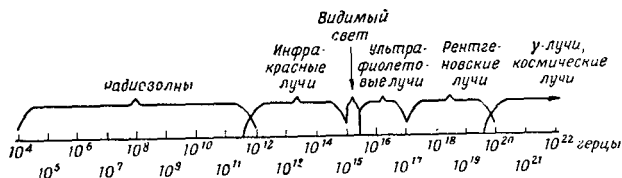

*Вопрос об относительности
законов электродинамики*

Мы видели, что даже ньютоновская механика содержит много релятивистских черт. Следовательно, релятивистские представления проникли в физику еще до Эйнштейна. Ему принадлежит распространение этих представлений на область электродинамики и оптики, иначе говоря, Эйнштейн явным и последовательным образом заложил основу для важного вывода, что все законы физики представляют собой инвариантные соотношения, связывающие те изменения, которые имеют место в явлениях природы.

Чем была вызвана необходимость распространить релятивистский подход на электродинамику и оптику? Дело главным образом в том, что скорость распространения света конечна, а именно равна $c \approx 3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Кроме того, свет первоначально считали состоящим из частиц, имеющих эту скорость, но позднее было обнаружено, что это волновой процесс, при котором может происходить интерференция, дифракция и т. п. Действительно, уравнения Максвелла для векторов напряженностей \mathcal{E} и \mathcal{H} предсказывали волны такого рода, причем их скорость определялась отношением электростатических к электромагнитным единицам измерения. Вычисленная отсюда величина скорости совпала с наблюдаемым значением скорости света. Это был сильный аргумент в пользу электромагнитной природы света. Следующим важным шагом в подтверждение этого истолкования было открытие совпадения между наблюдаемыми поляризационными свойствами света и предсказанными теорией электромагнетизма. Световые, инфракрасные и ультра-

фиолетовые лучи, равно как и многие другие виды излучения, были тогда объяснены как электромагнитные волны весьма высокой частоты, излучаемые электронами, атомами и т. д., движущимися в нагретой или каким-либо иным образом возбужденной среде. Позднее в лабораторных условиях были получены электромагнитные волны низкой частоты, но той же природы (радиоволны). Так постепенно был заполнен весь спектр электромагнитного излучения, изображенный на фиг. 1.



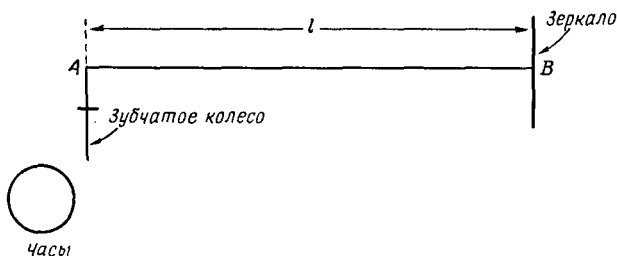
Фиг. 1.

Звуковые волны представляют собой колебания материальной среды, скажем воздуха. Было постулировано, что и электромагнитные волны точно так же распространяются в тончайшей абсолютно проницаемой (заполняющей все пространство) среде, называемой «эфиром». Этот эфир предполагается таким тонким, что планеты движутся в нем без заметного трения. Электромагнитное поле считали некоторым видом натяжений эфира, напоминающим те натяжения, которые бывают в обычных твердых, жидких и газообразных веществах, передающих звуковые волны и механические напряжения. Таким образом, эфир рассматривался как среда, поддерживающая фарадеевы электрические и магнитные «силовые трубки».

Если бы это предположение оправдалось, то галилеев релятивизм механики не мог бы быть справедливым в электродинамике и, в частности, в теории света. Ведь если свет имеет относительно эфира скорость c , то, согласно закону сложения скоростей Галилея (2.3), эта скорость была бы равна $c' = c - u$ в той системе отсчета, которая движется относительно эфира со скоростью u . Тогда уравнения Максвелла должны иметь различный

вид в разных галилеевых системах отсчета, иначе мы не получили бы разного значения скорости света. Законы электродинамики выделяли бы «привилегированную систему отсчета», т. е. ту, которая связана с эфиром.

Сама по себе эта мысль, конечно, не была бы порочной. Например, звуковые волны и в самом деле движутся с некоторой скоростью v_s относительно воздуха. Если же взять поезд, идущий со скоростью u , то относительно него скорость внешних звуковых волн равна $v'_s = v_s - u$.



Фиг. 2.

Однако не следует забывать, что если воздух на основании многих независимых соображений является хорошо изученной материальной средой, то эфир остается неподтвержденной гипотезой, введенной лишь для того, чтобы объяснить распространение электромагнитных волн. Поэтому необходимо было получить независимое подтверждение его существования и наличия у него каких-то свойств.

Одним из самых очевидных методов такой проверки было измерение скорости света в движущейся системе отсчета. Оно должно было показать, что скорость света c' относительно движущейся системы равна $c' - u$, где u — скорость системы отсчета. Рассмотрим, например, опыт Физо, представленный на фиг. 2. Свет проходит через вращающееся зубчатое колесо в точке А, покрывает расстояние l и отражается зеркалом. Скорость вращения колеса подбирается так, чтобы отраженный свет возвращался между следующими двумя зубцами. Взяв подходящие часы, можно измерить скорость вращения

колеса, а на основании ее определить то время T , за которое наше колесо повернется на один зубец. Тогда скорость света определяется из формулы

$$c = \frac{2l}{T}. \quad (3.1)$$

Известно, что Земля должна двигаться сквозь гипотетический эфир с некоторой переменной и неизвестной скоростью v . Ясно, однако, что эта скорость будет различаться, например, летом и зимой приблизительно на 60 км/сек. Посмотрим теперь, проявится ли это различие в величине скорости света в результатах наблюдений, проводимых в разные времена года.

Скорость света относительно эфира равна c ; тогда в лабораторной системе отсчета она будет равна $c-v$ при движении света навстречу зеркалу и $c+v$ после отражения. Поэтому полное время T распространения света туда и обратно равно

$$\begin{aligned} T &= \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{2lc}{c^2-v^2} = \frac{2l}{c} \frac{1}{1-(v/c)^2} \approx \\ &\approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2} + \dots \right), \end{aligned} \quad (3.2)$$

где мы разложили результат в ряд по степеням малой величины v/c , ограничившись членами до второго порядка включительно.

Отметим, что наблюдаемый эффект будет пропорционален лишь v^2/c^2 — величине порядка 10^{-8} . В те времена, когда физики приступали к серьезному анализу рассматриваемой проблемы (конец XIX века), такой эффект был слишком слаб, чтобы быть замеченным с помощью существовавших приборов.