

*Фото-
электрический
эффект*

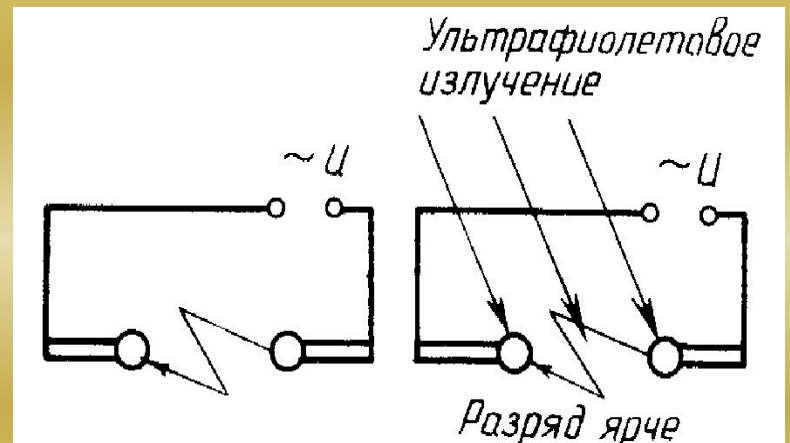
Открытие фотоэффекта

- *Фотоэлектрический эффект* был открыт в 1887 году немецким физиком Г. Герцем. В 1888–1890 годах экспериментально исследован А. Г. Столетовым.
- Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено **Ф. Ленардом** в 1900 г.

Внешний фотоэффект

- Опыт Г. Герца (1888 г.):

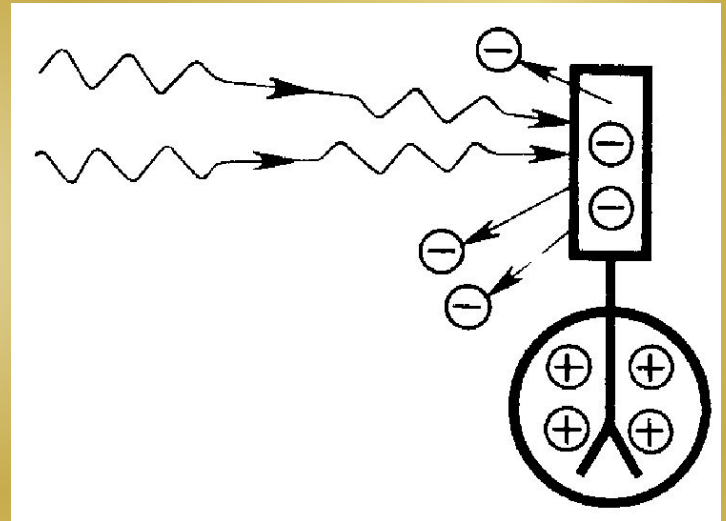
при облучении ультрафиолетовыми лучами электродов, находящихся под высоким напряжением, разряд возникает при большем расстоянии между электродами, чем без облучения.



Наблюдение фотоэффекта:

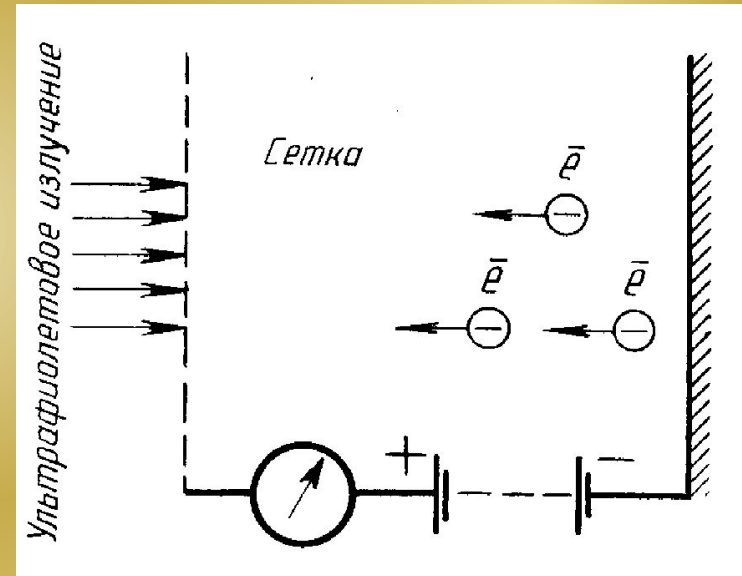
- **1. Цинковую пластину, соединенную с электроскопом, заряжают отрицательно и облучают ультрафиолетовым светом. Она быстро разряжается.**

Если же ее зарядить положительно, то заряд пластины не изменится.



Наблюдение фотоэффекта:

- 2. Ультрафиолетовые лучи, проходящие через сетчатый положительный электрод, попадают на отрицательно заряженную цинковую пластину и выбивают из нее электроны, которые устремляются к сетке, создавая **фототок**, регистрируемый чувствительным гальванометром.



Внешний фотоэффект

- **Фотоэффект** - явление испускания электронов с поверхности металла под действием света.

Т.е. свет выбивает (вырывает) электроны из металла.

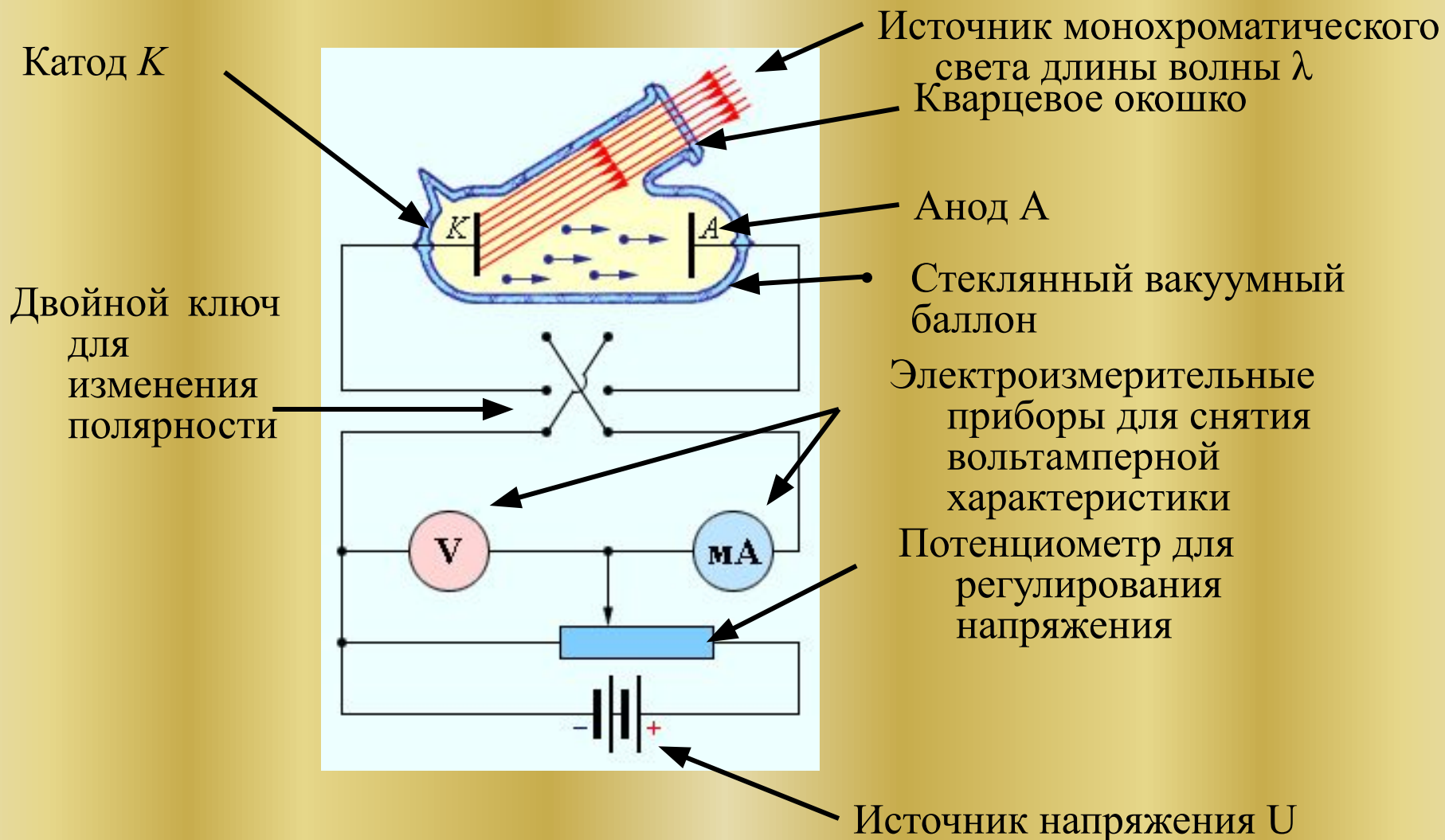
Столетов

Александр Григорьевич (1839-1896)

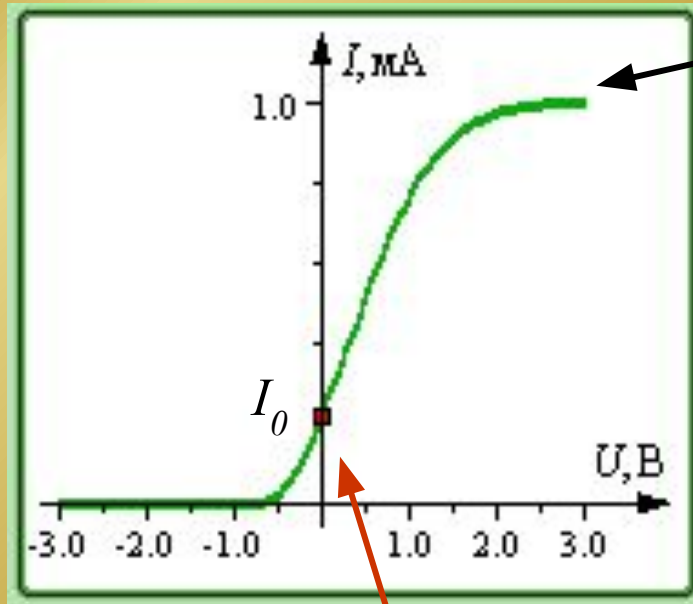
- **Количественные закономерности фотоэффекта были установлены А.Г. Столетовым (1888—1889).**



Схема экспериментальной установки для изучения фотоэффекта.



Анализ вольт-амперной характеристики.



- При $U = 0$ $I_0 \neq 0$
следовательно выбитые электроны обладают кинетической энергией.

Начиная с некоторого значения напряжения сила тока в цепи перестает изменяться, достигнув насыщения.

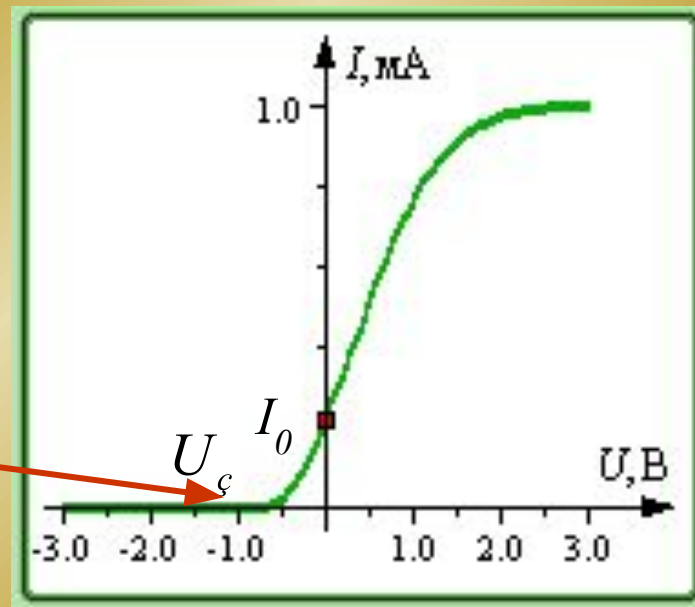
- Сила тока насыщения прямо пропорциональна числу электронов, выбитых светом за 1 с с поверхности катода:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{|e|N}{1\text{с}} = \text{const} \cdot I_{\text{нас}}$$

Анализ вольт-амперной характеристики.

- При таком значении напряжения сила тока в цепи анода равна нулю.

*Напряжение запираения
(запирающее напряжение)*



При $U > U_3$ в результате облучения электроны, выбитые из электрода, могут достигнуть противоположного электрода и создать некоторый начальный ток.

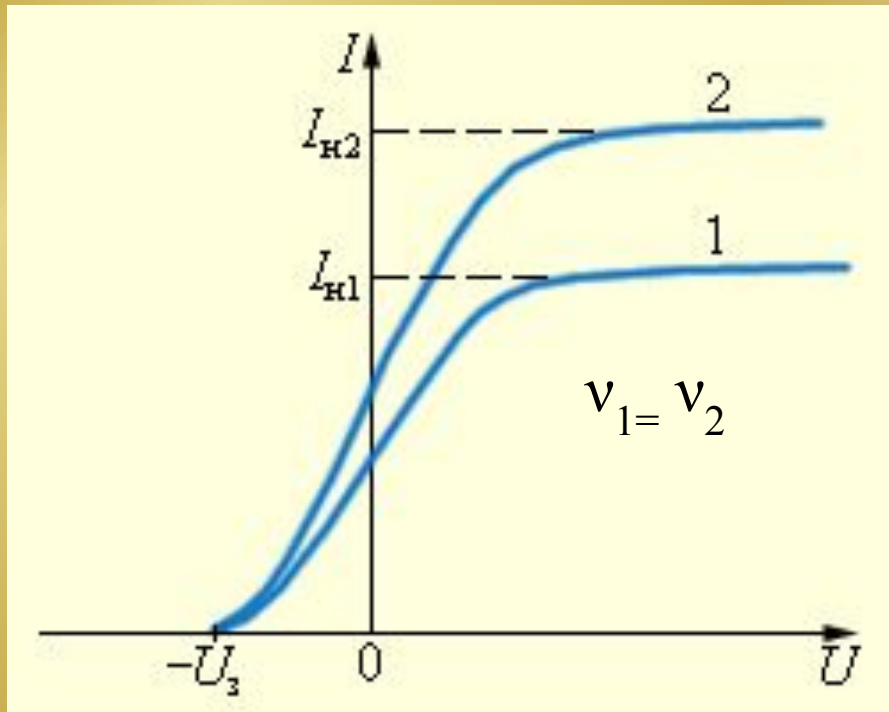
Анализ вольт-амперной характеристики.

- Согласно закону сохранения энергии $eU_3 = \frac{mv_{\max}^2}{2}$

где m - масса электрона,

а v_{\max} - максимальная скорость фотоэлектрона.

Зависимость числа выбитых электронов от светового потока.



Световой поток, падающий на фотокатод увеличивается, а его спектральный состав остается неизменным:

$$\Phi_2 > \Phi_1$$

- Сила тока насыщения и, следовательно, число выбитых светом за 1 с электронов увеличивается: $I_{нас,2} > I_{нас,1}$
- Значение запирающего напряжения не меняется!

Первый закон фотоэффекта

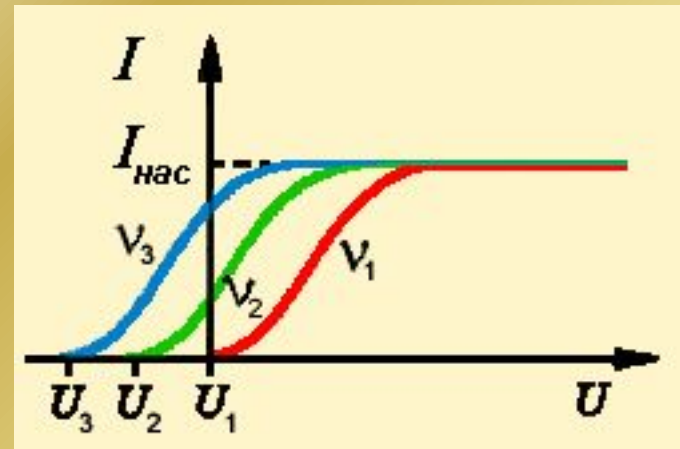
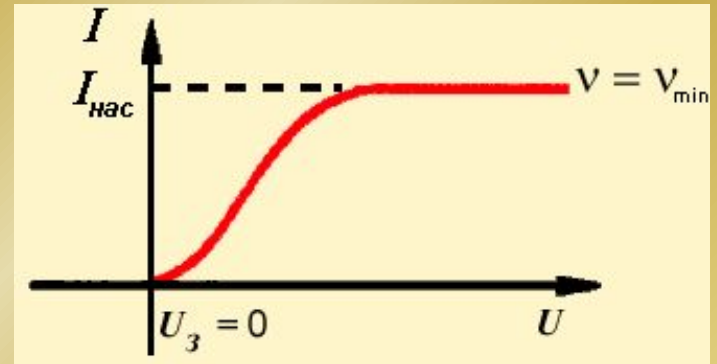
- *Фототок насыщения пропорционален световому потоку, падающему на металл.*

ИЛИ

- *Количество фотоэлектронов, выбиваемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.*

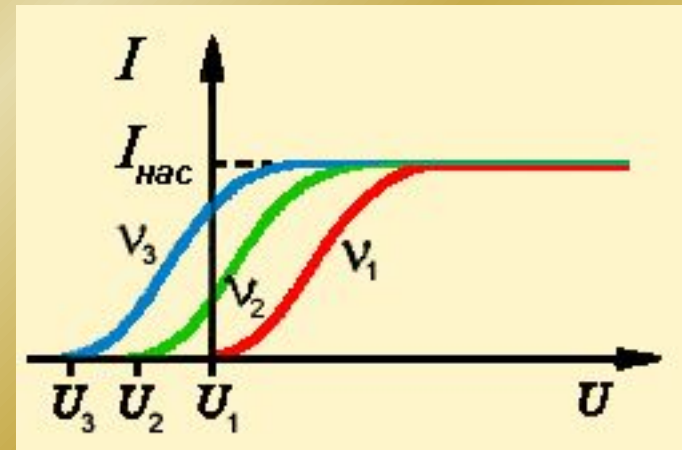
Влияние спектрального состава света

- При частоте $\nu = \nu_{\min}$ запирающее напряжение равно нулю.
- При частоте $\nu < \nu_{\min}$ фотоэффект отсутствует.
- Если частоту света увеличить, то при неизменном световом потоке запирающее напряжение увеличивается, а, следовательно, увеличивается и кинетическая энергия фотоэлектронов.



Второй закон фотоэффекта:

- Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света не зависит от интенсивности падающего света.*

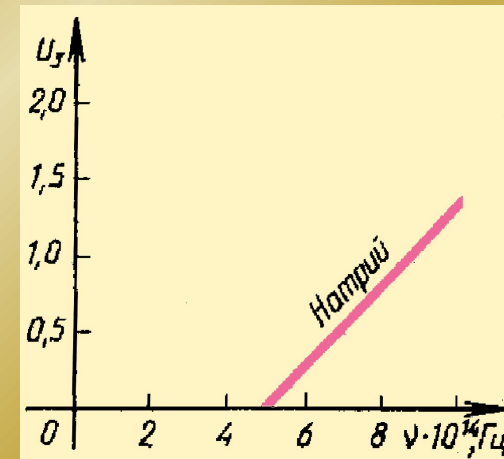


Красная граница фотоэффекта

- При $\nu < \nu_{\min}$ ни при какой интенсивности волны падающего на фотокатод света фотоэффект не произойдет.

- Т.к. $\lambda = \frac{c}{\nu}$,
то *минимальной частоте*
света соответствует
максимальная длина волны.

- Т.к длина волны больше у красного цвета, то максимальную длину волны (минимальную частоту), при которой еще наблюдается фотоэффект, назвали *красной границей фотоэффекта.*



Третий закон фотоэффекта

- Заменяя в приборе материал фотокатода, Столетов установил, что красная граница фотоэффекта является характеристикой данного вещества.
- *Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота ν_{min} , при которой еще возможен фотоэффект.*

Законы фотоэффекта:

- *Количество фотоэлектронов, выбиваемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.*
- *Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света не зависит от интенсивности падающего света.*
- *Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота ν_{min} , при которой еще возможен фотоэффект.*
- *Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $\nu > \nu_{min}$.*

Что не могла объяснить волновая теория света:

- **Безынерционность фотоэффекта.**
 - В волновой модели: электрон при взаимодействии с электромагнитной световой волной постепенно накапливает энергию, и только через значительное время вылетит из катода. Как показывают расчеты, это время должно было бы исчисляться минутами или часами.
- **Существование красной границы фотоэффекта.**
 - В волновой модели: необходимую энергию можно накопить при любой энергии волны.
- **Независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока.**
- **Пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света.**

Идея Эйнштейна (1905 г.)

- Свет имеет прерывистую дискретную структуру. Электромагнитная волна состоит из отдельных порций – квантов, впоследствии названных фотонами.
- Квант поглощается электроном целиком. Энергия кванта передается электрону. (Один фотон выбивает один электрон.)
- Энергия каждого фотона определяется формулой Планка $W = E = h\nu$, где h – постоянная Планка.

Уравнение Эйнштейна

- На основании закона сохранения энергии:

$$h \nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

- **Смысл уравнения Эйнштейна:**
 - энергия кванта тратится на работу выхода электрона из металла и сообщение электрону кинетической энергии.

В этом уравнении: ν - частота падающего света,
 m - масса электрона (фотоэлектрона),
 v - скорость электрона,
 h - постоянная Планка,
 A - работа выхода электронов из металла.

Работа выхода

- Она показывает, какую работу должен совершить электрон, чтобы преодолеть поверхностную разность потенциалов и выйти за пределы металла.
- Работа выхода обычно измеряется в электронвольтах (эВ).

Доказательство законов фотоэффекта

- *Количество фотоэлектронов, выбиваемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.*

Число фотонов N_{ϕ} равно числу электронов N_{ε} .

- Энергия монохроматического

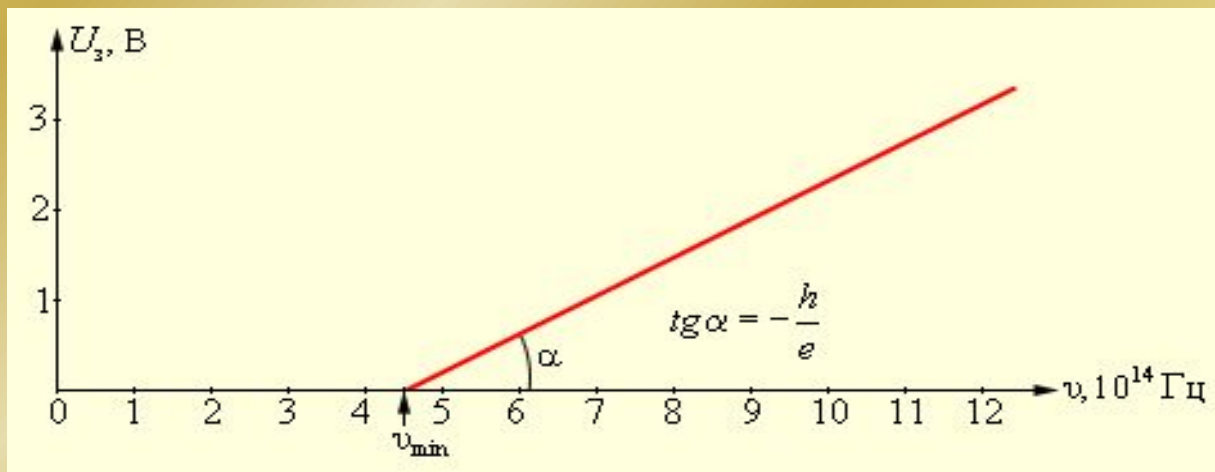
света $E = N_{\phi} h\nu = N_{\varepsilon} h\nu$

- Следовательно, $N_{\varepsilon} = \frac{E}{h\nu}$

Доказательство законов фотоэффекта

- *Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света не зависит от интенсивности падающего света.*

Из уравнения Эйнштейна: $\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\max} = eU_3 = h\nu - A.$



Доказательство законов фотоэффекта

- Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота ν_{\min} , при которой еще возможен фотоэффект.

Минимальная частота света соответствует

$$\text{то } W_{\text{к}} = 0, \\ h\nu_{\min} = A \text{ или } h \frac{c}{\lambda_{\max}} = A .$$

Эти формулы позволяют определить работу выхода A электронов из металла.

Работа выхода

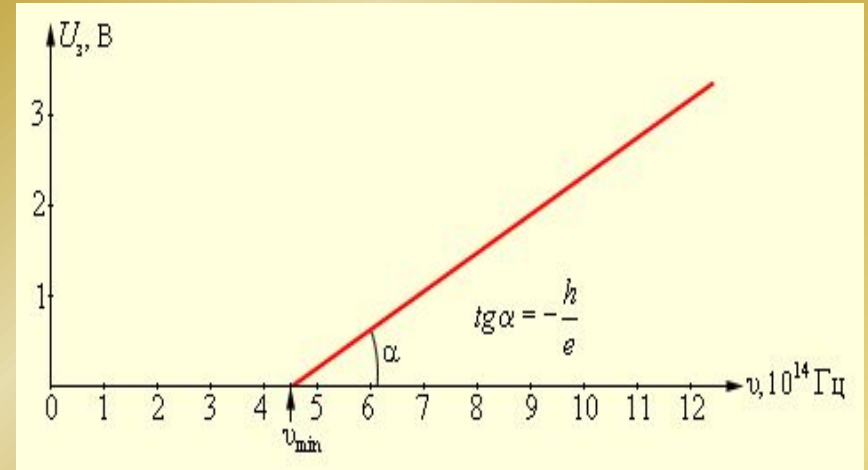
- Среди металлов наименьшей работой выхода обладают щелочные металлы. Например, у натрия $A = 1,9$ эВ, что соответствует красной границе фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} \approx 680$ нм.
- Поэтому соединения щелочных металлов используют для создания катодов в **фотоэлементах**, предназначенных для регистрации видимого света.

Определение постоянной Планка

- Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала U_3 от частоты ν , равен отношению постоянной Планка h к заряду электрона e :

$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_1 - U_2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_1 - U_2}{\nu_2 - \nu_1} = \frac{h}{e}$$



- Это позволяет экспериментально определить значение постоянной Планка. Такие измерения были выполнены Р. Милликеном (1914 г.) и дали хорошее согласие со значением, найденным Планком.