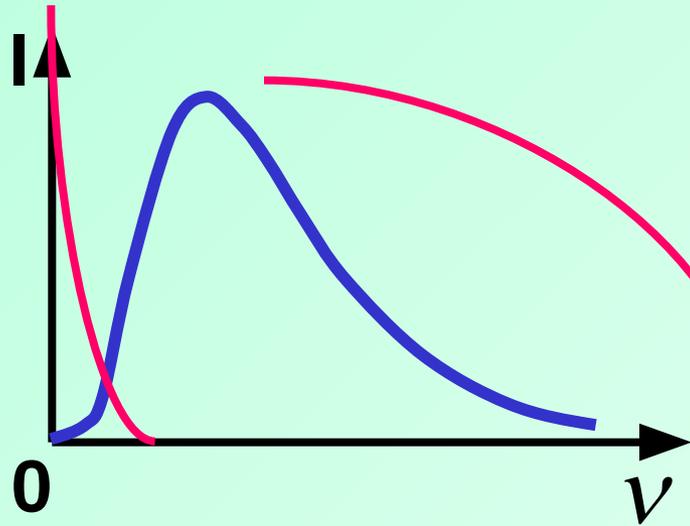


# **СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ**

# Тепловое излучение

1896 г. – Вильгельм Вин



$$dI = A e^{-\frac{h\nu}{kT}} d\nu$$

$$I \sim e^{-h\nu}$$

Хорошо описывает  
высокочастотную часть спектра

1900 г. Релей, Джеймс Джинс

$$dI = AT\omega^2 d\omega$$

$$I \sim \nu^2 \quad (\omega = 2\pi\nu)$$

Хорошо описывает  
низкочастотную часть спектра.

если  $\omega \rightarrow \infty$ , то  $I \rightarrow \infty$

Ультрафиолетовая  
катастрофа



# Квантовая теория

1900 г. Макс Планк

«квант» - порция

Гипотеза Планка: процессы излучения и поглощения электромагнитной энергии нагретым телом происходят не непрерывно, а конечными порциями – квантами. Квант – это минимальная порция энергии, излучаемой или поглощаемой телом.

**Свет излучается, распространяется и поглощается порциями – квантами.**

$$E = h\nu$$

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

— энергия одного кванта света

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

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,053 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$



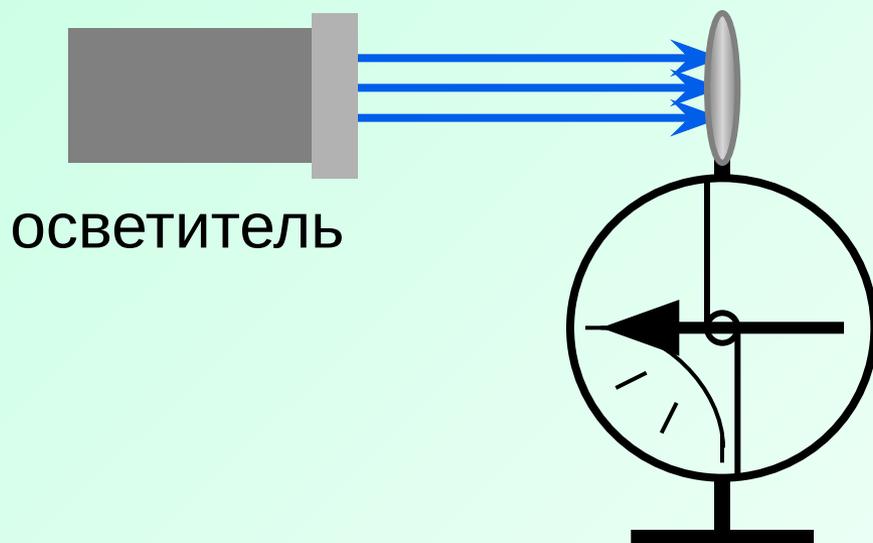
# Фотоэффект



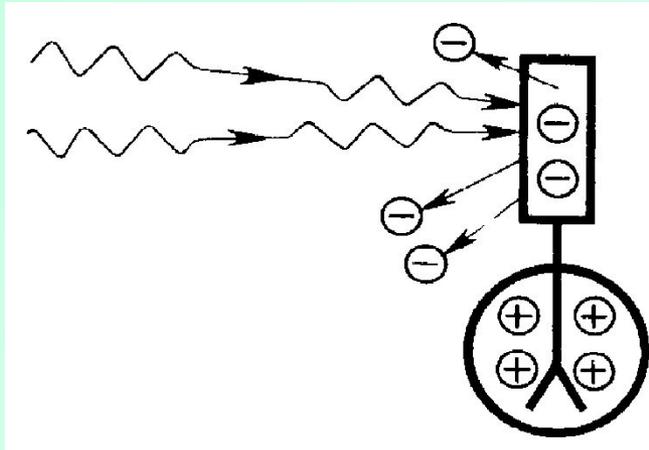
1887 г.

Генрих Герц

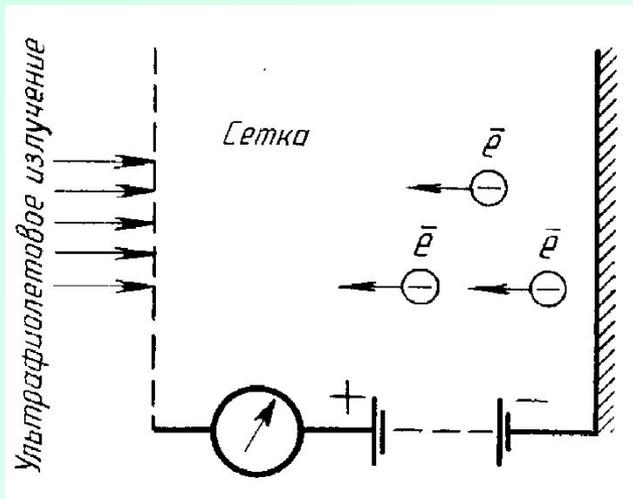
**Фотоэффект – это явление вылета электронов из вещества под действием света.**



# Наблюдение фотоэффекта



- Явление выхода (вырывания) электронов из вещества под действием света получило название фотоэлектрического эффекта - фотоэффекта



# Фотоэффект



```
graph TD; A[Фотоэффект] --> B[В жидких и твердых телах]; A --> C[В газах]; B --> D[Внешний фотоэффект (фотоэлектронная эмиссия) – явление вырывания электронов из вещества(тв.т, ж.т) под действием света. Поглощение фотонов сопровождается вылетом электронов за пределы тела.]; B --> E[Внутренний – электрон, оставаясь в теле, изменяет свое энергетическое состояние.]; C --> F[Фотоионизация – фотоэффект, наблюдаемый в газах и состоящий в ионизации атомов (молекул) под действием излучения.];
```

В жидких и  
твердых телах

В газах

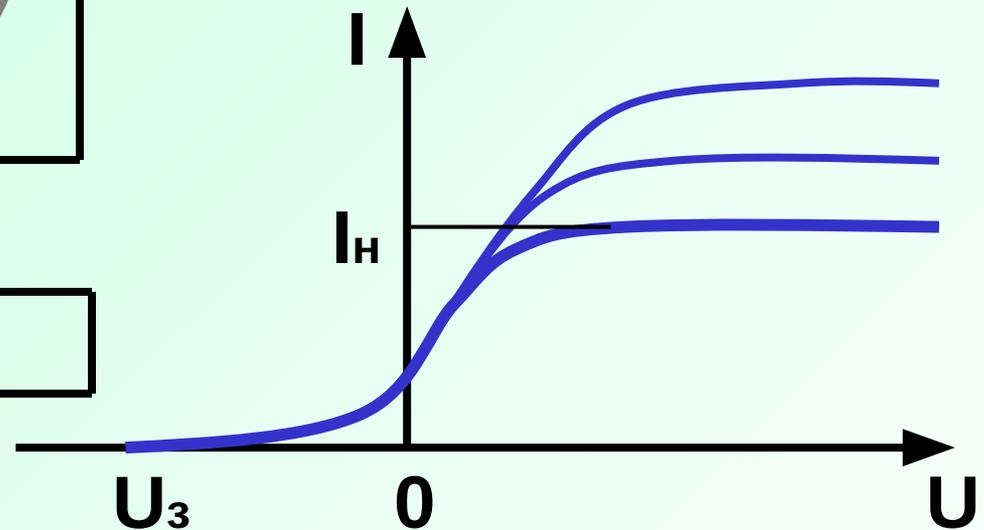
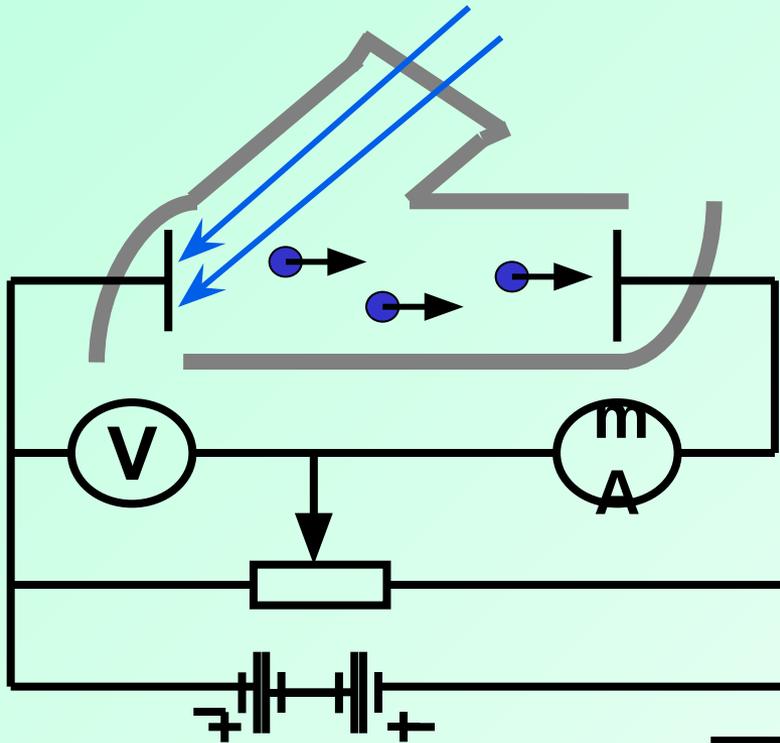
**Внешний фотоэффект**  
(фотоэлектронная эмиссия)  
– явление вырывания электронов из вещества(тв.т, ж.т) под действием света. Поглощение фотонов сопровождается вылетом электронов за пределы тела.

**Внутренний** –  
электрон, оставаясь в теле, изменяет свое энергетическое состояние.

**Фотоионизация** –  
фотоэффект,  
наблюдаемый в газах  
и состоящий в  
ионизации атомов  
(молекул) под  
действием  
излучения.

# Фотоэффект

1887-1889 гг. – Александр Григорьевич Столетов



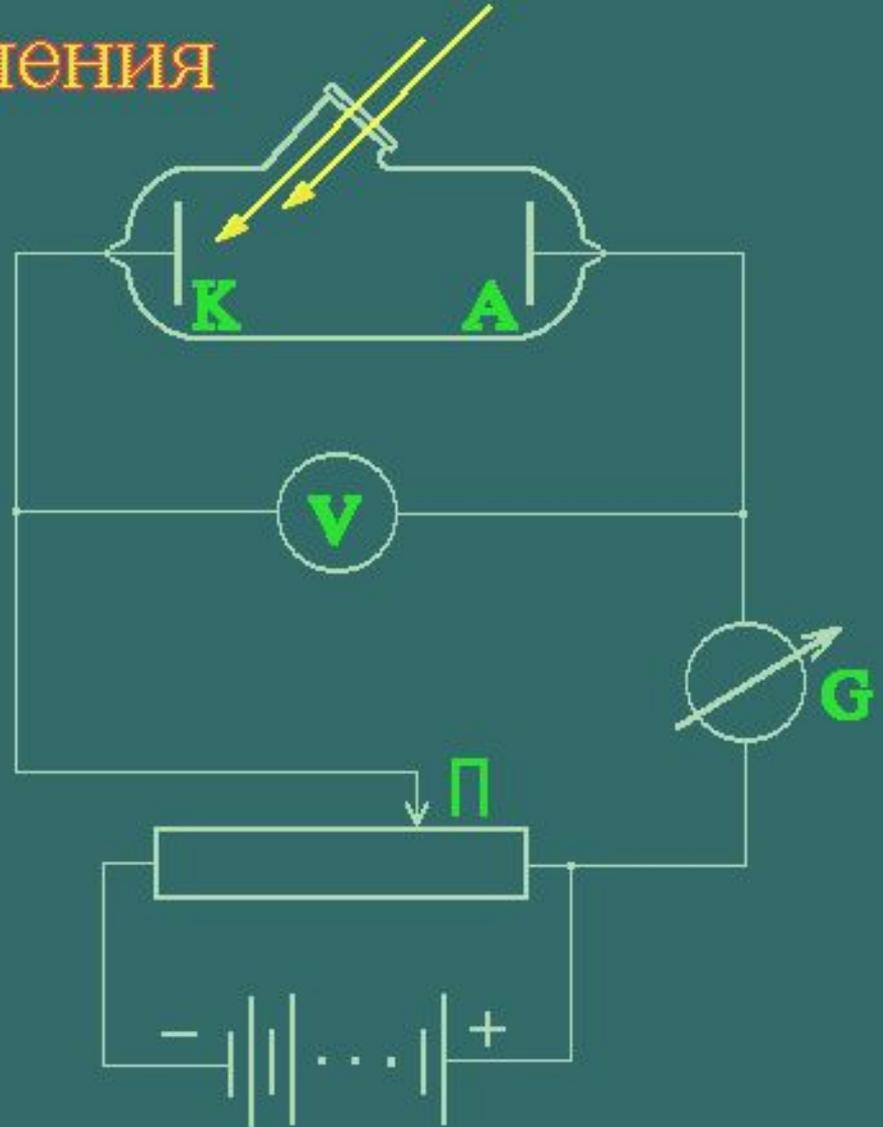
$I_H$  – ток насыщения

$U_3$  – задерживающее напряжение



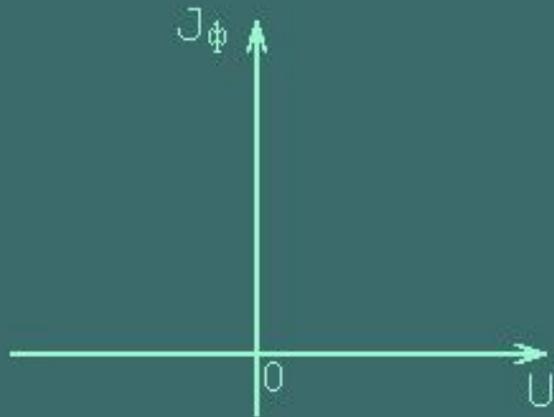
# Фотоэффект

Схема для изучения  
вольтамперной  
характеристики  
внешнего  
фотоэффекта.



# Фотоэффект

Зависимость фототока насыщения от энергетической освещённости фотокатода



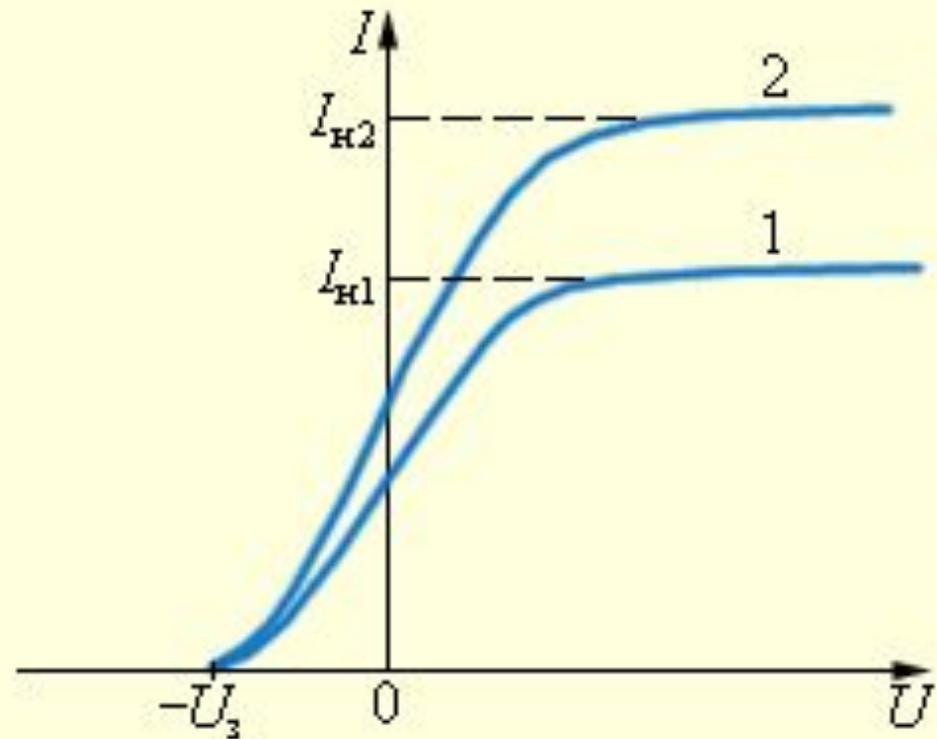
# Законы фотоэффекта

Количественные  
закономерности  
фотоэффекта  
(1888 - 1889) были  
установлены  
Русским физиком  
А.Г. Столетовым

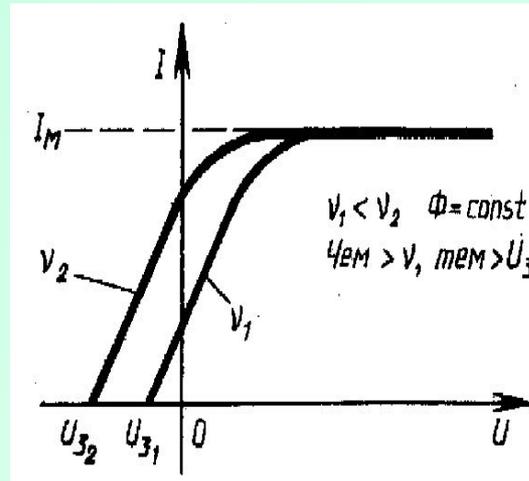


# Первый закон фотоэффекта

- Количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны



# Второй закон фотоэффекта

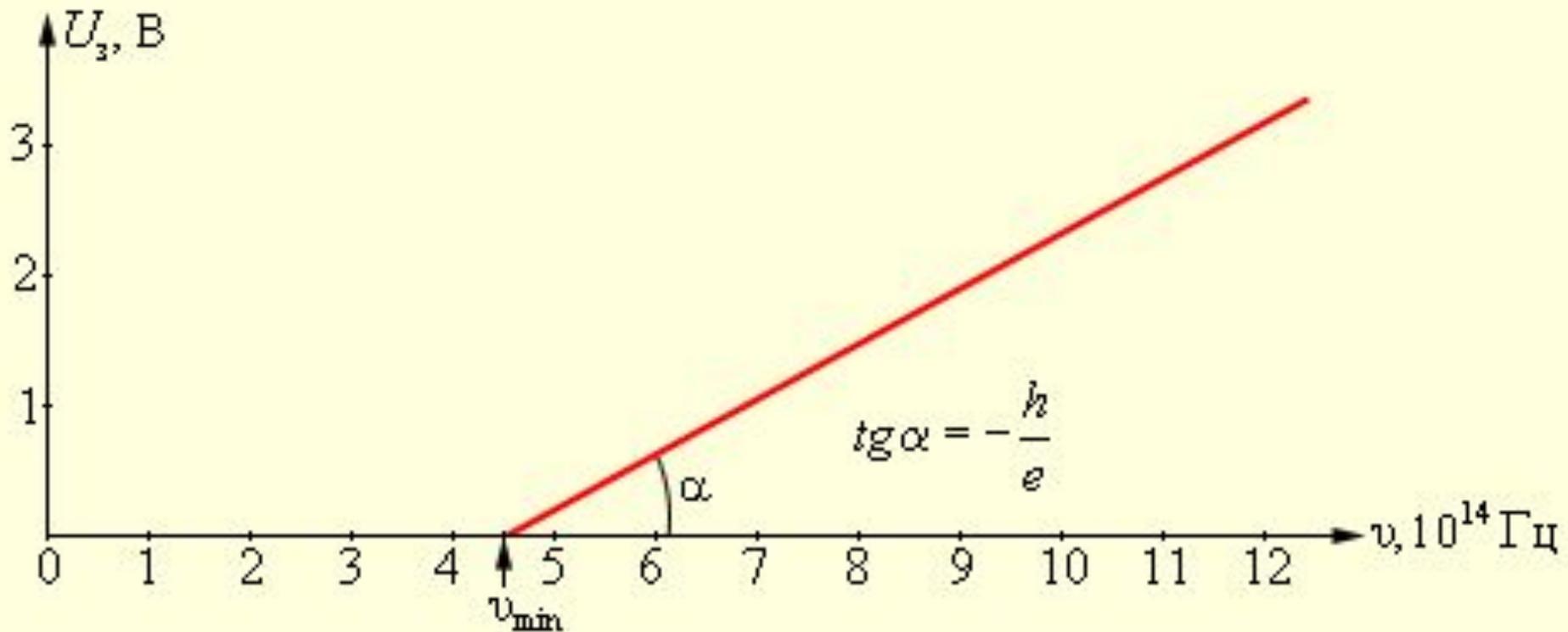


Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

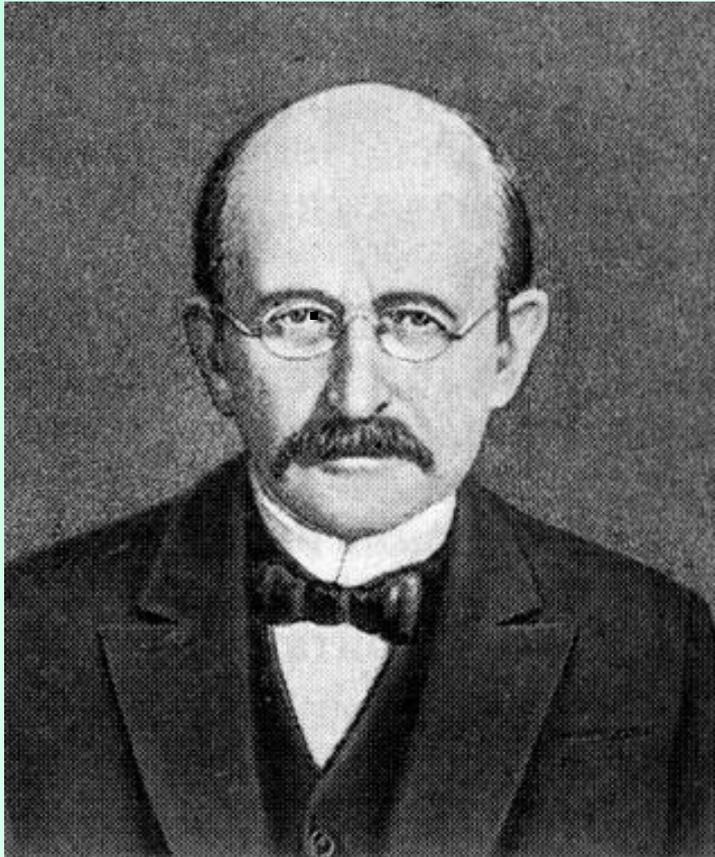
$$\frac{mv^2}{2} = eU_s \qquad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

# Третий закон фотоэффекта

*Для каждого вещества существует наименьшая частота  $\nu_{\min}$  ( $\lambda_{\max}$ ), при которой еще возможен фотоэффект, ее называют красной границей фотоэффекта*



# Объяснение фотоэффекта



Немецкий физик

Макс Планк

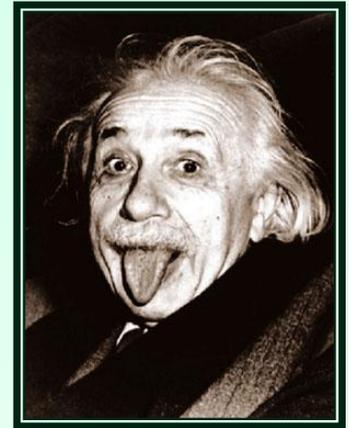
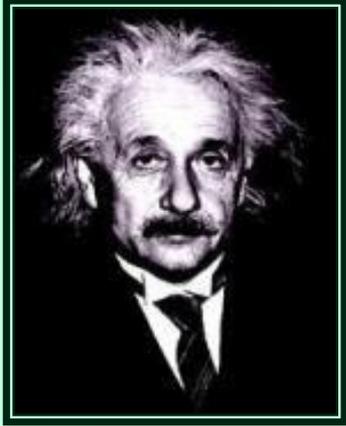
1900 г. Гипотеза:

*Тела испускают свет порциями- квантами.*

$$E = h\nu$$

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

# Теория фотоэффекта



1905 г.

Альберт Эйнштейн

$$E = A_{\text{ВЫХ}} + E_{\text{К}}$$

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

уравнение Эйнштейна  
для фотоэффекта

$A_{\text{ВЫХ}}$  – работа выхода, Дж



# Теория фотоэффекта

$$h\nu_{\min} = A_B$$

если  $\left\{ \begin{array}{l} \lambda > \lambda_{\max} \\ \nu < \nu_{\min} \end{array} \right\}$ , то  
фотоэффект  
не наступает

$$\nu_{\min} = \frac{A_B}{h}$$

$$\nu_{\min} = \frac{c}{\lambda_{\max}}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{A_B}$$

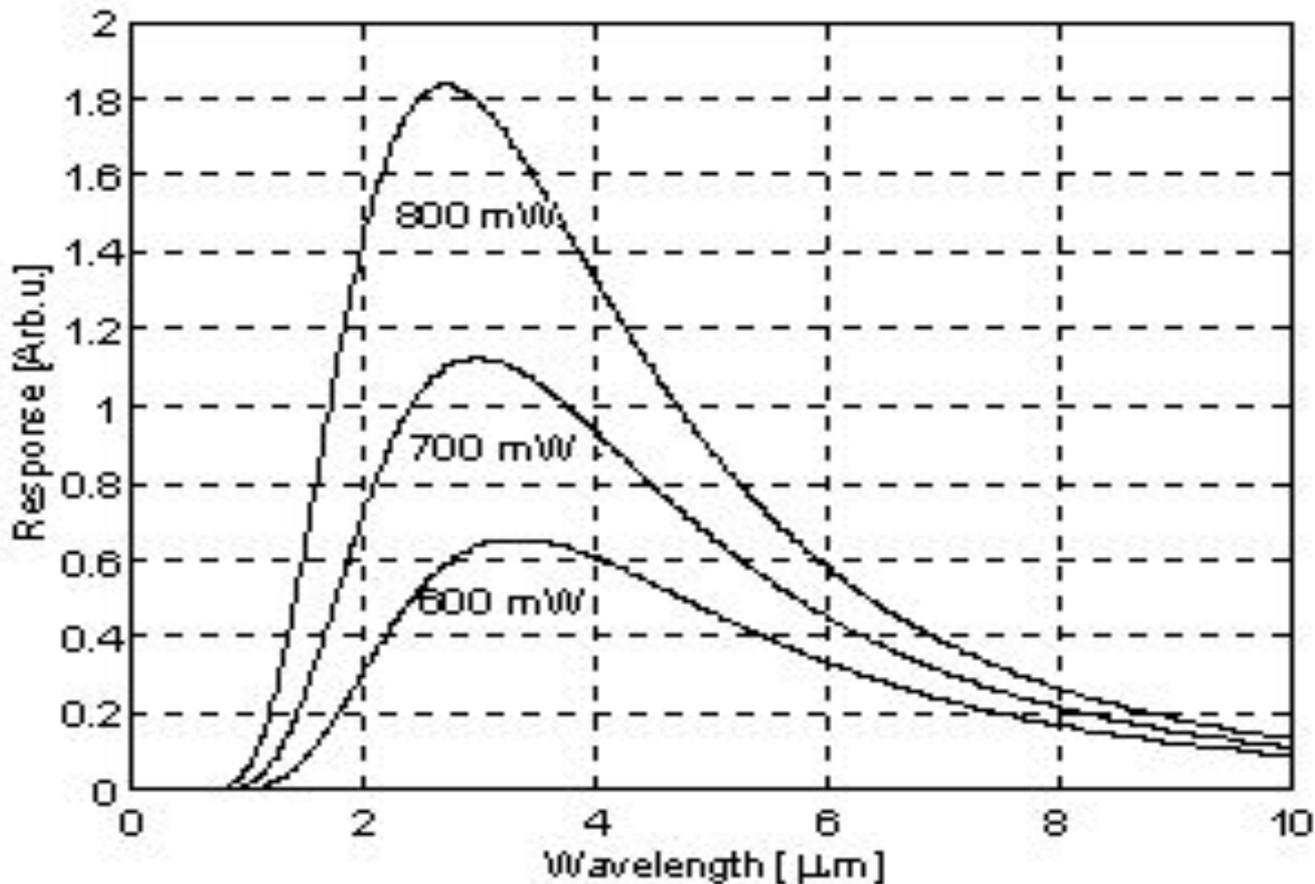
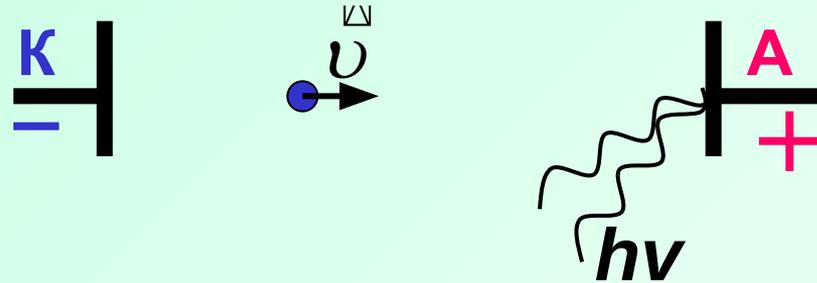
— красная граница  
фотоэффекта



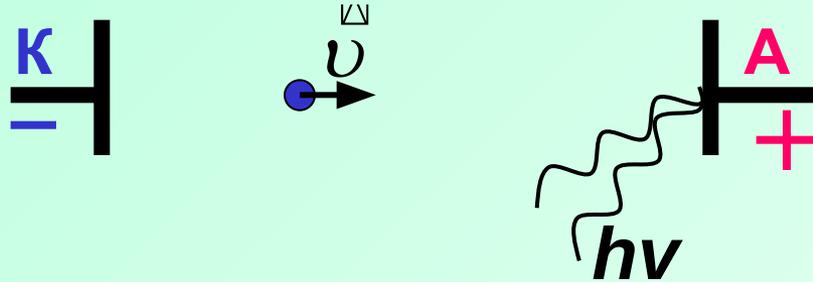
# Рентгеновские спектры

1895 г.

Вильгельм Рентген



# Рентгеновские спектры



Энергия излучения не может быть больше энергии электрона.

$$h\nu \leq eU$$

$$\nu_{\max} = \frac{eU}{h}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}} = \frac{ch}{eU}$$

Расчет постоянной Планка

$$h = \frac{eU\lambda_{\min}}{c}$$

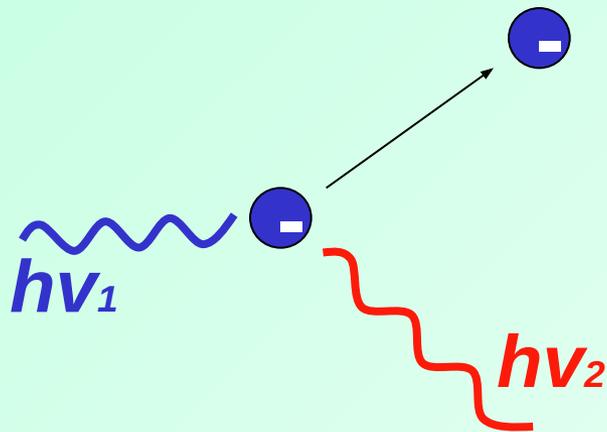


# Эффект Комптона

1923 г.

Артур Холли

Частота света уменьшается при его рассеянии на электронах.



Выполняется закон сохранения импульса:

$$\vec{P}_{f0} = \vec{P}_f + \vec{P}_{e^-}$$

$$\Delta E = h\Delta\nu$$



## Частица вещества

## Частица электромагнитного поля (фотон)

$$m_0 \neq 0$$

$m_0$  не существует. Не имеет массы покоя.

$$v < c$$

$$v = c$$

Могут при взаимодействии изменять скорость, двигаться а ускорением

При взаимодействии с веществом поглощаются и излучаются

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

$$E = h\nu$$

Обладают энергией

Обладают энергией

$$p = mv$$

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Имеют электрический заряд или не имеют электрического заряда

Не имеют электрического заряда

Выполняются законы сохранения энергии и импульса

# Давление света

1900 г.

Петр Николаевич Лебедев

*Опыты по измерению давления света.*

$$P_f = \frac{h\nu_f}{c} = \frac{h}{c}$$

$$F = \frac{\Delta P_f}{t}$$

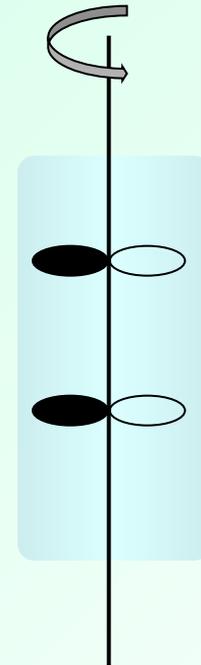
$$p = \frac{F}{S}$$

$$p = E \cdot n = h\nu \cdot n$$

$n$  – концентрация

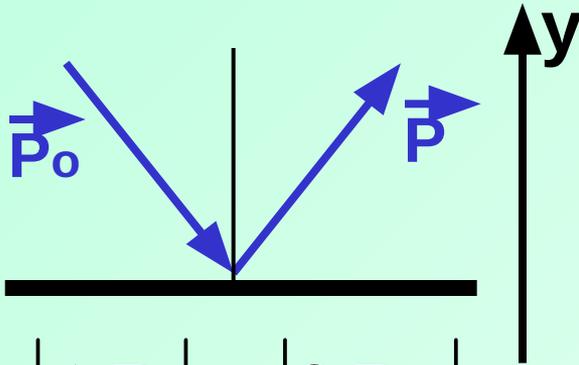
фотонов

$$\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$$



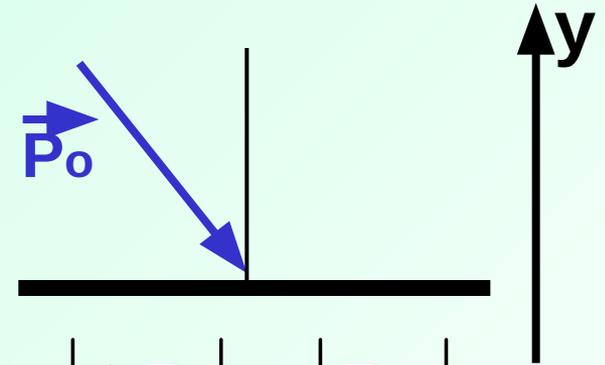
# Давление света

отражающая  
поверхность



$$|\Delta P_y| = |2P_{y0}|$$

поглощающая  
поверхность



$$|\Delta P_y| = |P_{y0}|$$

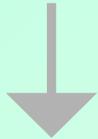
$$F = \frac{\Delta P_f}{t}$$

$$p = \frac{F}{S}$$



# Корпускулярно – волновой дуализм

**свет - волна**



- интерференция
- дифракция
- поляризация

**свет – поток частиц**



- фотоэффект (красная граница)
- коротковолновая граница рентгеновских спектров
- Эффект Комптона

**Нильс Бор – принцип дополнительности: для описания того или иного явления надо использовать или волновую или корпускулярную теорию света, но не ту и другую одновременно.**



# Корпускулярно – волновой дуализм

1923 г. Луи де-Бройль – все тела обнаруживают свойства волны и частицы.

$$P = m\nu = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \lambda_B = \frac{h}{m\nu} \quad \text{- дебройлевская длина волны}$$

Чем меньше масса, тем больше длина волны – длина волны фотонов имеет реально измеримые величины.

1927 г. – первые наблюдения дифракции электронов

