

Под давлением лунного света

А. СТАСЕНКО

Но если свет производит давление, то в темную ночь летать безопаснее, чем при полной Луне?

Из рассуждений одной девочки

КТО ЖЕ ТЕПЕРЬ НЕ ЗНАЕТ, ЧТО СВЕТ ОКАЗЫВАЕТ ДАВЛЕНИЕ на освещенные тела. С этим явлением связаны имена замечательных ученых – Максвелла, Лебедева, Комптона. Но если вы станете спрашивать у прохожих, *почему* свет оказывает давление на поверхность, то ответы могут быть разными.

Школьный Хорошист, например, скажет, что свет состоит из частиц – фотонов, этаких маленьких, очень легких шариков массой m , движущихся со скоростью c , и при абсолютно упругом ударе о (зеркальную) поверхность каждый из них передаст импульс $mc - (-mc) = 2mc$. А если вам повезет и встретится школьный Отличник, то он скажет, что свет – это ведь, с другой стороны, электромагнитная волна, а она поперечна в том смысле, что векторы ее импульса \vec{p} , электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{B} перпендикулярны друг другу и составляют правую тройку, как оси декартовой системы координат x, y, z , так что им можно

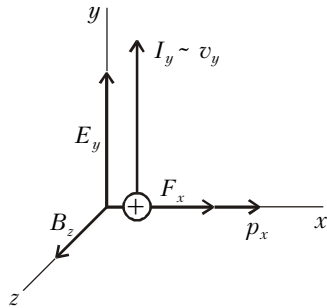


Рис. 1

приписать соответствующие индексы: $\vec{p}_x, \vec{E}_y, \vec{B}_z$ (рис. 1). А раз так, то, падая на проводник, электрическое поле вызовет в нем ток I_y , а он (будучи, по определению, потоком положительных зарядов, движущихся со скоростью v_y) испытает в магнитном поле той же волны силу Лоренца \vec{F}_x , направленную вдоль оси x , т.е. в направлении движения самой волны.

Отличник, возможно, добавит еще, что, если уж говорить об импульсе и массе фотона, то они равны $h\nu/c$ и $h\nu/c^2$ соответственно.

Если же вам повезет еще больше и встретится Студент Московского физико-технического института (МФТИ) или Московского государственного университета (МГУ), то он расскажет нечто о векторном произведении \vec{E} на \vec{B} , о плотности потока энергии Умова – Пойнтинга, о ... Но нам будет достаточно школьного Отличника.

Теперь, обладая такой богатой информацией, можно сделать и численные оценки. Пусть плотность потока энергии волны, а это и есть вектор Умова – Пойнтинга, равна q (если вы не знаете или забыли, что такое плотность потока энергии, достаточно посмотреть на ее размерность: Дж/(м²·с)). Поскольку импульс каждого фотона равен $h\nu/c$, то плотность потока импульса волны, т.е. всех фото-

нов, равна q/c (размерность этой величины: $\frac{Н \cdot м / (м^2 \cdot с)}{м / с} = \frac{Н}{м^2} = Па$), а в случае зеркального отражения

$$p_x = 2 \frac{q}{c}.$$

Известно, что на расстоянии r_c от Солнца величина плотности потока энергии (так называемая солнечная постоянная) равна $q = 1400 \text{ Вт/м}^2$. В частности, это значит, что, сфокусировав такой поток энергии при отражении от зеркала площадью 1 м^2 на сковородке, можно успешно приготовить яичницу или зажарить курицу. Но нам нужен поток импульса, т.е. сила на единицу площади (а это ведь есть давление!):

$$p_x = \frac{2q}{c} = \frac{2 \cdot 1400 \text{ Вт/м}^2}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} \sim 10^{-5} \frac{Н}{м^2} = \frac{F_x}{S}.$$

Чтобы получить, например, силу 10 Н , нужна площадь $S = 10^6 \text{ м}^2 = 1 \text{ км}^2$. Ясно, что такая сила не свалит с ног, но возможности космического полета при помощи солнечного паруса уже серьезно исследовались учеными. А на тяжелый авиалайнер с несущей площадью $S = 500 \text{ м}^2$ действует сила давления солнечного излучения $F_c = 0,005 \text{ Н}$.

Но что же Луна? Можно оценить сверху и силу давления лунного света. Если радиус Луны равен R_L , то ее диск перехватывает долю солнечного излучения, равную $(q\pi R_L^2)/(4\pi r_c^2)$ (рис. 2). Конечно, часть этой энергии погло-

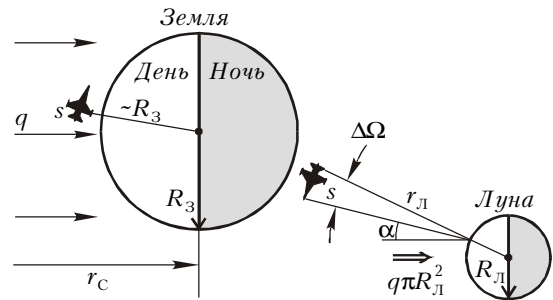


Рис. 2

щается, но, если мы желаем получить оценку *сверху* (выше которой уже быть не может), предположим, что вся эта энергия отражается. Но как? Ясно, что не зеркально, – иначе Луна выглядела бы, как блестящий елочный шарик с характерным бликом. А ведь она представляется нам плоским диском – это случай так называемого *диффузного* отражения. При этом мощность, уходящая с элементарной кольцевой полоски АВ площадью

$$ds_\theta = 2\pi R_L \sin \theta \cdot R_L d\theta$$

(рис. 3) в телесный угол $d\Omega$ под углом θ к нормали, равна

$$dW = B ds_\theta \cos \theta \cdot d\Omega.$$

Это так называемый закон Ламберта, в котором коэффициент пропорциональности B называется яркостью (Brightness) и, как легко

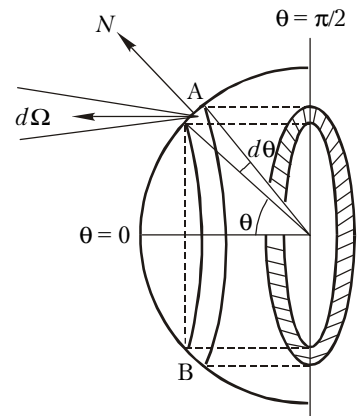


Рис. 3