

Глава 2

СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

В геометрической оптике исследуется только направление световых лучей. Более глубоко свойства света и его взаимодействие с веществом рассматриваются в физической (волновой) оптике, принимающей во внимание волновую природу света.

§ 2.1. СКОРОСТЬ СВЕТА

Мы начнем главу с рассказа о том, как была измерена скорость света.

Когда мы поворачиваем выключатель, то вся комната сразу же озаряется светом. Кажется, что свету совсем не надо времени, чтобы достигнуть стен. Делались многочисленные попытки измерить скорость света. Одна из первых попыток принадлежала Г. Галилею. На вершинах двух холмов на расстоянии 1,5 км друг от друга находились два наблюдателя с фонарями. Первый наблюдатель подавал сигналы фонарем другому наблюдателю, который, увидев свет, посылал сигнал своим фонарем обратно. Промежуток времени между посылкой и приемом сигнала первый наблюдатель измерял по числу ударов пульса. Время при этом получалось конечным, хотя и очень малым. Но Галилей понял, что задержка ответного сигнала связана со скоростью реакции нервной и мышечной систем человека, а не с конечной скоростью света. В конце концов скорость света была измерена с помощью более совершенных методов.

Астрономический метод измерения скорости света

Скорость света впервые удалось измерить датскому ученому О. Рёмеру в 1676 г. Рёмер был астрономом, и его успех объясняется именно тем, что проходимые светом расстояния, которые он использовал для измерений, были очень велики. Это расстояния между планетами Солнечной системы.

Рёмер наблюдал затмения спутников Юпитера — самой большой планеты Солнечной системы. Юпитер в отличие от Земли имеет не менее четырнадцати спутников. Ближайший его спутник Ио стал предметом наблюдений Рёмера. Он видел, как спутник проходил перед планетой, а затем погружался в ее тень и пропадал из поля зрения. Затем он опять появлялся, как мгновенно вспыхнувшая лампа. Промежуток времени между двумя вспышками оказался равным 42 ч 28 мин. Таким образом, эта «луна» представляла собой громадные небесные часы, через равные промежутки времени посылавшие свои сигналы на Землю.

Вначале измерения проводились в то время, когда Земля при своем движении вокруг Солнца ближе всего подошла к Юпитеру (рис. 2.1). Такие же измерения, проведенные 6 месяцев спустя, когда Земля удалилась от Юпитера на диаметр своей орбиты, неожиданно показали, что спутник опоздал появиться из тени на целых 22 мин по сравнению с моментом времени, который можно было рассчитать на основании знания периода обращения Ио.

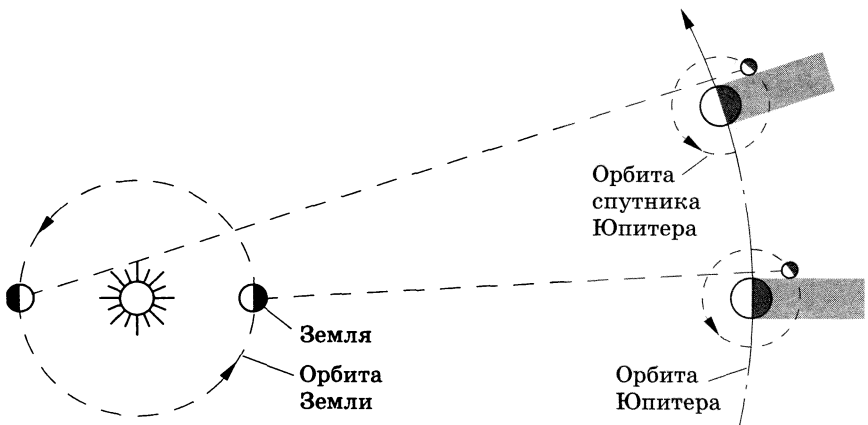


Рис. 2.1

Рёмер объяснял это так: «Если бы я мог остаться на другой стороне земной орбиты, то спутник всякий раз появлялся бы из тени в назначенное время; наблюдатель, находящийся там, увидел бы Ио на 22 мин раньше. Запаздывание в этом случае происходит от того, что свет употребляет 22 мин на прохождение от места моего первого наблюдения до моего теперешнего положения». Зная запаздывание появления Ио и расстояние, которым оно вызвано, можно определить скорость, разделив это расстояние (диаметр орбиты Земли) на время запаздывания. Скорость оказалась чрезвычайно большой, примерно $300\,000\text{ км/с}^*$. Поэтому-то крайне трудно уловить время распространения света между двумя удаленными точками на Земле. Ведь за одну секунду свет проходит расстояние больше длины земного экватора в 7,5 раза.

Лабораторные методы измерения скорости света

Впервые скорость света лабораторным методом удалось измерить французскому физику И. Физо в 1849 г. В опыте Физо свет от источника, пройдя через линзу, падал на полупрозрачную пластинку 1 (рис. 2.2). После отражения от пластинки сфокусированный узкий пучок направлялся на периферию быстро вращающегося зубчатого колеса. Пройдя между зубцами, свет достигал зеркала 2, находившегося на расстоянии нескольких километров от колеса. Отразившись от зеркала, свет, прежде чем попасть в глаз наблюдателя, должен был опять

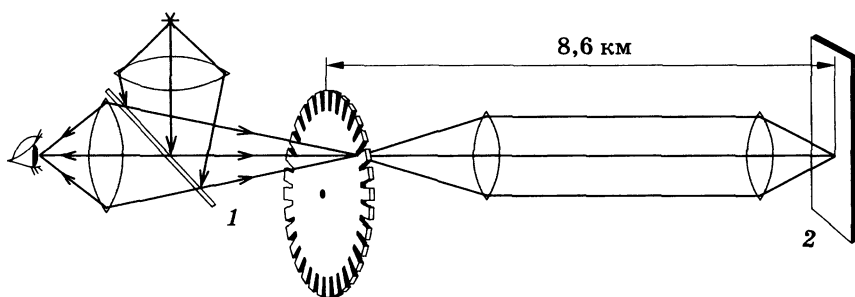


Рис. 2.2

* Сам Рёмер вследствие малой точности своих измерений и неточного знания радиуса орбиты Земли получил значение скорости $215\,000\text{ км/с}$.

пройти между зубцами. Когда колесо вращалось медленно, свет, отраженный от зеркала, был виден. При увеличении скорости вращения он постепенно исчезал. В чем же здесь дело? Пока свет, прошедший между двумя зубцами, шел до зеркала и обратно, колесо успевало повернуться так, что на место прорези вставал зубец и свет переставал быть видимым.

При дальнейшем увеличении скорости вращения свет опять становился видимым. Очевидно, что за время путешествия света до зеркала и обратно колесо успело повернуться настолько, что на место прежней прорези встала уже новая прорезь. Зная это время и расстояние между колесом и зеркалом, можно определить скорость света. В опыте Физо расстояние равнялось 8,6 км, и для скорости света было получено значение 313 000 км/с.

Было разработано еще много других, более точных лабораторных методов измерения скорости света. В частности, американский физик А. Майкельсон разработал совершенный метод измерения скорости света с применением вместо зубчатого колеса вращающихся зеркал.

Была измерена скорость в различных прозрачных веществах. Скорость света в воде была измерена в 1856 г. Она оказалась в $4/3$ раза меньше, чем в вакууме. Во всех других веществах она также меньше, чем в вакууме.

По современным данным, скорость света в вакууме равна $299\,792\,458$ м/с*. Ошибка в измерении скорости не превышает 0,3 м/с. Наиболее точные измерения скорости основаны не на определении времени прохождения светом определенного расстояния, а на независимом очень точном измерении частоты и длины электромагнитной волны.

Определение скорости света сыграло в науке очень важную роль. Оно в значительной степени способствовало выяснению природы света. Особое значение скорость света имеет потому, что ни одно тело в мире не может иметь скорость, превышающую скорость света в вакууме.

* В 1983 г. на заседании Генеральной конференции мер и весов было принято новое определение метра: «Метр есть длина пути, пройденного светом в вакууме в течение временного интервала, равного $1/299\,792\,458$ с». Из этого определения следует, что скорость света отныне принимается точно равной $299\,792\,458$ м/с. Это сделано для того, чтобы каждый раз не менять определение метра по мере увеличения точности измерения расстояний.