоны несут свою энергию в других направлениях. Понятие о непрерывной электромагнитной волне с ее электрическим и магнитным полем в каждом элементе охватываемой ею части пространства оказывается непригодным для описания отдельного импульса.

Однако, приписав свету такую корпускулярную структуру, мы становимся в тупик перед результатами первого опыта: электромагнитная волна должна охватить миллионы атомов, частично рассеиваясь от каждого из них, чтобы в результате сложения всех рассеянных волн вызвать наблюдаемую на опыте рентгенограмму.

Оба опыта, казалось бы, взаимно исключают друг друга и тем не менее оба отражают разные стороны того же явления — распространения света.

Квантовая механика, определяя вероятность передачи энергии фотоном в данном месте, одинаково правильно предсказывает результаты как первого, так и второго опы-

тов. Ее предсказания приобретают тем большую определенность, чем большее число элементарных актов участвует в данном явлении.

Фотоны и электромагнитные волны неразделимы в свете, но обнаруживаются разными способами. В этом отличительная черта того синтеза, к которому привела квантовая механика.

Хорошо известен закон диалектического материализма о появлении в результате постепенных количественных изменений на определенном их этапе новых качественных сдвигов.

Физика XX в. дает особенно богатый материал для подтверждения этого положения, принимающего разные формы в зависимости от рассматриваемой области явлений.

1. Теория относительности показала, что масса тела, остающаяся практически неизменной при небольших скоростях движения, начинает расти, когда скорость его приближается к скорости света. Масса электрона уже заметно изменяется, когда кинетическая энергия достигает нескольких десятков тысяч электронвольт, удваивается при 0.5 млн эВ и увеличивается в 200 раз при энергиях в 100 млн эВ, создаваемых бетатроном. Пока скорости малы, увеличение кинетической энергии проявляется в росте скорости при почти постоянной массе, вблизи скорости света — в росте массы при почти постоянной скорости.

2. Взаимодействие атомов и их столкновения при энергиях в несколько электронвольт приводят только к изменениям их скорости и к ряду физико-химических процессов, но сохраняют неизменным атомное ядро, а следовательно, и индивидуальность химических элементов. Это утверждение остается еще справедливым при энергиях в тысячи электронвольт. Но уже при столкновениях с протонами, обладающими энергиями в десятки тысяч электронвольт, начинают обнаруживаться изменения в атомных ядрах; одни элементы начинают переходить в другие. С достижением определенного предела величины кинетической энергии атомные процессы переходят в качественно от них отличные ядерные превращения.

3. Взаимодействие фотонов и электронов с атомами приводит к возбуждению, т. е. переходу электронов в квантовые состояния с более высокой энергией, или к отрыву электрона от атома. Мы наблюдаем поглощение

или испускание света или рентгеновых лучей, или, наконец, ионизацию атомов. Однако с того момента, когда энергия фотона или электрона превысит $1.02 \cdot 10^6$ эВ, т. е. энергию двойной массы электрона, начинают появляться новые неведомые до тех пор частицы — позитроны: вблизи ядер фотоны образуют пары электрон—позитрон.

4. Своеобразно соотношение между закономерностями молекулярной статистики, наглядно проявляющимися в броуновском молекулярном движении, при котором частицы постоянно меняют направление своего движения самым неожиданным образом, и вытекающими из них (при большом числе участвующих в статистике частиц) однозначными законами термодинамики. Казалось бы, трудно назвать более противоположные свойства, чем полная хаотичность движения крупинок в жидкости или тепловое движение в газе, где каждая молекула с одинаковой вероятностью может оказаться в любом участке пространства и двигаться в любом направлении, с одной стороны, и общий закон роста энтропии замкнутой системы, с другой стороны. А между тем разница здесь только количественная: хаотичное движение молекул и мелких частиц управляется теми же законами статистики, которые для крупных тел приводят к формулам термодинамики.

5. Статистические законы принимают различный вид в зависимости от количественного значения определенных величин, например температуры. В то время как при низких температурах, как утверждает квантовая статистика, только немногие степени свободы с минимальными частотами участвуют в тепловом движении, та же статистика приводит к равномерному распределению энергии по всем степеням свободы при высоких температурах.

Такой же переход от распределения энергии между немногими к равномерному распределению между всеми степенями свободы происходит при уменьшении числа электронов в единице объема. При большой их плотности и невысокой температуре тепловой энергией обмениваются лишь немногие из них, при малой плотности — все.

6. Наконец, вспомним проявление волновых свойств движения при уменьшении размеров до величин порядка длины волны; о прохождении в этих условиях энергетических барьеров, превышающих энергию частиц, о невозможности тогда однозначно предсказать их движение и

о всем комплексе явлений квантовой механики, само существование которых мы и не подозревали, пока имели дело только с крупными объектами. Переход от макромира приводит к новым, квантовым законам.

В каждом из перечисленных случаев новые качественные свойства иногда постепенно, а иногда, наоборот, скачком проявляются при непрерывном изменении одной из величин: скорости, энергии, плотности частиц, температуры, геометрических размеров.

Иногда на одном конце количественной шкалы мы находим классические законы, которые теперь становятся частными законами для предельных случаев (постоянство массы при малых скоростях), на другом же конце иные законы (беспредельный рост массы с приближением к скорости света); первые часто противоречат вторым; обнаруживаются и совершенно неожиданные факты (позитрон, расщепление ядра, волновые свойства движения) при переходе через определенные количественные границы. Все это различные конкретные формы диалектического закона перехода количества в качество.

Диалектический материализм рассматривает науку как процесс все более совершенного отображения реального внешнего мира.

И действительно, даже тогда, когда, факты опровергают созданные в результате длительного развития взгляды, новые теории, сменяя старые, не отвергают их, а наоборот, обобщают, охватывая новую область, переходя к синтезу там, где новые факты противоречат старым представлениям.

Так, закон сохранения массы, соединившись с законом сохранения энергии, лишь еще далее его обобщил.

Так, общая теория относительности охватила классическую механику и законы всемирного тяготения.

Так, наконец, квантовая механика объединила в одной широчайшей картине частицы и волны.

На каждом новом этапе теория охватывает все новые стороны явлений природы, никогда не теряя уже достигнутых высот знания, но постоянно поднимаясь и расширяя горизонты науки. Этот путь вперед и вверх не может, однако, рассматриваться как однообразное плавное движение. Периоды накопления фактов и их обобщений сменяются эпохами, когда открываются неизвестные ранее стороны внешнего мира, не укладывающиеся в прежние

рамки. Такие эпохи завершаются подъемом науки на новый уровень, устраняющий возникшие трудности.

В этой смене представлений и в росте наших знаний выделяются более общие законы природы, сохранившие свое значение на дальнейших этапах. Таковы I, II и III пачала термодинамики, закон сохранения электрического заряда, принцип относительности и постоянство скорости света, дискретность изменения количества действия. Если в пределах этого опыта, который охватывается этими общими законами природы, будет обнаружено противоречие с одним из них, мы ищем и всегда находим ошибку в предлагаемой теории.

На первый взгляд может показаться, что общие законы заранее ограничивают многообразие явлений природы. Но это, разумеется, не так. Эти законы не навязаны нам на основе априорных идей, а извлечены из наблюдений над свойствами реального мира на основе всего уже накопленного человечеством опыта.

Рамки общих законов несколько поэтому не противостоят возможности беспредельно улучшать научное знание, приближая его к полному познанию реальной действительности. Они часто предупреждали возможные ошибки при построении новых теорий.

Такая роль общих законов особенно наглядна, когда они высказываются в виде положений о принципиальной невозможности построения вечного двигателя I и II рода, о недостижимости абсолютного нуля конечным процессом, о невозможности заметить абсолютное перемещение в пространстве, о принципиальной невозможности одновременного измерения точного значения положения и импульса или энергии и времени так, чтобы произведение неопределенностей в их измерении было меньше квантовой постоянной h . Наряду с этим, общие законы физики играют активную роль в прогрессивном развитии науки и техники.

Общие законы природы являются наглядными выразителями взаимосвязи различных по форме явлений природы.

На первых этапах познания природы мы распределяем разрозненные наблюдения в отдельные не связанные между собою области, группируя их обычно в зависимости от того, как мы их воспринимаем. Появляются: механика, теория тяготения, гидродинамика, теория упругости твердых тел, учение о газах, теплота, акустика, электриче-

ство, магнетизм, оптика — каждая область со своими законами. Каждая из этих областей физики отделена от остальных резкими границами, которые, однако, при дальнейшем развитии знания начинают стираться. Учения о газах, о жидкостях и о твердых телах сливаются в молекулярную физику; объединяются упругость с акустикой; электричество и магнетизм в 20—30-х годах XIX в. образуют одну систему электродинамики, в которую через несколько десятков лет вливается оптика, а к концу столетия из нее вырастает радиотехника.

В XX в. происходит дальнейшее объединение физических теорий. Все перечисленные явления природы вместе с химией сводятся к электрическим процессам, за пределами которых остается еще тяготение. Но вновь вырастает область ядерных сил, связь которых с электричеством пока установить не удалось.

В настоящее время мы различаем поэтому только три вида сил: электрические, ядерные и силы тяготения. Но нет никаких оснований считать эту классификацию окончательной. Наоборот, можно ожидать, что развитие ядерной физики приведет не только к появлению неизвестных еще сил природы, но и к дальнейшему объединению известных уже на данном этапе проявлений этих сил, а среди набора элементарных частиц, с которыми связан каждый вид сил, будут установлены определенные связи.

Новая физика привела к более углубленному анализу многих понятий, которые раньше принимались на веру, и, прежде всего, основного понятия о том, что такое измерение. Часто физику называли измерительной наукой, но измерение рассматривали абстрактно, не учитывая результатов опыта, а иногда и не думая о том, как можно было бы измерить интересующую нас величину.

Поставив реально вопрос об измерении длин и промежутков времени в быстро движущейся системе, мы сразу обнаруживаем невозможность измерить эти величины с одинаковым результатом для различных движущихся относительно друг друга наблюдателей. Мы убеждаемся, что в некоторых случаях нельзя даже одинаково ответить на вопрос о том, какое из двух событий произошло раньше, если мы не знаем движения системы, в которой произошли эти события. Правда, это не может ни для одного из наблюдателей изменить последовательности двух событий, связанных между собой, как причина и след-

ствие, так как любая связь между ними не может осуществляться скорее, чем со скоростью света.

Мы считали, что точность любого измерения может беспредельно расти с повышением техники эксперимента, и это верно; но в то же время мы узнали, что свойства реальных объектов атомного мира таковы, что нельзя одновременно с полной точностью измерить их координаты и импульс или энергию и время, а только их произведения в пределах целых значений элементарного количества действия h . Мы можем даже количественно оценить пределы точности, с которой можно характеризовать движение двумя дополняющими друг друга величинами.

Мы думали, что можем описать путь электрона и его скорость внутри атома или молекулы, что можно проследить после столкновения, куда пошла каждая из столкнувшихся частичек, но узнали, что не может быть четких орбит при волновом характере движения, что нельзя проследить за движением отдельных частиц, если их волновые картины при сближении сливаются, так как в это время происходит постоянный обмен электронами.

Одна из важнейших задач теории и признак ее успешности — это умение правильно предсказать дальнейший ход событий. Казалось бы, здесь не должно быть неясности.

И все же наше априорное убеждение, что всегда можно дать однозначный ответ на вопрос о том, как будут изменяться координаты и импульсы частичек, составляющих данную систему, не выдержало критики.

Мы мирились с этим, пока считали, что только большая сложность реальных тел, недостаточность наших современных измерительных приборов и методов математического анализа заставляют прибегать к теории вероятности вместо однозначного указания, где, когда и с какими скоростями окажется каждая индивидуальная частица тела.

Мы считали, что еще не умеем дать такой ответ, но когда-нибудь научимся. А теперь мы должны сказать, что наши сведения о свойствах реальных атомов и электронов показывают, что выделить каждый из них в отдельности невозможно, различить их места и скорости можно только в определенных пределах, зависящих от волновых свойств движения. Желательный однозначный ответ мы ждали от не существующей в действительности абстракции материальных точек и их траекторий, которой мы подменяли

реальный мир. Мы отказываемся от такого ответа не от неполноты наших знаний, которые, наоборот, сейчас гораздо полнее и ближе к действительности, чем во времена классической физики. Наша ошибка заключалась в том, что, не зная атомного мира, мы произвольно, чисто механически перенесли на него опыт, полученный из исследований, проведенных на астрономических и лабораторных объектах. Эта экстраполяция и привела классическую физику к постановке неразрешимой в действительности задачи. Ее не может разрешить и квантовая механика, и понятно почему.

Достаточно поставить вопрос: в какой именно точке пространства находится проходящая мимо нас волна, чтобы убедиться, что не на всякий вопрос можно дать ответ. Нельзя, например, упрекать в незнании зоологии человека, который не может ответить на вопрос о том, каков механизм полета ужа. Уж вообще летать не может.

Только на основе творческого марксистского метода, рассматривающего явления природы в их взаимосвязи и диалектически сочетающего ее противоположности, можно правильно поставить вопрос о взаимодействии физического прибора, через который мы познаем наиболее тонкие черты внешнего мира, с явлениями этого мира. Квантовая механика показывает, что самый акт измерения вносит изменения в измеряемый объект, что явление, позволяющее определить одну сторону процесса, например обнаружить отдельные частицы, непригодно для наблюдения их волновых свойств и, наоборот, явления, дающие возможность изучать волновые стороны процесса, не обнаруживают частиц в этих волнах; однако свойства их не зависят от прибора.

Многообразие природы безгранично. Поэтому мы не ожидаем на каждом данном этапе знания явления во всей его полноте; по мере расширения нашего опыта мы узнаем все новые его стороны, непрерывно приближаясь к познанию истинного реального мира, но как бы далеко ни ушла вперед наука о природе, сколько бы мы ни узнавали, мы никогда не исчерпаем ее свойств до конца, никогда не завершим прогресса науки.

Беспредельно богатство природы, но беспредельны и пути его познания. С каждым завоеванным участком мы лучше узнаем его и находим новые возможности еще более глубокого проникновения в тайны природы. Здесь также нет предела. Нас не может остановить ограничен-

ность наших органов чувств. Ни одно из них в отдельности не дает исчерпывающего знания какого-либо предмета. Но все, что хотя бы частично или при посредстве приборов воздействует на наши органы чувств, может быть изучено и понято.

Мы имеем счетчики, отмечающие каждую отдельную альфа-частицу, каждый электрон или фотон. Мы имеем оптические и электронные микроскопы; последние дают возможность различать отдельные крупные молекулы. Мы имеем радиоусилители, позволяющие заметить отражение радиоволн от далекой Луны. Все эти приборы далеко расширяют пределы наших органов чувств, хотя последние также обладают чрезвычайно большой чувствительностью. С. И. Вавилов показал, например, что глазом можно замерить флюктуации потока фотонов в световом луче.

Каждый из приборов в отдельности дает ограниченные сведения о внешнем мире, иногда отдаленно связанные с изучаемым явлением. Однако серия приборов, приспособленных для измерения различных сторон явления, в своей совокупности может дать достаточно данных для такого описания явления, которое соответствует уровню наших знаний.

Не обладая чувством восприятия электричества, мы изучили его свойства и поставили на службу технике. Мы узнали микромир атомов и электронов, хотя не можем их видеть или осязать в отдельности. Углубляясь в недра вещества, мы узнали молекулярное строение газов, атомное строение вещества, атмосферу атомных электронов, окружающих ядро, и само ядро с его нуклонами. Уже видны контуры следующего этапа, который вскроет свойства или даже строение нуклонов, откроет смысл понятия так называемых элементарных частиц — мезонов, электронов, нейтрино, а может быть, и частиц всемирного тяготения. Этот путь в глубь вещества беспределен, как и предвидел В. И. Ленин.

Столь же беспределен путь от Земли к Солнечной системе, Млечному пути, внесгалактическим туманностям, метагалактикам, одна из которых включает нашу Галактику как один из своих элементов.

Физика последних десятилетий в согласии с предвидениями диалектического материализма разрушила идею о вечной неизменности 92 элементов периодической системы Менделеева. Первым шагом в этом направлении была сама периодическая система, закономерность кото-

рой предполагала какой-то закон образования элементов из более простых. Менделеев уже видел в факте связи физико-химических свойств с атомным весом указание на то, что масса определяет энергию атома.

Превращение элементов сделалось с тех пор опытным фактом. Ядерная физика раскрывает строение и свойства атомных ядер.

Уже намечаются далее контуры теории эволюции элементов, их распространенности на Земле и на звездах. Уточняется энергетическая история Солнца и звезд, а за ними встает как конкретная задача проблема эволюции мира. Диалектика природы наполнилась новым содержанием.

Изучение электрических явлений, начавшись с электризации трением и гальванических элементов, еще в самом начале XIX в. дало мощную вольтовую дугу Петрова, затем генераторы и электродвигатели электростанций и заводов, высоковольтные передачи электроэнергии в десятки и сотни тысяч вольт; уже осуществляются напряжения в миллионы вольт и энергии заряженных частиц в сотни миллионов электронвольт, а в ближайшее время следует ожидать получения частиц с энергиями в миллиарды электронвольт, приближающимися к энергиям космических лучей. Электричество сделалось орудием небывалой мощности для изучения и воздействия на вещество.

Транспорт и связь прошли столь же поразительный путь развития — от телеги к ракетному самолету, от сигнальных огней к радио.

Таков беспредельный путь прогресса человеческого знания. Основной движущей силой его всегда были требования техники. Взаимосвязь науки и техники проявляется и в стимуляции техникой развития науки и в обратном влиянии успехов науки на прогресс методов производства. Техника ставит перед наукой все новые задачи и дает ей все более совершенные орудия исследования. С другой стороны, научные открытия и более правильное понимание технических процессов служат постоянным источником для все лучшего решения производственных задач. Никогда эта взаимосвязь не была столь очевидной, как в наше время.

Все эти черты истории науки с полной очевидностью проявляются в изложенной в настоящей книге картине современной физики; их можно проследить и на предыду-

пих этапах развития науки. Однако последний этап выдвигает некоторые специфические проблемы, которые будет полезно еще рассмотреть. Некоторые из них, как, например, вопросы об измерениях и приборах и о значении общих законов природы, уже были нами упомянуты.

Современную физику больше, чем классическую, принято упрекать в потере наглядности, в забвении модельных представлений и в чрезмерном преобладании математики над физикой «здравого смысла». Нельзя отрицать пользы моделей при изучении физических явлений. Удачно построенная модель упрощает выводы из известных фактов и позволяет ставить новые опыты, ведущие науку вперед. Однако физическая модель вовсе не точный образ явления, а упрощенная схематическая картина, основанная на аналогии. Хорошо, если сходство охватывает достаточно большую и существенную для данного явления группу свойств.

Другие стороны явления, быть может, следует свести к другой модели. Каждая из них может оказаться полезной на определенном этапе и может быть отброшенной позже. Идея теплорода, электрических жидкостей, гипотеза эфира и многие другие сыграли в свое время положительную роль не потому, что тепловая энергия есть действительно теплород или что электрический заряд — жидкость, а электрическое поле — натяжение эфира. Но в этих сопоставлениях были правильно подмечены черты сходства. Подобренные по этим признакам физические модели позволяют перенести хорошо нам знакомые закономерности процессов внутри модели на новую, еще недостаточно изученную область явлений. В тех пределах, в которых аналогия действительно имеет место, удачная физическая модель позволяет предсказывать результаты опытов, искать новые проявления изучаемых процессов и на их основе уточнять модель. Часто на протяжении длительного времени модель служит путеводной нитью научного исследования; тогда появляются ее адепты, подменяющие ею истинное многообразие реального мира. Но чаще всего модель — только попутчик до одного из поворотов, где пути изучаемого явления и его модели расходятся.

Физическая модель удобна и как мнемоническое правило, сводящее многочисленные факты и их соотношения к привычной стройной картине работы модели. Но, разумеется, не эта экономия мысли определяет достоинство

теории, как утверждает Мах, и, уж конечно, не удобство запоминания является критерием истины. Очень неудобно и неэкономно было заменять механику Ньютона квантовой механикой и теорией относительности, которые лишили нас привычного орудия механических и электрических моделей.

Только непреложные факты реального внешнего мира заставили, отказавшись от моделей, искать такие новые пути, которые бы правильно отображали, наряду с известными, и те явления, которые обнаружили при изучении атомных процессов и скоростей, приближающихся к скорости света. Не экономия мысли, а правильность предсказаний и успешность применений отличают прогрессивную теорию от ошибочной. Только такая теория приближает нас к познанию реального мира.

Такую же задачу, как модель, часто лучше и полнее решает математическая теория. Ее значение определяется охватываемой ею областью опытных фактов. Если их математическая формулировка правильна, то все, что находится внутри данного опыта, может быть предсказано с гораздо большей уверенностью и строгостью, чем могли бы дать рассуждения на моделях или наглядных образах.

Роль математики особенно возрастает, когда развитие физики подводит к синтезу противоположностей. Наше наглядное мышление и построенные по аналогии с ним модели воспринимают еще в это время противоположные свойства как противоречия.

Легче объединить такие две стороны явления в стройной математической схеме, чем «представить себе» реальное явление, одновременно обладающее противоречивыми свойствами.

Первый этап синтеза поэтому обычно выражается языком математических формул, и только много позже мы начинаем осваиваться с их физическим смыслом. Но и тогда математическая формулировка остается основным орудием теории, способствующим наиболее успешному раскрытию всех ее выводов. Математика позволяет заменить давно разработанными и тщательно проверенными приемами сложную цепь рассуждений. Без математики мы не в состоянии ни строго сформулировать, ни тем более успешно применять положения современной физики.

Но нельзя забывать, что всякая теория основана на фактах в пределах ограниченного опыта и только в опре-

деленных пределах выводы теории убедительны. Распространяя четко математически сформулированную механику Пьютона на скорости, близкие к скорости света, или на движение частиц в атоме, мы приходим к противоречию с опытом. Математический метод — не философский камень, а орудие, основанное на опыте и ограниченное по своим возможностям, какими бы блестящими и обширными они ни казались. Математическая формулировка квантовой теории, созданная на основе опытов с атомными электронами, охватила и значительную часть ядерных явлений и открытие позитронов.

Такие же успехи могла отметить и теория Максвелла, с помощью которой И. Е. Тамм и И. М. Франк могли дать полную количественную трактовку недавно открытого П. А. Черенковым свечения электронов при их движении в среде со скоростью, превышающей фазовую скорость света.

Мне кажется, что в этих чертах математических теорий можно найти некоторую аналогию со свойствами основных законов физики. Основные законы природы, конечно, выражают собой результат опыта, но столь обширного и разнообразного и настолько освобожденного от частных деталей, что эти законы сохраняют свое значение в бурном потоке последующих открытий. Математический метод, также основанный на длительном опыте человеческой истории, сумел выделить из него самые общие закономерности, которые всегда повторяются в различной конкретной форме. Возможно, что именно поэтому в математическую форму так удачно укладывается физический опыт. По мере углубления наших знаний растет роль математики и растут требования к ней со стороны физики.

Физика XIX в., изучавшая закономерности в явлениях, доступных непосредственному наблюдению, исходила из представлений непрерывности и сплошности. Ее основным орудием были дифференциальное исчисление и уравнения в частных производных. Если мы и не могли элементарными средствами предсказать точный результат вычислений, то можно было всегда качественно проследить весь ход процесса. Математика с большим совершенством и простотой осуществляла то, что грубо можно было предсказать рассуждением «на пальцах».

Иное положение занимает математика в современной физике. В теории относительности она орудует в про-

странстве четырех измерений тензорами высоких порядков, свойства которых непохожи на свойства знакомых нам из повседневного опыта скалярных и векторных величин.

Статистическая физика перешла в пространства 6 и $6N$ измерений, подразделенные на конечные квантовые ячейки.

Квантовая механика привлекла такие абстрактные области математики, как теорию операторов и теорию групп, такие величины, как спиноры, такие виды взаимодействия, как обменные силы, для которых мы еще не создали наглядных образов и не знаем аналогий.

Если математические методы в физике XIX в. можно сравнить с механической обработкой, превращающей, например, стальную болванку в рельс или станок, то современная математика подобна химической реакции, создающей воду из водорода и кислорода или резину из спирта.

Разумеется, и теперь математика не может дать больше того, что заложено в физических предпосылках, но она производит гораздо более глубокую их переработку. Нелегко хотя бы грубо имитировать ее физическими моделями. Выход математической теории за пределы своей применимости все же полезен. По тому, как теория отходит от действительности и в чем сказываются эти отступления, можно часто догадаться, как следует исправить теорию, чтобы расширить пределы ее применимости на вновь открытые факты. Мы получаем также указания, где следует искать пути проникновения в следующую область знания.

Математический метод становится не только мощным средством, в сжатой и строгой форме объединяющим запас опыта, но и орудием в поисках нового. Не следует поэтому недооценивать громадной прогрессивной роли математического метода в современной физике.

Однако на определенных этапах истории науки, когда еще только сформулирована новая теория и еще не исчерпано ее содержание, создается ложное впечатление о ее безграничных возможностях. Теория тогда постоянно правильно подсказывает то, что опыт потом подтверждает. Так было одно время с теорией Максвелла, о которой Больцман в эпиграфе ко второму тому своего труда сказал опять-таки словами Фауста: «Не бог ли какой-нибудь написал эти строки?».

Такое же преклонение перед мощью математического метода квантовой механики мы нередко встречаем в настоящее время. Удачные численные совпадения приводят некоторых идеалистов, вроде Эддингтона, даже к представлению о числах и формулах как о философском камне, который может не только заменить имеющиеся данные науки, но и предсказать весь последующий опыт. Естественно, что такая пифагорейская философия попадает впросак, когда выходит за границы применимости данной теории.

Диалектический материализм, подтверждаемый всем опытом прошлого и настоящего, заставляет нас помнить, что основой знания служит опыт, а опыт всегда ограничен. Только в рамках обобщенного опыта верна теория. Она перестает быть верной, когда выходит за эти рамки.

Уже сейчас результаты изучения атомного ядра указывают на границы применимости квантовой механики, и ядерная физика стремится к новой ее форме — к релятивистской квантовой механике и к новому содержанию понятия об элементарных частицах, их превращениях и взаимодействиях.

Математика заменила наглядные представления и здравый физический смысл, который часто позволял правильно оценивать результаты опыта. Здравый смысл — это концентрированный опыт прошлого. В такие периоды, которые следуют за радикальной перестройкой старых понятий, как это имеет место в современной квантовой механике, здравый смысл и физическая модель — опасные путеводители, которые могут завести в тупик. Поэтому нельзя противопоставлять их математической трактовке новых проблем, которая дает всегда верные, логически неизбежные выводы из новой теории. Математический метод в сочетании с опытом — испытанное орудие физического исследования. На определенных этапах развития науки ему помогают физические модели, которые неизбежно односторонни.

Объективный анализ современной физики приводит со всей убедительностью к выводу, что она вновь и притом с полной очевидностью подтверждает все основные положения диалектического материализма и те выводы, которые 40 лет назад сделал Ленин.

И все же именно из современной физики идеалисты стремятся извлечь доводы в пользу своих взглядов. Немалую путаницу вносит идеалистическая философия в умы

буржуазной интеллигенции, пользуясь необычностью идей теории относительности.

Вплоть до начала нашего столетия физика связывала понятие физической материи с массой тела. Теперь мы знаем, что масса является мерой энергии, знаем, что и лучистая энергия обладает массой. Масса тела меняется, когда изменяется запас его энергии, подобно тому, как может изменяться температура или давление. Переносить это новое определение массы на прежнее ее понимание как меры физической материи или количества вещества и затем далее на философское понятие материи как объективной реальности внешнего мира — значит, сознательно обманывать читателя. Способность энергии переходить от одного реального объекта к другому, соответственно изменяя их массу, очевидно, не имеет ничего общего с отрицанием реальности материального мира вне нашего сознания. Эти заблуждения разгромил до конца В. И. Ленин.

Диалектический материализм не только допускает, но и требует проявлений изменяемости и эволюции вещества.

ОБСУЖДЕНИЕ КНИГИ «ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ» *

Пятьдесят лет моей жизни в физике ознаменовались потоком новых открытий и вызванных этими открытиями новых представлений. Оказалось, что, проникнув в глубины вещества, мы обнаружили такие свойства, которые не укладывались в рамки XIX в. Пришлось эти рамки раздвинуть и представления существенным образом изменить. В результате появилась новая система представлений о механизме явлений и об основных свойствах тех процессов, которые протекают в атомном мире.

Новые идеи, которые были вначале ограничены интересами узкого круга физиков, стали все шире проникать в другие области, прежде всего в химию, в инженерные проблемы, в биологию и т. д.

* Из вступительного слова на заседании Ученого совета ЛФТИ, состоявшемся 21 апреля 1950 г. и посвященном обсуждению книги А. Ф. Иоффе. — См.: *Московченко Н. Я., Френкель В. Я.* Из научного наследия А. Ф. Иоффе. — Вопросы философии, 1980, № 12, с. 138—140.