

Из предисловия автора

Главная цель этой книги — изложить теорию относительности как единое целое, разъяснить причины ее принятия, объяснить ее сущность по возможности без привлечения математического аппарата и выяснить ограниченную справедливость некоторых из кажущихся самоочевидными утверждений «здравого смысла», которые затрудняют для нас полное принятие выводов теории относительности. Мы постараемся показать, что представления этой теории так связаны друг с другом, что образуют единое целое, коренным образом отличное от системы понятий прежней ньютоновской теории, и разъясним мотивы перехода от этой последней к столь отличной от нее теории относительности. Таким образом, мы надеемся, что это в какой-то мере дополнит представления, излагаемые во многих специальных курсах, в частности тех, которые входят в стандартную учебную программу вуза и дают студентам лишь отрывочные представления о логической и концептуальной структуре физики в целом.

Мы начнем эту книгу с краткого обзора дорелятивистской физики и некоторых главных экспериментальных фактов, которые вынудили физиков подвергнуть ревизии прежние представления о пространстве и времени, царившие по крайней мере со времен Ньютона. Значительное внимание уделим некоторым попыткам оставить в силе ньютоновские представления, особенно предпринимавшимся Лоренцем в рамках теории эфира. Преимущество такой последовательности изложения не только в том, что она помогает читателю лучше понять историю этого критического этапа развития физики, но и в том, что она чрезвычайно ясно показывает природу тех

трудностей, к которым приводили прежние представления. Лишь на фоне этих трудностей удастся вполне понять тот факт, что главная заслуга Эйнштейна состояла не столько в открытии новых формул, сколько в радикальном изменении наших основных представлений о пространстве, времени, материи и движении.

Подать эти новые представления без их истинной связи с прежними представлениями значило бы создать ложное впечатление, будто теория относительности — просто кульминационная точка старой линии развития физики, и не выявить того факта, что теория относительности является новым направлением развития физики, несовместимым с ньютоновскими концепциями уже на том этапе, когда она распространяет физические законы на новые неожиданные области. Поэтому хотя изучение представлений, лежащих в основе теории эфира, отнимет ценное время, которое можно было бы использовать лучше, автор считает, что полезно включить краткий обзор и этих понятий.

Эйнштейн сделал принципиально новый шаг, приняв *относительный* подход к физике. Вместо того чтобы предположить, что предметом физики является изучение абсолютного *вещества*, лежащего в основе мира (например, эфира), он принял, что физика — это лишь изучение *взаимосвязей* между различными сторонами этого мира, тех взаимосвязей, которые принципиально наблюдаемы. В связи с этим важно понять, что прежние ньютоновские представления были смесью этих двух подходов: хотя пространство и время рассматривались как абсолютные, они тем не менее обнаруживали множество «релятивистских» свойств. В этой книге обращается большое внимание как на анализ старых представлений о пространстве и времени, так и на анализ тех представлений «здравого смысла», на которых они основывались, поэтому становится очевидным смешение относительного и абсолютного подходов в ньютоновской физике.

Итак, сначала обсудим некоторые из обычно «скрытых» предположений, лежащих в основе «здравого смысла» и ньютоновских представлений о пространстве и времени, — представлений, которые должны быть от-

брошены, если мы стремимся понять теорию относительности. Затем перейдем к эйнштейновскому анализу понятия одновременности, когда время рассматривается как род «координаты», выражающей взаимосвязь события и конкретного физического процесса, в котором эта координата измеряется. Согласно опыту, величина реально измеряемой скорости света для всех наблюдателей постоянна; отсюда следует, что наблюдатели, движущиеся с различными скоростями, не могут находиться в согласии относительно того, какую величину временной координаты следует приписать удаленным событиям. Это означает, что между ними не будет согласия в определении длин предметов и скорости хода часов. Так, без привлечения каких-либо расчетов можно качественно получить основные следствия теории относительности. Затем покажем, что преобразования Лоренца позволяют выразить в точной количественной форме те выводы, которые прежде были получены без помощи математики. Можно надеяться, что читатель таким образом сначала поймет в общих чертах значение эйнштейновских представлений о пространстве и времени, равно как и теоретические трудности и опытные факты, которые приведут его к принятию этих представлений, а уж затем он сможет разобраться в тонкостях вопроса, вооружившись математикой.

Далее объясняются некоторые принципиальные следствия из преобразований Лоренца, причем не только с точки зрения смысла этих преобразований, но и естественного подхода к формулировке *принципа относительности*: основные физические законы — это инвариантные *соотношения*, одинаковые для всех наблюдателей. Принцип относительности будет проиллюстрирован на ряде примеров. Мы покажем затем, что этот принцип приводит к формулам теории относительности Эйнштейна, выражающим зависимость массы и импульса тела от его скорости. Анализируя эти формулы, придем к знаменитому эйнштейновскому закону

$$E = mc^2,$$

устанавливающему связь между энергией тела и его массой. Мы во всех подробностях разберем смысл этого

закона, обратив особое внимание на проблему «энергии покоя» и ее истолкование на основе колебательного движения частиц тела, стремящихся занять низшие энергетические уровни. Автор по своему опыту знает, что эта связь между массой и энергией вызывает большую путаницу в умах читателей главным образом потому, что эта связь противоречит известным «интуитивным» предположениям о строении нашего мира, покоящимся на представлениях «здорового смысла» и их развитии в механике Ньютона. Поэтому полезно разобраться в неявно принимаемых представлениях «здорового смысла», касающихся массы, и убедиться в их необязательности. Проанализировав различия между ньютоновским и эйнштейновским пониманиями массы, мы увидим, что в эквивалентности массы и энергии нет ничего парадоксального.

На протяжении всей книги мы будем постоянно обращать внимание на вошедшую в привычку тенденцию рассматривать старые методы мышления как неизбежные — тенденцию, которая всегда сильно тормозила развитие новых научных идей. Корни этой тенденции лежат в молчаливом предположении, будто физические законы — это абсолютные истины. В этой книге мы проанализируем довольно подробно само понятие абсолютной истины и покажем, что оно расходится с фактами исторического развития науки. Покажем, что научную истину лучше рассматривать как систему взаимосвязей, справедливых в ограниченной области, пределы которой можно определить лишь в ходе дальнейшего развития эксперимента и теории. Хотя у любой данной науки могут быть длительные периоды развития и формулировки системы основных понятий, время от времени она должна вступать в критическую фазу, когда старые понятия, ранее казавшиеся ясными, становятся неясными и сомнительными. При разрешении таких кризисов происходит радикальная смена основных понятий, причем новые идеи противостоят старым, сохраняя вместе с тем их верные стороны в частных случаях, предельных случаях и в приближениях. Таким образом, научные исследования — это не процесс постоянного накопления абсолютных истин, достигший своего апогея в современных тео-

риях, а процесс гораздо более динамический, при котором не может быть окончательных теоретических представлений, пределы применимости которых не имели бы границ. Признание этого факта должно сослужить пользу не только в физике, но и в других науках, сталкивающихся с подобными проблемами.

Мы закончим книгу обсуждением диаграмм Минковского, сделав это весьма подробно для того, чтобы графически проиллюстрировать содержание принципа относительности. В этой иллюстративной части введем «метод коэффициента k », который помогает понять эйнштейновские представления о пространстве и времени, а также провести сравнение между следствиями этих представлений и представлений Ньютона. Мы подчеркнем здесь роль понятий *события* и *процесса* как основы релятивистской физики в противовес понятиям *предмета* и его *движения*, на которых основывалась теория Ньютона. Это приведет нас к гиперболической геометрии пространства-времени Минковского, в которой события, лежащие внутри световых конусов прошлого и будущего, инвариантно отличаются от событий, лежащих вне этих конусов. Благодаря такому отличию становится ясно, что различные наблюдатели не могут прийти к согласию в вопросе об одновременности в релятивистской физике, но это никоим образом не нарушает порядка причины и следствия при условии, что посылать сигналы, распространяющиеся быстрее света, невозможно.

Мы включили в книгу подробное обсуждение истории двух неодинаково быстро старящихся близнецов, один из которых остается на Земле, тогда как другой отправляется в путешествие на космическом корабле со скоростью, близкой к скорости света. Цель этого обсуждения — проиллюстрировать смысл «собственного времени», причем детально выясняется, как именно эйнштейновские понятия пространства и времени допускают для двух раздельно движущихся наблюдателей возможность прожить разные промежутки «собственного времени» между их двумя последовательными встречами.

Наконец мы обсуждаем вопрос о взаимосвязи между реальным миром и нашими различными альтернативными концептуальными представлениями его, такими, как

ньютоновская и эйнштейновская физика. Цель этого обсуждения — устранить путаницу, возникающую при отождествлении концептуального представления действительности с самой действительностью. Такое смещение приводит к трудностям, с которыми сталкивается читатель, впервые разбирающийся в теории относительности. К тому же это понятие о взаимосвязи, основанной на таком представлении, играет фундаментальную роль в математике, так что понимание, скажем, диаграмм Минковского как некоторого отражения реальности поможет читателям прийти к более широкому пониманию связи между физикой и многими разделами математики.

Мы снабдили основной текст приложением, в котором связали эйнштейновские представления о пространстве, времени и материи с некоторыми свойствами обычного восприятия. Обыкновенно полагают, что ньютоновские представления находятся в полном согласии с восприятием повседневного опыта. Однако новейшие экспериментальные и теоретические успехи в изучении естественного процесса восприятия обнаруживают, что многие из представлений «здравого смысла» оказываются неадекватными и путанными, когда они соотносятся с нашими восприятиями, так же как это имеет место в релятивистской физике. Правда, существует заметная аналогия между релятивистским пониманием мира как структуры, сложенной из событий и процессов, законы которых — инвариантные взаимосвязи, и нашим действительным восприятием мира через абстрагирование инвариантных взаимосвязей между событиями и процессами при нашем непосредственном контакте с этим миром. Мы подробно развиваем эту аналогию в приложении, где приходим к мысли о том, что наука — это в основном скорее способ расширения нашего контакта с миром в ходе восприятия, чем собрание знаний о мире. С этих позиций легко понять, почему научное исследование не приводит к познанию абсолютной истины, а приводит лишь (как и при обычном восприятии) к осознанию и пониманию все возрастающего участка мира, с которым мы вступаем в контакт.

Лондон, Англия,
январь 1964 г.

Дэвид Бом