

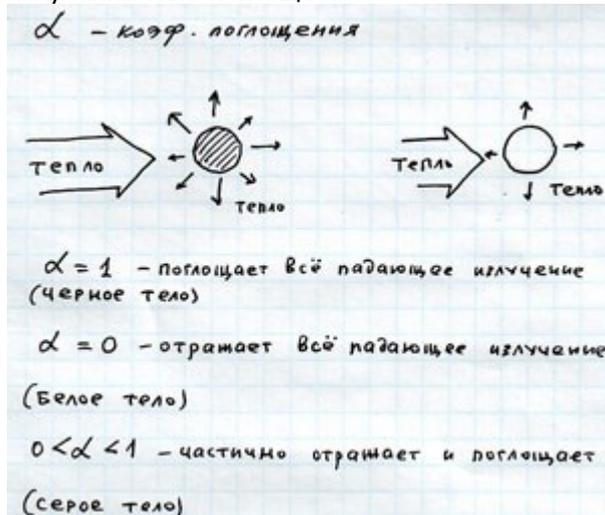
Тема 20. Квантовые свойства света

1. Тепловое излучение. Фотоэффект

Тепловое излучение - это самый распространенный в природе вид *электромагнитного* излучения. Когда-то давно (см. Тема 9, п. 8) мы говорили о том, что тепло может передаваться излучением и для этого не нужна никакая среда. Понятно, что если тело излучает тепло, то оно теряет энергию и его температура понижается. Тело, которое принимает на себя тепловое излучение, поглощает его => нагревается.

Одно и то же тело, как правило, излучает и поглощает тепло. Если при этом его температура остается постоянной, то тело находится в тепловом равновесии (один из видов динамического равновесия).

Коэффициент поглощения - это физическая величина, которая показывает, какую часть падающего излучения тело поглощает.



Чем больше тепла тело поглощает, тем больше тепла оно излучает.

В 1887 г. Г. Герц обнаружил следующий эффект. При освещении отрицательно заряженной металлической пластины светом от электрической дуги, эта пластина теряла электрический заряд. Также, при освещении незаряженной пластины металла, пластина приобретала положительный заряд. Это явление получило название **фотоэффекта**. В том же году английский физик Дж. Томсон обнаружил электроны - отрицательно заряженные частицы. Вскоре было установлено, что падающий на металлическую пластину световой поток "выбивает" из нее именно электроны. Поэтому пластинка теряет отрицательный заряд или приобретает положительный.

Фотоэффект - это явление выбивания электронов световым потоком с поверхности металла.

В 1888 г. исследованием фотоэффекта занялся русский физик А.Г. Столетов. Его установка (упрощенно) состояла из следующих элементов:

СК - стеклянная колба с двумя электродами - катодом **К** и анодом **А**; из колбы выкачан воздух и в ней имеется кварцевое окно **КО**. Кварцевое окно пропускает ультрафиолетовые лучи.

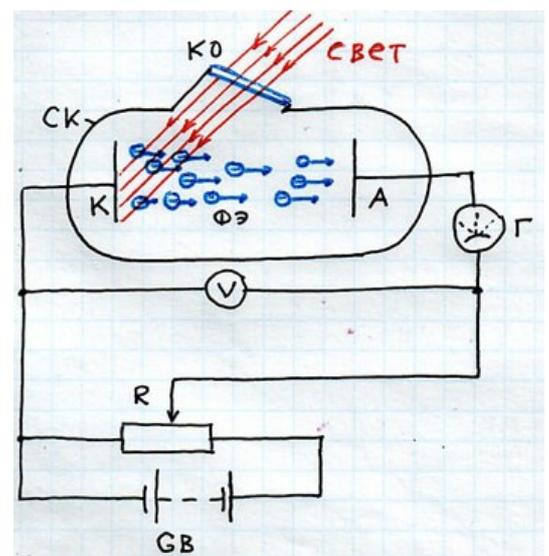
Гальваническая батарея **GB**, создающая высокое напряжение между электродами - катодом **К** и анодом **А**.

Реостат **R** для изменения напряжения между **К** и **А**.

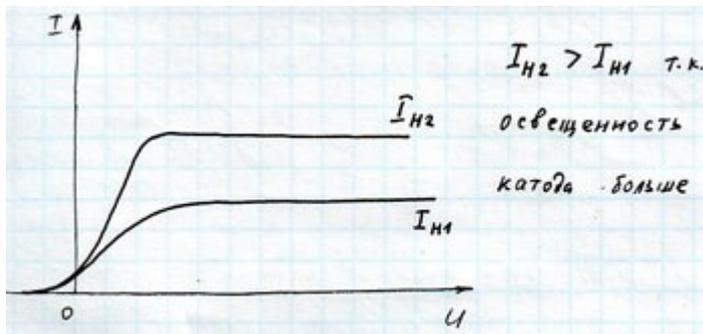
Вольтметр **V** для измерения напряжения между **К** и **А**.

Гальванометр **Г** для регистрации возникающего между **К** и **А** тока - упорядоченного движения фотоэлектронов **ФЭ**.

Световой поток, попадающий через кварцевое окно на **К**, выбивает из него электроны. Электроны подхватываются ЭП, которое имеется между **К** и **А** => в вакууме возникает электрический ток, который и регистрирует гальванометр **Г**. С помощью реостата **R** можно менять напряжение между **К** и **А**, и выяснить зависимость величины **фототока** от напряжения.



С помощью реостата **R** можно менять напряжение между **К** и **А**, и выяснить зависимость величины **фототока** от напряжения.



Опыт показывает, что с увеличением напряжения растет фототок, но достигая определенной величины, в дальнейшем больше не меняется. Эту величину назвали **фототоком насыщения I_n** . Это значит, что все электроны, вырванные световым потоком с **К** достигают **А** - ток больше возрастать не может. Все это справедливо при некоторой *постоянной величине светового потока*. Если же увеличить освещенность катода, то и фототок **I_n** соответственно возрастет.

На основании опытов Столетов сделал вывод: **фототок насыщения I_n пропорционален световому потоку и не зависит от приложенного напряжения.**

2. Гипотеза Планка. Уравнение Эйнштейна

В 1900 г. немецкий физик М. Планк выдвинул гипотезу, в соответствии с которой **энергия ЭМВ излучается и поглощается в виде отдельных порций - квантов**. Планк математически доказал справедливость данного утверждения. Эйнштейн предложил назвать кванты электромагнитного излучения **фотонами**.

В соответствии с гипотезой Планка энергия фотона пропорциональна частоте излучения:

Энергия фотона:

$$\epsilon = h\nu \text{ или } \epsilon = h \frac{c}{\lambda}$$

ν - частота, λ - длина волны, c - скор. света

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \text{ - постоянная Планка}$$

Энергию фотонов принято измерять в особых единицах - **электрон-вольтах**:

$$[\epsilon] - 1 \text{ эВ (электронвольт)}$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Важно, что квантовые свойства электромагнитного излучения проявляются в области высоких частот (малые длины волн), а волновые свойства - в области низких частот (большие длины волн).

Согласно квантовой теории, световой поток определяется количеством фотонов: чем больше фотонов, тем больше световой поток. Каждый фотон может взаимодействовать только с одним электроном => чем больше фотонов попадает на поверхность металла (т.е. чем больше световой поток), тем больше они выбивают электронов => тем больше фототок. Иначе говоря, число электронов пропорционально световому потоку.

Для того, чтобы вылететь с поверхности металла, электрон должен совершить некоторую работу **Ав** - работу выхода. Но эта работа будет совершена в том случае, если электрон обладает достаточным запасом энергии за счет поглощения фотона => фотон малой энергии не может выбить электрон с поверхности металла.

Наименьшая частота, при которой возможно выбивание электронов, называется **красной границей фотоэффекта**. Красной границе соответствует наименьшая энергия фотонов, которые еще могут выбивать электроны с поверхности металла. Именно поэтому в установке Столетова было использовано кварцевое окно, поскольку кварцевое стекло пропускает ультрафиолетовые лучи, которые несут наибольшую энергию. Обычное стекло не пропускает ультрафиолет, и фотоэффект в этом случае не наблюдается - мала энергия фотонов.

Значит, чтобы с поверхности металла вылетел электрон, энергия фотона должна превышать работу выхода:

$$\epsilon > A_{\text{в}} \quad \text{или} \quad h\nu > A_{\text{в}}$$

$$h\nu = A_{\text{в}} + \frac{mv^2}{2} \quad \text{уравнение Эйнштейна для фотоэффекта}$$

$h\nu$ - энергия фотонов падающего излучения

$A_{\text{в}}$ - работа выхода фотоэлектронов

$\frac{mv^2}{2}$ - кин. энергия $E_{\text{к}}$ фотоэлектронов

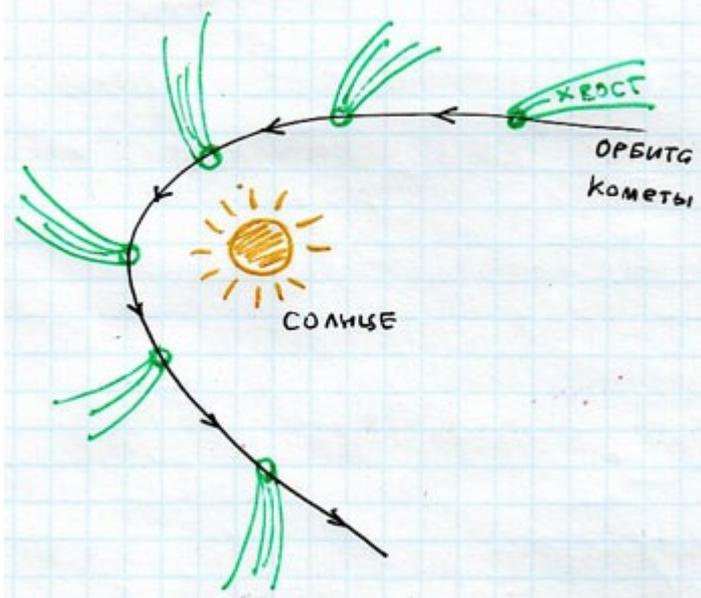
Уравнение Эйнштейна показывает, что **скорость фотоэлектронов зависит от частоты падающего излучения (света) и не зависит от его плотности.**

Если при освещении тела электроны покидают его - это **внешний фотоэффект**. Он характерен для металлов.

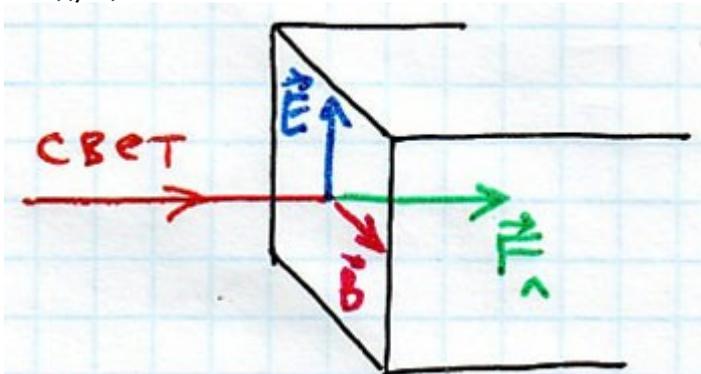
При освещении полупроводников возникает иная картина: фотоэлектроны также возникают, но остаются внутри вещества => возрастает электронная проводимость полупроводника (см. Тема 13, п. 7). Такое явление получило название **внутренний фотоэффект**. Он имеет широкое применение в быту и в технике. Например, все солнечные батареи космических аппаратов используют именно внутренний фотоэффект.

3. Давление света

Давно известно, что хвосты комет направлены в противоположную от Солнца сторону:



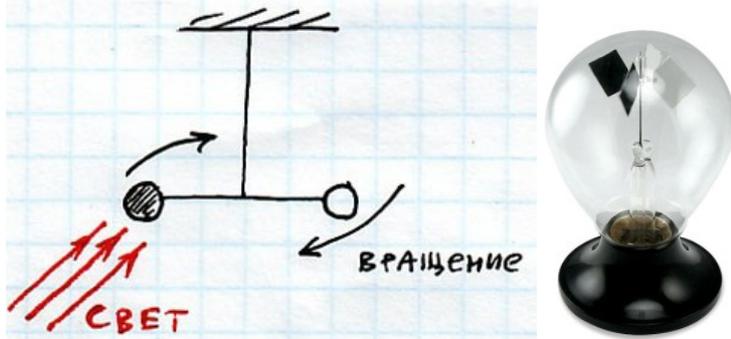
Максвелл первым объяснил этот факт. Используя созданную им теорию ЭМП, он показал, что световая волна оказывает давление на поверхность тела. Это давление обусловлено колебаниями напряженности ЭП и индукции МП.



Солнечный свет ионизирует микроскопические пылевые частицы кометы - они приобретают положительный заряд. Частицы колеблются под действием напряженности ЭП световой волны. Одновременно на них

действует F_n - сила Лоренца - со стороны магнитной составляющей света, которая и отклоняет эти частицы в сторону распространения световой волны, т.е. от Солнца.

То, что свет действительно оказывает давление на физические тела, было доказано опытным путем русским физиком П.Н. Лебедевым. Его прибор представлял собой стеклянную колбу, из которой был выкачан воздух. Внутри на тонкой стеклянной нити был подвешен стерженек с укрепленными на концах пластинами. Одна пластина - черная, другая - белая. При освещении тонким ярким лучом света одной из пластинок, стерженек поворачивался на некоторый угол. По углу закручивания нити можно было судить о силе давления света.



Опыт не только доказал реальное наличие давления света, но и показал, что давление на черную пластинку в два раза больше, чем на светлую. А это в точности соответствует теоретическим расчетам.