

## ГЛАВА XI

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

#### § 39. Давление света. Опыты Лебедева

Двойственная природа излучения, рассмотренная в предыдущем параграфе, представляет не преодоленные до настоящего времени трудности в наглядной интерпретации свойств излучения. С другой стороны, неразрывное единство волновых и корпускулярных свойств света позволяет глубже понять и истолковать ряд наблюдаемых явлений взаимодействия излучения с веществом. Рассмотрим в первую очередь с обеих точек зрения механическое действие света — давление, оказываемое им на встречные тела.

Максвелл, исходя из разработанной им теории электромагнетизма, впервые показал необходимость существования светового давления. Прямыми экспериментальными данными, подтверждавшими наличие такого давления, наука еще не располагала.

Качественно механизм давления света можно пояснить следующим образом. Пусть на плоскую поверхность  $P$  тела, сечение которого показано на рис. 1.158, падает перпендикулярно к ней

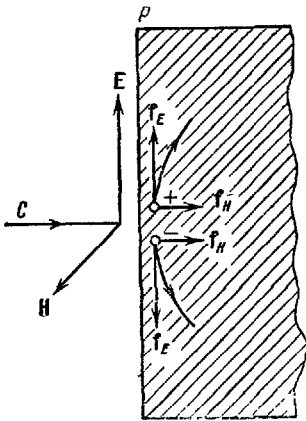


Рис. 1.158.

электромагнитная волна. Векторы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  лежат в плоскости  $P$ . Рассмотрим, как они будут воздействовать на электрические заряды, составляющие тело. Под действием силы  $f_E = qE$  положительный заряд начнет смещаться вдоль поверхности по направлению  $\mathbf{E}$ , а отрицательный — против. Такое смещение зарядов представляет собой поверхностный ток  $\mathbf{j}$ , параллельный  $\mathbf{E}$ . В телах со свободными зарядами (проводники) это будет ток про-

видимости, а в диэлектриках—поляризационный ток смещения. Магнитные силы  $f_n$ , действующие на ток  $j$ , будут по закону Ампера (т. II, § 31) направлены перпендикулярно к  $j$  и  $H$ , т. е. внутрь тела. Независимо от их знака, заряды, расположенные на поверхности тела и связанные с его атомами, «вдавливаются» в тело. Ускорение и скорость  $v$  этих зарядов пропорциональны величине  $E$ . Магнитные же силы пропорциональны  $[v \times H]$ , т. е., в конечном счете, произведению  $[E \times H]$ , а оно в свою очередь пропорционально плотности электромагнитной энергии падающей волны  $\omega$ . Точный расчет величины давления света  $p$  по теории Максвелла приводит к выражению

$$p = (1 + \rho)\omega, \quad (39.1)$$

где  $\rho$  — коэффициент отражения от данной поверхности.

Для развития электромагнитной теории света было чрезвычайно важно получить прямое экспериментальное доказательство этого эффекта. Однако обнаружение его осложнялось целым рядом побочных явлений. Частичное поглощение падающего света приводит к нагреванию поверхности. Тепло в свою очередь передается молекулам окружающего газа, в силу чего их движение, а следовательно, и оказываемое ими давление возрастают, причем этот «радиометрический эффект» легко перекрывает искомое световое давление.

Впервые преодолеть все экспериментальные трудности сумел П. Н. Лебедев. Идея опыта заключалась в том, что свет направлялся на одно из крылышек легкой вертушки (рис. 1.159), причем ее поворот измерялся по отклонению зайчика, отбрасываемого маленьким, укрепленным на вертушке зеркальцем.

Использование очень тонких крылышек привело к тому, что температура на обеих их поверхностях была практически тождественная, что при малом давлении свело радиометрический эффект почти к нулю. Для зеркального крылышка  $\rho \approx 1$ , а для зачерненного  $\rho \approx 0$ . Результаты, полученные Лебедевым в 1900 г., совпали с теоретическим значением (39.1) с точностью до 20%, что не выходило за рамки погрешности опыта.

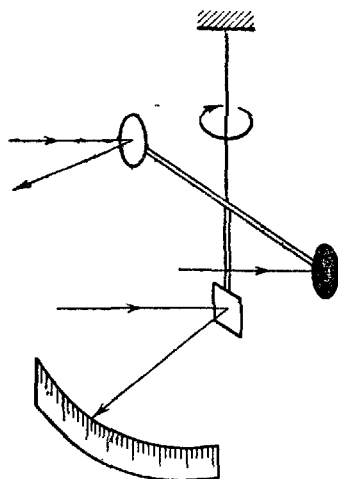


Рис. 1.159.

В 1907 г. Лебедеву удалось решить еще более сложную задачу — доказать наличие светового давления на газы и даже измерить его.

Величину светового давления проще подсчитать из квантовой теории. Пусть  $N$  — число летящих фотонов в единице объема падающего излучения,  $m_\phi$  — масса одного фотона,  $c$  — его скорость,  $m_\phi c$  — импульс. За время  $dt$  на площадку  $dS$  попадут все фотоны, находящиеся в цилиндре с площадью основания  $dS$  и высотой  $c dt$ , т. е.  $Nc dt dS$  фотонов. Из них доля  $\rho Nc dt dS$  отразится, а доля  $(1-\rho) Nc dt dS$  поглотится поверхностью. Поглощенные фотоны будут передавать стенке количество движения  $m_\phi c$ , а отраженные  $2m_\phi c$ . Полное количество движения, переданное стенке, должно равняться импульсу сил давления за то же время, т. е.

$$2m_\phi c \rho Nc dt dS + m_\phi c (1 - \rho) Nc dt dS = p dS dt.$$

Сокращая на  $dt dS$ , получим:

$$p = (1 + \rho) N m_\phi c^2 = (1 + \rho) M c^2 = (1 + \rho) \omega, \quad (39.2)$$

где  $M = N m_\phi$  есть масса единицы объема излучения, и мы использовали соотношение Эйнштейна между массой и энергией

$$\omega = M c^2 \quad (39.3)$$

для фотонов.

В качестве примера укажем, что солнечные лучи дают на черную пластинку ( $\rho \approx 0$ ) с площадью в  $1 \text{ м}^2$  при нормальном падении с силой, равной  $4 \cdot 10^{-6} \text{ н}$ , причем поглощаемая пластинкой мощность составляет около  $0,13 \text{ вт}$ . Давление на зеркальную пластинку ( $\rho \approx 1$ ) будет вдвое больше, поглощаемая мощность — практически нуль.

#### § 40. Люминесценция

Нагретые тела светятся. При этом энергия теплового движения атомов и молекул переходит в энергию излучаемого света.

Наряду с подобным температурным лучеиспусканием наблюдается свечение тел, вызванное превращением других форм энергии в световую. Эти явления холодного свечения объединяются общим термином люминесценция. В зависимости от источника энергии, возбуждающего свечение, различают хемилюминесценцию, электролюминесценцию и фотолюминесценцию.

Изучая свечение фосфора, гнилых деревьев, светлячков, В. В. Петров доказал, что оно обусловлено медленным горением, окислением этих тел или их составных частей. При этом энергия химической реакции окисления частично превращается в световую — происходит хемилюминесценция.