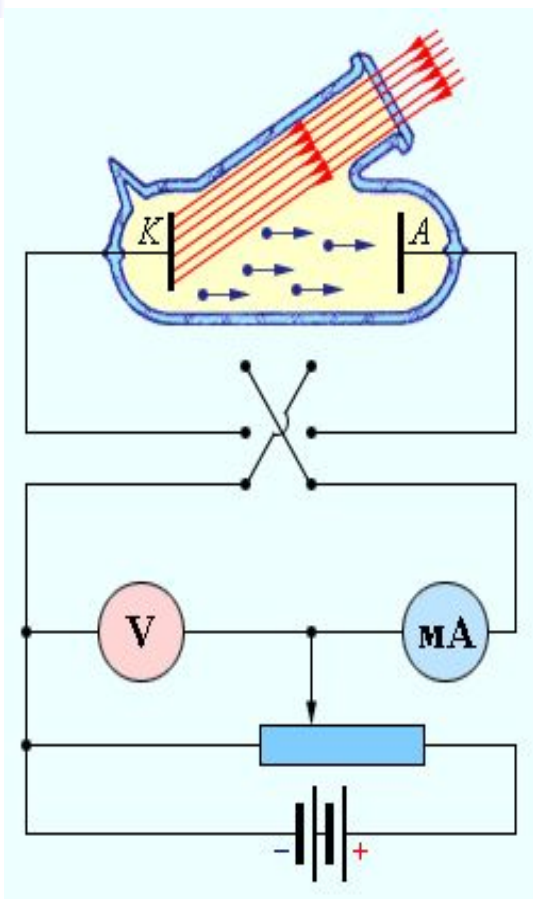




ФОТОЭФФЕКТ

- Внешний фотоэффект – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения

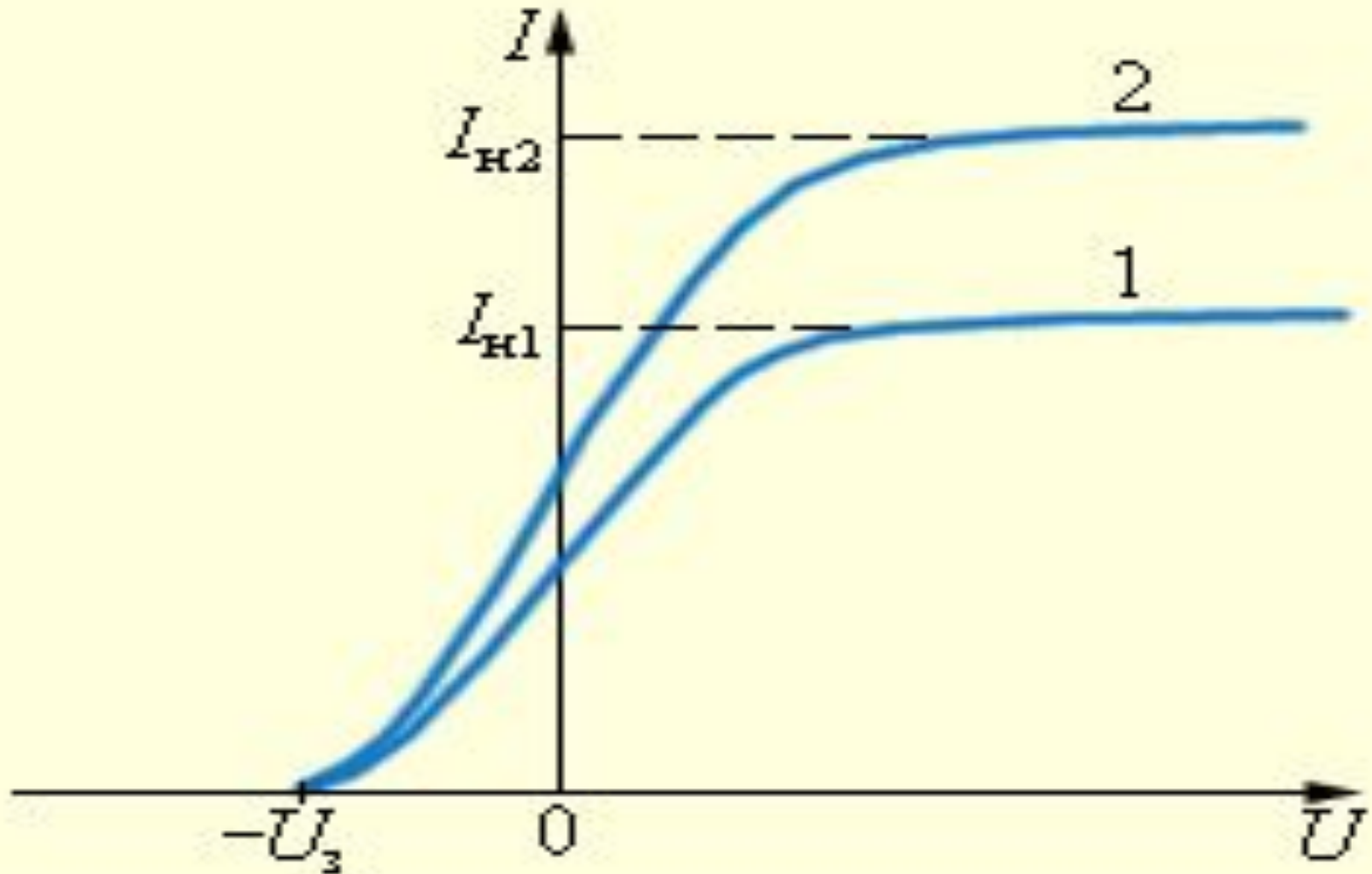
Схема экспериментальной установки



1887 Герц

1888 -1890 Столетов

Зависимость силы фототока от приложенного напряжения.

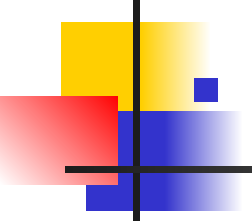




ТОК насыщения

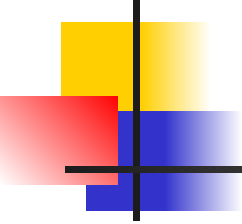
- Фототок достигает насыщения $I_{нас}$
- Все электроны, вырванные из катода долетели до анода
- Ток насыщения пропорционален интенсивности падающего света

- При $U=0$ фототок существует



- У некоторых электронов хватает кинетической энергии, чтобы долететь до анода без ускоряющего внешнего поля

- Чтобы тока не было, надо **развернуть** вылетевшие с катода электроны в обратную сторону – приложить **напряжение другого знака**

- 
- При приложении отрицательного напряжения электрическое поле тормозит фотоэлектроны .
-

- При некотором напряжении U_3 фототок прекращается
- Напряжение U_3 определяет максимальную кинетическую энергию электронов

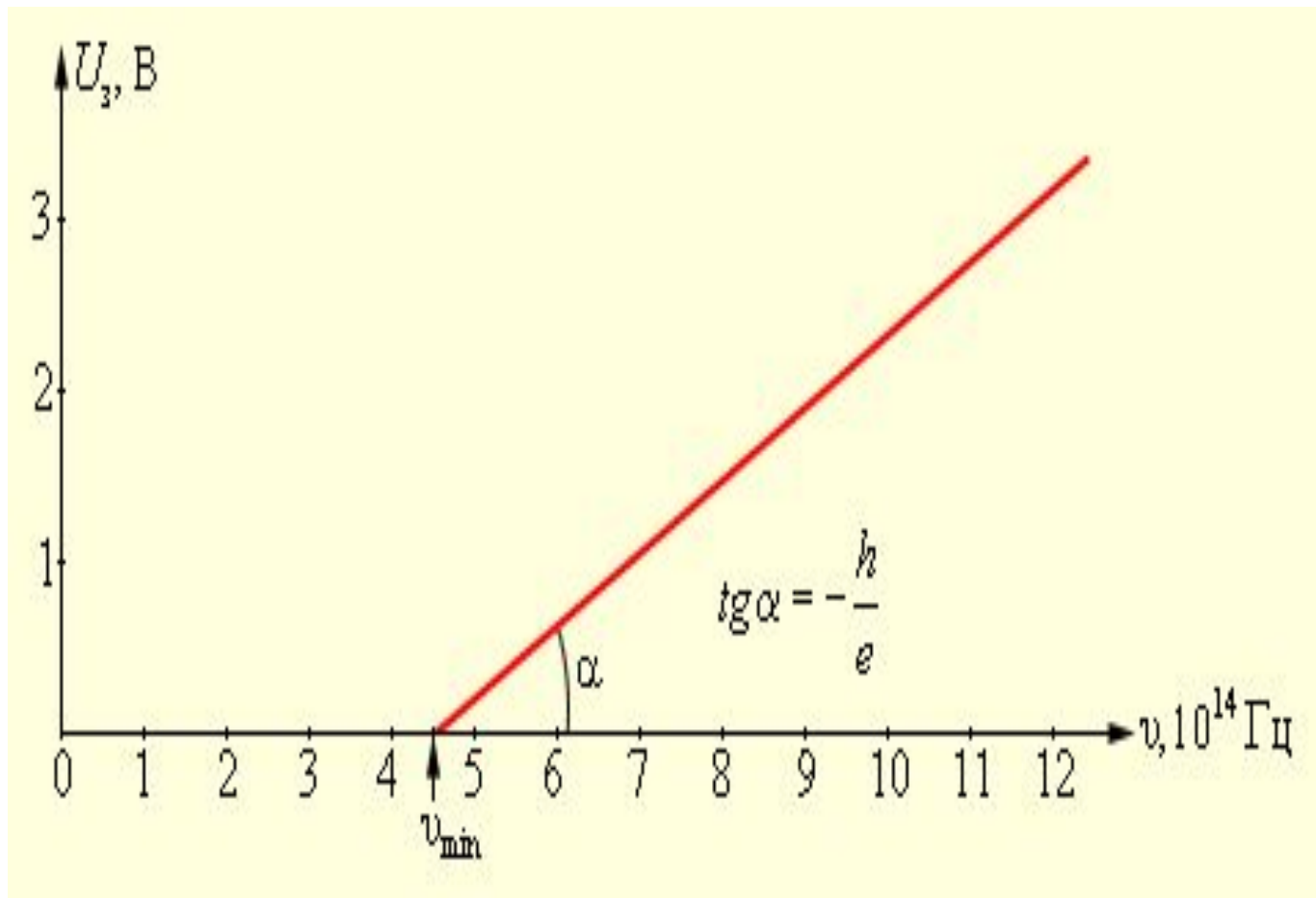
$$eU_3 = \frac{mV_{\max}^2}{2}$$

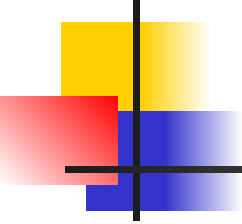


Основные закономерности фотоэффекта

- 1. Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света
- 2. Фототок возникает мгновенно после освещения катода

- 3. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света и **не зависит от его интенсивности.**



- 
-
- 4. Для каждого вещества существует **красная граница фотоэффекта**, т. е. наименьшая частота при которой еще возможен внешний фотоэффект.



- **ФОТОЭФФЕКТ
НЕВОЗМОЖНО
ОБЪЯСНИТЬ С
КЛАССИЧЕСКОЙ ТОЧКИ
ЗРЕНИЯ**



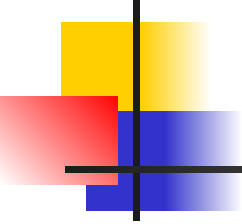
УРАВНЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА

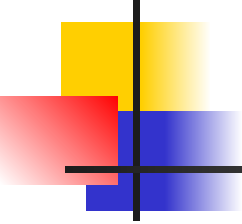
- Свет не только испускается, но распространяется и поглощается отдельными порциями – **КВАНТАМИ**

- Кванты электромагнитного излучения наз. **ФОТОНАМИ**

- Энергия одного кванта

$$\varepsilon = h\nu$$

- 
-
- Квант света может поглотиться только одним электроном
 - Поэтому количество вырванных электронов пропорционально интенсивности света
 - Обмен энергии происходит почти мгновенно – безинерционность фотоэффекта


$$h\nu = A + T$$

- Уравнение Эйнштейна – закон сохранения энергии:
- Энергия фотона расходуется на **вырывание электрона из металла** (работа выхода – **$A = \text{const}$**)
- и на сообщение вылетевшему электрону **кинетической энергии (T)**

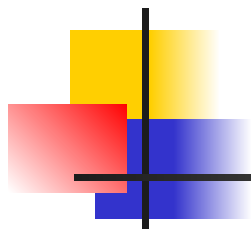

$$h\nu = A + 0$$

$$h\nu_0 = A$$

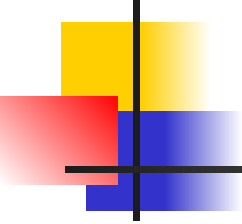
СУЩЕСТВУЕТ КРАСНАЯ ГРАНИЦА ФОТОЭФФЕКТА,
Т.е. МИНИМАЛЬНАЯ ЧАСТОТА ПАДАЮЩЕГО СВЕТА ,
ПРИ КОТОРОЙ ЕЩЕ ВОЗМОЖЕН ФОТОЭФФЕКТ

Работы выхода для некоторых металлов

Металл	Работа выхода (эВ)
Калий	2,2
Литий	2,3
Платина	6,3
Рубидий	2,1
Серебро	4,7
Цезий	2,0
Цинк	4,0



$$1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$



Чтобы фототок исчез
необходимо приложить
задерживающее напряжение

$$eU_3 = \frac{mV_{\max}^2}{2}$$



МАССА И ИМПУЛЬС ФОТОНА


$$\varepsilon = h\nu \quad \varepsilon = mc^2$$

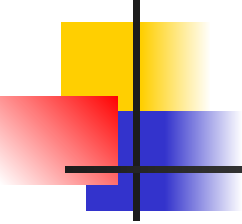
$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

Масса фотона

$$p_\gamma = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Импульс фотона

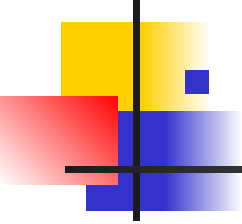
Формула де Бройля

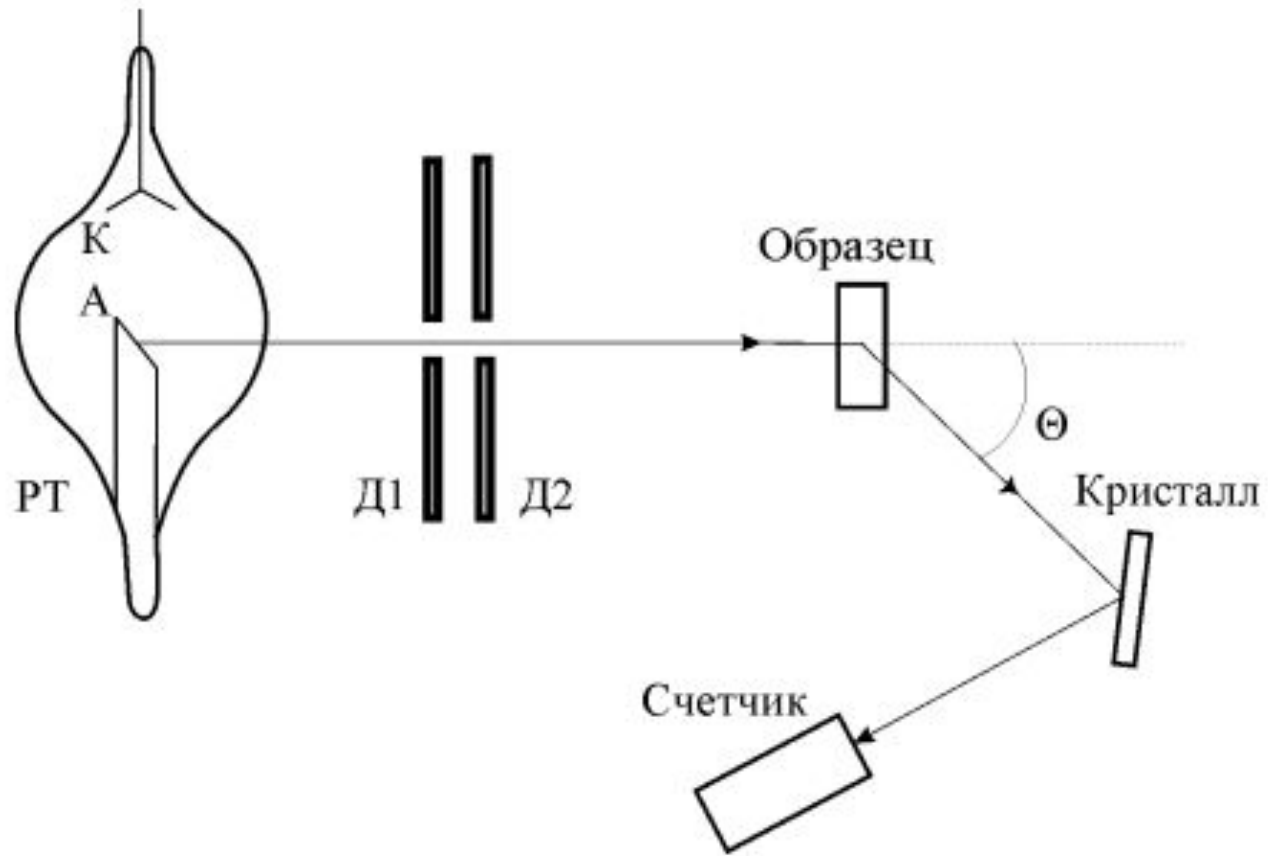
- 
-
- **Корпускулярные свойства частицы (импульс, масса) связываются с ее волновыми свойствами (частота)**

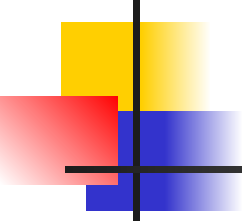


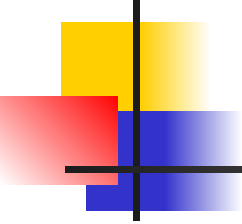
ЭФФЕКТ КОМПТОНА

- Экспериментальное подтверждение существования импульса фотона 1920 г

- 
- Комптон исследовал процесс столкновения фотонов с электронами.
 - проявление в законе сохранения импульса
 - Рентгеновское излучение – это электромагнитные волны с энергией от 10 эВ до 1 МэВ, обладающее высокой проникающей способностью.



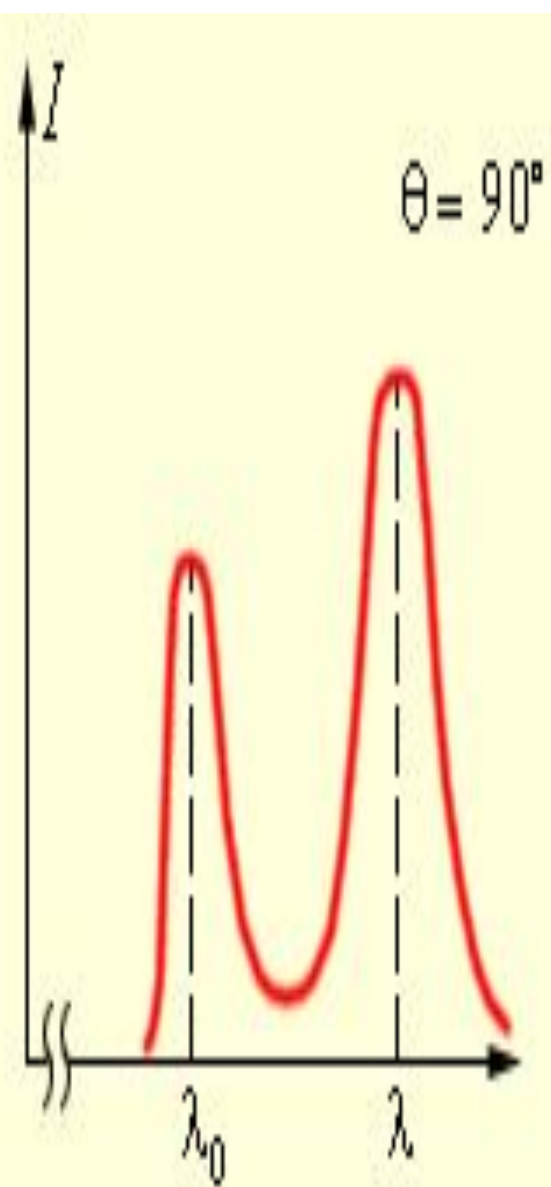
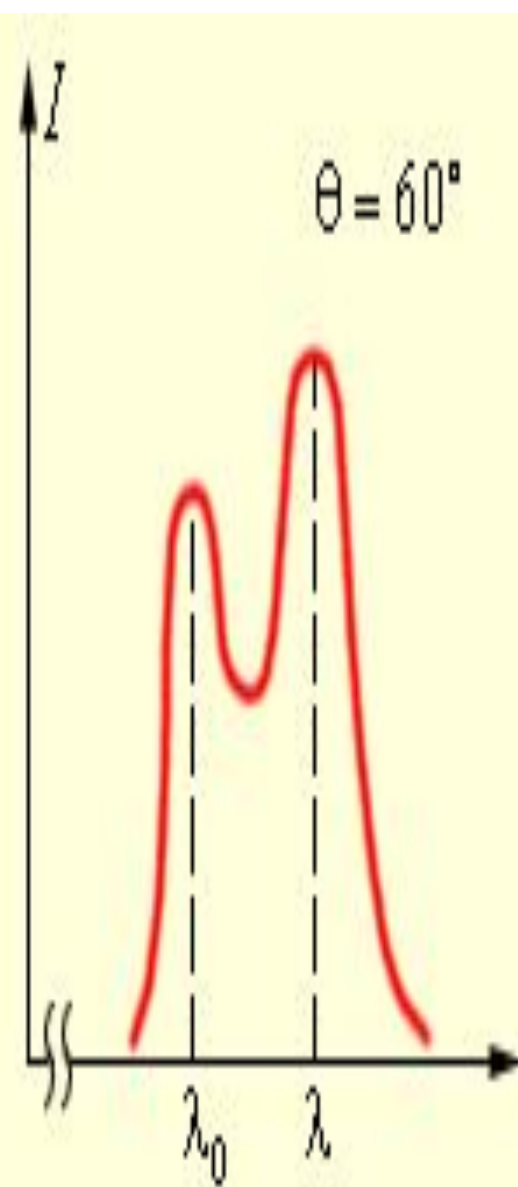
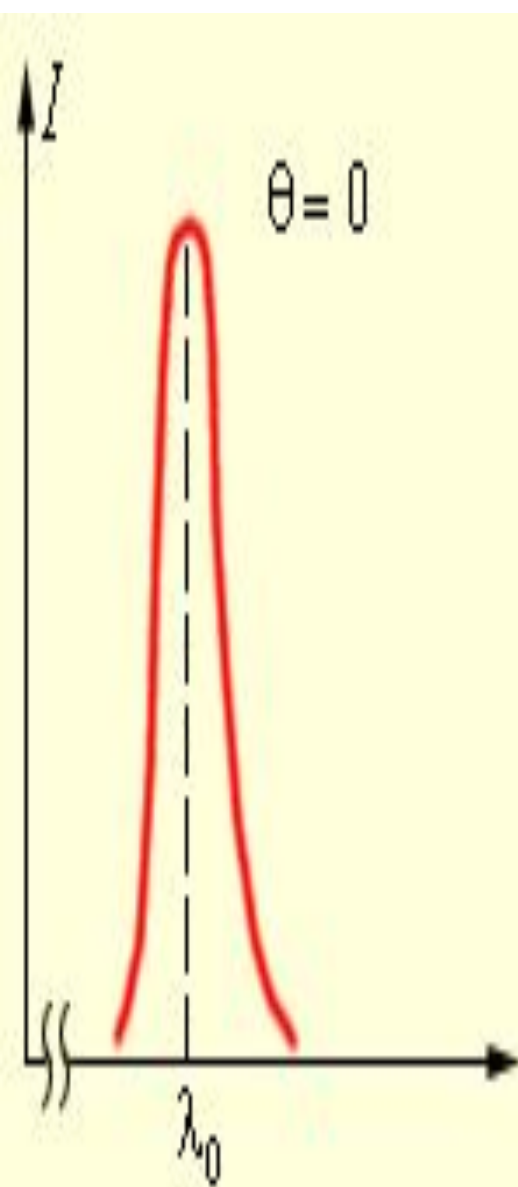
- 
-
- Рентгеновская трубка создает поток рентгеновского излучения с длиной волны λ_0
 - Графитовый образец
 - Рассеиваясь лучи попадали на кристалл
 - Отражаясь от него по закону Вульфа-Брэггов регистрировались счетчиком

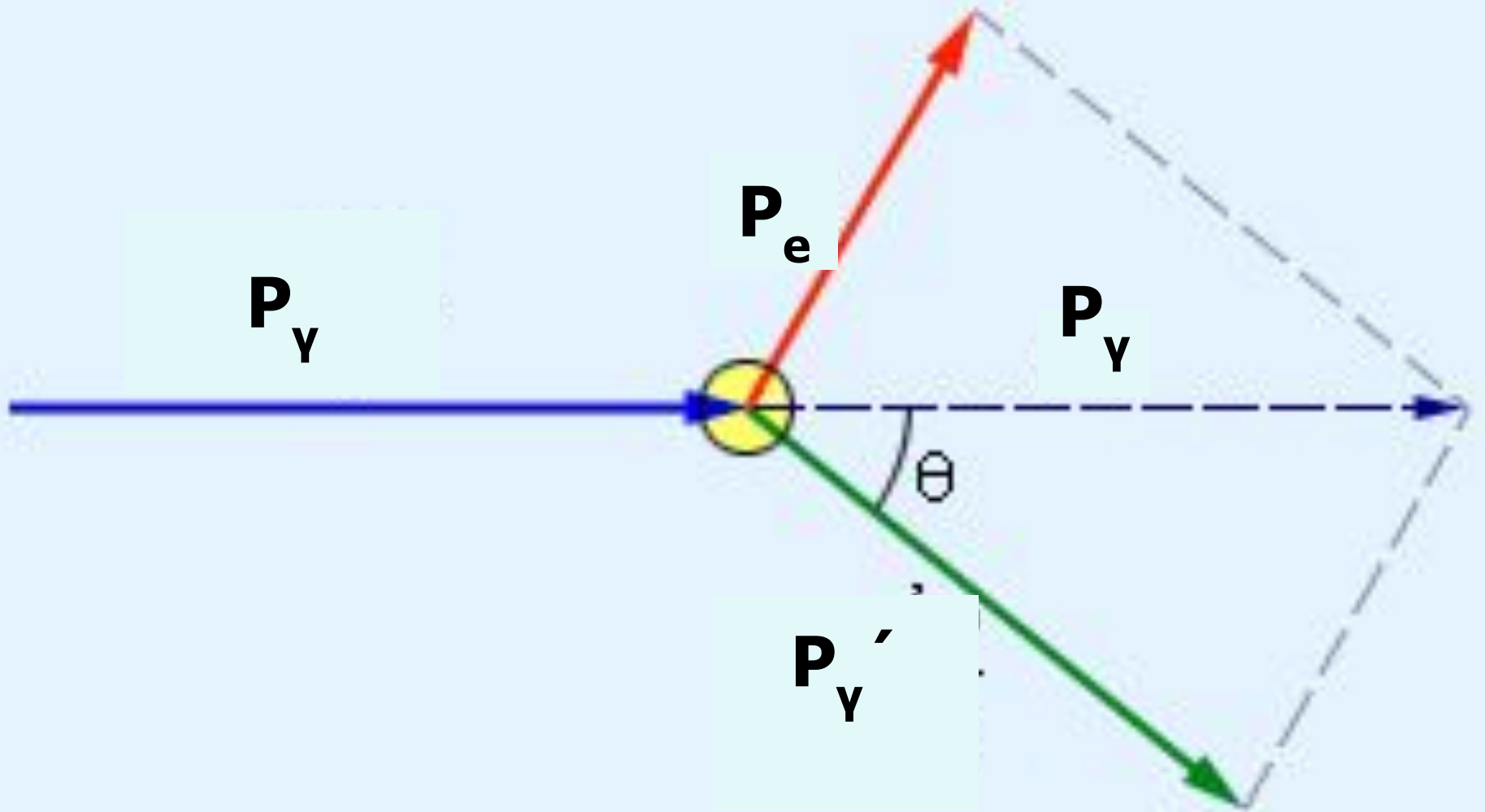
- 
-
- Классическая теория- происходят вынужденные колебания электронов с частотой вынуждающей силы
 - У рассеянных фотонов должна быть длина волны λ_0

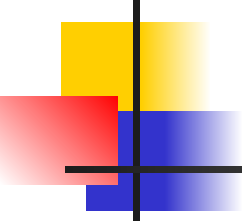
Эффектом Комптона называется

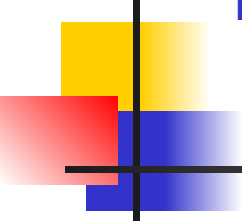


- Упругое рассеяние коротковолнового рентгеновского излучения на свободных (или слабо связанных с атомами) электронах вещества.
- При этом наблюдается **увеличение длины волны рассеянного излучения** в зависимости от угла рассеяния





- 
-
- P_e – Импульс электрона после столкновения
 - P_{γ}' – Импульс фотона после столкновения
 - P_{γ} – Импульс фотона до столкновения

- 
- Фотон, столкнувшись с электроном, передает ему часть своей энергии и импульса и изменяет направление своего движения (**рассеивается**).
 - Электрон, получивший скорость после столкновения с фотоном, называется **электроном отдачи**.
 - **Выполняются законы сохранения энергии и импульса**. Для расчетов удобно выбирать систему отсчета, в которой электрон первоначально покоился.



Закон сохранения импульса

$$\overset{\square\square}{P_\gamma} = \overset{\square\square}{P_{\gamma'}} + \overset{\square\square}{P_e}$$

$$\left| \overset{\square\square}{P_\gamma} \right| = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad \left| \overset{\square\square}{P_{\gamma'}} \right| = \frac{h\nu'}{c} = \frac{h}{\lambda'}$$

$$\left| \overset{\square\square}{P_e} \right| = mV$$



По теореме косинусов

$$(mV)^2 = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} \cos \theta$$



Закон сохранения энергии

$$\frac{hc}{\lambda} + m_0c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + mc^2$$

$\frac{hc}{\lambda}$ - Энергия падающего фотона

$\frac{hc}{\lambda'}$ - Энергия рассеянного фотона

m_0c^2 - Энергия покоящегося электрона

mc^2 - Энергия электрона отдачи



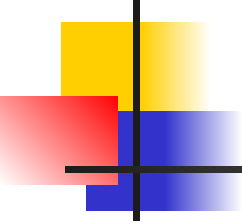
Изменение длины волны

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta)$$

θ – угол рассеяния

$$\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta)$$

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0c} = 2,426 \text{ пм} - \text{КОМПТОНОВСКАЯ длина волны}$$



$$\theta = 0 \quad \cos \theta = 1 \quad \Delta \lambda = 0$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \quad \cos \theta = 0 \quad \Delta \lambda = \lambda_c$$

$$\theta = \pi \quad \cos \theta = -1$$

$$\Delta \lambda = \max_c \lambda_c$$