

# Корпускулярно-волновой дуализм – двойственность природы света:

- при распространении свет-электромагнитная волна  
( $c=300000$  км/с, поперечность световых волн, явления интерференции и дифракции света)
- при взаимодействии с веществом эл/м излучение ведет себя как поток особых частиц – фотонов (фотоэффект, эффект Комптона, фотохимические реакции, давление света)

# Анализ трудностей электродинамики Максвелла при объяснении законов теплового излучения:



- Объясняет излучение макроскопическими излучателями – антеннами электромагнитных волн с большой длиной волны;
- Неспособна объяснить излучение коротких электромагнитных волн микроскопическими излучателями – атомами и молекулами.

# Квантовая физика

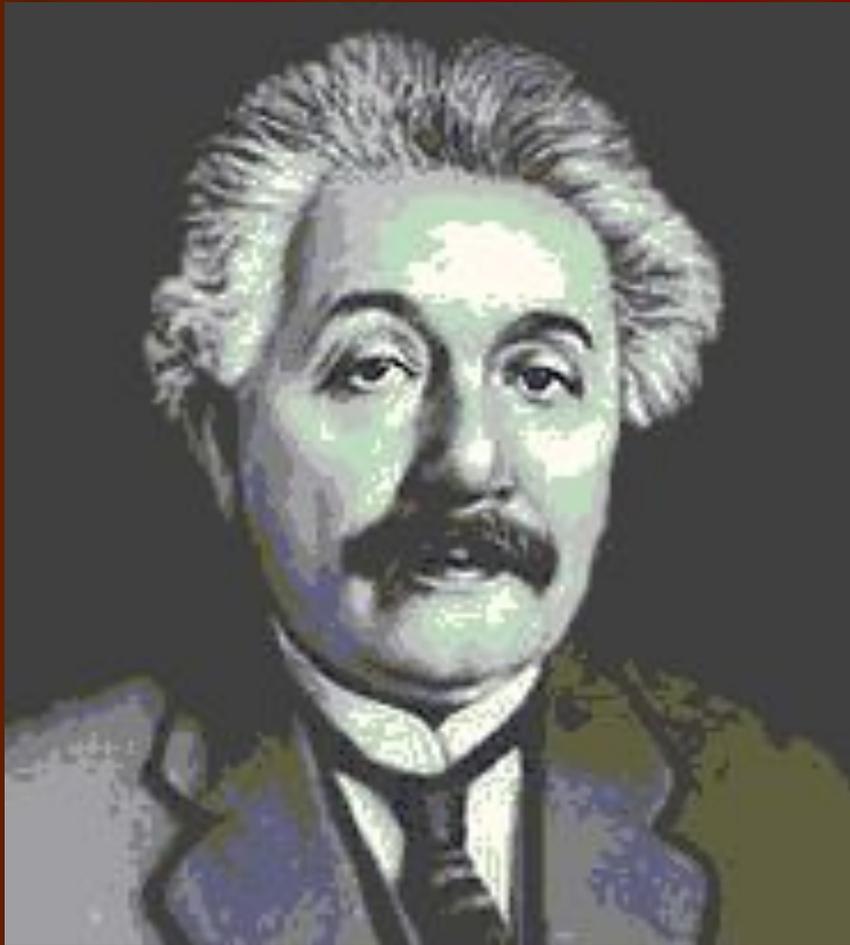
- Раздел современной физики, в котором изучаются свойства строения атомов и молекул, движение и взаимодействие микрочастиц.

# Выход из указанной трудности был найден М. Планком в 1900 г:



- Энергия атомов может меняться отдельными порциями – квантами;
- Если собственная частота атома  $\nu$ , то его энергия может измениться лишь скачком на величину, равную или кратную  $E = h\nu$ ;

# Идея А. Эйнштейна (1905 г):



- Само излучение состоит из отдельных порций – квантов излучения (названных впоследствии фотонами);
- Применил к объяснению ряда явлений, в том числе и к фотоэффекту;
- За эту работу он был удостоен Нобелевской премии.

Существуют ли экспериментальные основания для утверждения о дискретной структуре излучения, в частности о том, что энергия кванта излучения

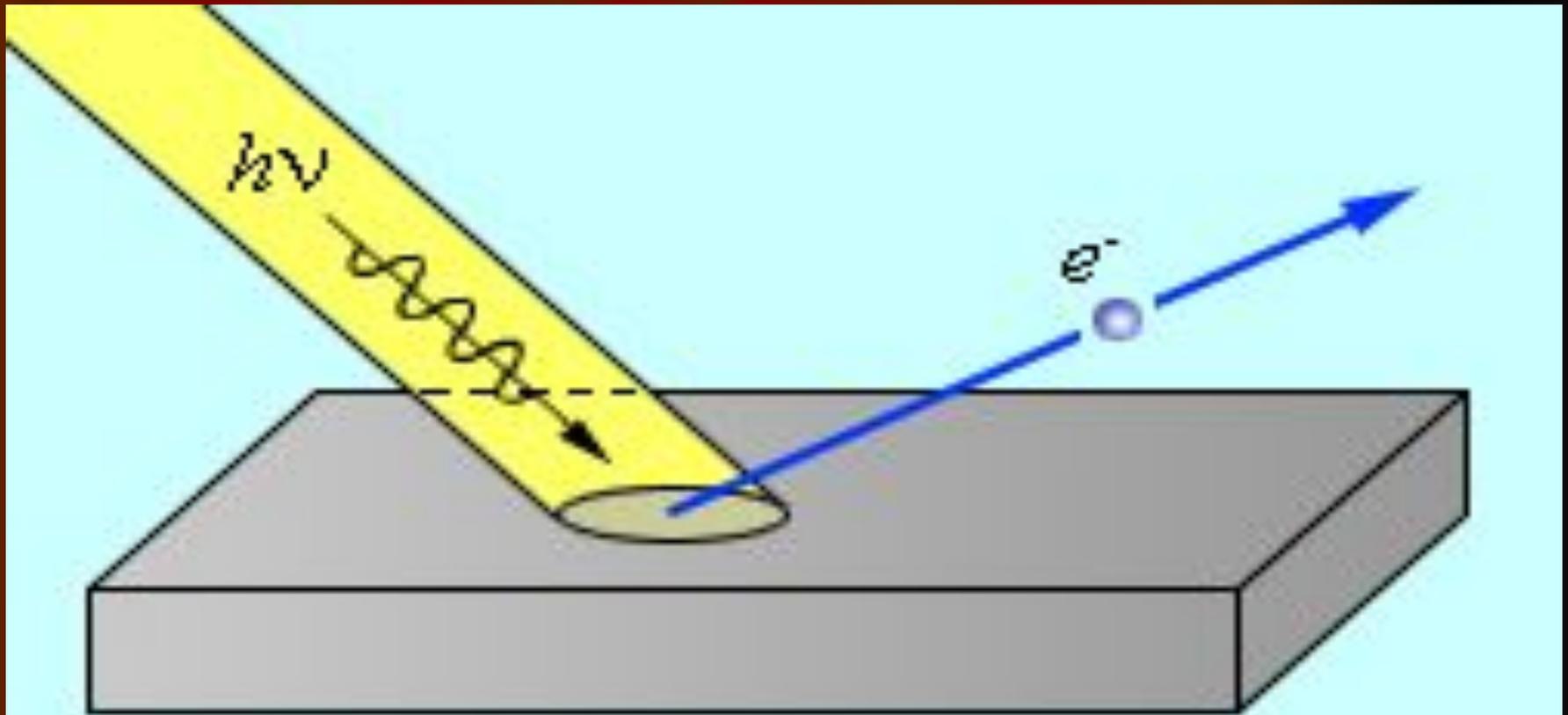
$$E = h\nu?$$

- Таким основанием служит явление фотоэффекта, открытое А.Г. Столетовым



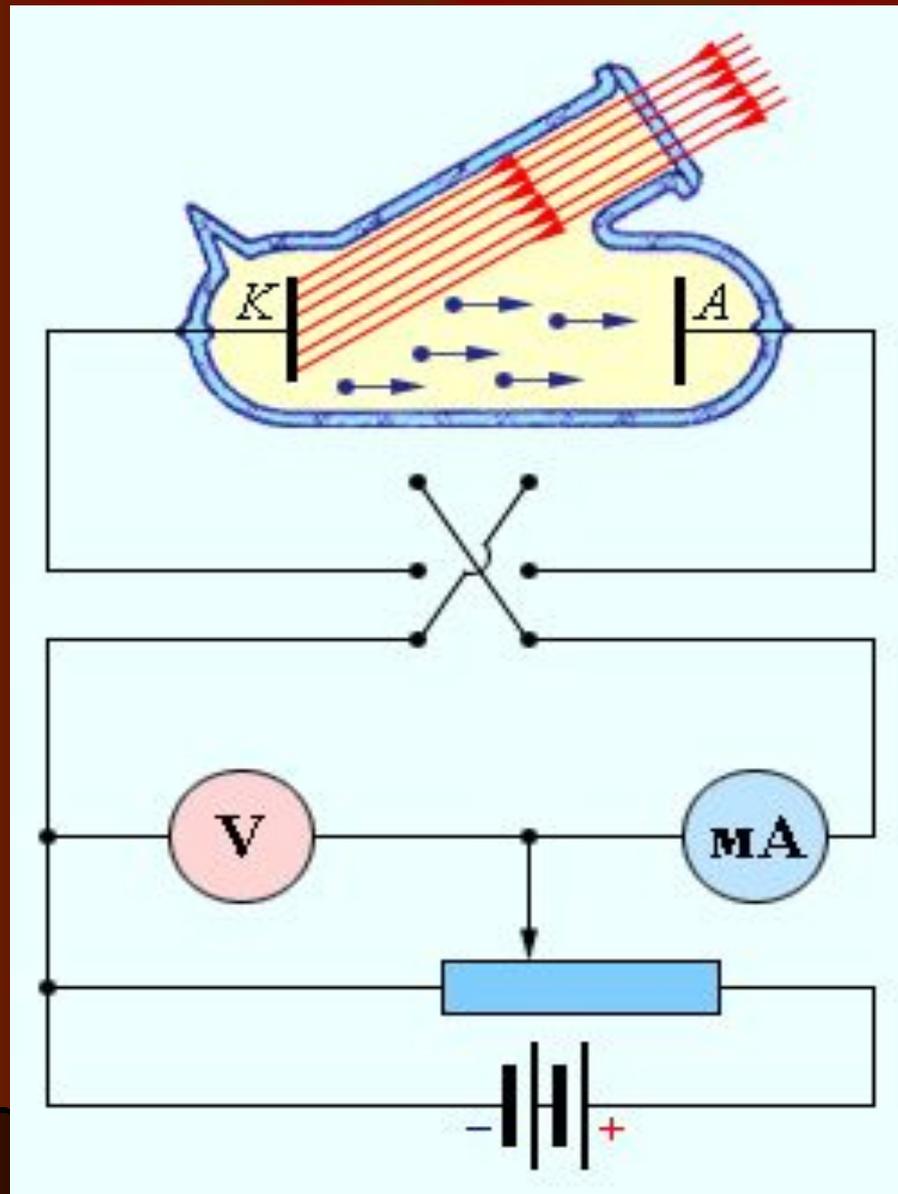
# Фотоэффект

Явление вырывания электронов из металла под действием света



- Под действием света разряжаются только отрицательно заряженные металлы.
- Разряд начинается одновременно с началом освещения => фотоэффект безынерционен.
- Зависит от рода освещаемого металла.
- Скорость разряда зависит от падающей за единицу времени световой энергии

..\..\Рабочий стол\Открытая Физика 1.1



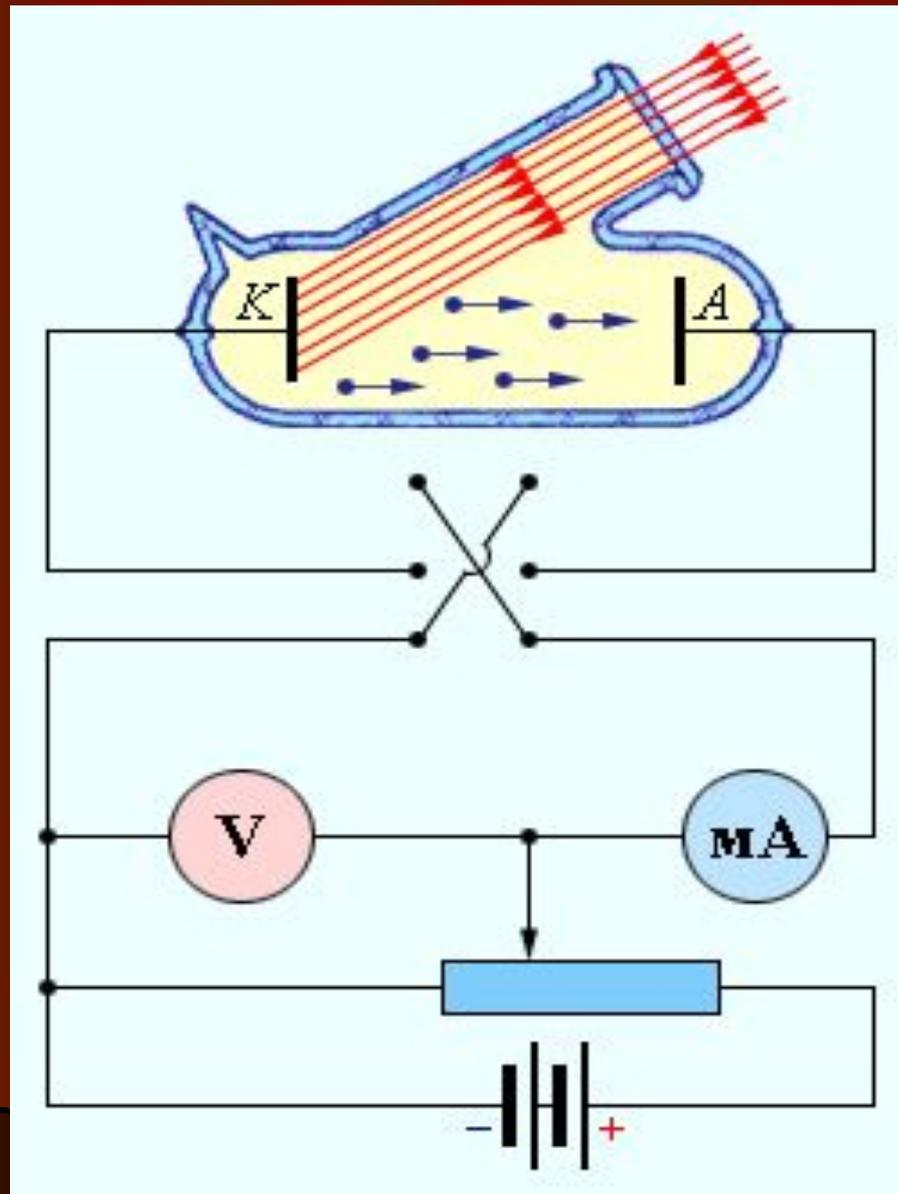
# Первый закон:

- Фототок насыщения прямо пропорционален интенсивности излучения, падающего на катод (т.е. интенсивности поглощенной световой волны);

$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{Ne}{\Delta t} \\ N \sim P \end{array} \right\} \Rightarrow I \sim P$$



..\..\Рабочий стол\Открытая Физика 1.1



Чтобы ток стал равным 0, необходимо  
подать напряжение противоположного  
знака- запирающее напряжение



По величине тормозящего поля можно определить максимальное значение скорости фотоэлектронов:

$$\frac{m v_{\text{макс}}^2}{2} = e U_3$$
A diagram showing a central green sphere representing a photoelectron. A yellow arrow labeled 'F' points to the left, representing the retarding force. A red arrow labeled 'v' points to the right, representing the velocity of the electron.



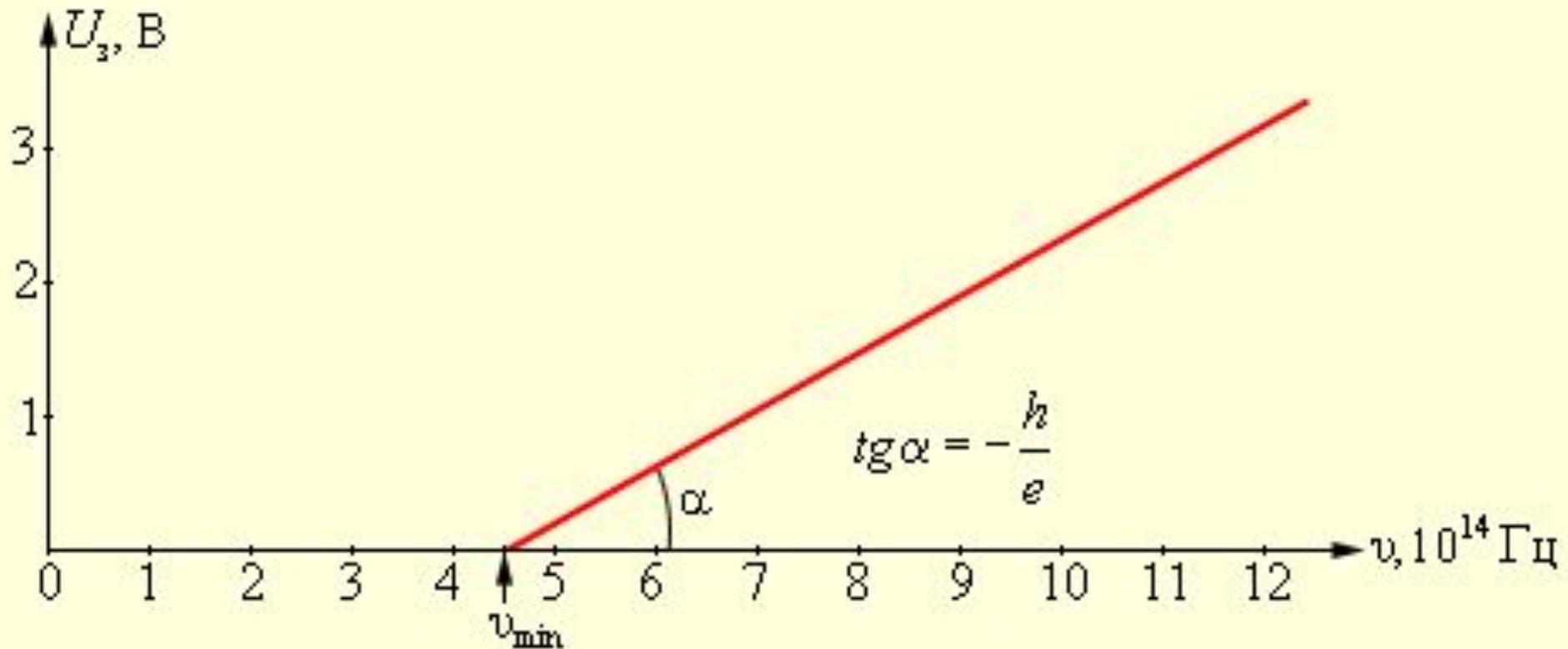
## Второй закон:

- Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от интенсивности света.



# Третий закон:

- Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. наименьшая частота  $\nu_{\min}$ , при которой еще возможен фотоэффект;
- При всех  $\nu < \nu_{\min}$  фотоэффект не произойдет ни при какой интенсивности световой волны, падающей на фотокатод.



- Для вырывания электрона из металла нужно совершить работу против сил, препятствующих выходу электронов из поверхности тела.
- Минимальная дополнительная энергия, которую надо сообщить электрону для его удаления с поверхности тела в вакуум, называется ***работой выхода***.
- Работа выхода для различных веществ неодинакова и зависит от чистоты поверхности.

# Основная идея элементарного фотоэффекта:

- За счет действия одного кванта излучения из катода вырывается каждый электрон и сообщается кинетическая энергия:  $h\nu = A_{\text{в}} + mv_m^2/2$
- Квант энергии, соответствующей длине волны с малой частотой, может оказаться меньше энергии, необходимой для вырывания фотоэлектрона из катода.

# Объяснение законов фотоэффекта:

1. Число фотоэлектронов должно быть  $\sim$  числу квантов излучения, а не равно, потому что часть квантов поглощается кристаллической решеткой, и их энергия переходит во внутреннюю энергию металла.
2. Формула Эйнштейна определяет максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, вылетающих с поверхности катода. Электроны же, вырывающиеся изнутри металла, могут потерять часть энергии, и их скорость окажется меньше максимальной.
3. Фотоэффект могут вызвать лишь кванты, энергия которых не меньше работы выхода, т.е.  
$$h\nu \geq A \Rightarrow \nu = \frac{A}{h} = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{A}$$

# Законы фотоэффекта

## **1-й закон:**

*Сила фототока прямо пропорциональна плотности светового потока.*

## **2-й закон:**

*Максимальная кинетическая энергия вырываемых светом электронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.*

## **3-й закон:**

*Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, то есть минимальная частота света (или максимальная длина волны), при которой ещё возможен фотоэффект.*

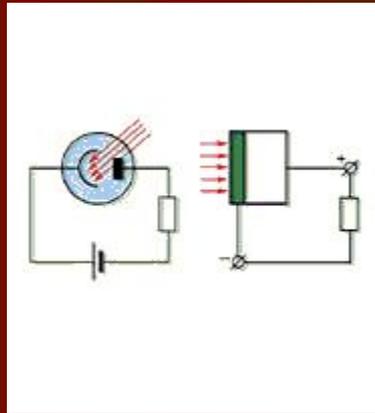
# Применение фотоэффекта:

- Внешний (вакуумный и газонаполненные фотоэлементы в схемах световой сигнализации, для воспроизведения звука на фотопленке);
- Внутренний фотоэффект (фоторезистор: «солнечные батареи» на космических кораблях, фотоэкспонометры, люксметры)

# Механизм внутреннего фотоэффекта:

При попадании излучения внутрь вещества происходят два явления:

1. Одни кванты излучения, поглощаясь атомами, увеличивают кинетическую энергию их движения, поэтому вещество нагревается.
2. Другие кванты излучения, поглощаясь атомами, производят фотоионизацию, в результате чего в веществе образуются дополнительные носители заряда - электроны проводимости и дырки, что приводит к увеличению электрической проводимости. В отличие от внешнего фотоэффекта здесь фотоэлектроны не выходят за пределы п/п, а накапливаются между узлами кристаллической решетки. Электроны и дырки в п/п при встрече рекомбинируют и для того, чтобы сила тока в нем оставалась постоянной, п/п непрерывно облучают источником излучения.



На явлении внутреннего фотоэффекта основано действие вентильных фотоэлементов. Это устройство, в котором энергия световой волны превращается в энергию электрического тока. Такие источники тока используют в солнечных батареях, устанавливаемых на всех космических кораблях.

Вентильные фотоэлементы являются основной частью люксметров – приборов для измерения освещенности, а так же фотоэкспонометров.

# Применение фотоэффекта



# Применение фотоэффекта



# Применение фотоэффекта

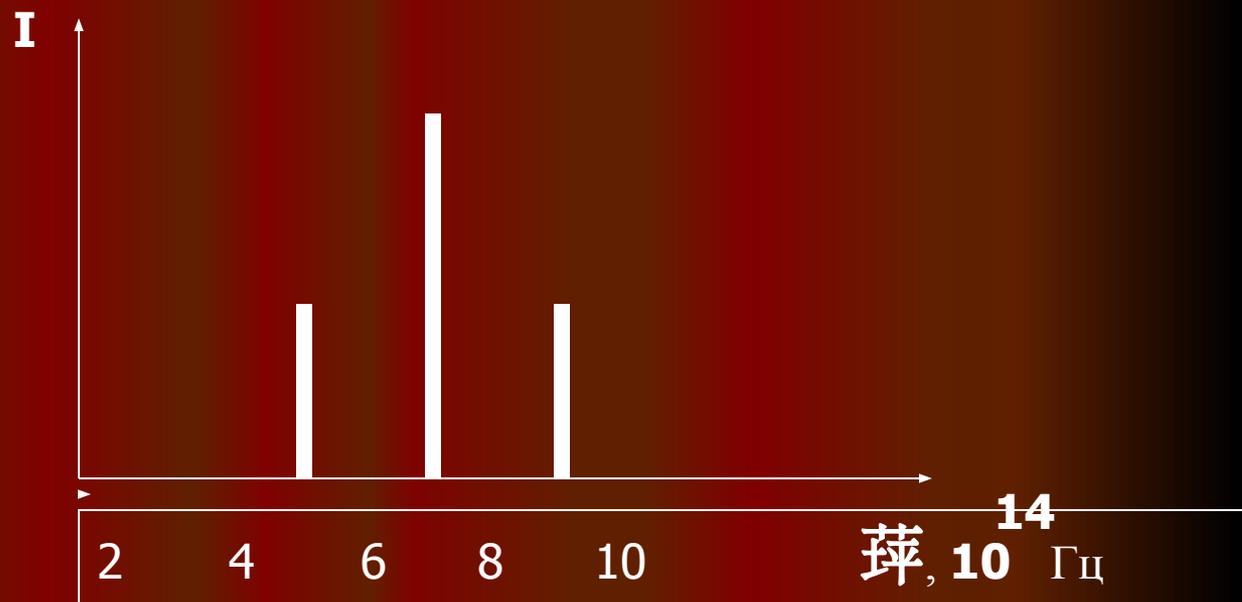


# Применение фотоэффекта

- ..\Тест квант физика.doc

# Решите задачи:

- На металлическую пластину с работой выхода  $A = 2$  эВ падает излучение, имеющее три частоты различной интенсивности. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.



# Решите задачи:

- Фотокатод облучают светом с длиной волны  $\lambda=300$  нм. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода  $\lambda_{кр}=450$  нм. Какое напряжение  $U$  нужно создать между анодом и катодом, чтобы фототок прекратился?
- При облучении катода светом с длиной волны  $\lambda=300$  нм фототок прекращается, когда напряжение между анодом и катодом  $U=1,4$  В. Определите красную границу фотоэффекта  $\lambda_{кр}$  для вещества фотокатода.

# Решите задачи:

- Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода  $A=4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж), освещается светом с длиной волны  $\lambda=300$  нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией  $8,3 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Рассчитайте максимальный радиус окружности  $R$ , по которой движутся электроны.
- В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор емкостью  $C=8000$  пФ. При длительном освещении катода светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд  $q=11 \cdot 10^{-9}$  Кл. работа выхода электронов из кальция  $A=4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж. Определите длину волны  $\lambda$  света, освещающего катод.