

Давление света

1. Экспериментальное изучение давления света

Гипотеза о том, что свет, падая на поверхность тела, производит на него давление, впервые была высказана Кеплером при изучении формы кометных хвостов, всегда направленных от Солнца.

Световое давление было обнаружено на опыте и впервые измерено П.Н. Лебедевым (1900 г.) при помощи опытов, представлявших для своего времени образец экспериментального искусства. П Лебедева состоял из легкого подвеса на тонкой нити, по краям которого были прикреплены тонкие и легкие крылышки, одно из которых было зачернено, а другое оставлено блестящим. Подвес помещался в откачанном сосуде, образуя весьма чувствительные крутильные весы. Свет от лампы концентрировался при помощи системы линз и зеркал на одном из крылышек и вызывал закручивание подвеса, которое наблюдалось при помощи зеркальца, прикрепленного к нити.

Измерения Лебедева дали величину, согласующуюся с теорией Максвелла с точностью до 20%.

Формула для величины светового давления впервые была получена Максвеллом в рамках классической электромагнитной теории света. Она имеет следующий вид:

$$p = w(1 + r), \quad (1)$$

Где $w = \frac{\Phi}{c}$ - объемная плотность энергии излучения, Φ - плотность потока излучения (количество энергии, падающей в единицу времени на единицу площади поверхности), r - коэффициент отражения, c – скорость света. Формула (1) справедлива при условии, что тело непрозрачно, а свет падает по нормали к поверхности. Для зачерненной поверхности, полностью поглощающей падающее на нее излучение $r = 0$, поэтому $p = \Phi/c$, для зеркальной поверхности, полностью отражающей излучение, $r = 1$ и $p = 2 \Phi/c$.

2 Давление света в рамках теории фотонов

Фотон — это элементарная частица, движущаяся в любой среде со скоростью света и не имеющая массы покоя. Фотон, как и любая другая частица, характеризуется энергией $E_0 = h\nu$, массой, импульсом.

В рамках фотонной теории световое давление интерпретируется как результат передачи импульса фотонов поглощающей или отражающей поверхности.

Пусть площадку тела площадью ΔS за время Δt падает по нормали K фотонов монохроматического света с длиной волны λ . Тогда Kr фотонов отразится, а $(1-r)K$ фотонов поглотится площадкой за это время. Изменение импульса тела за это время составит величину

$$\Delta P = \frac{h}{\lambda}(1-r)K + 2\frac{h}{\lambda}rK = K\frac{h}{\lambda}(1+r). \quad (2)$$

Поскольку изменение импульса тела равно импульсу силы, имеем

$$\Delta P = K\frac{h}{\lambda}(1+r) = K\frac{hc}{\lambda c}(1+r) = K\frac{h\nu}{c}(1+r) = K\frac{E_0}{c}(1+r) = F\Delta t. \quad (3)$$

Определим силу, действующую на площадку

$$F = \frac{KE_0(1+r)}{c\Delta t}. \quad (4)$$

Разделив силу на площадь поверхности, получим выражение для давления

$$p = \frac{KE_0(1+r)}{c\Delta t\Delta S} = \frac{\Phi(1+r)}{c}. \quad (5)$$

Эта формула совпадает с выражением для давления света из волновой теории Максвелла. Таким образом, давление света успешно объясняется и волновой, и квантовой теории света.