

и отсутствие выделенной системы, находящейся в состоянии абсолютного покоя,— эти утверждения известны под общим названием *принцип относительности*. Принцип относительности не подвергался пересмотру на протяжении более 200 лет. За это время физики сжились с мыслью о том, что в мире не существует абсолютного покоя или абсолютного движения, но существует абсолютное ускорение. Что касается абсолютного ускорения всех физических тел, оно определяется силами, возникающими в результате близости других физических тел.

3. Универсальность скорости света

Для того чтобы установить *абсолютный покой* и *абсолютное движение*, следует выделить из всех инерциальных систем отсчета ту единственную систему, которая не просто не имеет ускорения относительно остальных, но обладает еще каким-то иным дополнительным свойством (причем этим свойством не обладают все остальные инерциальные системы), которое делает эту систему *единственной* системой для описания всех процессов во Вселенной. Но оказалось, что во всей Вселенной, построенной Ньютоном, нет никакого способа выделить такую привилегированную систему.

На протяжении девятнадцатого столетия многие выдающиеся физики внесли значительный вклад в учение об электричестве и магнетизме. Среди них следует отметить голландца Ганса Эрстеда (1777—1851), двух выдающихся английских физиков — Михаила Фарадея (1791—1867) и Джемса Клерка Максвелла (1831—1879), наконец, немецкого физика Генриха Герца (1857—1894). В частности, Максвелл уже понимал, что электромагнитные явления не укладываются в схему ньютоновской механики. Если в механике Ньютона считалось, что силы взаимодействия между телами всецело определяются расстоянием между этими телами, в электродинамике оказалось, что движущиеся заряды, в частности заряды, которые создают электрический ток, вызывают такие действия, с которыми мы не встречаемся, когда рассматриваем заряды, находящиеся в покое. Небесные тела только притягивают друг друга; когда электрические заряды покоятся, они либо притягивают, либо отталкивают друг друга, но в любом случае действующие между ними

силы направлены по прямой, соединяющей эти заряды. Эрстед обнаружил, что электрический ток (который образуется движущимися зарядами) действует с некоторой силой на магнитную стрелку; эта сила направлена под прямым углом к направлению тока. Из данных астрономических наблюдений как будто бы следовало, что сила, действующая между двумя телами, зависит только от взаимного расположения тел в данный момент (от мгновенной конфигурации). Однако Герц показал, что электромагнитные возмущения распространяются как волны, причем скорость распространения этих волн конечна. Отсюда следовало, что сила, испытываемая одним телом за счет другого, может быть выделена и объяснена только в том случае, если известна история движения другого тела.

Максвеллу удалось дать описание всех известных электромагнитных явлений в математической форме, которая не потеряла своего значения и в наши дни. Вся его теория сконцентрирована в небольшой системе уравнений, которую называют *системой уравнений Максвелла*. Опираясь на представления Фарадея, высказанные несколько раньше, Максвелл развивал понятия *поля* в противоположность Ньютону, который исходил из представления о непосредственном действии тел друг на друга через пустое пространство (*теория дальнего действия*). Фарадей и Максвелл думали, что электрически заряженные тела вызывали некоторые натяжения в прилегающей к ним части пространства. Эти натяжения в свою очередь вызывали натяжения, расходящиеся по нарастающим концентрическим окружностям; их величина постепенно убывала по мере удаления от заряженного тела. Такие натяжения — мы можем представлять их себе как нечто существующее в пространстве, которое во всех остальных отношениях является пустым, — и называются полями. Согласно Фарадею и Максвеллу поле действует с некоторой силой на все частицы, которые в него попадают. Таким образом, поля оказываются посредниками, с помощью которых осуществляется взаимодействие между материальными частицами и которые берут на себя роль ньютоновского дальнего действия.

Уравнения Максвелла описывают математически связь между электрическими зарядами и токами, с одной стороны, и создаваемыми ими электрическими и магнитными полями — с другой. Эти же уравнения описывают связь

между самими полями. Например, одно из уравнений Максвелла утверждает, что переменное во времени магнитное поле вызывает появление электрического поля, хотя никаких электрических зарядов при этом нет. Этот закон, носящий название *закона электромагнитной индукции*, используется в электрических генераторах (динамомашинках), в обмотках которых возбуждается электродвижущая сила за счет изменения пронизывающих их магнитных полей.

Теория Максвелла не только предсказала конечную скорость распространения электромагнитных волн, но и позволила вычислить ее значение, которое оказалось равным $300\,000\text{ км/сек}$; т. е. эта скорость в точности равна скорости света. Отсюда Максвелл заключил, что свет представляет собой частный случай электромагнитных волн; это предположение позже было полностью подтверждено. Под влиянием идей Максвелла Герц осуществил лабораторный эксперимент, доказавший существование электромагнитных волн и ставший отправной точкой для развития радиосвязи.

В законы механики входят только ускорения, а не скорости, в основные законы электромагнитных явлений входит универсальная скорость — скорость распространения света в пустоте. Ее значение, предсказываемое теорией Максвелла и впоследствии подтвержденное многочисленными экспериментами и наблюдениями, одинаково для электромагнитных волн любой длины волны — радиоволн, света, рентгеновских лучей.

Но как только мы столкнулись с универсальностью скорости света, нам следует пересмотреть выводы ньютоновской физики, касающиеся выбора системы отсчета. До тех пор, пока для законов физики были существенны лишь ускорения, все инерциальные системы были в равной степени хороши для описания явлений природы. Действительно, если мы не выходим за рамки явлений механики, нет никаких экспериментов или наблюдений, которые позволили бы выделить какую-то одну привилегированную систему отсчета в качестве фундаментальной. Однако если в пустоте свет всегда распространяется с универсальной скоростью $300\,000\text{ км/сек}$ (эту скорость в дальнейшем мы будем обозначать латинской буквой c), то точное определение кажущейся скорости света относительно лабораторных приборов дает возможность найти

скорость этих приборов относительно остальной части Вселенной. В этом случае должна существовать одна система отсчета, относительно которой свет всегда движется со скоростью c . Назовем эту выделенную систему отсчета системой *абсолютного покоя* или, короче, абсолютной системой. (Исторически эту систему отсчета связывали с гипотетической средой, в которой должны были распространяться электромагнитные волны. Эту среду называли *светоносным эфиром*. Считалось, что эфир играет ту же роль для распространения электромагнитных волн, какую играет воздух для распространения звука.) Следовательно, по отношению к любой другой системе отсчета кажущаяся скорость света должна быть меньше, чем она была бы, если бы ее измеряли в том направлении, в котором рассматриваемая система отсчета движется относительно абсолютной; кажущаяся скорость света должна быть больше c , если система отсчета движется в противоположном направлении. Круг на рис. 10 изображает след светового сигнала, распространяющегося из точки O через секунду после вспышки света в O . Если в течение той же самой секунды наблюдатель сдвинется влево на расстояние v , то относительно этого наблюдателя световой сигнал переместится влево всего лишь на расстояние $c - v$, зато вправо сигнал уйдет на расстояние $c + v$.

Для того чтобы обнаружить состояние абсолютного покоя, как казалось на первый взгляд, нужны были всего-навсего точные опыты в области электромагнитных явлений. Поэтому многие экспериментаторы строили приборы с тем, чтобы завершить вопрос об абсолютной системе. Среди них были американские физики Альберт Майкельсон (1852—1931) и Эдвард Морли (1838—1923).

Мы не станем входить в подробности этих экспериментов. Достаточно сказать, что немало остроумия и труда было вложено в попытки обнаружить отклонение скорости света от величины c при его распространении по различным направлениям. Эксперименты ставились с потрясающей точностью, так что можно было бы уловить ничтожные изменения скорости. Но все попытки окончились безрезультатно; все они привели к выводу, который в то время казался непостижимым: нет никакого абсолютного движения Земли относительно привилегированной системы отсчета. Голландский физик Генрих Антон Лоренц (1853—1928) разработал теоретическую схему, согласно

которой при движении физических объектов, в том числе и измерительных линеек, относительно абсолютной системы происходит сжатие этих объектов в направлении движения; это сжатие происходит таким образом, что различия в скорости света не могут быть обнаружены никакими лабораторными приборами.

Французский математик Жюль Анри Пуанкаре (1854—1912) высказал мысль о том, что невозможность экспериментального выделения абсолютной системы отсчета указывает просто на то, что такой системы не существует и что представление Ньютона о равноправии всех инерциальных систем оказалось правильно. В 1905 г. Эйнштейн на основе идей Лоренца и Пуанкаре по-новому подошел к вопросу о выборе системы отсчета и в конечном счете сумел объяснить, почему эксперимент не может обнаружить абсолютное движение Земли, не вступая при этом в противоречие с электромагнитной теорией Максвелла. Объяснение Эйнштейна требовало видоизменения традиционных взглядов на пространство и время. Такое изменение позволяло сохранить и равноправие всех инерциальных систем отсчета и справедливость теории Максвелла.

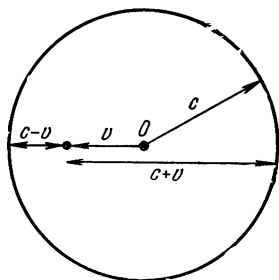


Рис. 10. Кажущаяся скорость света согласно гипотезе неподвижного эфира.

1. Специальная теория относительности

Уже со времен Ньютона считалось, что все системы отсчета представляют собой набор жестких стержней или каких-то других предметов, позволяющих устанавливать положение тел в пространстве. Конечно, в каждой системе отсчета такие тела выбирались по-своему. Вместе с тем принималось, что у всех наблюдателей «естественно» одно и то же универсальное время. Это предположение казалось интуитивно настолько очевидным, что его обычно специально не оговаривали, а считали само собой разумеющимся. В повседневной практике на Земле это предположение подтверждается всем нашим опытом. Кому придет в голову сомневаться в том, что секундомер футбольного судьи,