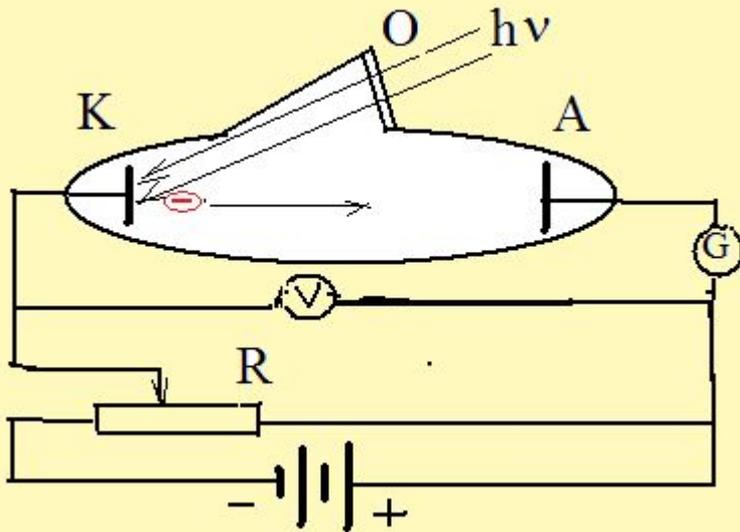


ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ

2. Фотоэффект

Внешний фотоэффект – явление испускания электронов с поверхности вещества под действием падающего на поверхность света.

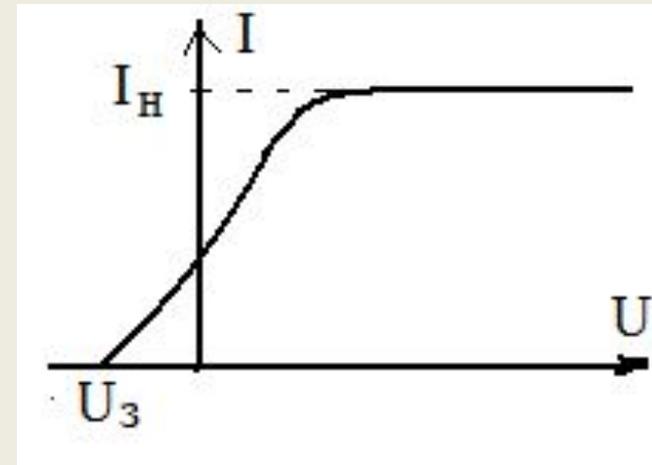


ВАХ при падении монохроматического излучения постоянной интенсивности ($\nu = \text{const}$, $E = \text{const}$)

$$eU_3 = \frac{mV_m^2}{2}, \quad V_m \text{ – максимальная скорость фотоэлектронов.}$$

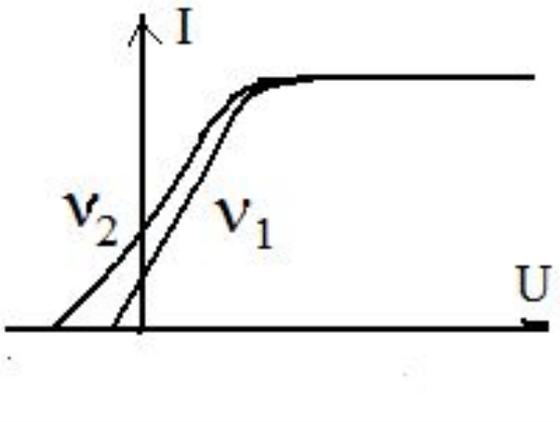
Освещенность поверхности
– это энергия излучения, падающего на единицу поверхности в единицу времени.

$$E = \frac{dW}{dSdt}$$



Законы Столетова (законы внешнего фотоэффекта)

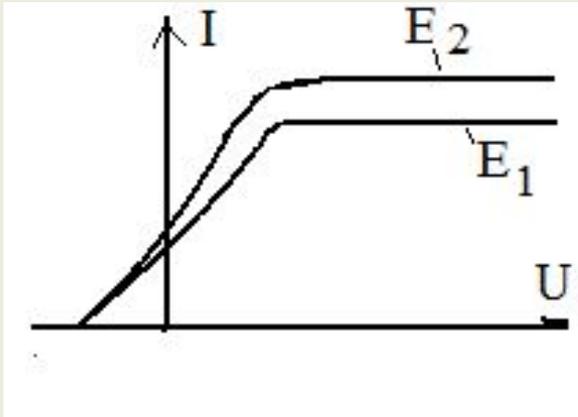
$$E = \text{const}, \quad \nu_1 < \nu_2$$



$$eU_3 = \frac{mV_m^2}{2},$$

1. Максимальная скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности E падающего света и тем больше, чем больше частота ν .
2. Ток насыщения не зависит от частоты падающего света и тем больше, чем больше его интенсивность (освещенность поверхности).

$$\nu = \text{const} \quad E_2 > E_1$$



3. Для каждого фотокатода существует минимальная частота ν_{\min} , при которой еще фиксируется фототок. Эта частота называется «красной границей фотоэффекта» и зависит только от материала катода.

Законы Столетова не удается объяснить, рассматривая электромагнитное излучение в виде волн. Например, согласно волновым представлениям, вырывание электрона с поверхности катода – результат его «раскачивания» в электрическом поле световой волны, но тогда увеличение освещенности катода (энергии светового потока) должно сопровождаться ростом ν_{\max} , а это противоречит 1-му закону Столетова.

В 1905 г. А. Эйнштейн показал, что все закономерности фотоэффекта легко объяснить, если предположить, что свет поглощается такими же порциями (квантами, или фотонами), какими, согласно гипотезе Планка, испускается.

Энергия, полученная электроном, доставляется ему в виде кванта света с энергией $h\nu$, который целиком поглощается электроном.

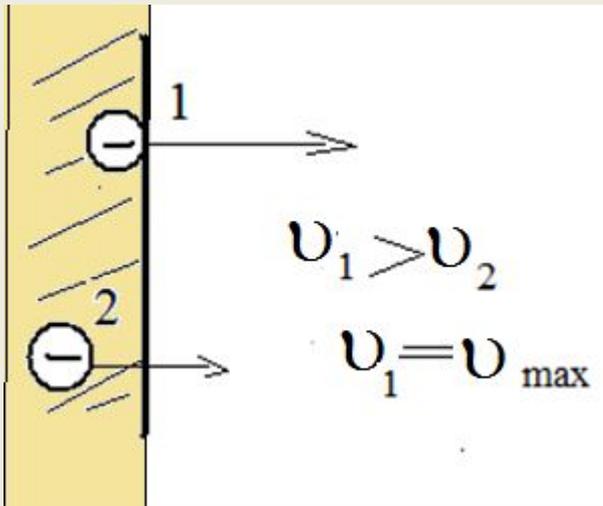
Эту энергию можно представить так:
$$E = h\nu = \frac{h}{2\pi} 2\pi\nu = \hbar \omega$$

, где \hbar

где \hbar - приведенная постоянная Планка.

Если электрон освобождается светом не у самой поверхности, а на некоторой глубине, то часть полученной энергии равная E' , может быть потеряна вследствие случайных столкновений в веществе.

Минимальная энергия A , которую нужно сообщить электрону, чтобы удалить его с поверхности вещества в вакуум, называется **работой выхода** и является **постоянной для данного вещества**. Остаток энергии образует кинетическую энергию фотоэлектрона, покинувшего вещество.



$$\hbar \omega = A + E' + \frac{mV^2}{2}, \quad E' = 0 \Rightarrow$$

$$\hbar \omega = A + \frac{mV_m^2}{2}. \quad (1)$$

(1) – уравнение Эйнштейна, представляющее собой закон сохранения энергии при внешнем фотоэффекте.

Из выражения (1) следует объяснение законов Столетова.

$$\hbar\omega = A + \frac{mV_m^2}{2}. \quad (1) \quad \text{– уравнение Эйнштейна}$$

С уменьшением частоты падающего света падает K_m - это объясняет 2-ю часть 1-го закона Столетова.

При $\nu \rightarrow \nu_{\min}$ $\nu_{\max} \rightarrow 0$, $I \rightarrow 0$. Из (1) следует

$$h\nu_{\min} = A, \quad \nu_{\min} = \frac{A}{h} \quad \text{– «красная граница фотоэффекта»}$$

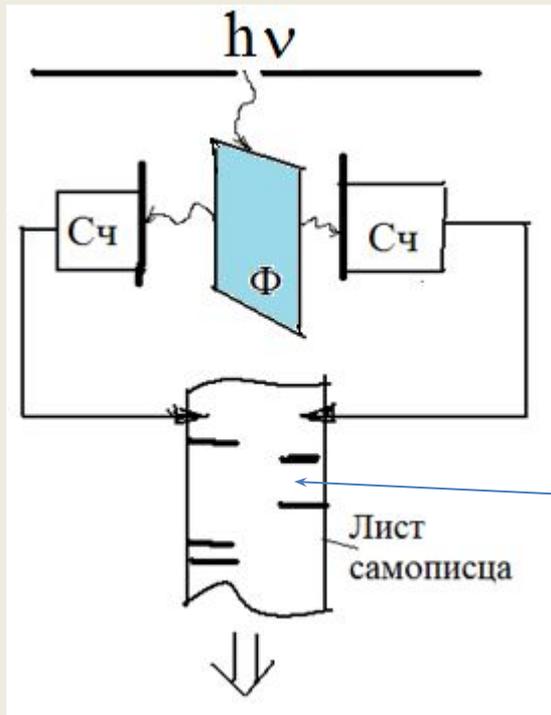
- это объяснение 3-го закона Столетова.

Ток насыщения $I_H = Ne$, где максимальное число электронов N , попадающих на анод в ед. времени, пропорционально числу падающих на единицу поверхности в единицу времени квантов света, т.е. освещенности поверхности. (На самом деле только малая часть квантов вырывает электроны, энергия остальных идет на нагрев катода). - Это объяснение 2-го закона Столетова и 1-й части 1-го закона.

3. Экспериментальное доказательство существования фотонов. Опыт Боте.

Выбор между волновой и корпускулярной моделями света может быть сделан в зависимости от ответа на вопрос, как распределена энергия света.

Если свет – волна, то его энергия равномерно распределена по



фронта, если поток фотонов – энергия пач. В опыте Боте источник (тонкая фольга, облученная рентгеновскими лучами очень малой интенсивности) испускает электромагнитное излучение также малой интенсивности. Попадание излучения в газоразрядный счетчик фиксируется меткой на движущейся ленте. Наблюдалось беспорядочное расположение меток на ленте. Это означает, что в отдельных актах излучения возникают световые частицы (фотоны), которые летят, то в одном, то в другом направлениях.

4. ЭНЕРГИЯ И ИМПУЛЬС ФОТОНА. ДАВЛЕНИЕ СВЕТА,

Фотон — сгусток энергии, или частица, движущаяся со скоростью света c . Фотон существенно отличается от обычных частиц, так как не имеет массы покоя и может существовать только в движении. Его **энергия** $\epsilon =$

$$mc^2$$

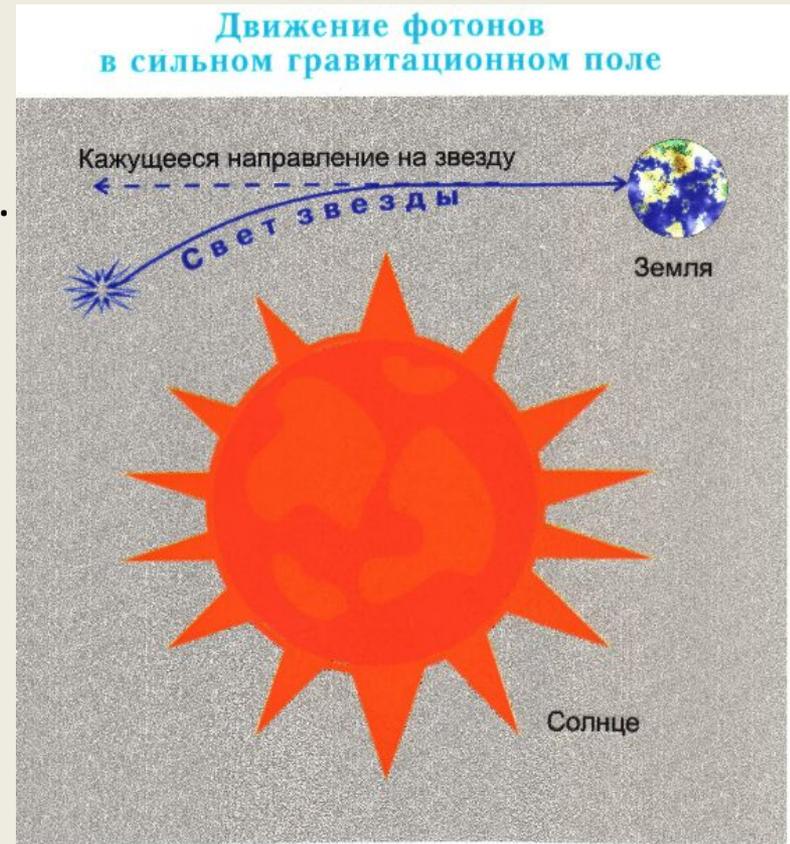
Импульс фотона $p = \epsilon/c = mc$ и,

следовательно, равен

$$p = h\nu/c = h/\lambda, \quad \text{где } \lambda \text{ — длина волны.}$$

Т.о. фотон имеет и корпускулярные характеристики (энергию, импульс), и волновые (частоту, длину волны).

Свет производит давление на поглощающие и отражающие его тела. Если рассматривать свет как поток частиц, то **давление света – результат передачи телу импульсов фотонов при их отражении или поглощении.**



Искривление траектории света
под действием гравитации

А. Эйнштейн, 1919 г.

Пусть на плоскую непрозрачную поверхность нормально падает поток фотонов частоты ν .

$$W_{\text{пад}} = W_{\text{погл}} + W_{\text{отр}}$$

Коэффициент отражения $\rho = \frac{W_{\text{отр}}}{W_{\text{пад}}}$, коэффициент поглощения $r = (1 - \rho)$.

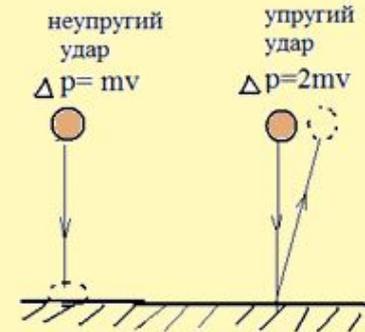
Если плотность фотонов в излучении n_0 , то на единицу поверхности в единицу времени падает $n_0 c$ фотонов.

Из них отражается $n_1 = \rho n_0 c$, поглощается $n_2 = (1 - \rho) n_0 c$.

Поглощенный фотон передает поверхности импульс $p_2 = mc = \frac{\varepsilon}{c}$

отраженный фотон передает импульс $p_1 = 2mc = 2 \frac{\varepsilon}{c}$

Для механических частиц:



Давление света P на поверхность определяется суммарным импульсом Δp , который передают ей фотоны, падающие на ед. поверхности в ед. времени:

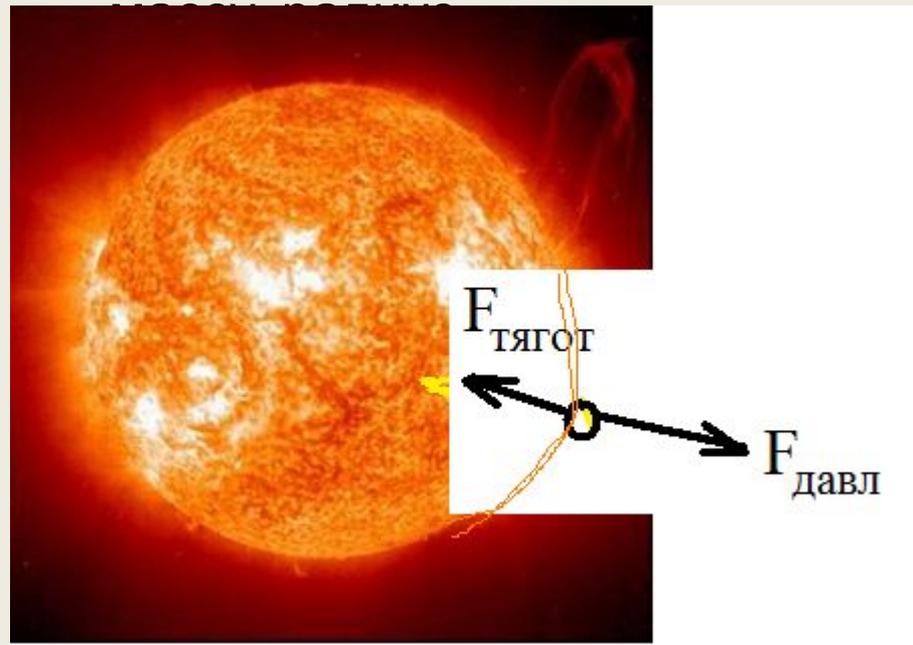
$$P = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p}{\Delta t \cdot S}$$

$$P = n_1 p_1 + n_2 p_2 = \rho n_0 c \cdot 2 \frac{\varepsilon}{c} + (1 - \rho) n_0 c \frac{\varepsilon}{c} = n_0 c \frac{\varepsilon}{c} (1 + \rho) = \frac{E}{c} (1 + \rho)$$

$$P = \frac{E}{c} (1 + \rho)$$

Давление света экспериментально измерено Лебедевым в 1900г.

Давление света играет огромную роль в звездных процессах. Так, световое давление определяет предельные параметры звезд –



Максимальная масса звезды определяется условием, по которому действующие на периферийные частицы вещества сила тяготения к центру и сила давления излучения от центра равны.