

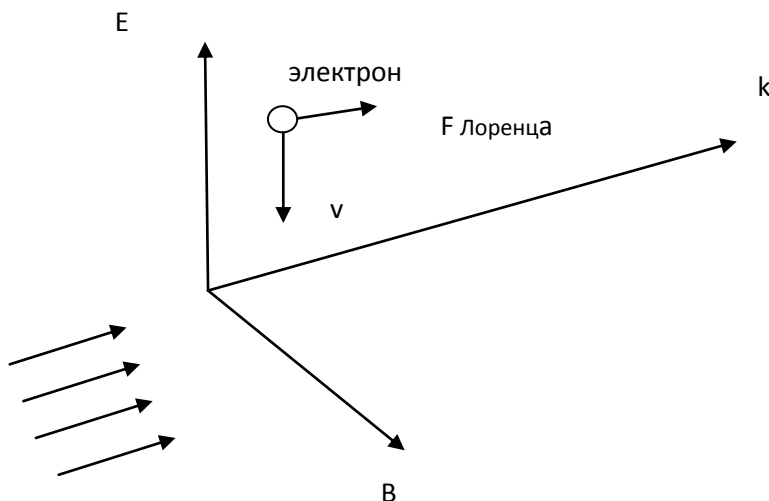
## Тема: Давление света. Корпускулярно-волновой дуализм.

Что значит свет,  
Кто дал ответ?  
Максвелл считал, что свет — волна,  
С громадной скоростью бежит она.  
Планк доказал, что свет — фотон,  
И излучается нагретым телом он.  
И наконец, ученые дошли своим умом,  
Что свет обладает дуализмом.  
А Лебедев уж доказал нам без сомнения,  
Что свет оказывает на тела давление.

Максвелл показал что свет - это ЭМ волна, наблюдается интерференция света, было доказано экспериментально.

Максвелл также доказал что световая ЭМ волна падая на вещество должна оказывать давление на вещество. Это следовало из ЭМ теории Максвелла, он рассчитал величину давления света.

Давайте разберемся, почему ЭМ волна, падая на вещество должна производить давление. Для этого вспомним структуру ЭМ волны - это поперечная волна, в ней векторы напряженности электрического поля, магнитной индукции и волновой вектор взаимно перпендикулярны.



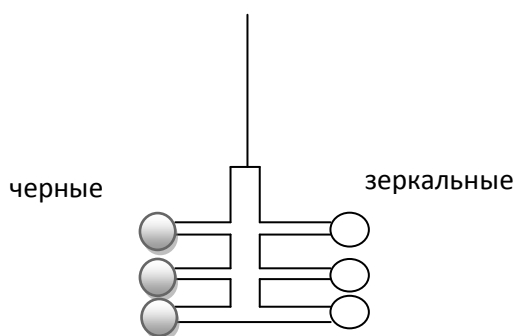
Вещество состоит из заряженных частиц, в частности нас будут интересовать электроны, потому что они имеют наименьшую массу следовательно они

приобретают под действием электрического поля наибольшее ускорение, т.е. быстрее всего разгоняются.

Представим себе электрон, который присутствует в веществе, он находится одновременно в двух полях, в электрическом и в магнитном, электрическое поле действует на электрическое поле с электрической силой. Куда она направлена? Если вектор напряженности электрического поля направлен вверх, то т.к. электрон заряжен отрицательно, сила действия на него направлена вниз, он будет разгоняться и приобретает скорость, направленную вниз.

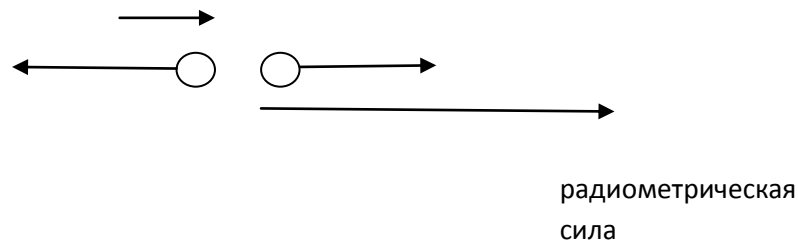
Но т.к. это ЭМ волна, здесь присутствует еще и магнитное поле, причем электрическое и магнитное поля меняются синфазно (при увеличении одного поля уменьшается второе). Когда заряженная частица разогналась электрическим полем, она движется в магнитном поле. На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле действует сила, которую мы называем сила Лоренца, направление которой определяем по правилу левой руки. Если на электроны вещества действует сила Лоренца, то на все вещество будет действовать некоторая сила, которая и представляет собой силу давления света.

Максвелл рассчитал величину этой силы. Мы с вами научимся вычислять давление ЭМ волны, с других соображений, но оказывается что эта сила очень мала, но ее удалось измерить. Измерения этой силы проводил русский ученый Петр Николаевич Лебедев в 1900 году. Этот эксперимент считается одним из наиболее тонких в экспериментальной физике.



Лебедев изучал давление света следующим образом. На тончайшей нити он разместил крыльчатку с несколькими лепестками, на концах которых были площадки зеркальные и зачерненные. Поскольку нить была очень тонкая, то малейшая сила, действующая на лепестки вызывала вращение, по углу

поворота нити, Лебедеву удалось определить давление света. Этот опыт достаточно сложный, т.к. под действием света эти лепестки нагреваются, а если они нагреваются, т.к. внутри возникают конвекционные потоки. Чтобы побороть этот процесс Лебедев создал диффузионный насос, в котором идет захват молекул атомами ртути. Существует еще один эффект (радиометрический эффект)



Максвелл показал что если воздействовать светом на черную и зеркальную поверхности, то давление света будет больше на зеркальную поверхность, а под действием радиометрического эффекта наоборот.

Нужно было этот эффект устранить, для этого лепестки пришлось сделать очень тонкими и из материала маленькой теплопроводности.

Получим формулу для давления света, исходя из корпускулярных теорий света.

Планк был вынужден предположить что свет излучается порциями, а Эйнштейн добавил, что свет и распространяется порциями. Т.е. свет распространяется не непрерывной волной, а как частицы - фотоны, которые имеют энергию. Поскольку фотоны обладают энергией, они должны обладать массой.

Энергия фотона

$$E_{\phi} = h\nu$$

$$E_{\phi} = mc^2 - \text{это масса релятивистская}$$

Фотон - это удивительная частица, он может двигаться только со скоростью света, иначе он просто перестанет существовать.

Приравняем эти 2 величины

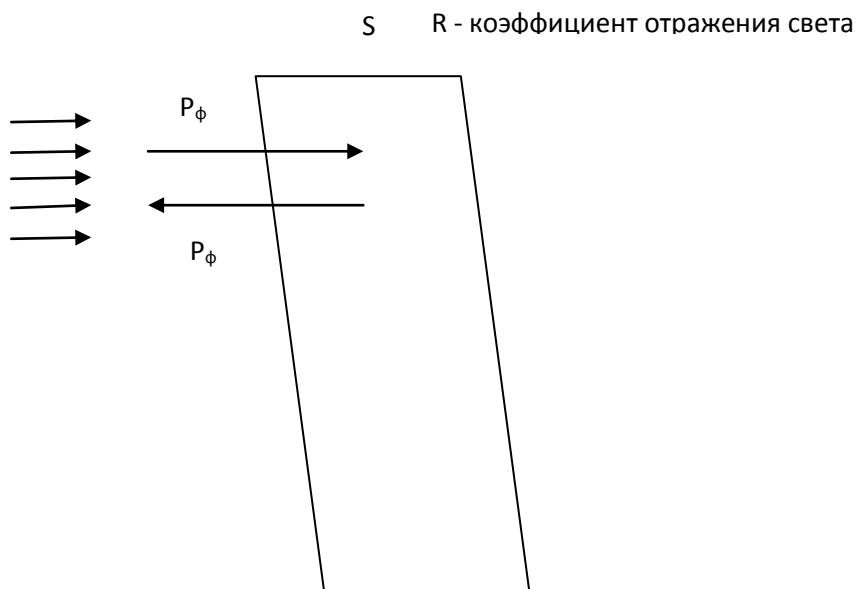
$$h\nu = mc^2$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

Если фотон обладает массой, то он обладает и импульсом.

**Импульс фотона**  $P = mc = \frac{h\nu}{c} \quad P = \frac{h}{\lambda}$

Исходя из того, что фотоны обладают импульсом рассмотрим ситуацию что фотоны падают на какую-то площадку. Попробуем рассчитать давление на эту площадку.



Пусть на площадку упало за время  $\Delta t$   $N$  фотонов, если коэффициент отражения света равен  $R$ , то отразилось  $N$  фотонов\* на  $R$

$$N_{\text{отр}} = NR$$

Те фотоны, которые не отразились, они поглотились.

$$N_{\text{ПОГЛ}} = N(1 - R)$$

Будем считать что нам известен импульс, который несет фотон, если фотон отразился, то он имеет ту же частоту но другое направление.

Найдем изменение импульса отраженных фотонов и поглощенных фотонов. Сначала одного.

$$\Delta p_{отр} = p_{отр} - p_{фотона} = -p_{фотона} - p_{фотона} = -2p_{фотона}$$

$$\Delta p_{поглощ} = 0 - p_{фотона} = -p_{фотона}$$

Найдем изменение импульса всех фотонов

$$\begin{aligned}\Delta p_{общ} &= N_{отр} \Delta p_{отр} + N_{погл} \Delta p_{поглощ} = -2NRp_{фотона} - N(1 - R)p_{фотона} \\ &= -Np_{фотона}(2R + 1 - R) = -N(R + 1)p\end{aligned}$$

$$\Delta p_{общ} = -N(R + 1)p$$

Почему поменялся импульс фотона? Потому что на него подействовала площадка. По закону сохранения импульса

$$\Delta p_{общ} + \Delta p_{пл} = 0$$

$$\Delta p_{пл} = N(R + 1)p_{\phi}$$

Т.е. площадка приобретает импульс, направленный в направлении движения фотона

$$F = \frac{\Delta p_{пл}}{\Delta t}$$

$$F = \frac{N(R + 1)}{\Delta t} p_{\phi}$$

Теперь находим давление

$$P = \frac{N(1 + R)}{\Delta t S} p_{\phi}$$

$$E = p_{\phi} c \quad p_{\phi} = \frac{E_{\phi}}{c}$$

$$p = \frac{N(1 + R)}{\Delta t S} \frac{E_{\phi}}{c}$$

$NE_{\phi}$  — энергия падающего фотона

$\frac{N}{\Delta t} E_{\phi}$  — мощность излучения

$$\frac{N}{\Delta t S} E_{\phi} - \text{интенсивность излучения}$$

*Давление света для нормального падения*

$$P = \frac{I}{c} (1 + R)$$