

торых был еще не ясен и устанавливался позже. В современной теоретической физике широко применяется математическая гипотеза, которая нередко играет эвристическую роль в полном смысле этого слова.

§ 3. О ВНУТРЕННИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ

1. О эволюционно-революционном характере развития физики. Развитие физики определяется влиянием различных сторон общественной жизни при решающем влиянии производства. Однако, как уже было отмечено выше, особенности этого развития определяются также и особенностями предмета исследования физики, и особенностями человеческого познания. Для исследования вопроса о том, как и в чем проявляются эти особенности в процессе развития данной науки, полезно рассматривать процесс ее развития как процесс самодвижения. При этом как раз и выявляются особенности развития физики, определяемые свойством человеческого познания вообще и свойствами предмета, который она изучает. Конечно, такое рассмотрение является лишь допустимой абстракцией. Она позволяет выяснить особый тип закономерностей развития физической науки, называемых иногда внутренними закономерностями или внутренней логикой развития. К их числу прежде всего следует отнести закономерность, которую можно сформулировать следующим образом: развитие физики есть процесс чередования отнюдь не спокойных периодов (эволюционных) и периодов революционных изменений теорий, понятий, основных принципов и т. д. В самой общей форме указание на существование данной закономерности в развитии физики можно было встретить давно. Так, например, А. Рей в книге «Физическая теория у современных физиков» отмечал эту закономерность. Его слова приводит Ленин в книге «Материализм и эмпириокритицизм»:

«В истории физики, как и во всякой истории, можно отличать крупные периоды, которые характеризуются различной формой, различным общим видом теорий... Как только наступает одно из тех открытий, которые отзываются на всех частях физики, устанавливая какой-либо кардинальный факт, неизвестный до тех пор или неполно оцененный, так весь вид физики меняется; начинается новый период. Так было после открытий Ньютона, после открытий Джоуля—Майера и Карно—Клаузиуса. То же самое происходит, видимо, после открытия радиоактивности...»¹⁾

Действительно, проследившая историю развития физики, можно легко различить периоды эволюционного развития и периоды революционных изменений. Это относится не только ко всей физике в целом, но и к развитию ее отдельных областей и даже отдельных теорий. В эволюционный период физика или какая-либо ее область развиваются спокойно, следуя уже сложившимся общим взглядам физиков или даже естествоиспытателей вообще. В это время господствуют определенные традиции, определенная методология или

¹⁾ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е. Т. 18, с. 323.

даже методика исследований и т. д. Большинство ученых находятся под влиянием общей научной атмосферы и следуют, по выражению Куна¹⁾, определенной «парадигме», или над ними господствует определенный «фон», как пишет Д. Поля²⁾. В этот период уже установленные основные принципы распространяют на различные конкретные вопросы, проводят все более и более точный расчет частных закономерностей и, наконец, придают основным принципам более совершенный, логически стройный вид и т. д. Но проходит время, и период эволюционного, мирного развития науки кончается, начинается период революции. Происходит крушение старых принципов, устанавливаются новые взгляды, новые представления, новые теории. Революция заканчивается, возникает новый «фон», новая «парадигма», и вновь наступает эволюционный период развития науки. Такой эволюционно-революционный характер развития физики и ее отдельных областей легко прослеживается.

Именно так, например, развивалась оптика. После Ньютона господствующей стала корпускулярная теория света, хотя некоторые ученые, например Ломоносов и Эйлер, придерживались представления о волновой природе света. В рамках корпускулярной теории оптика развивалась весь XVIII век. Но в первой половине XIX в. произошел революционный переворот в оптике: на смену корпускулярной пришла волновая теория света. При этом изменилось основное представление о природе света, в поле зрения теперь встали вопросы исследования явлений интерференции и дифракции и т. д. То же самое произошло с учением о теплоте: теплородная теория была заменена кинетической, в основе которой лежали представления, коренным образом отличающиеся от представлений теплородной теории.

Что касается физики в целом, то в этой науке менялись общие физические концепции, связанные с самыми общими представлениями, которые лежали в ее основе. Так, в XVII в. средневековые представления о физическом мире, основанные на натурфилософии Аристотеля и религиозных догмах, сменила разработанная Р. Декартом общая физическая концепция, которая получила название картезианской, основанная, в частности, на принципе близкодействия. Затем вновь произошел революционный переворот во взглядах физиков. Картезианская концепция уступила место так называемому ньютонианству, одной из основ которого было представление о далекодействующих силах. Во второй половине XIX в. после установления закона сохранения энергии, законов электромагнитного поля и кинетической теории теплоты начала развиваться новая концепция, являющаяся известным возрождением картезианства в новой форме. В результате открытий конца XIX и начала XX столетия во взглядах физиков происходит новый революционный переворот.

Революционные перевороты в науке сопровождаются обычно

¹⁾ Kuhn Th. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago—London, 1970.

²⁾ Поля Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., ИЛ, 1957, с. 227.

борьбой мнений. Старые теории и представления далеко не сразу, не без борьбы уступали место новым теориям и представлениям. Иногда борьба между старым и новым в науке приобретала очень острые формы, поднимаясь до уровня политической борьбы. Это имело место при смене теорий, охватывающих широкий круг вопросов и затрагивающих основы физических представлений, которые были связаны с общими философскими взглядами. В этом случае в борьбу включалась философия и даже религия и она приобретала очень острые формы. Так было, например, в период научной революции Коперника и Галилея или борьбы, которая развернулась вокруг теории относительности.

Появление новой теории, вступающей в революционную борьбу с уже существующей, — весьма сложный процесс. Часто появление новой теории вызывалось экспериментальными данными, получаемыми в процессе развития физики, — возникали противоречия между существующей теорией и только что полученными экспериментальными результатами. В этом случае новые факты, новый экспериментальный материал играли революционную роль, так как противоречили установившимся взглядам и теориям. Дело обстояло примерно так: пока существующая теория объясняла все известные факты, все обстояло благополучно. Более того, сама теория способствовала накоплению новых фактов. С появлением новых данных, которые уже не согласовывались с теорией, на первых порах предпринимались попытки ввести в старую теорию дополнения, не изменяющие ее основ, но позволяющие объяснить эти новые факты. Однако появлялись новые и новые факты, которые уже не укладывались в рамки старой теории, даже дополненной предположениями. Тогда возникала новая теория, которая, вообще говоря, могла быть «угадана» заранее. Последняя уже объясняла и новые и старые факты. Новая теория, вступая в борьбу со старой, побеждала. Энгельс, определяя характер развития естествознания, писал:

«Формой развития естествознания, поскольку оно мыслит, является *гипотеза*. Наблюдение открывает какой-нибудь новый факт, делающий невозможным прежний способ объяснения фактов, относящихся к той же самой группе. С этого момента возникает потребность в новых способах объяснения, опирающаяся сперва только на ограниченное количество фактов и наблюдений. Дальнейший опытный материал приводит к очищению этих гипотез, устраняет одни из них, исправляет другие, пока, наконец, не будет установлен в чистом виде закон»¹⁾.

В качестве такого случая можно привести опять-таки пример истории оптики. Изучение явлений интерференции и дифракции Юнгом и Френелем в начале XIX в. показало, что удовлетворительно объяснить их с точки зрения корпускулярной теории света не представляется возможным. Это привело к построению волновой теории света. Однако новая теория была признана не сразу. И Юнгу, и Френелю пришлось бороться за признание этой теории, которая противоречила уже давно установившимся взглядам на природу света, со сторонниками корпускулярной теории света.

¹⁾ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е. Т. 20, с. 555.

Однако бывает и так, что вновь возникающая теория не является результатом каких-то новых экспериментальных открытий. Причины ее возникновения более сложные. Они могут заключаться во влиянии смежных теорий, некоторых общих представлений, в частности философского характера, или же быть результатом возрождения старых идей под влиянием различного рода обстоятельств. Правда, при этом старая теория хотя и не опровергается еще новыми экспериментами, но уже теряет свою эвристичность, становясь, по существу, бесплодной. Примером может служить появление теории электромагнитного поля Максвелла. Эта теория возникла еще тогда, когда не было каких-либо экспериментов, опровергающих теорию дальнего действия и указывающих на конечную скорость распространения электромагнитных возмущений. Не случайно поэтому, что для признания теории Максвелла потребовались экспериментальные исследования Герца с электромагнитными волнами. Можно привести и ряд других примеров появления новых революционных теорий, возникновение которых не являлось непосредственно результатом появления новых экспериментов, противоречащих существующим теориям или представлениям.

Таким образом, простое соотношение между теорией и экспериментом, когда новые экспериментальные результаты вызывают к жизни новые теории, приводящие к революции в определенных физических представлениях, далеко не всегда имеет место в истории физики.

2. О преемственности в развитии физики. Следующую закономерность в развитии физики можно сформулировать так: в развитии физики имеет место преемственность; развитие физики представляет собой непрерывное поступательное движение вперед. Под преемственностью в развитии физики понимается обязательное существование генетической связи при всяком ее движении вперед, при каждом новом шаге в развитии этой науки, так что в новом ее состоянии всегда содержатся элементы старого. В периоды эволюционного развития физики или какого-нибудь из ее разделов такая преемственность совершенно очевидна и заключается в том, что все основные представления, законы, понятия и т. д. сохраняются без изменения. Открываемые в этот период новые законы представляют как частный случай общих. Устанавливаемые новые частные понятия также рассматривают как частные случаи общих и т. д.

В революционный же период преемственность выражается в том, что после революционного переворота, к каким бы коренным изменениям во взглядах он ни привел, в физической теории остаются элементы старого. Прежде всего установленные конкретные законы не отменяют, а оставляют как законы, имеющие определенные границы применимости, которые определяются новой теорией. Так, например, законы геометрической оптики, установленные в корпускулярной теории света, сохранили свое значение и в волновой теории, хотя волновая оптика построена на совершенно других понятиях, нежели корпускулярная. Эти законы стали рассматривать как приближение закона, который можно использовать только

при определенных условиях. При переходе от теории теплорода к кинетической теории теплоты все полученные закономерности тепловых явлений, относящиеся к калориметрии, теплопроводности и т. д., сохранили свое значение, только приобрели иной смысл, а некоторые из них оказались применимыми только при определенных условиях, например в тех случаях, когда нет процессов превращения теплоты в работу. Возникновение релятивистской механики изменило целый ряд основных понятий физики, тем не менее законы, полученные классической механикой, и ее понятия не потеряли своего значения. Только появление теории относительности установило пределы их применимости.

Таким образом, несмотря на революционные перевороты, между новой и старой теориями имеется преемственность. В новой теории сохраняются элементы и конкретные результаты старой теории, хотя они теряют свой всеобщий характер или для них устанавливаются границы применимости. Старая теория, как бы сильно ни отличалась ее представления от действительности, содержит зерно истины и в какой-то степени отражает действительные связи, которые существуют в природе, являясь одной из ступеней развития теории данной группы явлений. Указанная выше закономерность является конкретным выражением одного из основных положений теории познания диалектического материализма — положения о процессе познания как процессе приближения к абсолютной истине через истины относительные. В. И. Ленин писал:

«Итак, человеческое мышление по природе своей способно давать и дает нам абсолютную истину, которая складывается из суммы относительных истин. Каждая ступень в развитии науки прибавляет новые зерна в эту сумму абсолютной истины, но пределы истины каждого научного положения относительны, будучи то раздвигаемы, то суживаемы дальнейшим ростом знания»¹⁾.

Преемственность в развитии физических теорий при революционных переворотах не ограничивается тем, что в новых теориях установленные ранее закономерности сохраняются либо как приближенные, либо как верные при определенных условиях. Преемственность может выражаться и в том, что некоторые идеи старой теории воспринимаются по-новому, при этом эти старые идеи модифицируются, видоизменяются и т. д. Иногда не так просто заметить элементы старой идеи в новой теории или даже обнаружить генетическую связь между ними. Приведем пример. Аристотель делил все движения на насильственные и естественные. Естественные движения, по Аристотелю, происходят сами собой, насильственные — под действием силы. Все движения обычных тел, за исключением падения вниз, Аристотель считал насильственными. Движения небесных тел по круговым траекториям вокруг Земли являются, по его мнению, естественными. Они протекают сами собой и не требуют применения силы. Галилей произвел революцию в механике, установив закон инерции. Однако он не привел общую формулировку этого закона.

¹⁾ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е. Т. 18, с. 137.

В наиболее развитом виде он сформулировал его в «Беседах» — сочинении, написанном в конце жизни как утверждение о сохранении скорости телом, движущимся без сопротивления по горизонтальной плоскости. В более ранних работах он говорил не о плоскости, а о горизонтальной поверхности, т. е. сфере, концентрической с поверхностью Земли. При этом рассматриваемое движение Галилей считал как бы естественным, если пользоваться терминологией Аристотеля. Таким образом, можно полагать, что Галилей, по крайней мере первоначально, считал движением тела по инерции движение его вокруг центра Земли, а не прямолинейное и равномерное движение. Это было как бы расширением понятия естественного движения небесных тел вокруг Земли Аристотеля, распространением этой идеи на обычные тела.

Существует много форм преемственности или генетической связи в развитии физических теорий или даже идей. Так, например, одной из форм преемственности является связь, выражаемая известным принципом соответствия. В этом случае закономерности новой теории переходят в закономерности старой при стремлении некоторого параметра к определенному пределу. Такая форма преемственности существует, например, между классической и релятивистской механикой, между корпускулярной и волновой теориями света. Имеют место и другие формы преемственности. Так, существует преемственность между так называемыми эквивалентными теориями, когда новая теория, хотя и пользуется новыми представлениями и строится на новых понятиях и принципах, тем не менее не приводит к новым результатам, по крайней мере в течение определенного времени. Это связь между различными системами классической механики, возникавшими последовательно или параллельно друг с другом: системой классической механики, основанной на прямом применении законов Ньютона; системой, основанной на методе Лагранжа; системами механики, в основе которых лежат вариационные принципы.

Можно было бы указать и другие формы преемственности в развитии физических теорий, однако это выходит за рамки данной книги.

Подчеркнем только одну мысль. Кроме преемственности или генетической связи между следующими друг за другом теориями, относящимися к одному и тому же кругу явлений, можно говорить о преемственности идеи, т. е. о такой форме преемственности, когда в новой теории заимствуются идеи из каких-либо теорий, изучающих, например, другие физические явления (такими идеями могут быть уже забытые идеи). Ограничимся лишь одним примером из истории развития учения об электричестве и магнетизме. В период господства теории дальнего действия теория электрических явлений заимствовала ряд идей теории гравитации. В дальнейшем при развитии теории электромагнитного поля были использованы идеи механики сплошных сред и старые идеи картезианской физики.

3. Метод аналогий и моделей в физике. Рассмотрим теперь закономерность развития физики, которая также относится к внутрен-

ним закономерностям ее развития. Ее можно сформулировать следующим образом: в процессе развития физической науки используется метод аналогий и моделей. Аналогия — это сходство объектов в каких-либо их признаках или отношениях. При этом термин «объект» может пониматься в самом широком смысле и как конкретный материальный предмет, и как система материальных предметов, и как мысленный образ или система образов, и как логическая схема и т. д. Аналогию обычно используют в науке для построения гипотезы, объясняющей определенный круг явлений. В данном случае в основе гипотезы лежит умозаключение по аналогии, которое состоит в следующем: при изучении какого-либо физического объекта A выясняется, что он обладает некоторыми свойствами или качествами a, b, c, d . Одновременно известно, что другой, уже изученный, объект A' обладает свойствами a', b', c', d', e' , причем свойства a', b', c', d' тождественны свойствам a, b, c, d первого объекта. По аналогии предполагаем, что, вероятно, и объект A также обладает свойством e , тождественным свойству e' . Умозаключение по аналогии не позволяет получить достоверный вывод и не может быть использовано для доказательства, но может служить источником новых знаний.

Как уже сказано, умозаключение по аналогии приводит к построению гипотезы, которая затем проверяется на опыте и либо подтверждается, либо отвергается. В первом случае можно сказать, что аналогия имела эвристическую ценность. Применение метода аналогии можно считать закономерностью развития физической науки, во-первых, потому, что история свидетельствует о его огромной роли в построении новых теорий, начиная с самых первых шагов развития этой науки вплоть до современной физики. Действительно, например, вся геометрическая оптика строилась на аналогии между пучком летящих частиц и световым лучом. В основу волновой оптики была положена аналогия между световыми волнами и волнами на поверхности воды, а затем и волнами в сплошной упругой среде. Электростатика и учение о магнетизме строились по аналогии с теорией потенциала гравитационного поля. Позднее в основу своих построений, относящихся к электродинамике. Д. К. Максвелл положил аналогию между электромагнитными явлениями и гидродинамикой. Приведем пример возникновения современной теории — квантовой механики. Общеизвестно, что при построении волновой механики и де Бройль и Шредингер использовали оптико-механическую аналогию, открытую еще Гамильтоном. Не меньшую роль сыграло использование аналогии в работах по созданию другого «матричного» варианта квантовой механики. Гейзенберг открыто использовал аналогию между классическим и квантовым рассмотрением. Принцип соответствия основоположники квантовой механики понимали именно как принцип аналогии, а не просто как принцип предельного перехода (его первоначально иногда называли принципом аналогии).

В более позднее время метод аналогий в квантовой механике также играл важнейшую роль. На это обстоятельство указывал, в

частности, один из основателей квантовой механики Дирак, который писал:

«...существует довольно общий метод получения квантовых условий, применимый к очень широкому классу динамических систем. Это метод классической аналогии... мы должны ожидать, что важные понятия классической механики будут соответствовать важным понятиям квантовой механики... В частности, можно надеяться получить квантовые условия, являющиеся простым обобщением классического закона, согласно которому все динамические переменные коммутируют»¹⁾.

На значительную роль аналогии в развитии науки вообще, в частности и физики, неоднократно указывали многие ученые. Так, важную роль аналогии в развитии физических теорий подчеркивал Максвелл, который с большим успехом использовал этот метод при построении теории электромагнитного поля. Исключительное значение аналогии в развитии физической теории подчеркивал также П. Дюгем.

«История физики, — писал он, — учит нас, что отыскание аналогии между двумя различными категориями явлений было, может быть, самым надежным и плодотворным методом при построении физических теорий»²⁾.

Высоко оценивает роль аналогий в развитии науки вообще Д. Пойа. Он писал:

«Аналогия, по-видимому, имеет долю во всех открытиях, но в некоторых она имеет львиную долю»³⁾.

Однако применение аналогии вовсе не всегда приводило к положительным результатам. Любая аналогия справедлива только до определенного предела, который первоначально неизвестен. Попытки провести аналогию, перепрыгнув этот предел, приводят к отрицательным явлениям в истории науки. Аналогия может вести к закреплению старых понятий и представлений, сыгравших в свое время положительную роль и превращающихся на новом этапе в тормоз развития физики, становится барьером для возникновения новых прогрессивных идей. Так, например, аналогия между водяным двигателем и тепловой машиной, сыгравшая определенную положительную роль при возникновении термодинамики, затем оказалась бесплодной и послужила тормозом в дальнейшем развитии теории теплоты. Аналогия между колебаниями и волнами разной природы имела и имеет эвристическое значение. Однако сначала она была связана с теорией эфира, которая хотя прежде играла положительную роль, но впоследствии оказалась ненужной и мешала развитию релятивистской физики.

Таким образом, метод аналогий играл большую и положительную и отрицательную роль в развитии физики. Это происходило по

¹⁾ Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики. М., Физматгиз, 1960. с. 125—126.

²⁾ Дюгем П. Физическая теория, ее цель и строение. СПб., 1910, с. 114.

³⁾ Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., ИЛ, 1957, с. 36.

двум причинам, одна из которых имеет субъективный, а другая — объективный характер.

Ученый, сталкиваясь с новыми явлениями, старается построить для них теорию, однако каким бы смелым умом он ни обладал, на нем всегда висит груз существующих представлений. Волей или неволей при создании новой теории он в какой-то степени старается опереться на известные теории и представления. Ученый ищет в них опору, находит параллели, использует представления, в частности, из других научных областей. Приведем замечания Фейнмана по данному вопросу. Он пишет:

«Часто приходится слышать жалобы на то, что мы совершенно необоснованно распространяем на сферу атомной физики наши представления о частицах, траекториях и т. п. Но ведь это совсем не так, в подобной экспансии нет ничего необыкновенного. Мы просто обязаны, мы вынуждены распространять все то, что мы уже знаем, на как можно более широкие области, выходящие за пределы уже постигнутого. Опасно? Да. Ненадежно? Да. Но ведь это единственный путь прогресса. Хотя этот путь неясен, только на нем наука оказывается плодотворной»¹⁾.

Однако субъективные устремления ученого использовать аналогию должны иметь и объективные причины, должна существовать и объективная причина, объясняющая, почему такое устремление приводит к положительным результатам. Объективные основания положительной роли аналогии в развитии наук следует искать в особенностях природы и ее явлений, а они заключаются в данном случае в том, что при всем бесконечном многообразии вещей и явлений природы в них всегда имеется нечто общее — единство во многообразии. Это единство проявляется во многом, оно и является причиной того, что метод аналогии играет эвристическую роль в развитии науки. Но это единство есть единство во многообразии, и аналогия не является полностью верной до конца, а всегда ограничена. Субъективные же устремления ученого, пытающегося распространить аналогию как можно дальше, и приводят к случаям, когда она перестает играть эвристическую роль и даже становится тормозом в развитии науки.

Аналогия часто приводит к построению моделей. Условимся называть моделью некоторого объекта A другой материальный или идеальный объект B , если выполняется следующее условие: между свойствами объекта A и свойствами объекта B существует отношение аналогии. Если объект B подвергается изучению, то полученные результаты переносятся на объект A и считаются справедливыми для него. В случае, когда объект B , являющийся моделью некоторого реального объекта A , представляет собой материальный объект, модель называется материальной, если же объект идеальный, — то мысленной или идеальной. Модели самолетов и кораблей — материальные модели. Свойства будущего самолета исследуют сначала на его модели, а затем переносят на образец, т. е. полагают, что

¹⁾ Фейнман Р. Характер физических законов. М., «Мир», 1968, с. 181.

свойства, обнаруженные у модели, имеют место и у реального самолета.

Не останавливаясь на материальных моделях, перейдем к рассмотрению мысленных, или идеальных, моделей, применяющихся в физике, значение которых для этой науки несравненно больше (в дальнейшем будем их называть просто моделями). Метод моделей применялся в физике с начала ее возникновения. Однако понятие модели и характер применяемых типов моделей изменялись вместе с развитием физики. В настоящее время используемые в физике модели можно условно разбить на четыре типа: макромоделли, микромоделли, математические или знаковые модели, квантовые модели.

Макромодели нашли применение в физике с начала ее развития. Макромодель — это упрощенный абстрактный образ макрообъекта: материальная точка, твердое тело, идеальная жидкость, математический маятник и т. д. Правда, используя эти абстракции, физики прошлого не называли их моделями и не придавали принципиального значения их введению.

С середины XIX в. физики начали все шире и шире применять второй тип модели, т. е. микромодель. Одновременно формируется и понятие модели, первоначально именно как модель этого типа. Микромоделли — это модели, в основе которых лежит представление о существовании ненаблюдаемых непосредственно субстанций или объектов. Такими субстанциями или объектами в классической физике были молекулы, атомы, эфиры и т. д. (Нужно, правда, отметить, что такие представления ученые и философы использовали и раньше. Как известно, еще в античной философии возникла идея о существовании атомов.) Дж. К. Максвелл, В. Томсон, Л. Больцман, Г. А. Лоренц, Дж. Дж. Томсон и многие другие физики широко использовали модельные представления о строении вещества и эфира. Эти представления сыграли важную роль в их работах, посвященных построению классической физики. При этом следует подчеркнуть, что и модель эфира, от гипотезы о существовании которого физики позже отказались, сыграла важную эвристическую роль. Без модельных представлений эфира Максвелл не смог бы прийти к теории электромагнитного поля. Некоторые физики признавали эвристическую роль моделей эфира даже после того, как гипотеза эфира была исключена, подобно теплороду, из физики. Так, Г. А. Лоренц уже после создания теории относительности, в результате появления которой, собственно говоря, и пришлось отказаться от гипотезы об эфире, писал:

«...Механические аналогии (речь идет о моделях эфира. — Б. С.) все же сохраняют некоторое значение. Они помогают нам думать о явлениях и могут явиться источником идей для новых исследований»¹⁾.

Интересно, что гипотезу эфира вновь выдвинул современный английский физик, один из основателей современной квантовой ме-

¹⁾ Лоренц Г. А. Теория и модели эфира. М. — Л., ОНТИ, 1936, с. 66.

ханики П. А. Дирак. В числе идей, которые могли бы способствовать решению некоторых трудных проблем современной физики, он назвал идею об эфире. Он пишет, что «одна из этих идей состоит в том, чтобы внести нечто соответствующее светоносному эфиру, который был так популярен среди физиков XIX столетия». Конечно, это не означает, подчеркивает Дирак, возвращение к той картине эфира, которая существовала в XIX столетии. «Я имею в виду, что нужно ввести новую картину эфира, которая удовлетворяла бы современным идеям квантовой теории»¹⁾. Затем он излагает свои соображения, объясняющие, почему картина «квантового эфира» не будет противоречить теории относительности. Подчеркнем, что все это говорит ученый, который много сделал для создания современных физических представлений.

Многие ведущие физики прошлого широко использовали модельные представления о строении вещества и эфира. Однако нужно отметить, что они одновременно подчеркивали приблизительный и преходящий характер этих моделей. Дж. К. Максвелл и Л. Больцман подчеркивали приближенный характер молекулярных моделей. Максвелл рассматривал модели эфира как «леса», которые убирают после того, как здание построено. В. Томсон, например, даже считал возможным использовать различные модели для одного и того же физического объекта или явления.

В конце XIX — начале XX в. модельные представления о строении вещества и эфира встретили критическое отношение со стороны ряда ученых, настроенных позитивистски и отвергавших существование объектов, непосредственно не обнаруживаемых на опыте. Они выступали против какого-либо использования моделей (имеются в виду микромодели) в физике, отрицали существование и атомов, и молекул, и эфира. Среди этих ученых можно назвать Г. Гельма, П. Дюгема, Э. Маха и др. Так, Дюгем сравнивал модели, в основе которых лежало представление о ненаблюдаемых субстанциях, с паразитирующим растением на крепком и полном жизни дереве. Конечно, отрицательное отношение к модельным представлениям имело некоторое объективное основание. Это были трудности, переживаемые кинетической теорией теплоты при выяснении смысла второго начала термодинамики, а также трудности, имевшие место при построении модели эфира. В частности, выяснилось, что задача построения модели эфира неоднозначна, т. е. было доказано, что если возможно построить какую-либо одну механическую модель электромагнитного поля, то можно построить бесчисленное множество других моделей ничуть не хуже первой. Однако, несмотря на отрицательное отношение к моделям ряда ученых, несмотря на признание многозначности механического объяснения немеханических явлений, большинство физиков не отказались от использования модельных представлений. Более того, подавляющее большинство успехов физики на рубеже XIX и XX столетий было обязано

¹⁾ Дирак П. А. Эволюция взглядов физиков на картину природы. — «Вопросы философии», 1963, № 12, с. 90.

использованию именно модельных представлений о строении вещества. И если физикам и пришлось отказаться от всяких моделей эфира, то модели строения вещества приобретали все большее и большее значение в связи с развитием молекулярной физики, физики твердого тела, электронной теории, атомной физики и т. д.

На рубеже XIX и XX столетий, в значительной степени под влиянием революции в физике, краха механицизма и необходимости признания неабсолютного характера существующих представлений о физических объектах, понятие модели начинает расширяться. Высказываются даже мысли о том, что все знания об окружающей действительности можно рассматривать как модели действительности. Так, например, Н. А. Умов в 1909 г. писал:

«Все наше мирозерцание, от своего наиболее обыденного до наиболее возвышенного содержания, представляет собой собрание моделей, образующих более или менее удачный отклик существующего...»¹⁾

Понятие модели развивается в двух направлениях. Во-первых, образы микрообъектов, которые мы называли моделями первого типа, начинают рассматривать и называть именно моделями. Совершенно определенно об этом писал А. Г. Столетов:

«О значении собственно *моделей*, в смысле приближенного воспроизведения действительности, я уже имел случай говорить... моделями являются в физике наши «абсолютно твердые тела», наши «совершенные жидкости» и т. п.»²⁾

Во-вторых, понятие модели распространяется на математические образы, которые в символической форме выражают свойства или особенности физических объектов или физических процессов. Одним из первых, кто стал рассматривать математические образы как модели, был опять же А. Г. Столетов. Он писал:

«Но мы можем расширить понятие о модели. Всем известны так называемые *графики*, где мы изгибами кривой линии изображаем ход, положим, метеорологического явления. Здесь мы имеем своего рода модель или, скорее, эмблему... модель не имеет претензий *совпадать* — хотя бы приблизительно — с тем, что она изображает; она есть *только* условное изображение»³⁾

Математические знаки, представляющие в символической форме физические объекты или физические явления, — это модели третьего типа, или, как их обычно называют, математические, или знаковые модели. К этому типу моделей относятся, например, изображение структуры электромагнитного поля с помощью системы силовых линий и эквипотенциальных поверхностей; графики, которые выражают различного рода зависимости между физическими величинами, например график, представляющий изотермический, или адиабатический, или какой-либо другой процесс, происходящий с газом. К моделям этого типа следует отнести также образ точки в фазовом пространстве, представляющий нагретое тело; геометрические обра-

¹⁾ Умов Н. А. Собр. соч. Т. III. М., 1916, с. 354.

²⁾ Столетов А. Г. Собр. соч. Т. II. М. — Л., ГИТТЛ, 1941, с. 327.

³⁾ Там же, с. 327—328.

зы пространственно-временного континуума, используемые в теории относительности, и т. д. Наконец, к знаковым моделям относят математический аппарат какой-либо теории. Систему уравнений, описывающих тот или иной реальный процесс, рассматривают как модель этого процесса. Например, уравнение Шредингера для атома водорода называют иногда математической моделью этого атома.

Наконец, вместе с развитием квантовой механики в физике появился новый тип моделей, который в значительной степени аналогичен моделям второго типа, но все же отличается от него. Это модель четвертого типа, которую мы называли квантово-механической или просто квантовой моделью. Квантовая модель дает образ квантового микрообъекта, так же как микромодель представляет образ микрообъекта, который является объектом классической физики. В данном случае микрообъект обладает квантовыми свойствами, поэтому в отличие от классического микрообъекта его цельный образ построить нельзя. Квантовая модель дает образ только одной из сторон квантового микрообъекта. Например, электрон в двух различных случаях представляют различные модели. В одном случае его рассматривают как частицу и моделью его является заряженная материальная точка; в другом — как непрерывно распределенное поле, так сказать, волновой аспект представления микрообъекта. В данном случае это не просто разные модели одного и того же объекта, а модели, взаимоисключающие друг друга.

Квантовыми моделями являются модели атомного ядра: оболочечная, капельная и др. Они представляют разные стороны структуры ядра и употребляются в зависимости от характера задачи, решаемой исследователем.

К рассмотренным типам моделей можно добавить новый тип моделей, являющихся дальнейшим расширением этого понятия. За последнее время понятие модели приобрело настолько широкий смысл, что под ним стали подразумевать не только образ какого-либо конкретного объекта, но и теорию вообще. Иногда говорят, например, что теория относительности является лучшей моделью пространства и времени, чем ньютоновское представление о них. Однако не всякий физик согласится назвать теорию относительности моделью пространства и времени или всю физику — моделью физической действительности. Во всяком случае этот вопрос требует дополнительного анализа. Поэтому ограничимся лишь упоминанием о возможности введения нового типа моделей, а именно моделей-теорий.