

# **СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ**

# СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

• **Тепловое излучение**



• **Квантовая теория**



• **Фотоэффект**



• **Рентгеновские спектры**



• **Эффект Комптона**



• **ФОТОНЫ**



• **Давление света**



• **Корпускулярно-волновой дуализм**



# Фотоэффект

• Явление



• График



• Законы

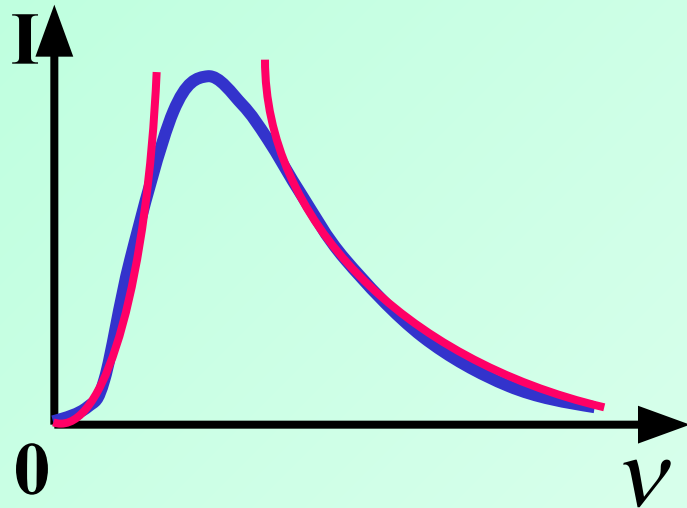


• Уравнение



# 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

Свет излучается, распространяется и поглощается порциями – квантами.

$$\left. \begin{aligned} E &= h\nu \\ E &= h\frac{c}{\lambda} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{- энергия одного} \\ \text{кванта света} \end{array}$$

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

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



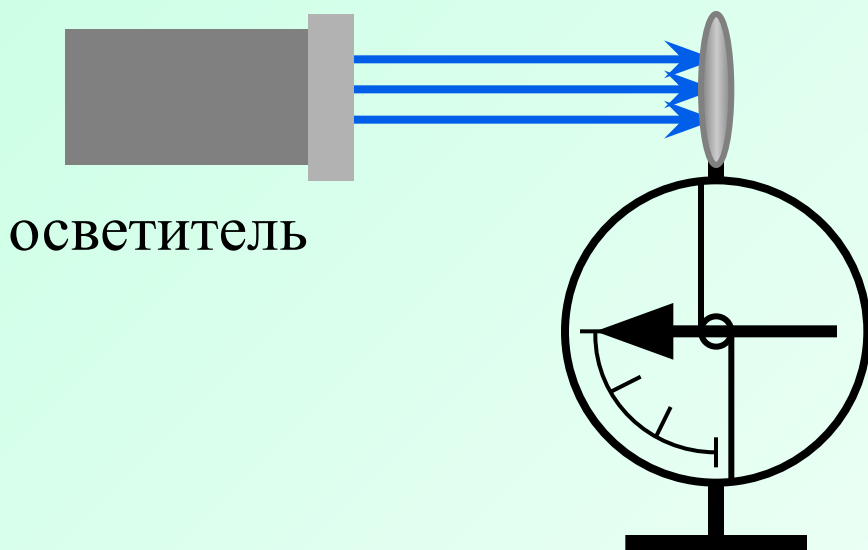
# Фотоэффект



1887 г.

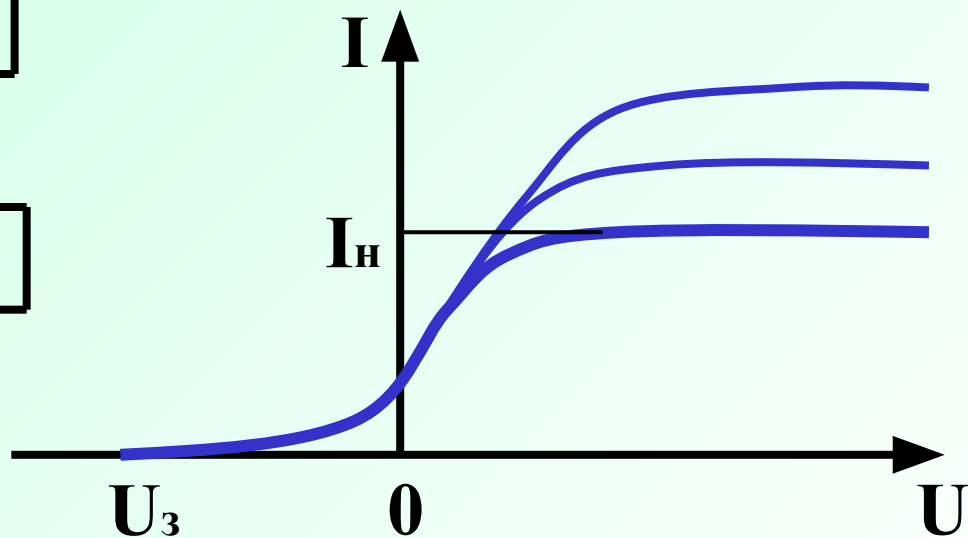
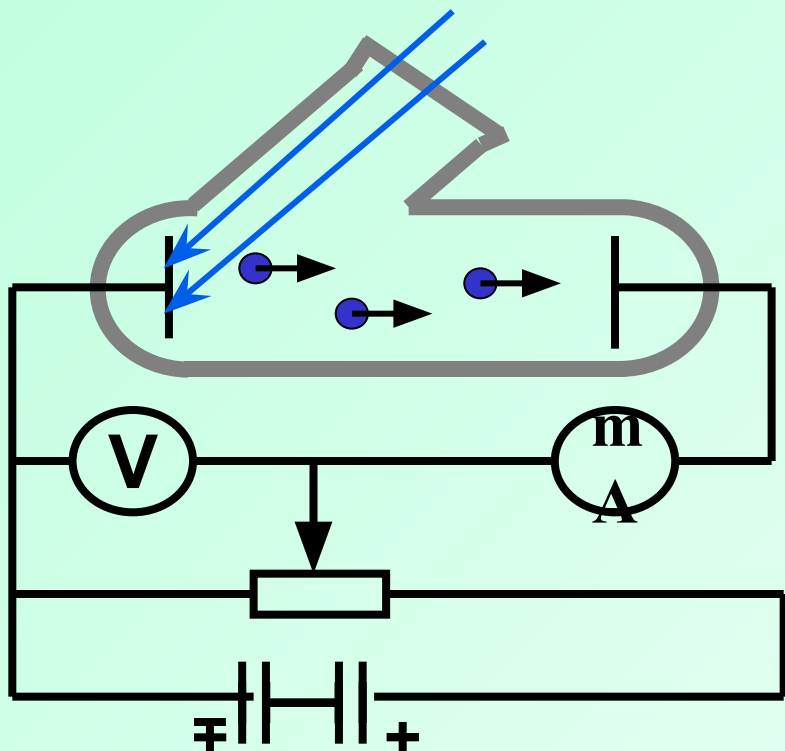
Генрих Герц

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



# Фотоэффект

1887-1889 гг. – Александр Григорьевич Столетов



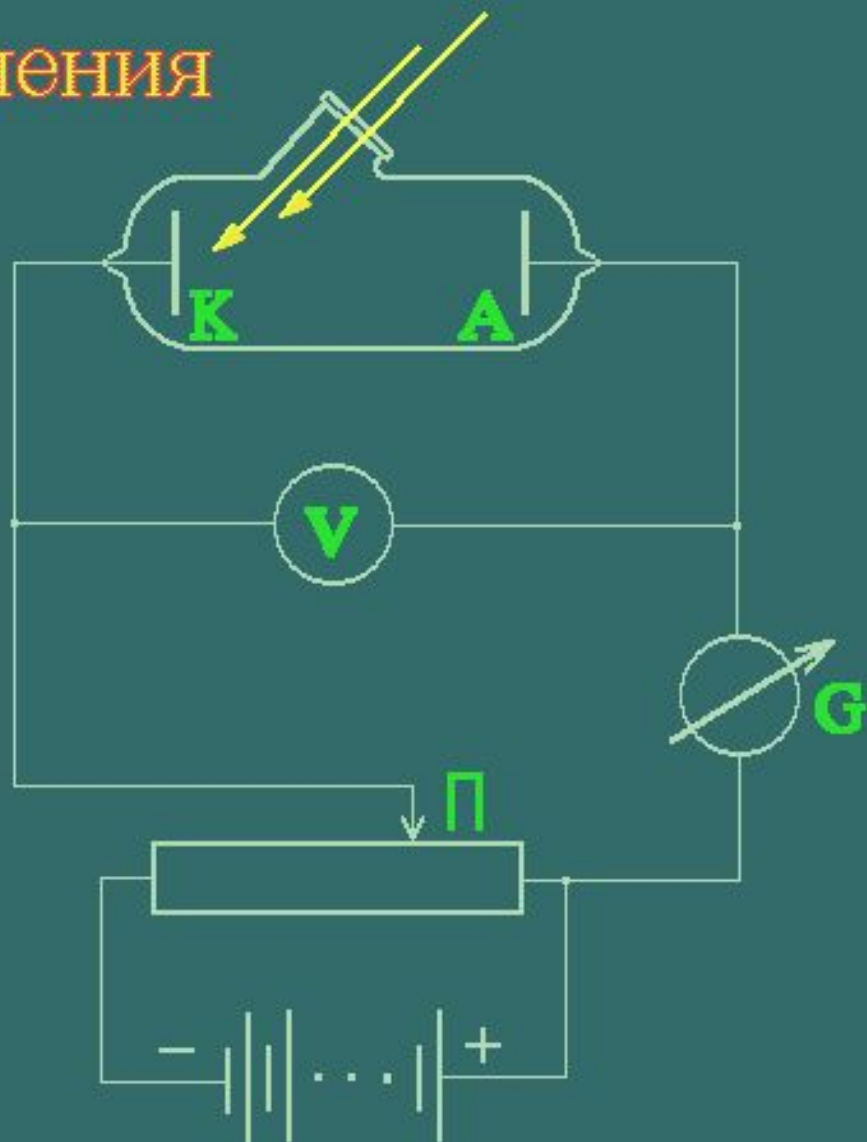
$I_n$  – ток насыщения

$U_3$  – задерживающее напряжение



# Фотоэффект

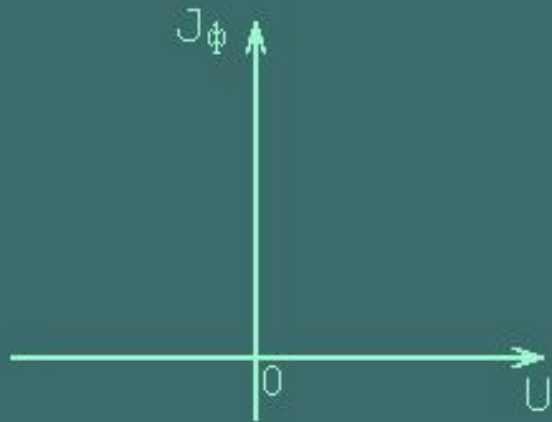
Схема для изучения  
вольтамперной  
характеристики  
внешнего  
фотоэффекта.





# Фотоэффект

Зависимость фототока насыщения от энергетической освещённости фотокатода



# Фотоэффект

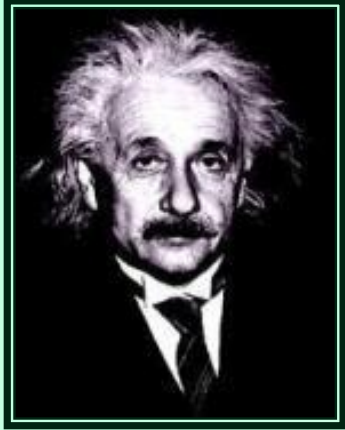
## Законы фотоэффекта:

- Количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны
- Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3 \quad - \text{максимальное значение кинетической энергии электронов}$$

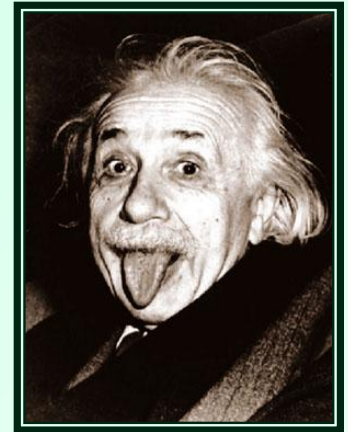


# Теория фотоэффекта



1905 г.

Альберт Эйнштейн



$$E_f = A_v + E_e$$

$$h\nu = A_v + \frac{m\nu^2}{2}$$

уравнение Эйнштейна  
для фотоэффекта

$A_v$  – работа выхода - энергия, которую необходимо затратить электрону для вылета с поверхности вещества.



# Фотоэффект

Уравнение Эйнштейна  
для внешнего фотоэффекта

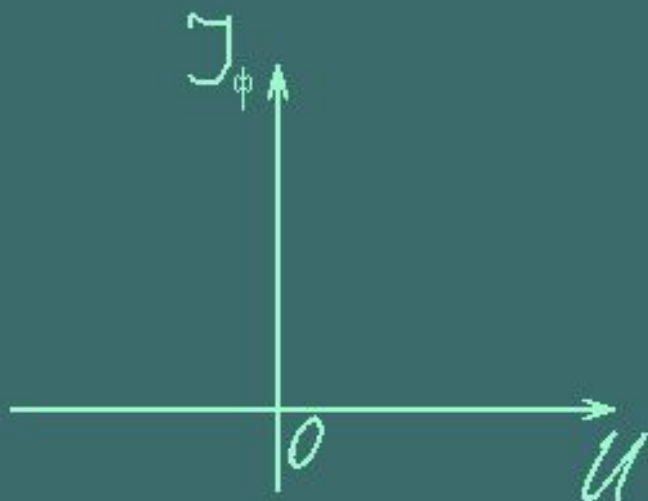
$$h\nu = \frac{mv_{\max}^2}{2} + A$$



# Фотоэффект

Зависимость задерживающего потенциала от частоты падающего света

$$\frac{m v_{\max}^2}{2} = |e| \cdot \varphi_{\text{з}}$$



# Теория фотоэффекта

$$h\nu_{\min} = A_{\nu}$$

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

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\nu}}{h}$$

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

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{A_{\nu}}$$

— красная граница  
фотоэффекта



# Теория фотоэффекта

$$E_f = A_{\phi} + E_e$$

$$h\nu = A_{\phi} + \frac{m\nu^2}{2}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} + \frac{m\nu^2}{2}$$

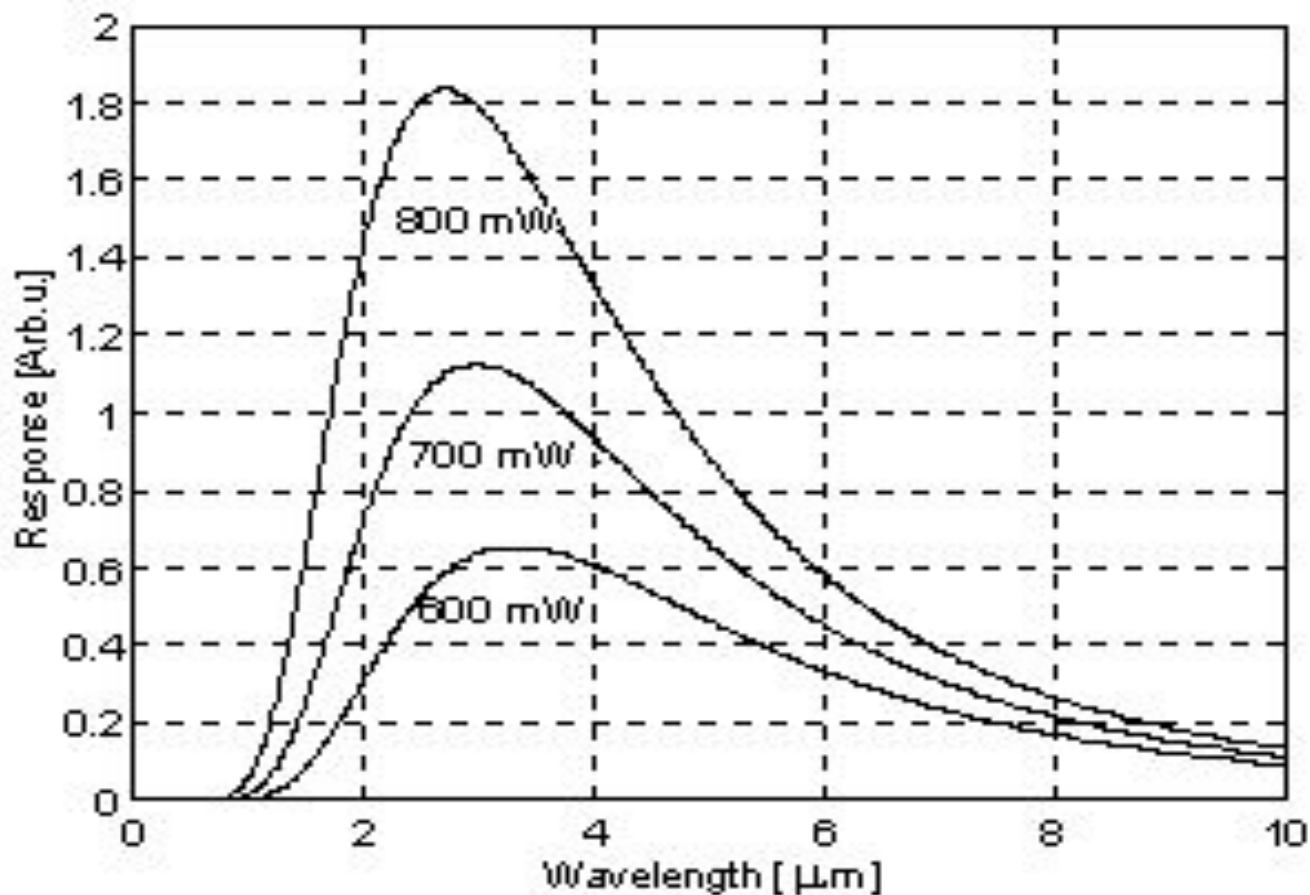
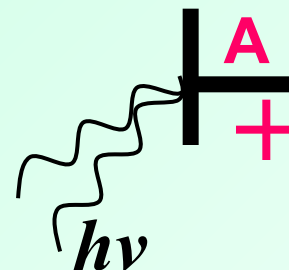
$$h\nu = A_{\phi} + eU_3$$



# Рентгеновские спектры

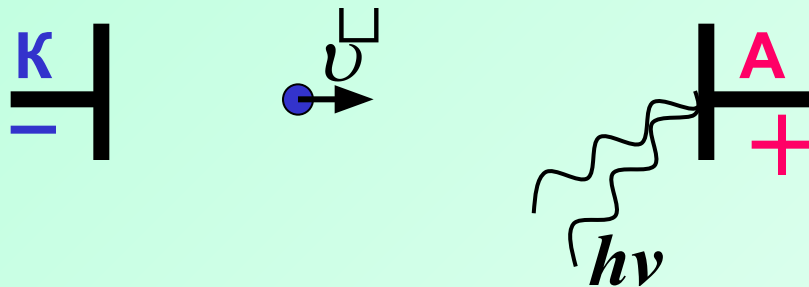
1895 г.

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

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

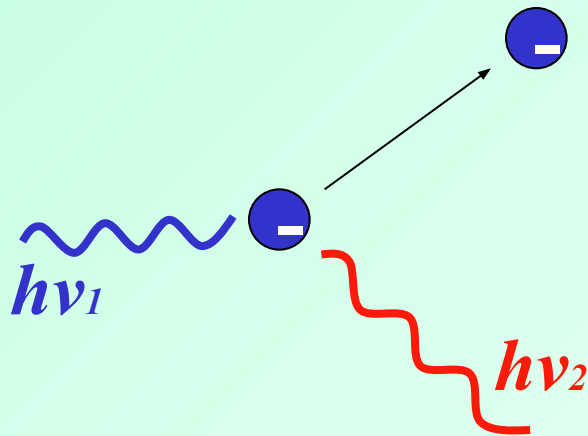


# Эффект Комптона

1923 г.

Артур Холли

Частота света уменьшается при его рассеянии на электронах.



Выполняется закон сохранения импульса:

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

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



# ФОТОНЫ

ФОТОНЫ – ЧАСТИЦЫ СВЕТА.

$$m_{0f} = 0$$

$$v_f = c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$E_f = mc^2$$

$$E_f = hv_f = h \frac{c}{\lambda_f}$$

$$\left. \begin{array}{l} E_f = mc^2 \\ E_f = hv_f = h \frac{c}{\lambda_f} \end{array} \right\} m_f = \frac{hv_f}{c^2} = \frac{h}{c\lambda_f}$$

$$P_f = m_f v_f$$

$$P_f = \frac{hv_f}{c} = \frac{h}{\lambda_f}$$



# Давление света

1900 г.

Петр Николаевич Лебедев

*Опыты по измерению давления света.*

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

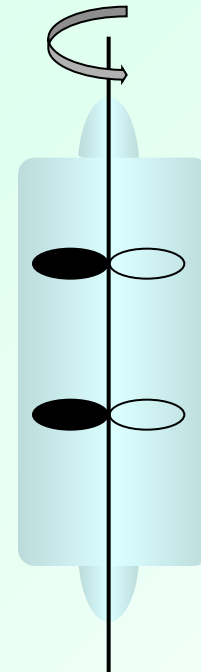
$$F = \frac{\Delta P_f}{t}$$

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

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

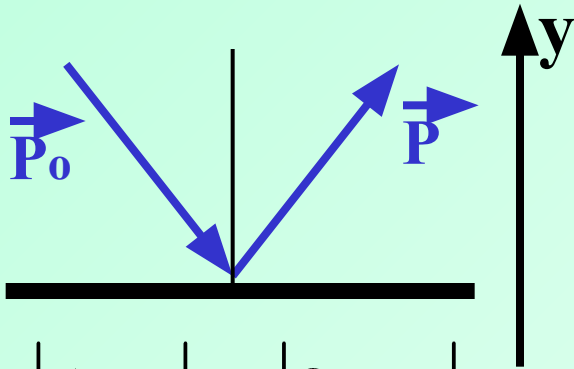
$n$  – концентрация фотонов

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



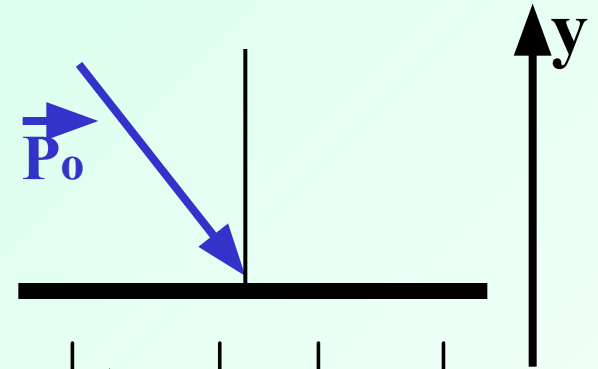
# Давление света

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.

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

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

1927 г. – первые наблюдения дифракции электронов

