

ФОТОЭФФЕКТ

**Открыт в 1887 году
немецким физиком**

Г. Герцем и в

1888–1890 годах

экспериментально

исследован российским

физиком А. Г. Столетовым



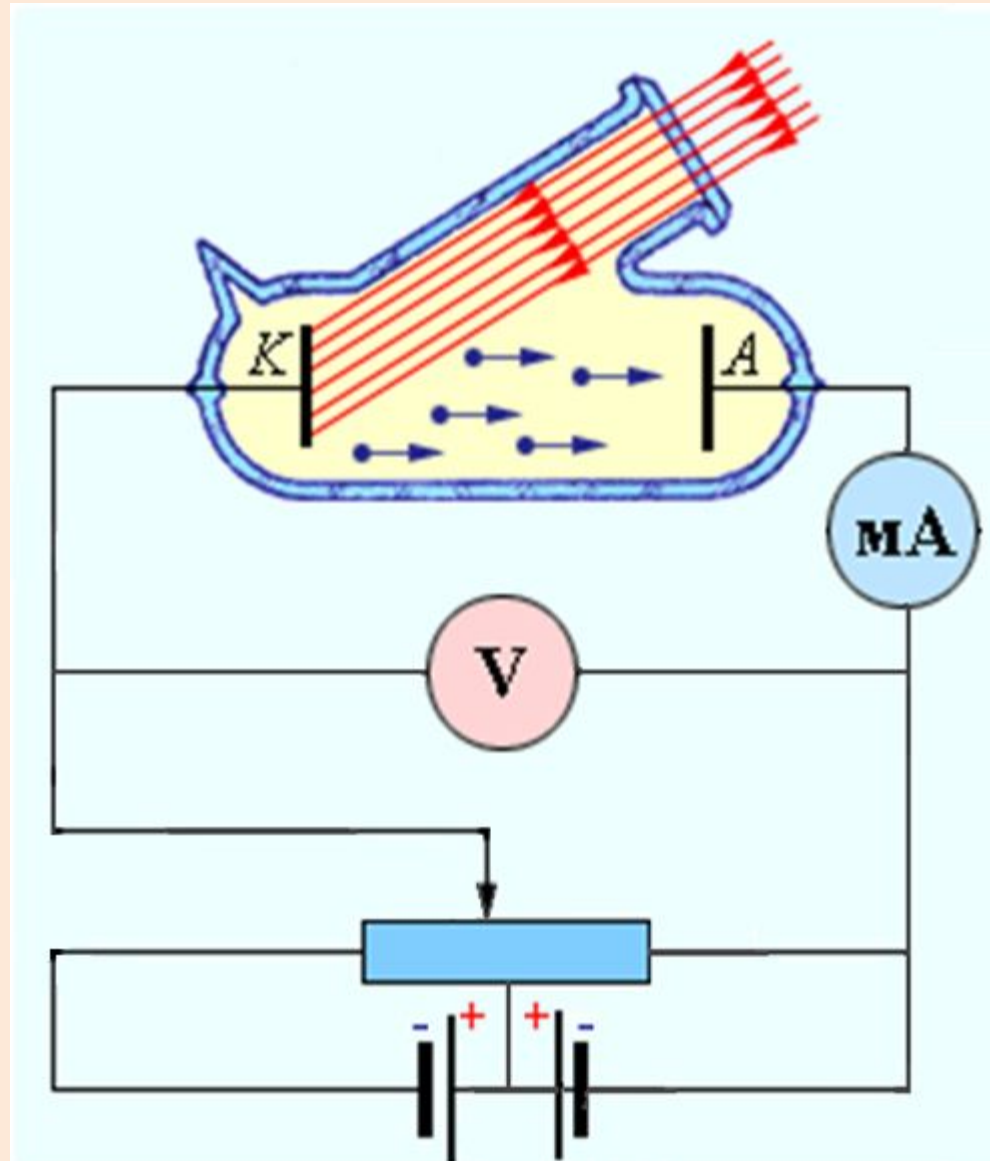
**Александр
Григорьевич Столетов**

Внешний фотоэффект

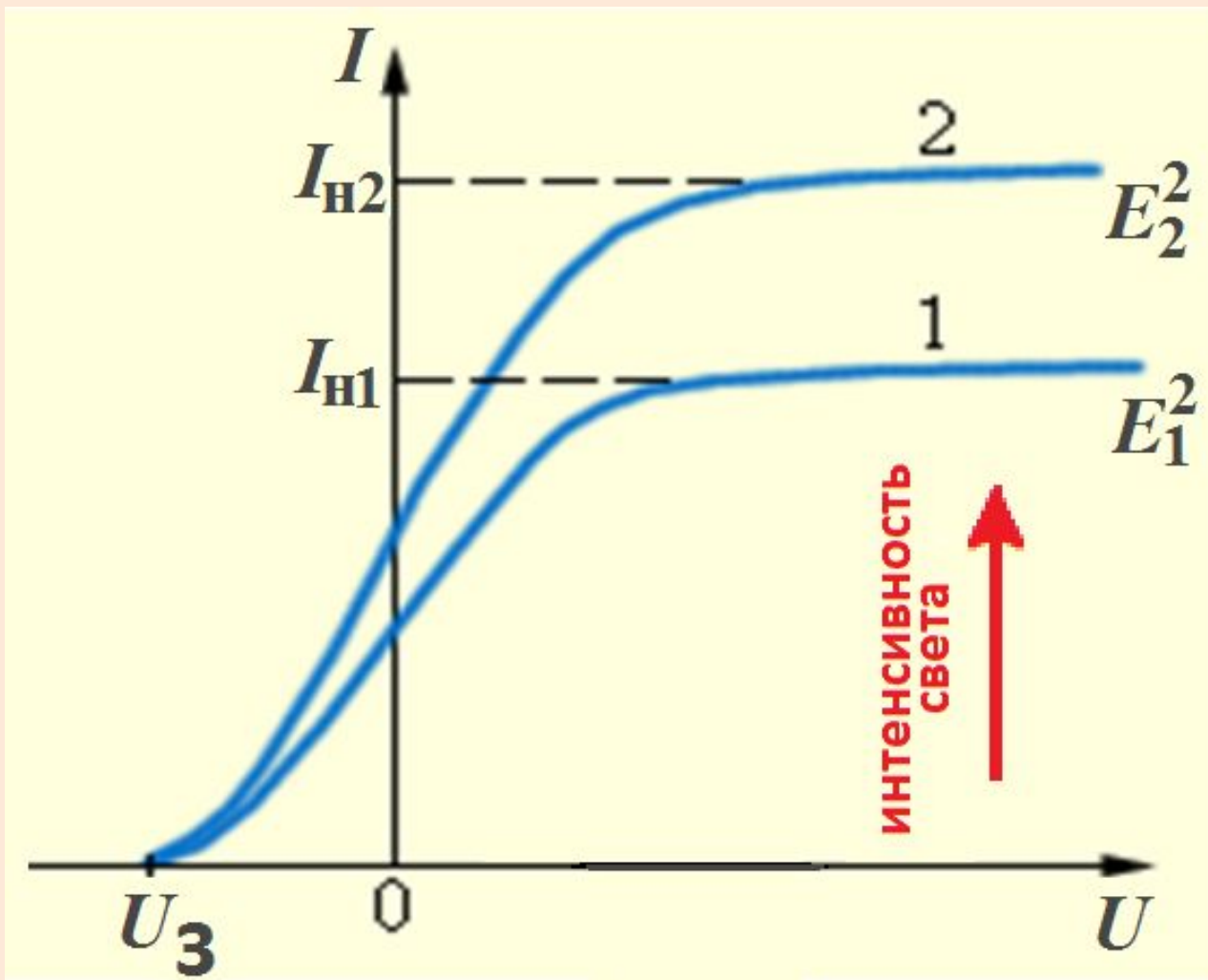
Падая на поверхность металла и поглощаясь в нем, свет вызывает эмиссию (испускание) электронов веществом. Это явление называется фотоэлектрическим эффектом (фотоэфффе́ктом).

Вылетающие из вещества электроны называются фотоэлектронами, а образуемый ими электрический ток называется фототоком.

Схема установки для изучения внешнего фотоэффекта



ВАХ фотоэффекта



$I_{н1}$ и $I_{н2}$ – токи насыщения,
 U_3 – запирающее напряжение.

Законы Столетова

1. Фототок насыщения I_n пропорционален световому потоку, падающему на катод.

Этот ток равен
суммарному заряду
электронов,
вырывааемых в единицу

2. Начальная скорость
выбитых электронов тем
больше, чем больше частота
падающего света.

Это

проявляется в
зависимости
 U_z от частоты.
Зависимость –
линейная!



3. Фотоэффект наблюдается только при облучении светом с частотой, превышающей некоторую минимальную частоту. Эта минимальная частота называется красной границей фотоэффекта.

4. Фотоэффект безынерционен.

Объяснение законов фотоэффекта в 1905 г. дал Эйнштейн на основе предложенной им гипотезы, что свет взаимодействует с веществом как поток частиц — квантов света или фотонов. Их энергия по гипотезе Планка

$$\varepsilon = h\nu$$

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

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

Поглощенная электроном энергия кванта идет на совершение работы выхода $A_{\text{вых}}$ электрона из металла и приобретение электроном $\frac{mv^2}{2}$ кинетической энергии².

Полагая в формуле Эйнштейна $\frac{m_0 v_0^2}{2}$, найдем красную границу

фотоэффекта

$$v_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$$

или

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}$$

Если энергия фотона превышает работу выхода, то разность между ними идет на кинетическую энергию электрона

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}}$$

По закону сохранения энергии $\frac{mv^2}{2} = eU_3$,

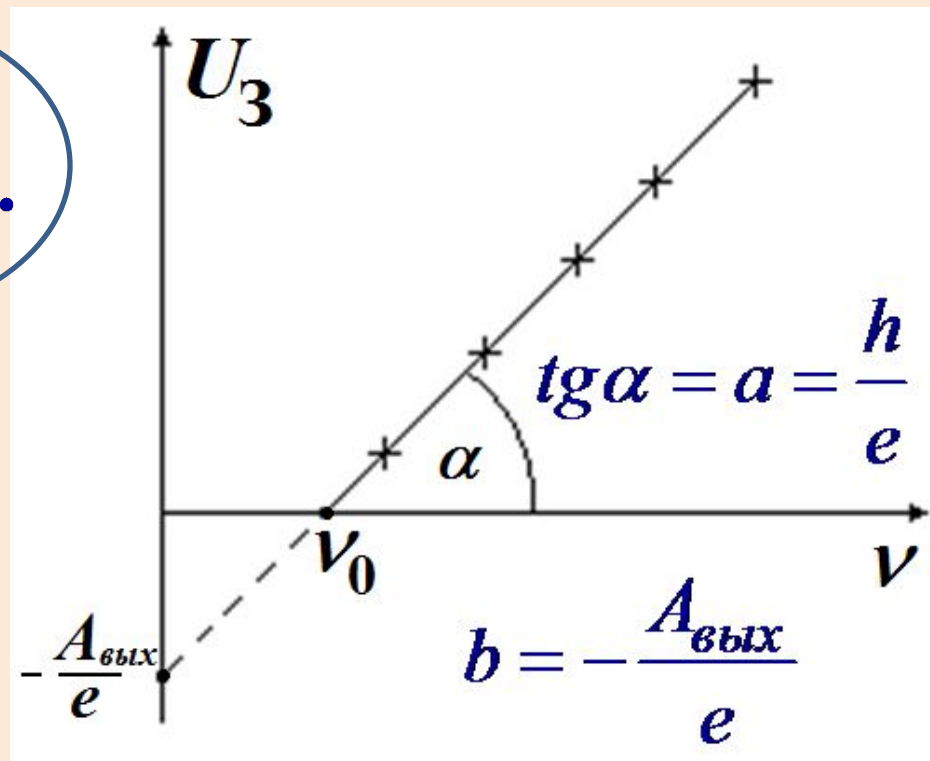
$$\text{тогда } U_3 = \frac{h}{e}\nu - \frac{A_{\text{вых}}}{e}.$$

Получили формулу прямой
Лукирского.

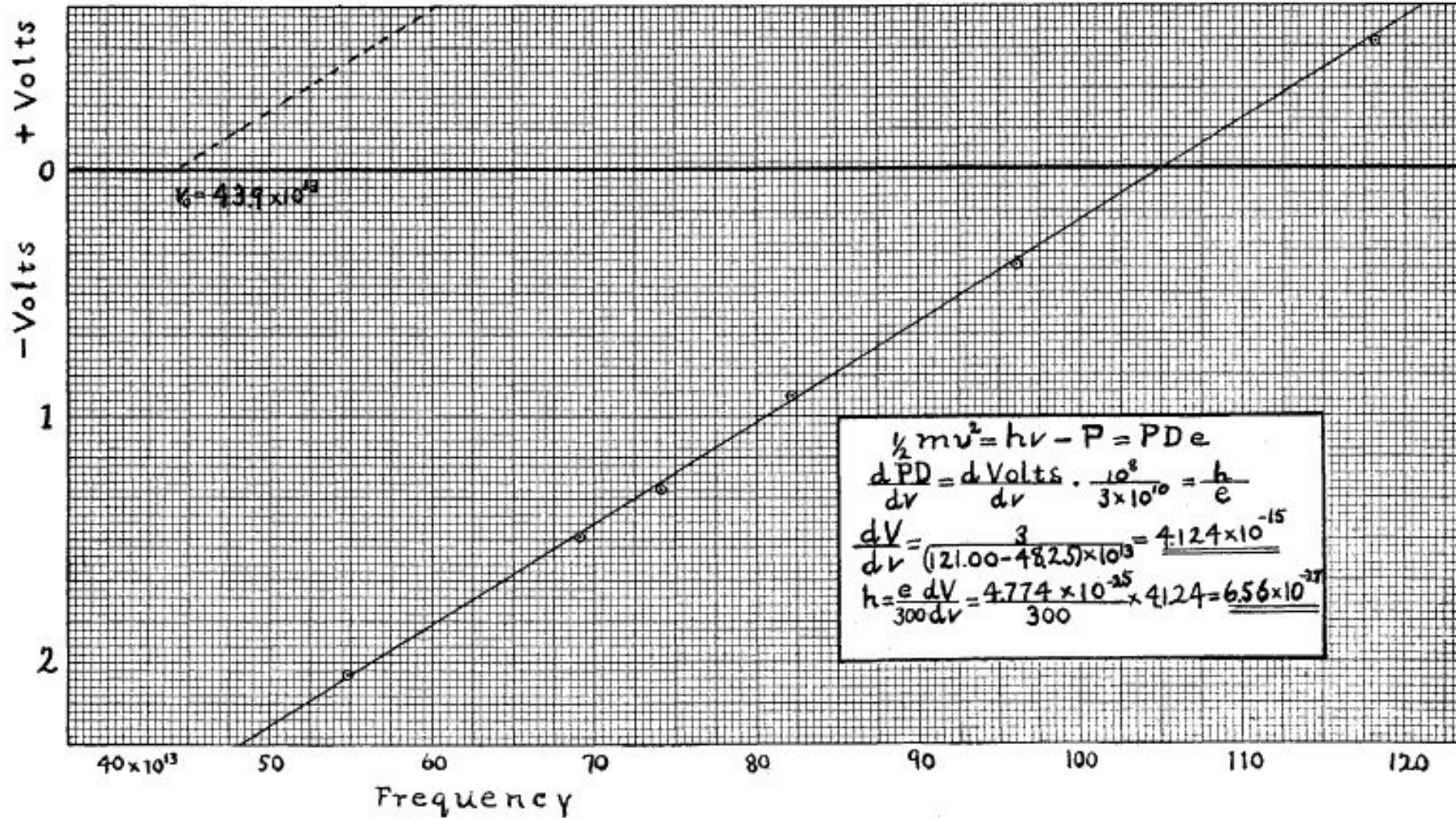
По этой прямой можно найти постоянную Планка и работу выхода.

$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A_{\text{вых}}}{e}$$

$y = ax + b$



Опыт Милликена



Зависимость задерживающего напряжения от частоты света (из статьи Р.Милликена, 1914 г.)

Внутренний

фотоэффект

Заключается в увеличении

электропроводности

полупроводников или

диэлектриков под действием

света. Это явление называют

фотопроводимостью.

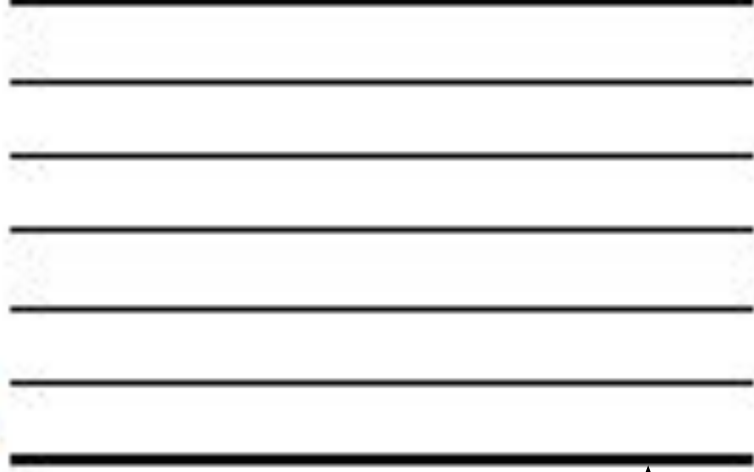
Причиной фотопроводимости является увеличение концентрации электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне.

Условие внутреннего фотоэффекта: энергия фотона должна превышать энергию связи носителя заряда со своим атомом.

$h\nu$

$h\nu$

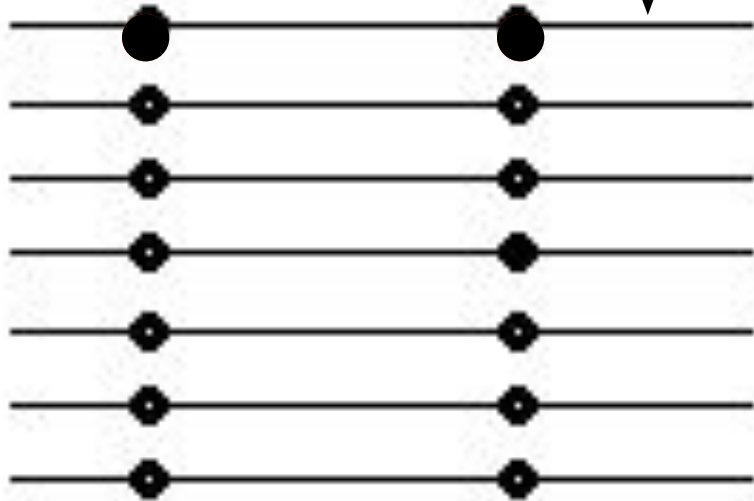
W_C



ΔW



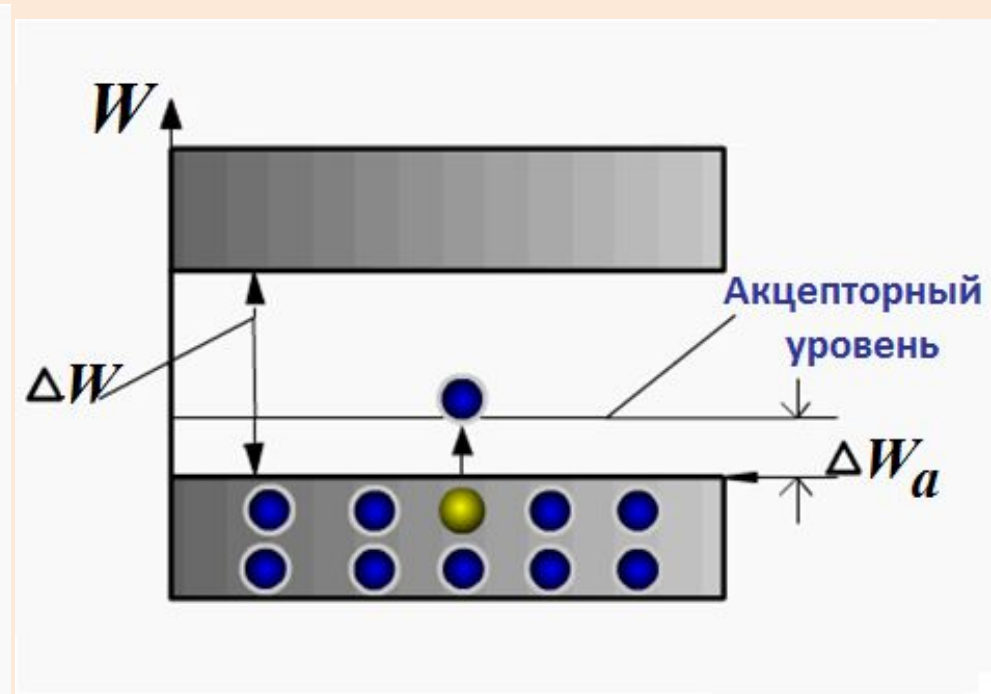
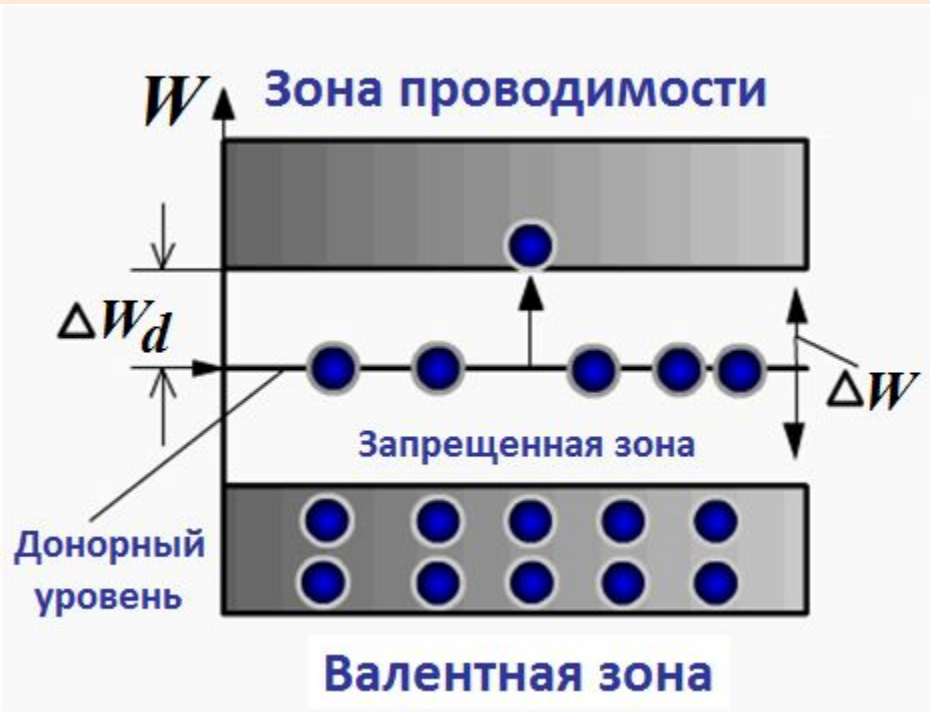
W_V





$h\nu \geq \Delta W$

Донорный полупроводник

Акцепторный полупроводник



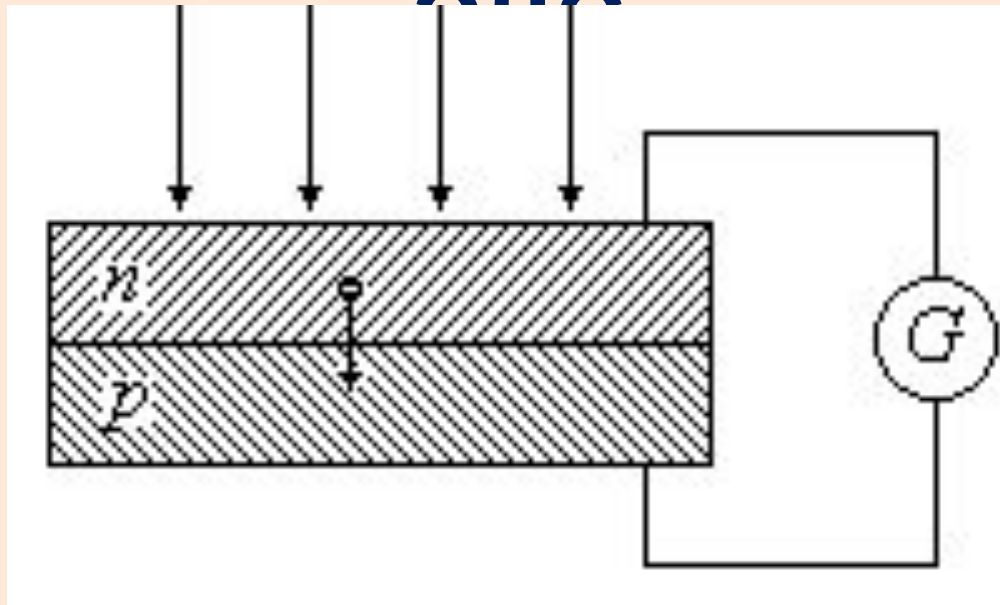
Энергетические схемы
переходов в примесных
полупроводниках
( - электроны,  - дырки).

Вентильный

фотоэффект

Наблюдается в области $p-n$ перехода или на границе металл-полупроводник. За счет энергии падающего света в цепи возникает

ЭДС



Применение фотоэффекта

Приборы, в которых фотоэффект используется для превращения энергии излучения в электрическую энергию, называются



Вакуумный
фотоэлемент

Полупроводниковая
солнечная батарея

Фотоэффект широко применяется в различных областях техники (телевидение, фототелеграф, звуковое кино). Фотоэффект используется также при устройстве электронных преобразователей оптического изображения, усилителей яркости. С помощью фотоэффекта можно

ФОТОНЫ

Фотон - элементарная частица,
которая движется со скоростью
света и имеет энергию

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Масса фотона

Масса покоя фотона равна

нулю.

Массу движущегося фотона найдем
из закона взаимосвязи массы и

энергии:

$$\varepsilon = mc^2$$

$$\varepsilon = h\nu$$

$$\varepsilon = \hbar\omega$$

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2}, \quad m = \frac{h\nu}{c^2}, \quad m = \frac{\hbar\omega}{c^2}, \quad m = \frac{h}{\lambda c}$$

Импульс фотона

$$p = mc, \quad p = \frac{\varepsilon}{c}, \quad p = \frac{h\nu}{c},$$

$$p = \frac{h}{\lambda}, \quad p = \frac{\hbar \omega}{c} = \hbar k$$

В векторной

\hbar форме \hbar

$$p = \hbar k$$

Давление света

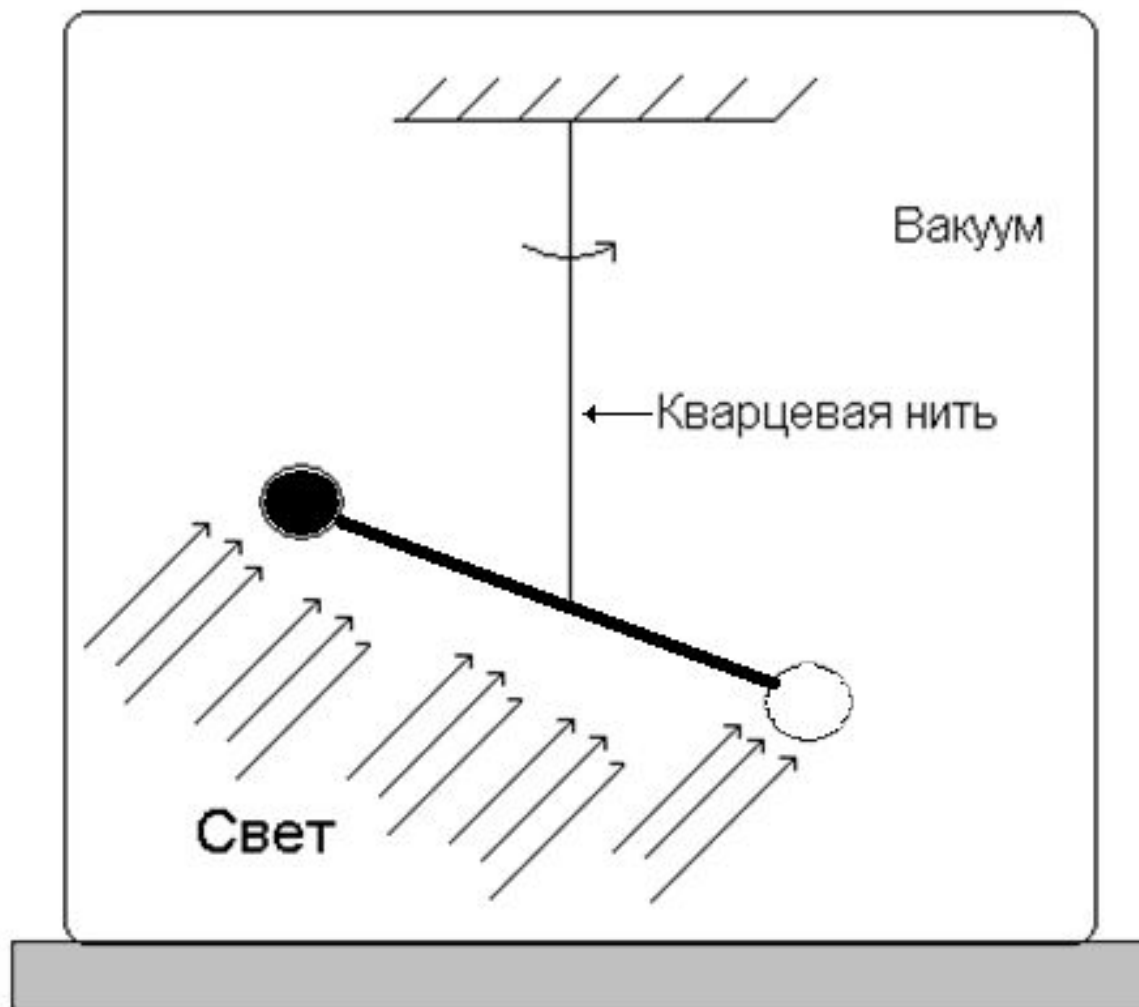


**Петр Николаевич
ЛЕБЕДЕВ
(1866—1912)**

Основатель выдающейся школы физиков Московского университета. Блестящий экспериментатор. Первым измерил давление света на твердые тела, экспериментально доказав наличие импульса у электромагнитного излучения.

«Я всю жизнь воевал с

Опыт Лебедева



Если в единицу времени
на единицу площади
поверхности с
коэффициентом
отражения ρ падает N
фотонов, то
 ρN фотонов отразится,
а $(1 - \rho N)$ фотонов

Изменение импульса каждого поглощенного фотона:

$$\Delta p_{\text{п}} = \frac{h\nu}{c}$$

Изменение импульса каждого отраженного фотона:

$$\Delta p_{\text{о}} = 2 \frac{h\nu}{c}$$

Изменение импульса Δp_s 1 кв.м поверхности за 1с равно давлению света:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p_s}{\Delta t \cdot \Delta S} = \Delta p_s, \text{ т.к. } \Delta t \neq 1 \text{ и } \Delta S \neq 1$$

$$p = \Delta p_s = 2 \frac{h\nu}{c} \rho N + \frac{h\nu}{c} (1 - \rho N) = (1 + \rho) \frac{h\nu}{c} N$$

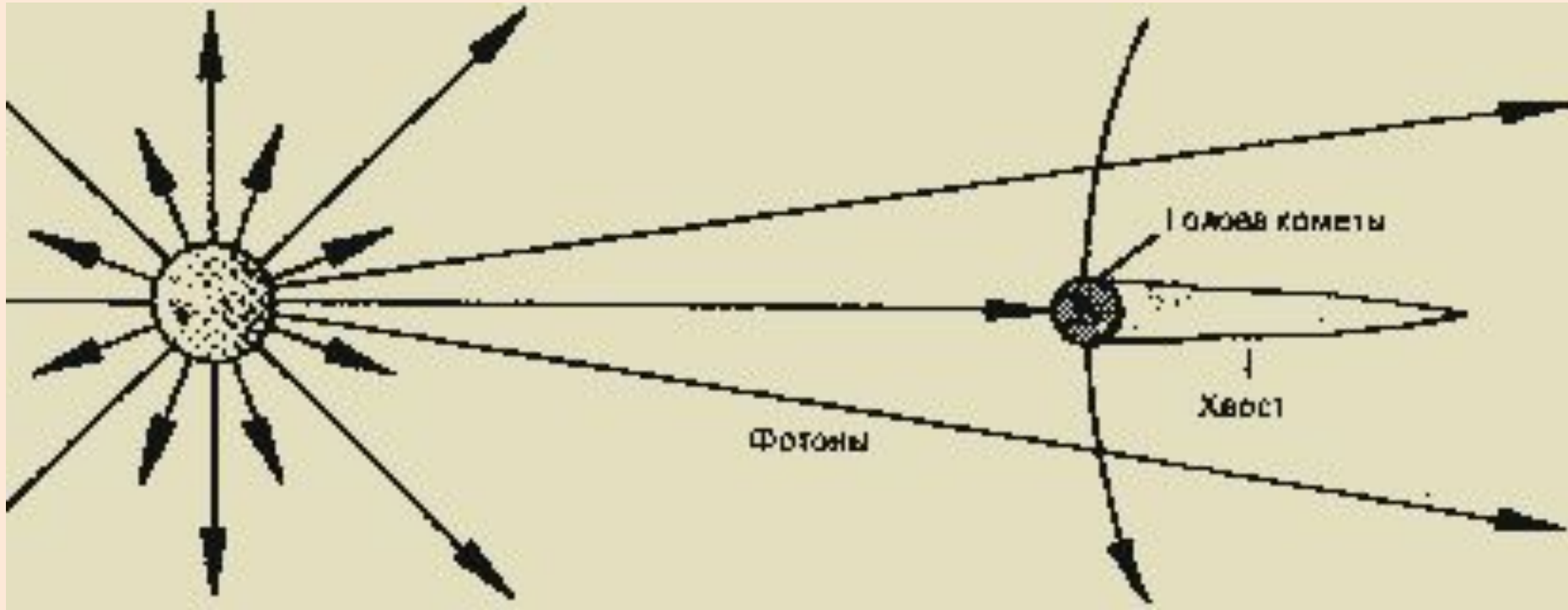
$$p = \frac{E}{c} (1 + \rho) = w (1 + \rho)$$

E - энергия N фотонов, падающих на 1 м^2 в
1 с,

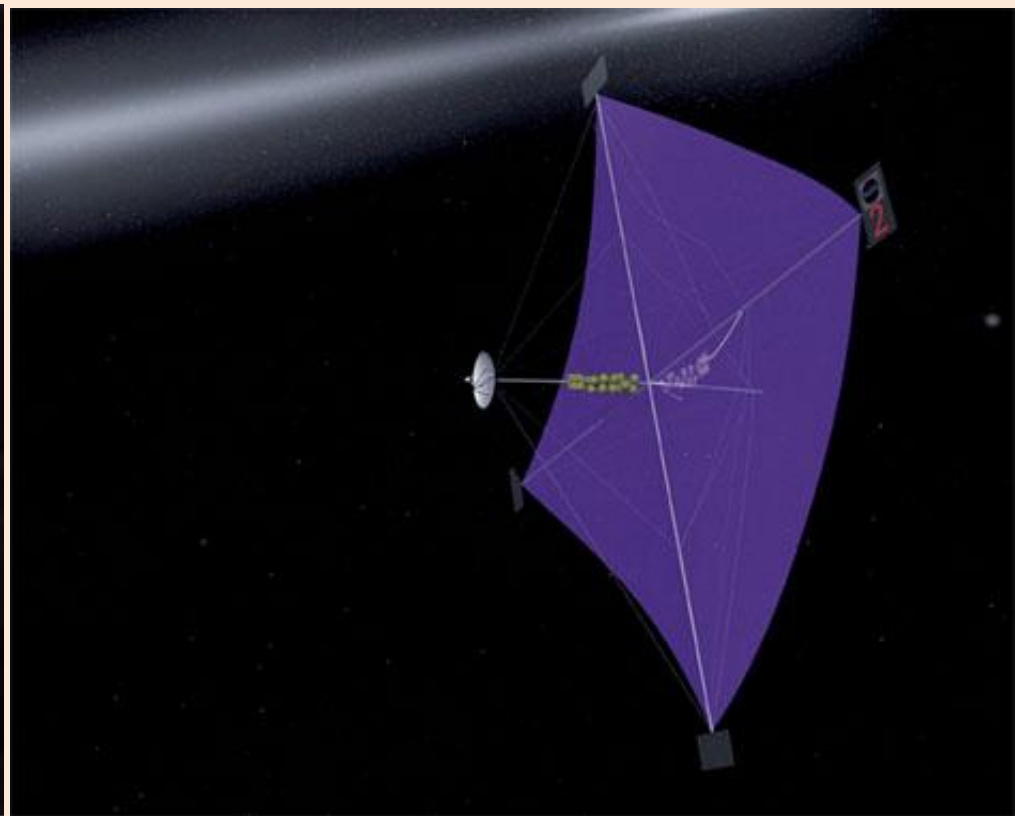
$$w = \frac{E}{c} -$$

объемная плотность энергии
излучения.

Давлением света объясняется форма кометных хвостов.



Солнечный парус



Эффект

Эффект Комптона — это увеличение

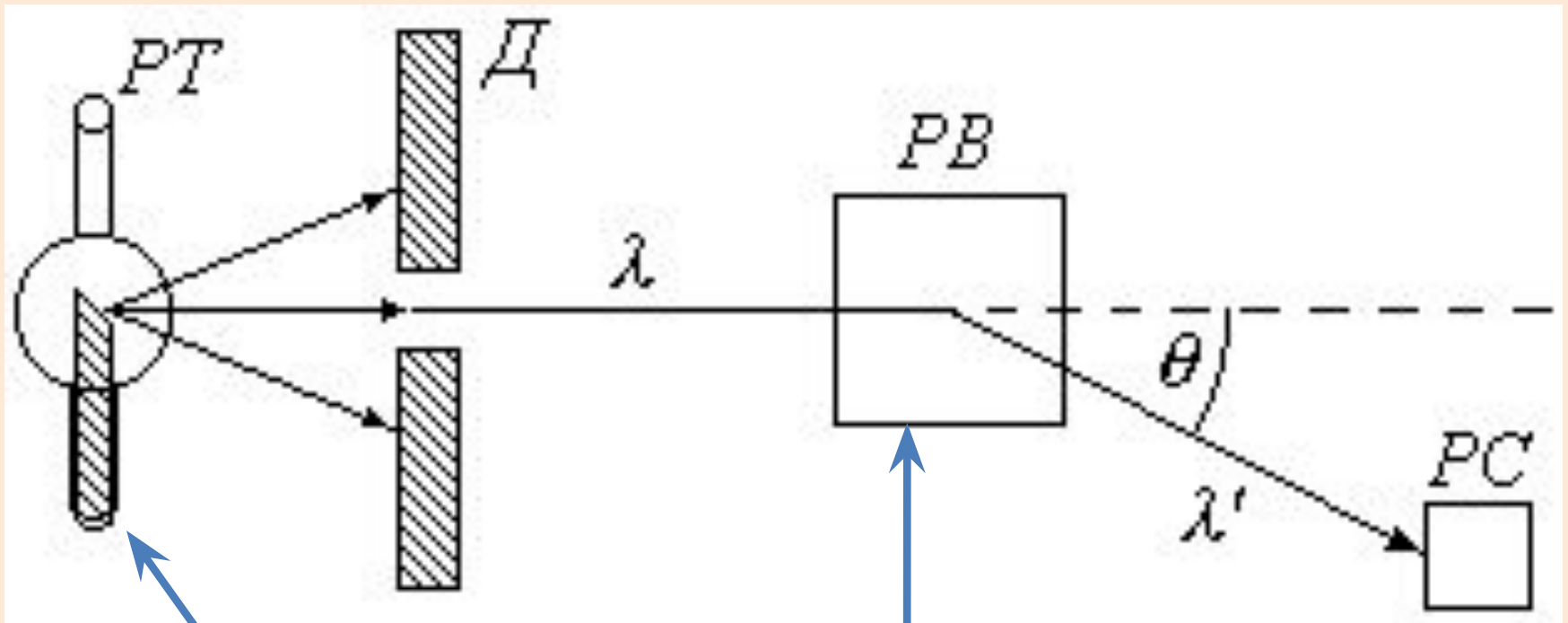
длины волны рентгеновского

излучения, рассеянного на свободных
или слабосвязанных электронах



**Эффект Комптона можно
объяснить только на
основе корпускулярной
природы света. В 1922 г. А.
Комптон показал, что
рентгеновский фотон и
электрон взаимодействуют
согласно законам упругого
столкновения частиц.**

Схема опыта Комптона

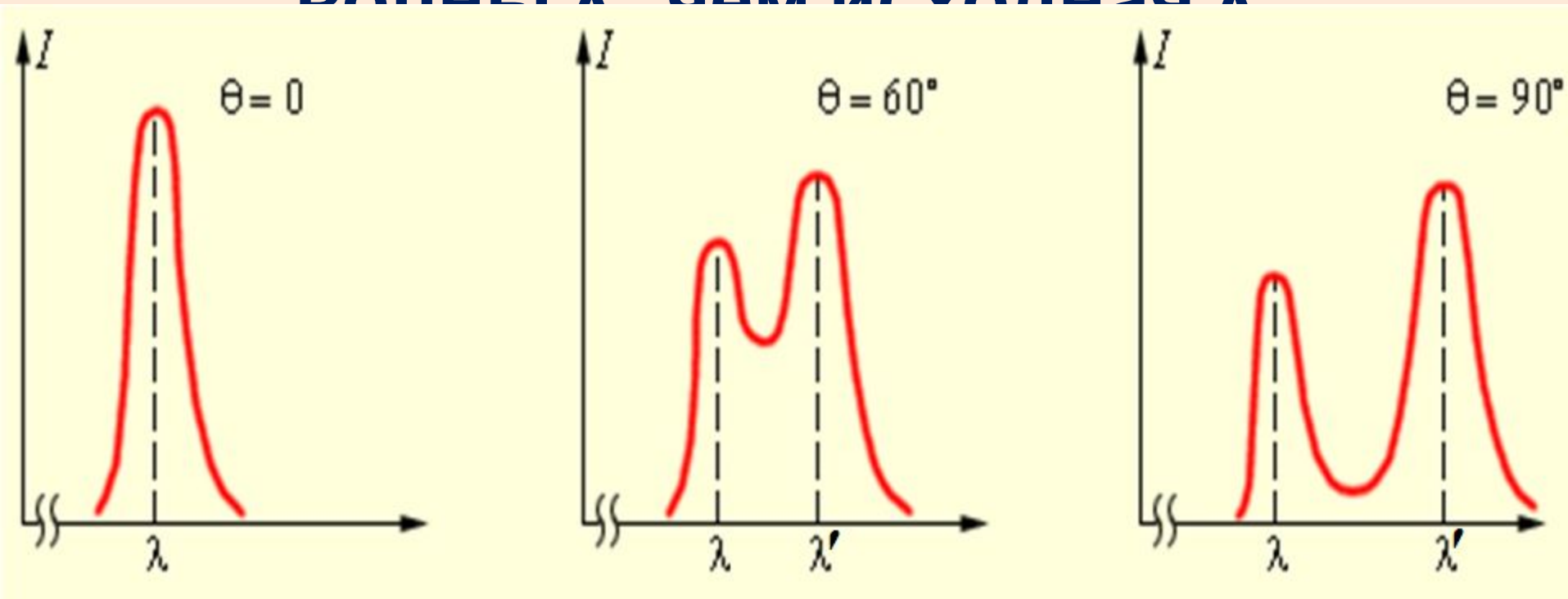


рентгеновская
трубка

рассеивающее
вещество

рентгеновский
спектрограф

**Комптон обнаружил, что в
рассеянном свете присутствует
компонента с большей длиной
волны λ' чем исходная λ**



Результат опыта

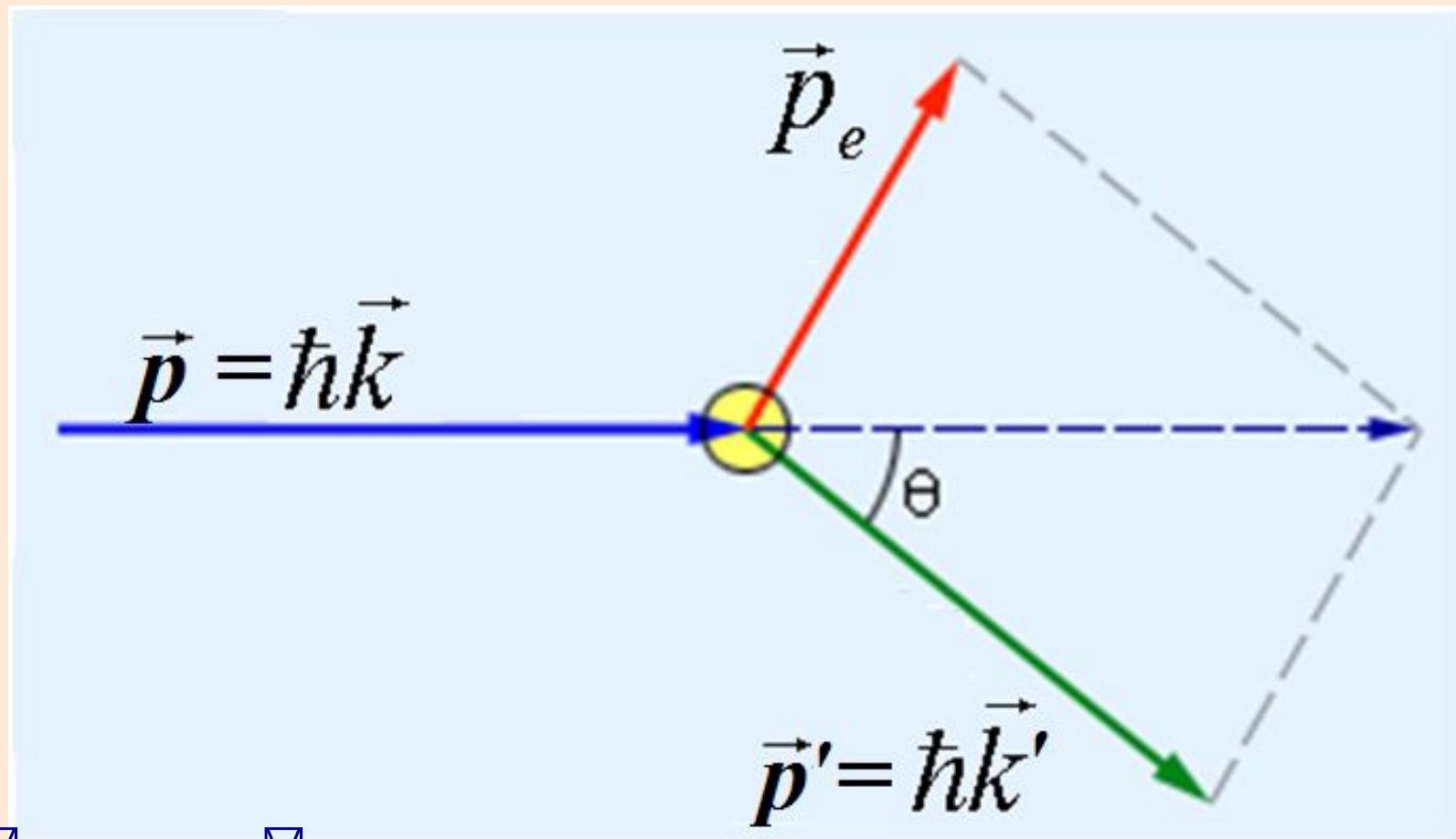
Разность длин волн рассеянного и падающего излучения $\Delta\lambda$ зависит от угла рассеяния θ и не зависит от вещества и длины волны.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta) = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

λ_c — КОМПТОНОВСКАЯ ДЛИНА
ВОЛНЫ

$$\lambda_c = 2,426 \text{ пм}$$

Теория эффекта Комптона



\boxtimes p и \boxtimes p' — импульсы фотонов до и после рассеяния
 \triangleleft p_e — импульс электрона отдачи, θ — угол рассеяния

Для упругого удара можно записать законы сохранения импульса и энергии в релятивистской форме.

$$\vec{k} = \vec{k}' + \vec{p}_e$$

$$\omega + m_e c^2 = \omega' + c \sqrt{p_e^2 + m_e^2 c^2}$$

**Применив законы сохранения,
можно получить формулу
Комптона и вычислить**

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 2.426 \times 10^{-12} \text{ м}$$