

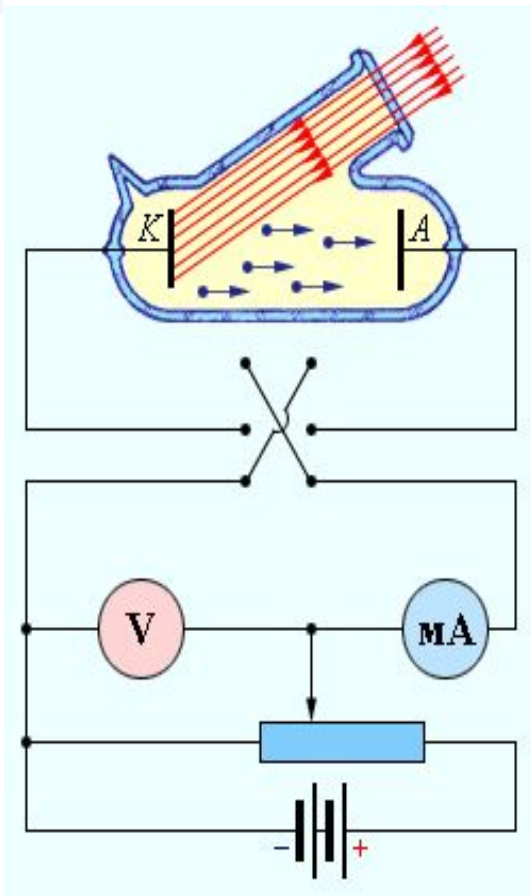


# ФОТОЭФФЕКТ

---

- Внешний фотоэффект – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения

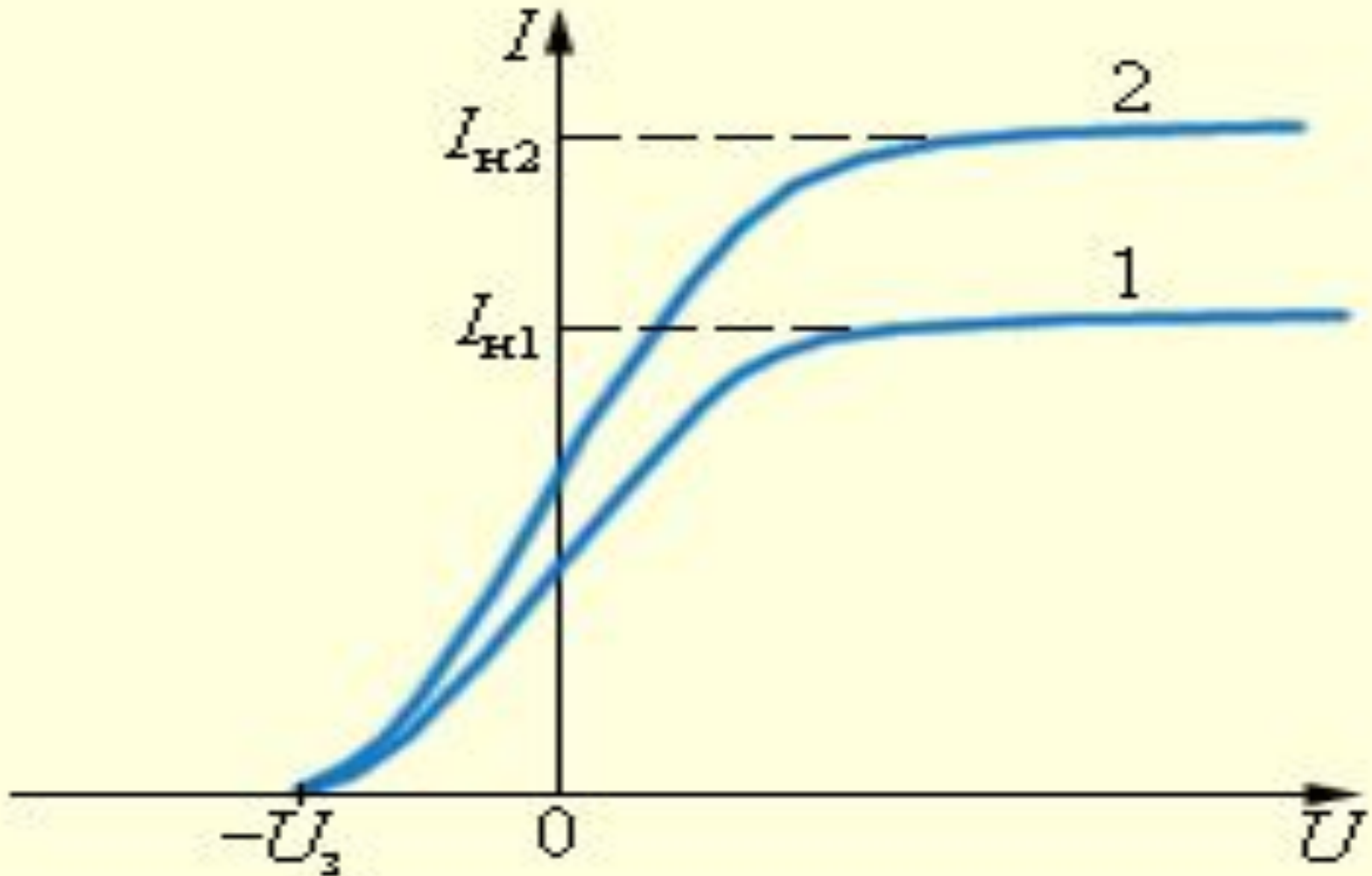
# Схема экспериментальной установки



1887 Герц

1888 -1890 Столетов

# Зависимость силы фототока от приложенного напряжения.



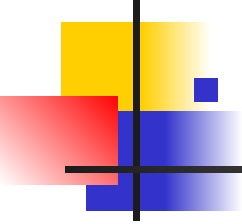


# ТОК насыщения

---

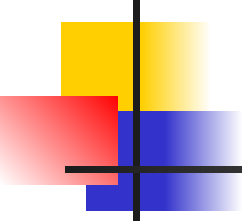
- Фототок достигает насыщения  $I_{нас}$
- Все электроны, вырванные из катода долетели до анода
- Ток насыщения пропорционален интенсивности падающего света

- При  $U=0$  фототок существует



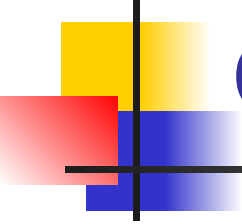
- У некоторых электронов хватает кинетической энергии, чтобы долететь до анода без ускоряющего внешнего поля

- 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

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

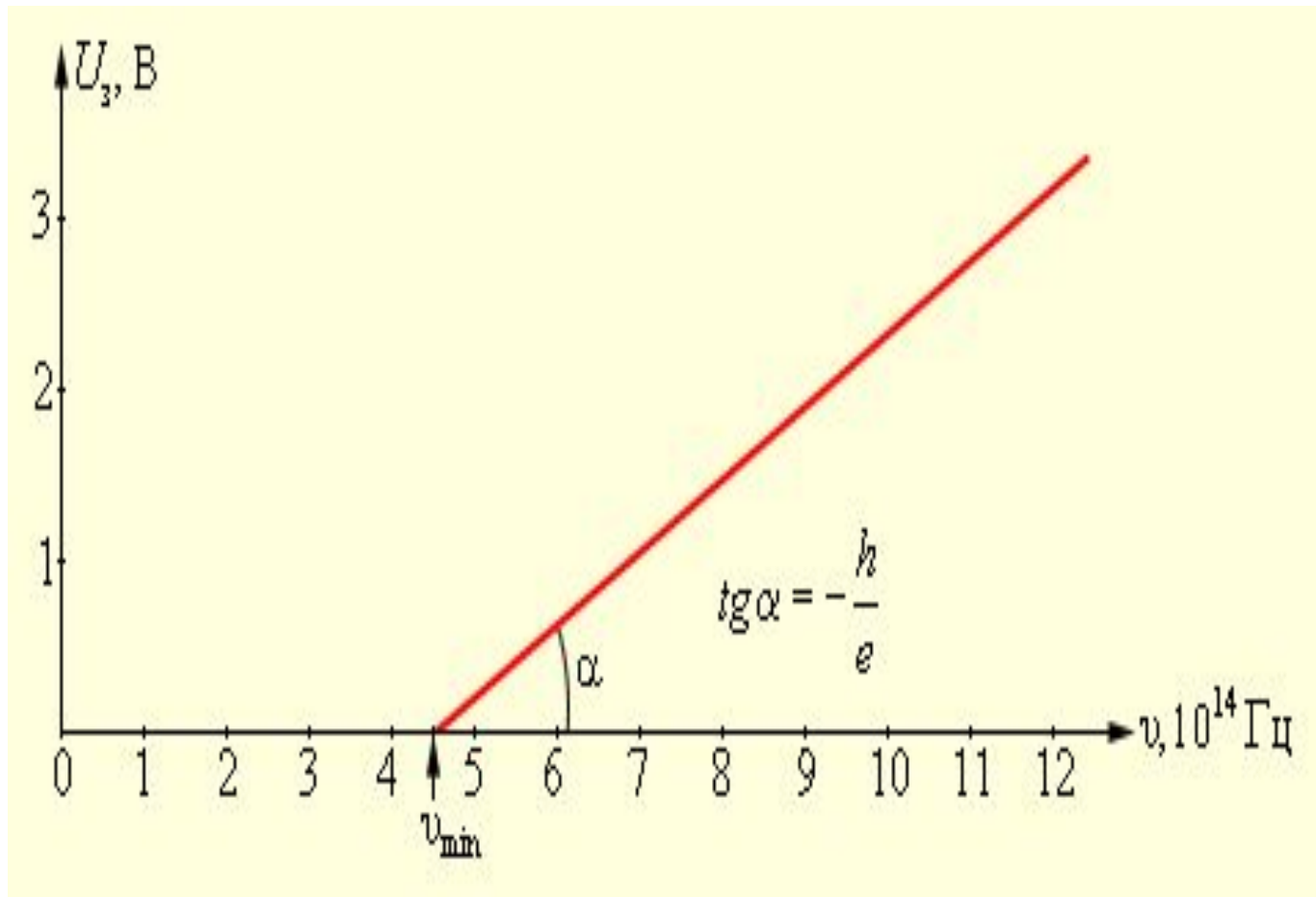


# Основные закономерности фотоэффекта

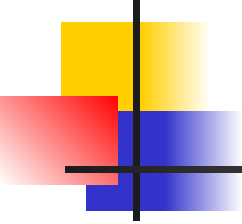
---

- 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

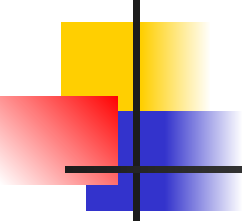
---

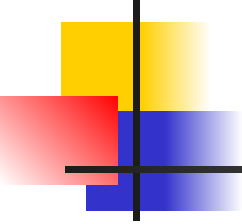
- Свет не только испускается, но распространяется и поглощается отдельными порциями – **КВАНТАМИ**

- 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)**


$$h\nu = A + 0$$

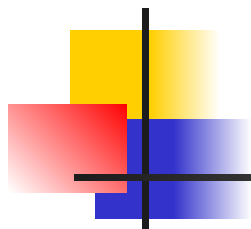
---

$$h\nu_0 = A$$

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

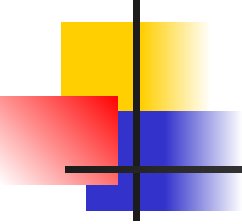
# Работы выхода для некоторых металлов

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


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

---

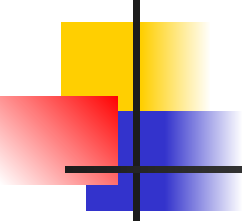
$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

Масса фотона

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

Импульс фотона

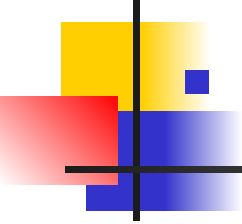
Формула де Бройля

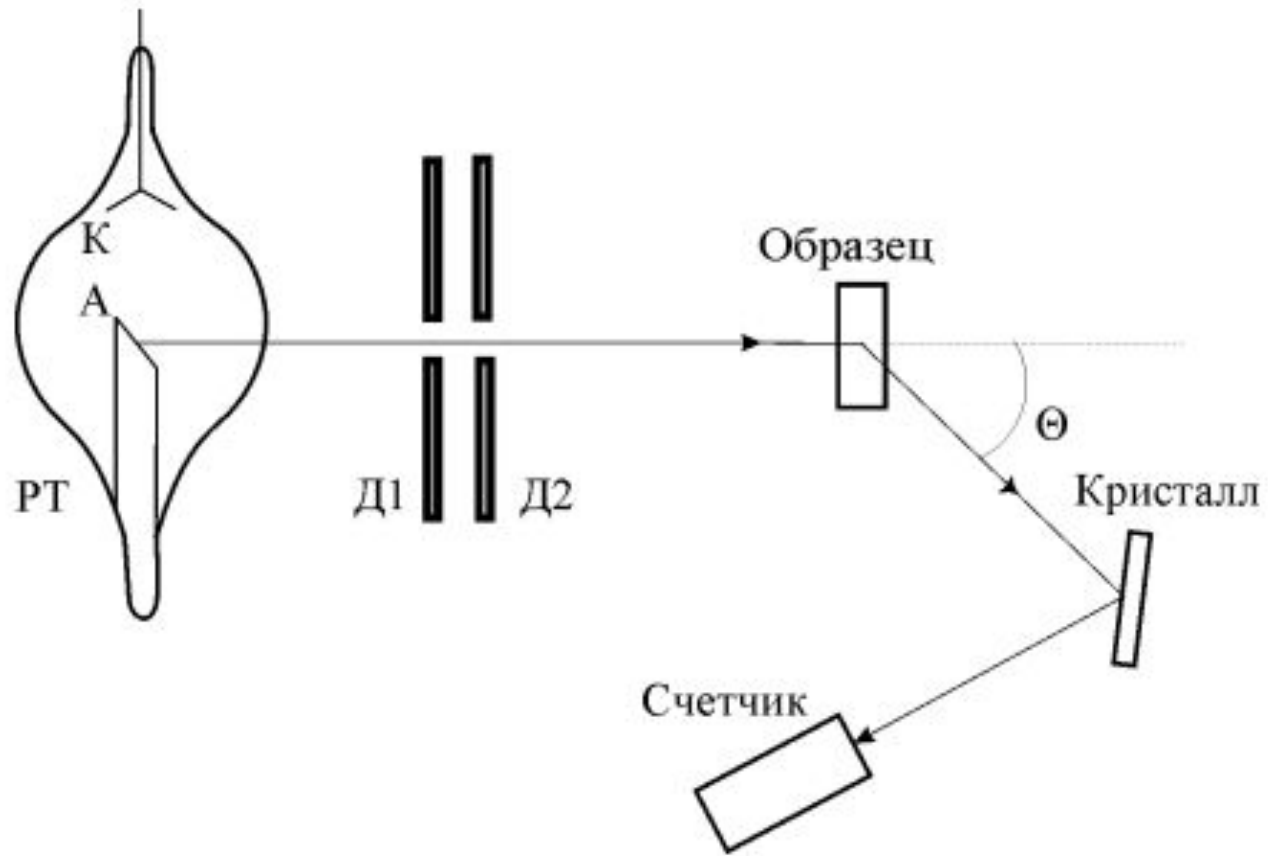
- 
- 
- **Корпускулярные свойства частицы (импульс, масса) связываются с ее волновыми свойствами ( частота)**

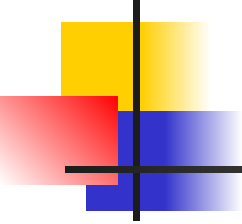


# ЭФФЕКТ КОМПТОНА

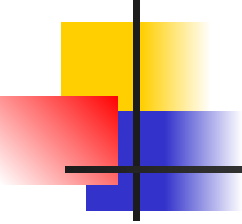
- Экспериментальное подтверждение существования импульса фотона 1920 г

- 
- 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  $\lambda_0$
  - Графитовый образец
  - Рассеиваясь лучи попадали на кристалл
  - Отражаясь от него по закону Вульфа-Брэггов регистрировались счетчиком



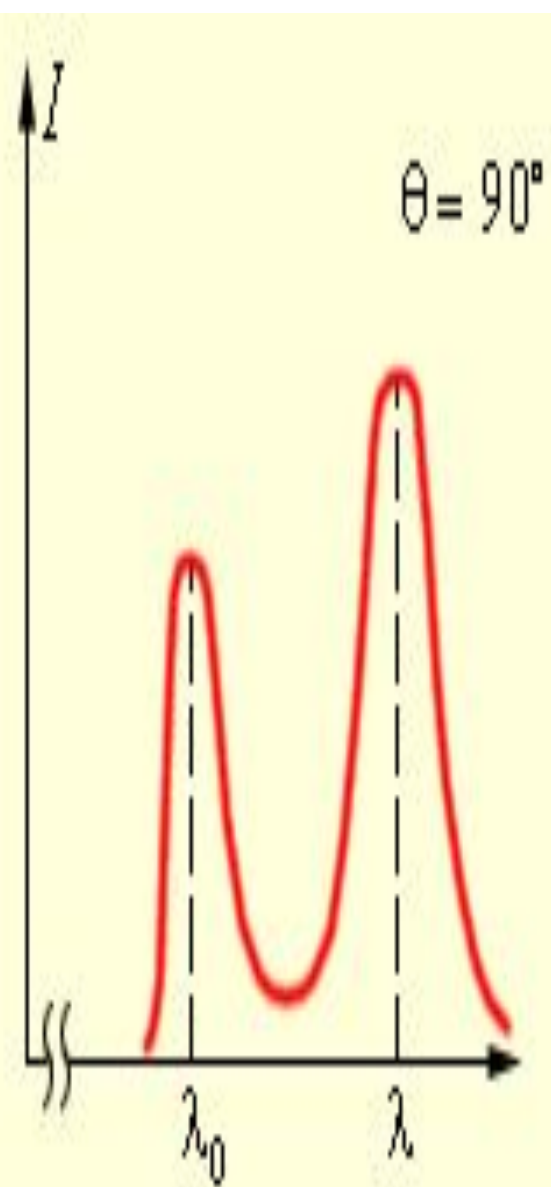
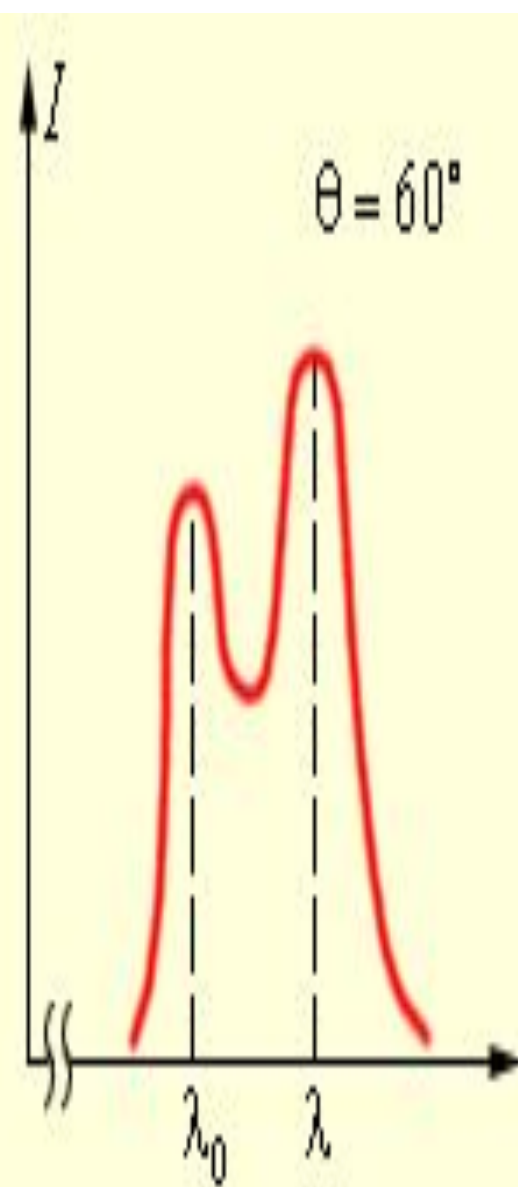
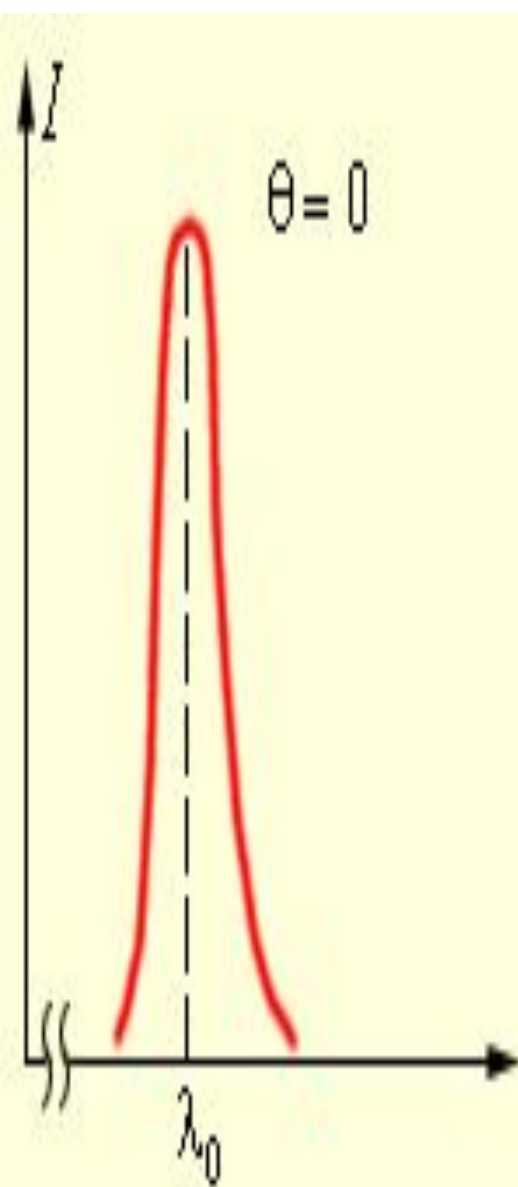
- 
- 
- Классическая теория- происходят вынужденные колебания электронов с частотой вынуждающей силы
  - У рассеянных фотонов должна быть длина волны  $\lambda_0$

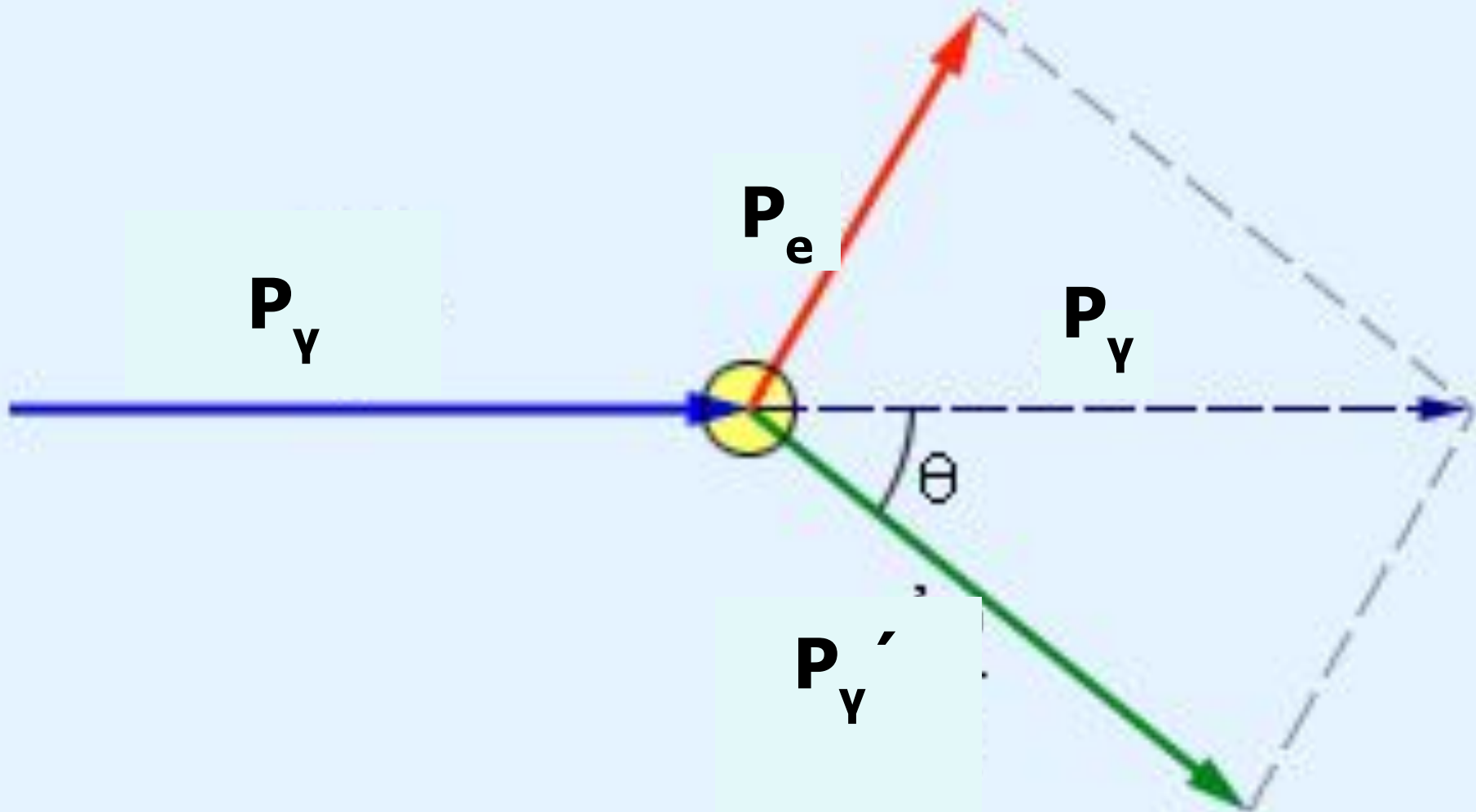
# Эффектом Комптона называется

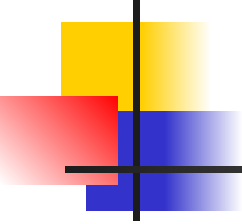


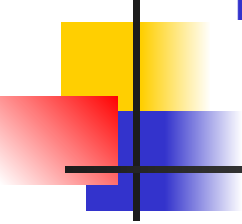
---

- 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
  - $P_{\gamma}'$  – Импульс фотона после столкновения
  - $P_{\gamma}$  – 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

---

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

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

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



## 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

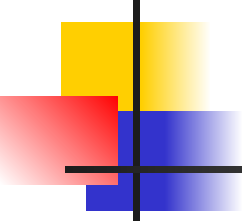
---

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

$\theta$  – угол рассеяния

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

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



---

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

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

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

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