

свет большей длины волны. Так то, что было предметом забот, стало одним из достижений теории Максвелла.

Правда, остается еще неясным вопрос об отражении коротковолнового света от металла. Здесь мы действительно подходим к рубежу, который не могут преодолеть уравнения Максвелла, в их первоначальном виде допускающие, что материя непрерывно распределена в пространстве, и намечается необходимость введения атомистических представлений. По мере развития точных методов измерения стало ясно, что одной атомистикой вещества дело не обойдется, что и энергия в известном смысле обладает атомистической структурой. Становится ясным и то, что различие между корпускулярными и волновыми процессами, до сих пор считавшееся чем-то само собой разумеющимся и которое мы положили в основу наших рассуждений, принципиально не осуществимо и его можно вводить лишь как предельный случай. Ибо как, с одной стороны, в однородной волне энергия фактически находится в дискретных частицах, так, с другой стороны, при столкновении двух молекул всегда наблюдаются интерференционные явления, как при наличии двух групп волн.

Максвелл не был свидетелем этого переворота, его задачей могло быть только построение и завершение классической теории, и, выполняя эту миссию, он достиг наивысшего из того, что можно себе представить. Имя его блистает на вратах классической физики и мы имеем право сказать о нем: по рождению он принадлежит Эдинбургу, как личность он принадлежит Кембриджу, а труды его — достояние всего мира.

## Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности

---

А. Эйнштейн

Вера в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта, лежит в основе всего естествознания. Но так как чувственное восприятие дает лишь косвенные сведения об этом внешнем мире, или «физической реальности», последняя может быть познана нами только спекулятивным путем. Отсюда вытекает, что наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными. Мы всегда должны быть готовы менять эти представления, т. е. аксиоматическую основу физики, для того чтобы логически наиболее совершенным путем объяснить результаты наблюдений. Обзор развития физики показывает, что эта аксиоматическая основа действительно претерпевала со временем глубокие изменения.

После основания теоретической физики Ньютоном наиболее значительное изменение ее аксиоматической основы было вызвано исследованием электромагнитных явлений Фарадеем и Максвеллом. Попытаемся уточнить этот вопрос рассматривая его развитие как до этих исследований, так и после них.

Согласно системе Ньютона, физическая реальность характеризуется понятиями *пространства, времени, материальной точки, силы* (или эквивалентным ей взаимодействием материальных точек), а физические явления нужно рассматривать как подчиняющиеся определенным законам движения материальной точки в пространстве. Материальная точка является единственным представителем реаль-

ности, поскольку она изменчива. К понятию материальной точки, безусловно, привели наблюдаемые тела; материальную точку можно себе представить подобной лишенному признаков протяженности, формы, пространственной ориентации, всех «внутренних» свойств, сохранившему лишь инерцию и трансляцию, движущемуся телу, к которому добавляется лишь понятие силы. Материальные тела, которые психологически вызвали образование понятия «материальная точка», со своей стороны сами должны были теперь рассматриваться как система материальных точек. Необходимо отметить, что по своей сущности эта теоретическая система является атомистической и механистической. Все события рассматривались чисто механически, т. е. как происходящие по закону Ньютона простые движения материальных точек.

Самым уязвимым местом теоретической системы, отвлекаясь от обсуждающихся вновь в последнее время трудностях понятия «абсолютного пространства», было главным образом учение о свете. В соответствии со своей теорией Ньютон считал, что свет тоже состоит из материальных точек. Уже тогда со всей остротой возникала проблема: что происходит с материальными точками, образующими свет, при его поглощении? Кроме того, не удовлетворял тот факт, что для описания света и весомой материи необходимо было ввести в рассмотрение материальные точки совершенно различного рода. К ним позже добавились частицы третьего рода — электрические, с совершенно другими основными свойствами. Наконец, слабость всей системы заключается в абсолютно произвольном гипотетическом выборе сил, определяющих происходящие явления. И все-таки эта концепция реальности дала многое. Как случилось, что почувствовалась необходимость ее остановить?

Чтобы придать своей системе математическую форму, Ньютон был вынужден ввести понятие производной и представить законы движения в виде обыкновенных дифференциальных уравнений. Это был, возможно, крупнейший мыслимый шаг, который суждено было сделать кому-либо из людей. Дифференциальные уравнения в частных производных здесь не нужны, и Ньютон ими систематически и не пользовался. Но эти уравнения были необходимы для механики деформируемых тел; это было связано с тем, что в начале в таких задачах не играло роли, каким образом тела построены из материальных точек.

Дифференциальное уравнение в частных производных вошло в теоретическую физику в качестве служанки, но постепенно оно стало госпожой. Это началось в XIX в., когда утвердилась волновая теория света. Свет в пустом пространстве рассматривался как колебательный процесс в эфире, и должно было казаться бесполезным считать и эфир конгломератом материальных точек. Здесь впервые дифференциальные уравнения в частных производных выступили в физике как естественное выражение элементарного процесса. Континуальное поле вошло в одну из областей теоретической физики как представитель физической реальности наряду с материальной точкой. Этот дуализм не исчез до сих пор хотя такое положение должно казаться неестественным.

Хотя после этого представление о физической реальности перестало быть чисто атомистическим оно оставалось механистическим. Вновь и вновь пытались все происходящие события интерпретировать как движения инертной массы, ибо другой трактовки просто нельзя было себе представить. И тут наступил великий перелом, который во все времена будут связывать с именами Фарадея, Максвелла и Герца. Львиная доля в этой революции принадлежит Максвеллу. Он показал, что все известное тогда о свете и электромагнитных явлениях может быть изложено с помощью его, ныне широко известной, двойной системы дифференциальных уравнений в частных производных, куда электрическое и магнитное поля входили как зависимые переменные. Правда, Максвелл пытался обосновать или оправдать эти уравнения с помощью мысленных механических построений. Он использовал одновременно несколько таких построений, и ни одно из них не считал истинным, так что существенными оказались лишь уравнения и фигурирующие в них элементарные, не сводимые к другим сущностям, силы поля. К концу XIX в. концепция об электромагнитном поле как несводимой сущности, стала уже всеобщей, и серьезные физики перестали верить в правомочность или возможность механического обоснования уравнений Максвелла. Наоборот вскоре стали даже пытаться использовать материальные точки и их инерцию с позиций теории поля при помощи уравнений Максвелла. Но эти попытки конечно не увенчались успехом.

Если отвлечься от отдельных значительных результатов, полученных Максвеллом на протяжении всей его жиз-

ны в важных областях физики, и направить все внимание на те изменения, которые из-за них претерпело воззрение на природу физической реальности, то можно сказать, что до Максвелла физическая реальность, поскольку она выражает явления в природе, мыслилась как материальные точки, изменения которых состоят только в движениях, регулируемых дифференциальными уравнениями в частных производных. После Максвелла физическая реальность мыслится выраженной необъяснимыми, с механической точки зрения, континуальными полями, подчиняющимися дифференциальным уравнениям в частных производных. Это изменение представления о реальности является наиболее глубоким и плодотворным из всех, которые знала физика после Ньютона. Но нужно признать, что полная реализация идей этой программы еще никоим образом не удалась. Установленные с тех пор и добившиеся успеха физические теории являются скорее компромиссом между обеими программами. Именно из-за своего компромиссного характера эти системы носили на себе печать недолговечности и логического несовершенства, несмотря на то, что в отдельности каждая из них добивалась значительных успехов.

В первую очередь следует назвать созданную Лоренцом электронную теорию, в которой поле и электрические частицы одновременно выступают в качестве равноправных элементов концепции реальности. За ней последовали специальная и общая теория относительности, которые (хотя они полностью основаны на представлениях теории поля) не смогли избежать введения материальных точек и обыкновенных дифференциальных уравнений.

Последним, добившимся больших успехов, творением теоретической физики является квантовая механика. В своей основе она принципиально отклоняется от обеих программ, которые мы кратко назовем программами Ньютона и Максвелла. Ибо фигурирующие в ее законах величины не претендуют на выражение *самой* физической реальности; они дают только *вероятности* наступления какой-либо рассматриваемой физической реальности. Дирак, которому, по моему мнению, мы обязаны наиболее логически удовлетворительным изложением этой теории, справедливо указывает, что, например, должно быть нелегко так теоретически описывать фотон, чтобы это описание содержало достаточное основание для суждения о том, пройдет

ли фотон через поставленный на его пути под углом поляризатор или нет.

Я все-таки склонен думать, что физики недолго будут ограничиваться таким косвенным описанием реальности, даже если удастся удовлетворительным образом согласовать эту теорию с постулатом общей относительности. Тогда, вероятно, снова нужно будет вернуться к попытке реализации программы, которую мы можем, собственно, назвать программой Максвелла: описание реальности полями, удовлетворяющими дифференциальным уравнениям, не содержащим сингулярностей.