

## Формула Планка

14 декабря 1900 г. Макс Карл Эрнст Людвиг Планк в докладе на заседании Берлинского физического общества выдвинул революционную гипотезу, что излучение света веществом происходит не непрерывно, а порциями, квантами.

Согласно гипотезе Планка наименьшая порция энергии, которую несет излучение, определяется по формуле (формула Планка):

$$E = h\nu$$

$$E = \hbar\omega$$

$E$  – энергия кванта

$h$  – постоянная Планка,  $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$  – постоянная Планка,  $\hbar \approx 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

$\nu$  – частота излучения

$\omega$  – циклическая частота излучения

$$[E] = 1 \text{ Дж} \quad [\nu] = 1 \text{ Гц} \quad [\omega] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

# ФОТОН

Развивая идею Планка, Эйнштейн предложил корпускулярную теорию света, предположив, что свет не только излучается, но распространяется и поглощается отдельными порциями. По теории Эйнштейна, монохроматическая электромагнитная волна представляет собой поток частиц - квантов или фотонов.

Каждый фотон всегда движется со скоростью света и несет квант энергии. При взаимодействии с веществом фотон передает свою энергию одному или нескольким электронам, после чего фотона больше не существует.

Фотон - это удивительная частица, которая обладает энергией, импульсом, но не обладает массой! Фотон "обречен" всегда летать со скоростью света.

## Свойства фотона:

- 1) Не имеет состояния покоя.
- 2) Безмассовая частица ( $m=0$ ).
- 3) Электрически нейтрален ( $q=0$ ).
- 4) Скорость его движения равна скорости света во всех инерциальных системах отсчета.
- 5) Энергия фотона пропорциональна частоте соответствующего электромагнитного излучения (формула Планка).
- 6) Энергия фотона может быть выражена через длину волны:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$E$  – энергия фотона

$h$  – постоянная Планка,  $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

$c$  – скорость света

$\lambda$  – длина волны

$$[E] = 1 \text{ Дж} \quad [c] = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad [\lambda] = 1 \text{ м}$$

7) Модуль импульса фотона равен отношению его энергии к скорости:

$p$  – импульс фотона

$E$  – энергия кванта (фотона)

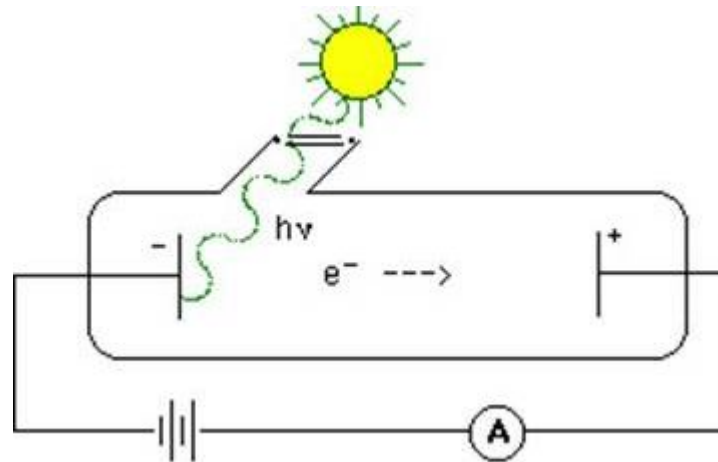
$c$  – скорость света

$$p = \frac{E}{c}$$

$$[E] = 1 \text{ Дж} \quad [c] = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad [p] = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

# Фотоэлектрический эффект

**Фотоэффектом** называется явление взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, в результате которого энергия излучения передается электронам вещества. Если фотоэффект сопровождается вылетом электронов с поверхности вещества, то его называют внешним фотоэффектом или фотоэлектронной эмиссией, а вылетающие электроны - фотоэлектронами. Если фотоэффект не сопровождается вылетом электронов с поверхности вещества, то его называют внутренним.



Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта  
На основе квантовых представлений Эйнштейн объяснил фотоэффект. Электрон внутри металла после поглощения одного фотона получает порцию энергии и стремится вылететь за пределы кристаллической решетки, т.е. покинуть поверхность твердого тела. При этом часть полученной энергии он израсходует на совершение работы по преодолению сил, удерживающих его внутри вещества. Остаток энергии будет равен кинетической энергии электрона:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$$

$E = h\nu$  – энергия фотона

$h$  – постоянная Планка,  $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

$\nu$  – частота излучения

$A_{\text{вых}}$  – работа выхода

$\frac{mv^2}{2}$  – кинетическая энергия электрона

$$[E] = 1 \text{ Дж}$$

$$[A_{\text{вых}}] = 1 \text{ Дж}$$

$$[\nu] = 1 \text{ Гц}$$

$$[m] = 1 \text{ кг}$$

$$[v] = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$[h] = 1 \text{ Дж} \cdot \text{с}$$



# Законы внешнего фотоэффекта

Столетовым Александром Григорьевичем (1839 - 1896) экспериментально были установлены законы внешнего фотоэффекта.

**Первый закон фотоэффекта:** фототок насыщения - максимальное число фотоэлектронов, вырываемых из вещества за единицу времени, - прямо пропорционален интенсивности падающего излучения.

Увеличение интенсивности света означает увеличение числа падающих фотонов, которые выбивают с поверхности металла больше электронов.

**Второй закон фотоэффекта:** максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего излучения и линейно возрастает с увеличением частоты падающего излучения.

Известно, что фототоком можно управлять, подавая на металлические пластины различные напряжения. Если на систему подать небольшое напряжение обратной полярности, "затрудняющее" вылет электронов, то ток уменьшится, так как фотоэлектронам, кроме работы выхода, придется совершать дополнительную работу против сил электрического поля. Максимальная кинетическая энергия электронов выражается через

$$E_{\text{кин}}^{\text{max}} = eU_3$$

$E_{\text{кин}}^{\text{max}}$  – максимальная кинетическая энергия электронов

$e$  – заряд электрона

$U_3$  – задерживающее напряжение

$[E] = 1 \text{ Дж}$

$[e] = 1 \text{ Кл}$

$[U] = 1 \text{ В}$

**Третий закон фотоэффекта:** для каждого вещества существует граничная частота такая, что излучение меньшей частоты не вызывает фотоэффекта, какой бы ни была интенсивность падающего излучения. Эта минимальная частота излучения называется красной границей фотоэффекта.

$$h\nu_{\min} = A_{\text{вых}}$$

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{ch}{A_{\text{вых}}}$$

$A_{\text{вых}}$  – работа выхода электронов

$h$  – постоянная Планка,  $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

$\nu_{\min}$  – частота излучения, соответствующая красной границе фотозффекта

$c$  – скорость света

$\lambda_{\text{кр}}$  – длина волны, соответствующая красной границе

$$[A_{\text{вых}}] = 1 \text{ Дж}$$

$$[c] = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$[\lambda] = 1 \text{ м}$$

$$[\nu] = 1 \text{ Гц}$$

Для большинства веществ фотоэффект возникает только под действием ультрафиолетового излучения. Однако некоторые металлы, например, литий, натрий и калий, испускают электроны и при облучении видимым светом.