

Сегодня: \*



## Краткий курс лекций по физике

Кузнецов Сергей Иванович  
доцент к. ОФ ЕНМФ ТПУ

## Тема 2. КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОПТИКЕ

2.1. Фотоэффект и его виды

2.2. Законы внешнего фотоэффекта

2.3. Фотонная теория света.  
Масса, энергия и импульс фотона

2.4. Эффект Комптона

2.5. Тормозное рентгеновское излучение

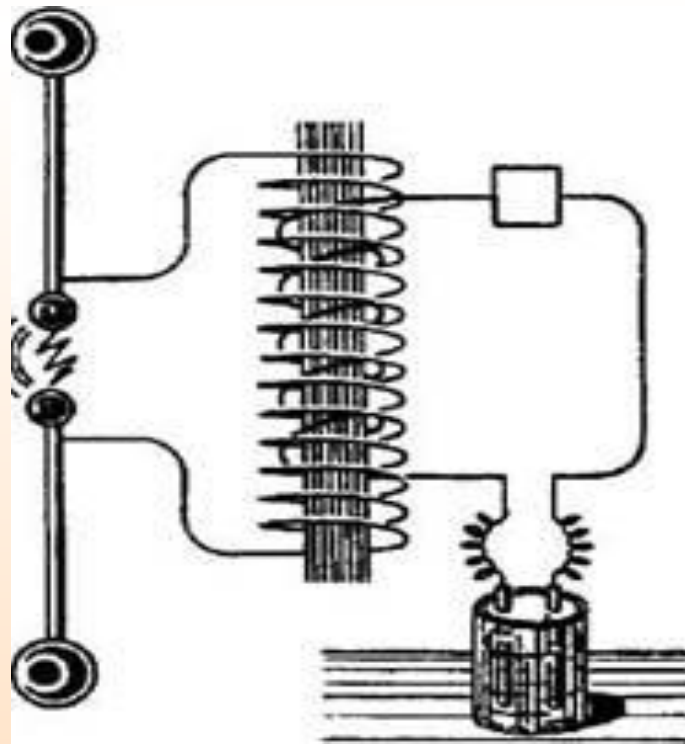
2.6. Характеристическое рентгеновское излучение

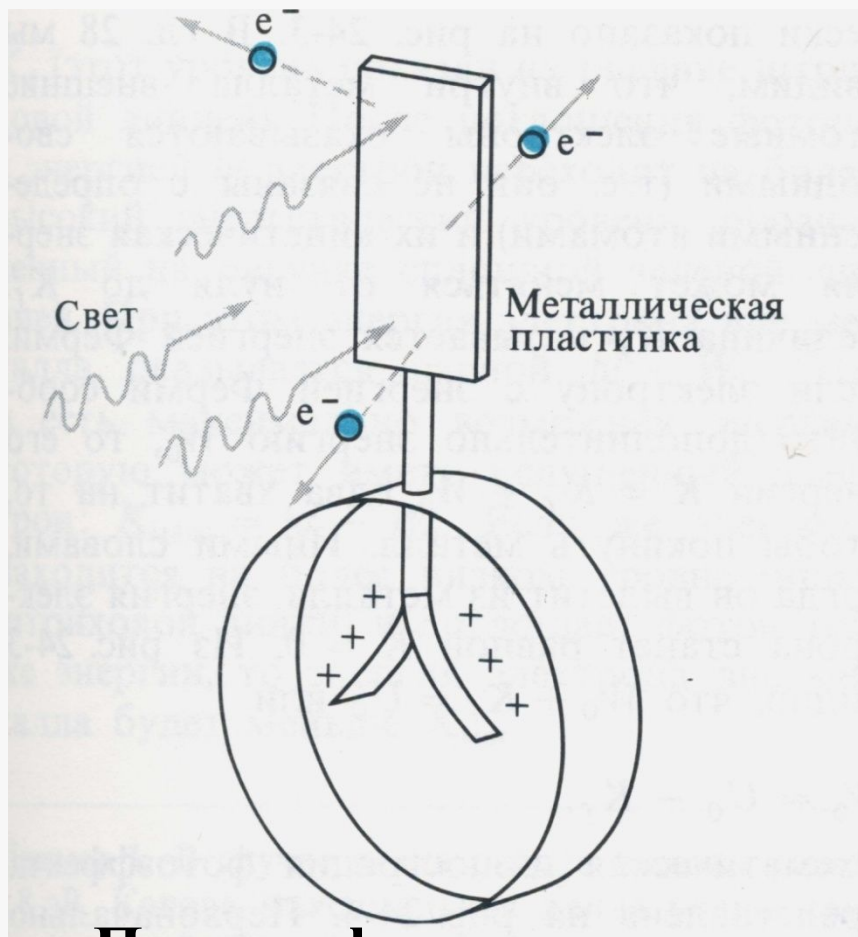
2.7. Давление света

2.8. Двойственная природа света

## 2.1. Фотоэффект и его виды

Открыт Г. Герцем в 1887 – проскакивание искры между цинковыми шариками разрядника заметно **увеличивается**, если один из шариков осветить УФ лучами.





**Первые фундаментальные исследования фотоэффекта выполнены русским ученым**

**А.Г. Столетовым.**

**Нейтральный электроскоп, соединен с металлической пластинкой. При освещении пластинки светом из нее выбиваются фотоэлектроны, и листочки заряжаются положительно**

# Виды фотоэффекта

Различают *фотоэффект* *внешний*, *внутренний*, *вентильный* и *многофотонный*.

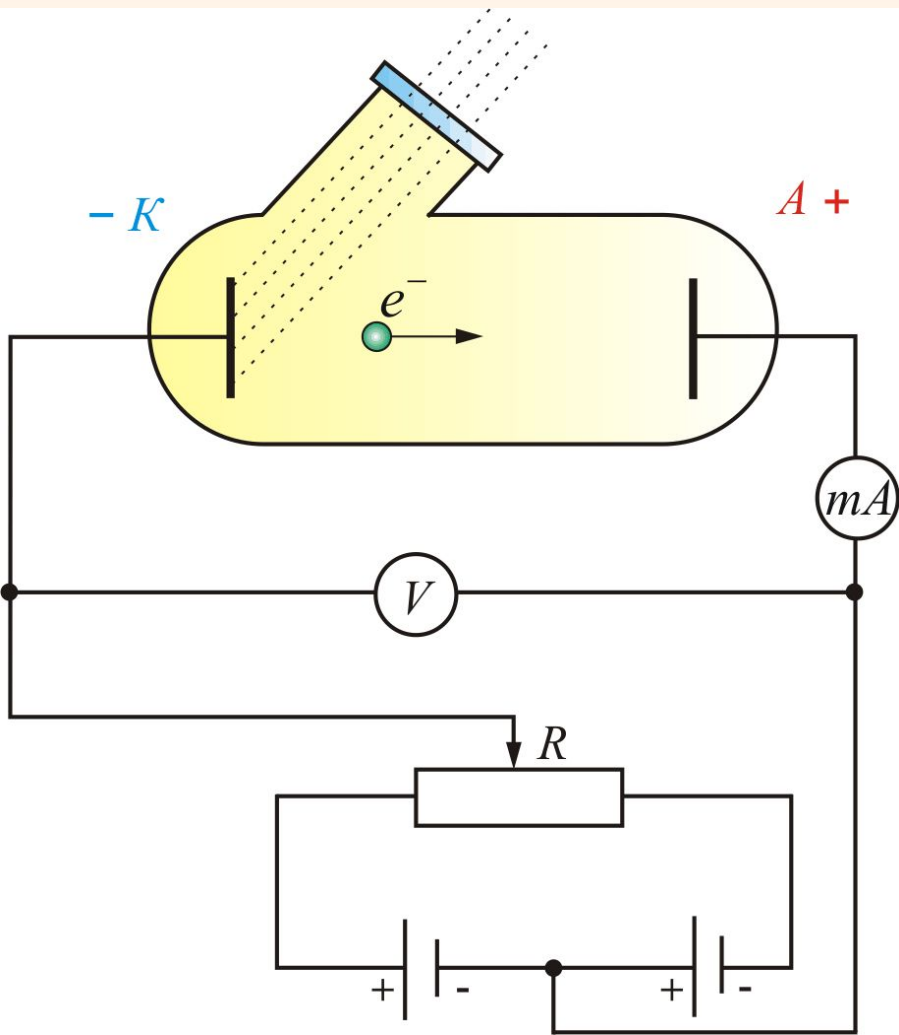
**Внешним фотоэффектом** называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

**Внутренний фотоэффект** — это вызванные электромагнитным излучением переходы электронов внутри полупроводника или диэлектрика из связанных состояний в свободные без вылета наружу.

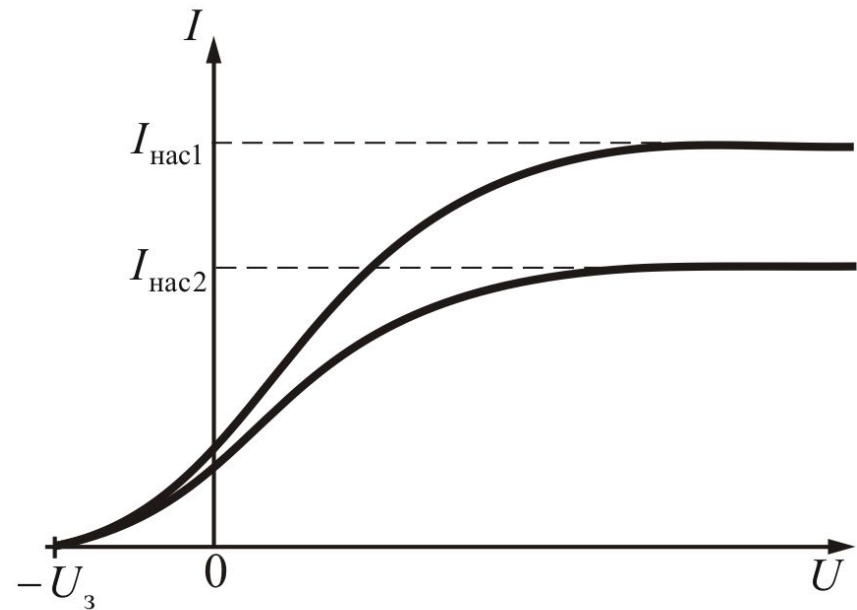
**Вентильный фотоэффект**, — возникновение эдс (фото-эдс) при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла (при отсутствии внешнего электрического поля).

**Многофотонный фотоэффект** возможен, если интенсивность света очень большая (при использовании лазерных пучков). При этом электрон, испускаемый металлом, может одновременно получить энергию не от одного, а от нескольких фотонов.

В 1899 Дж. Дж. Томпсон и Ф. Ленард доказали, что при фотоэффекте *свет выбивает из вещества электроны.*

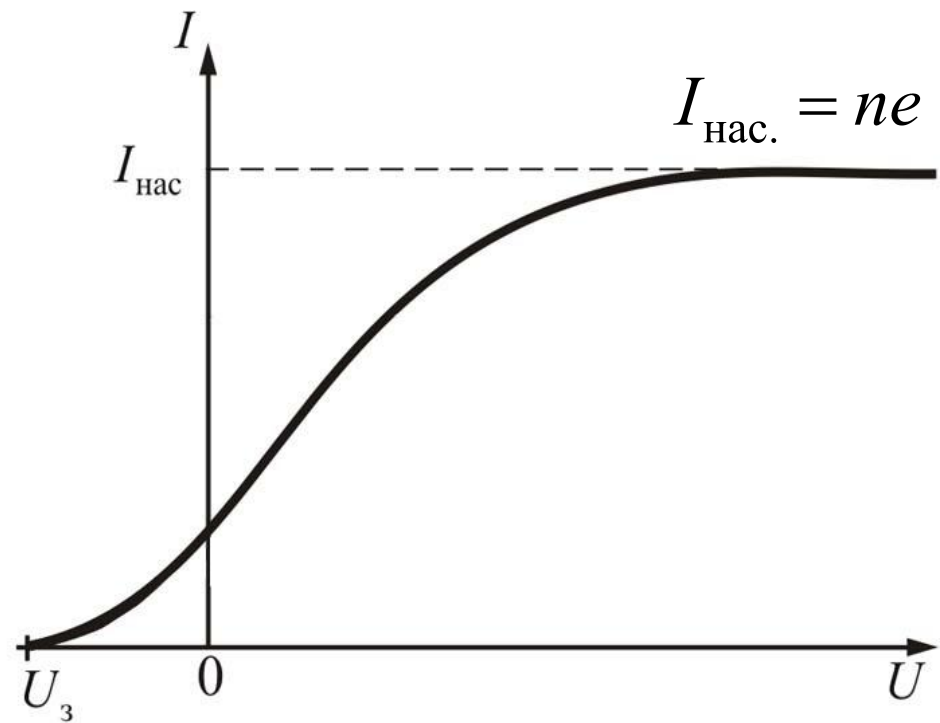


*Вольтамперная характеристика (ВАХ)*



Максимальное значение тока  $I_{\text{нас.}}$  — **фототок насыщения** — определяется таким значением  $U$ , при котором **все электроны, испускаемые катодом, достигают анода**:  $I_{\text{нас.}} = ne$ ,

где  $n$  — число электронов испускаемых катодом в 1 с

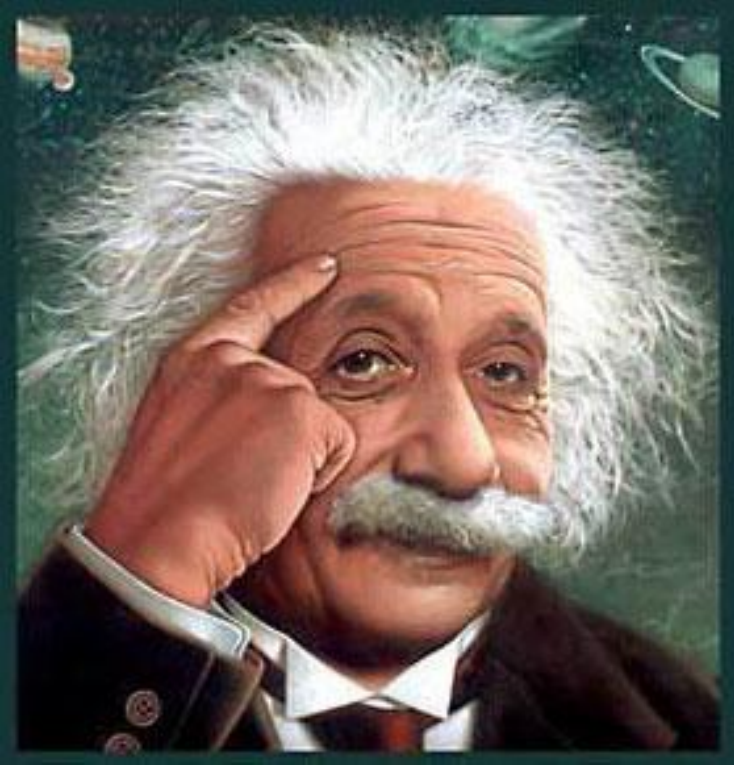


Для того чтобы фототок стал равным нулю, необходимо приложить **задерживающее напряжение**  $U_3$

$$\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = eU_3$$

# Законы фотоэффекта:

1. **Закон Столетова:** при фиксированной частоте падающего света **число фотоэлектронов**, вырываемых из катода в единицу времени, **пропорционально интенсивности света**.
2. **Максимальная скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой  $\nu$ .**
3. **Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. минимальная частота  $\nu_0$  света** (зависящая от химической природы вещества и состояния его поверхности), **ниже которой фотоэффект невозможен:**  
$$\nu \geq \nu_0 = \frac{A}{h}$$



Объяснение наблюдаемых экспериментально закономерностей было дано Эйнштейном:

Свет не только испускается (Планк), но и распространяется, и поглощается веществом отдельными порциями (квантами), энергия которых :  
 $\varepsilon = h\nu$ .

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

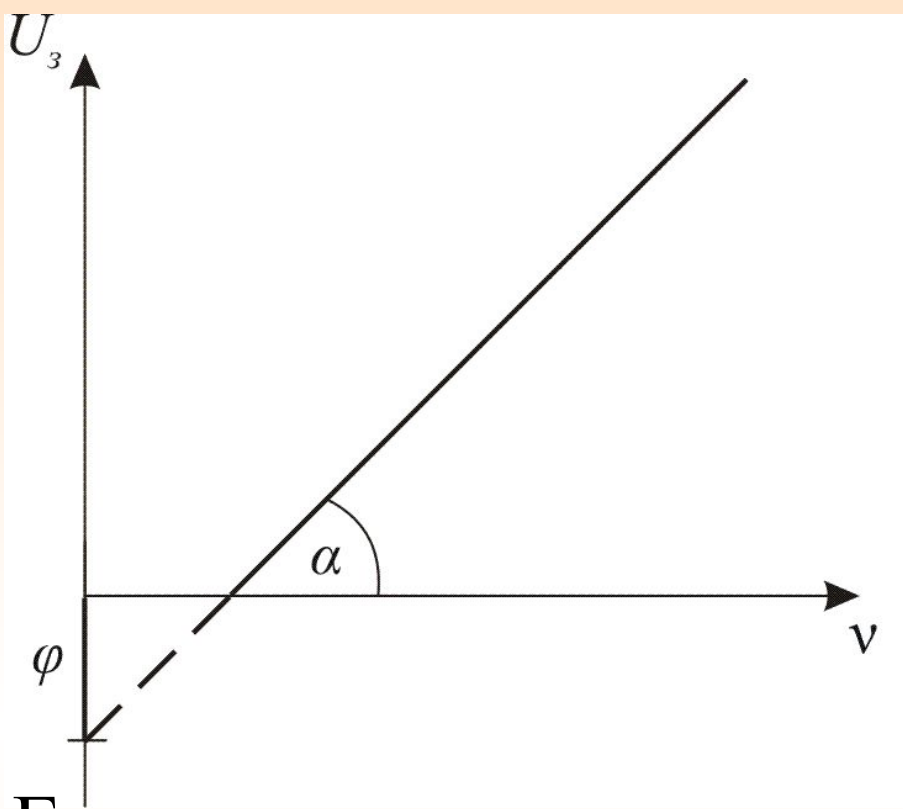
$$h\nu = \frac{mV_{\max}^2}{2} + A.$$

$A$  — работа выхода электронов.

Из теории Эйнштейна для фотоэффекта следует:

1. Увеличение интенсивности света означает увеличение числа налетающих фотонов, которые выбивают с поверхности металла больше электронов. Но так как энергия фотонов одна и та же, максимальная кинетическая энергия электрона не изменится (подтверждение I закона фотоэффекта).
2. При увеличении частоты падающего света максимальная кинетическая энергия электронов возрастает линейно по формуле Эйнштейна (т.е. II закон фотоэффекта).

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



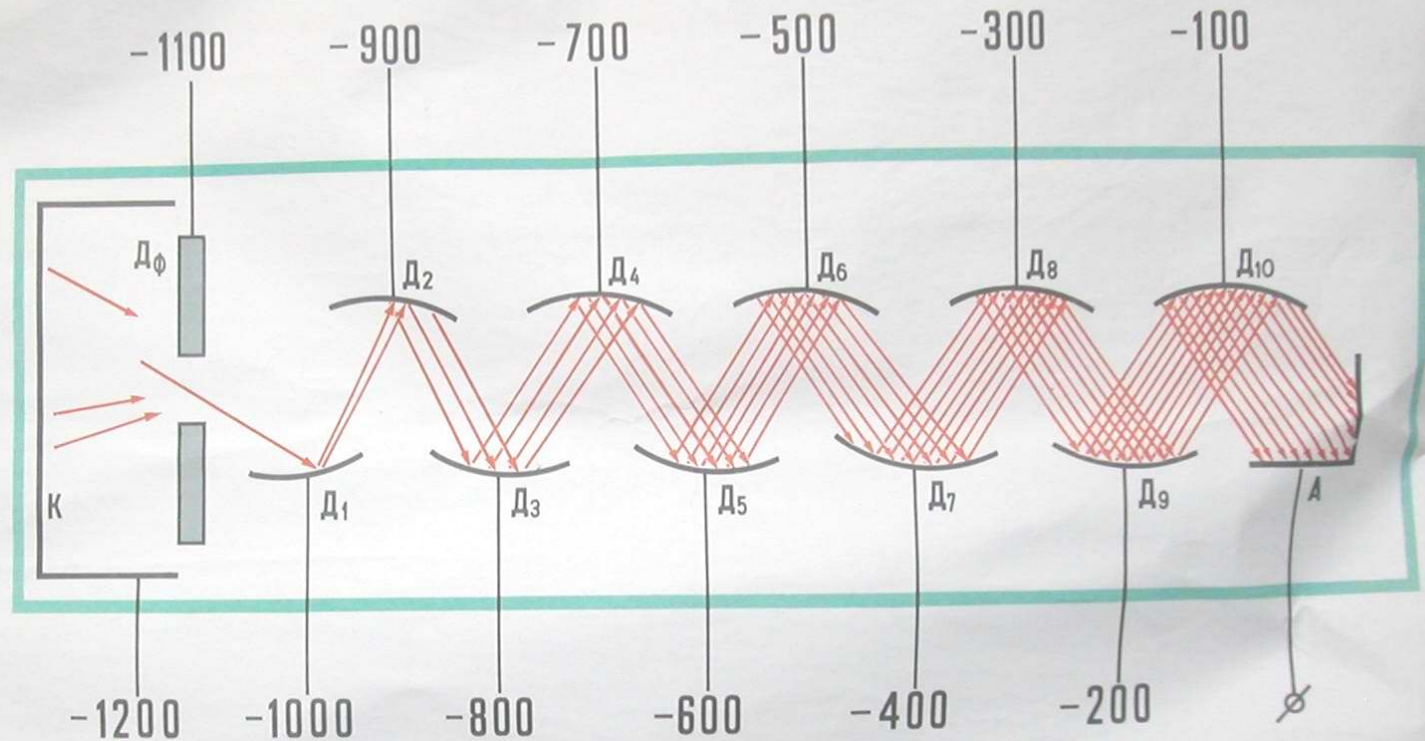
$$\frac{mv_{\text{макс.}}^2}{2} = h\nu - A$$

$$eU_3 = h(\nu - \nu_0)$$

3. Если частота  $\nu$  меньше частоты  $\nu_0$ , при которой  $h\nu_0 = A$ , то выбивание электронов с поверхности не происходит. (III закон).

Уравнение Эйнштейна было подтверждено опытами Милликена, выполненными в 1913 – 1914 гг.

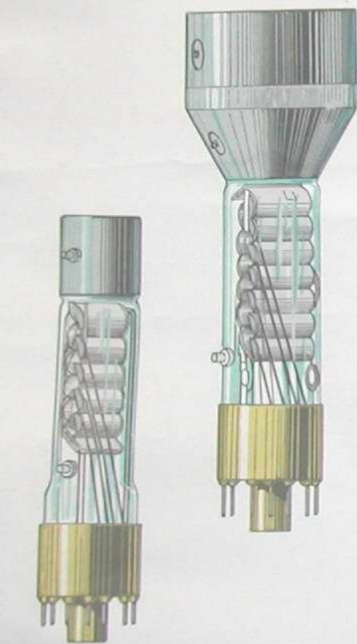
# ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ



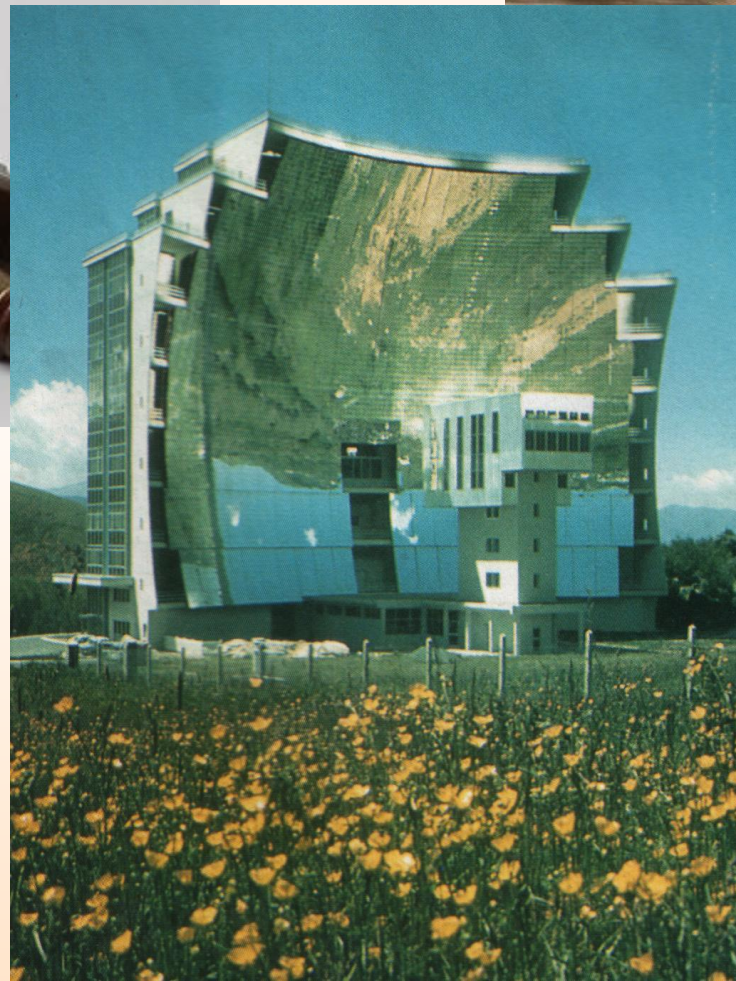
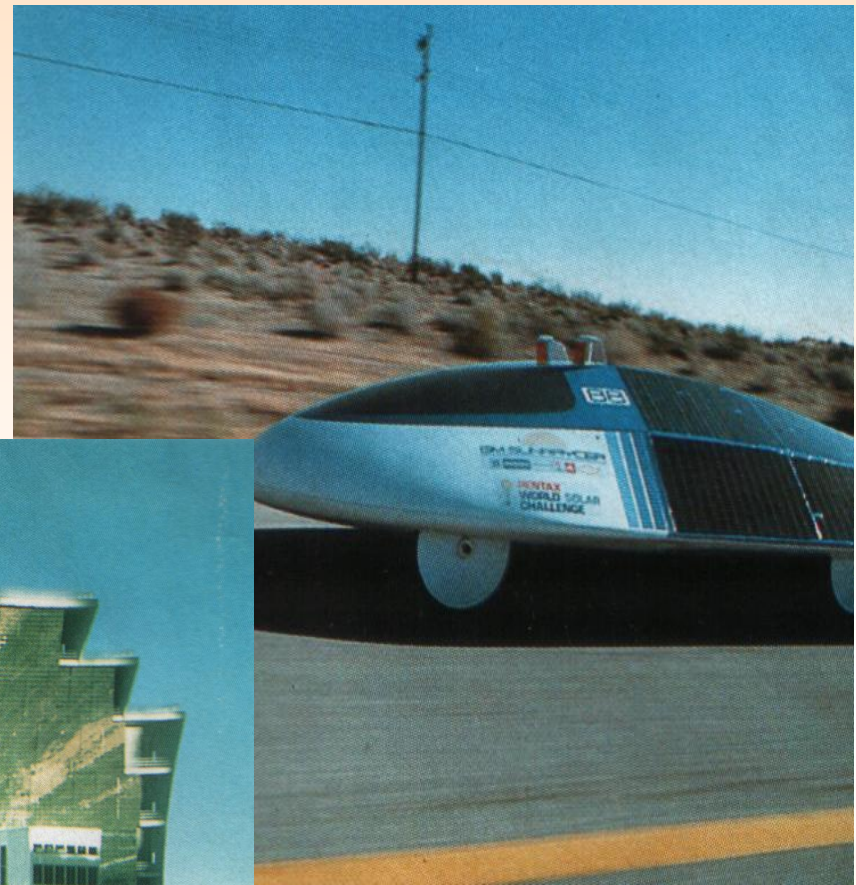
К - КАТОД  
 Д<sub>φ</sub> - ФОКУСИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОД  
 Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub>, Д<sub>3</sub> ... - ДИНОДЫ (ЭМИТТЕРЫ)  
 А - АНОД (КОЛЛЕКТОР)

МАТЕРИАЛ КАТОДА:  
*Sb-Cs* или *Bi-Ag-Cs*  
 МАТЕРИАЛ ЭМИТТЕРА:  
*АМГК* или *Cu-Al-Mg*

|                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ          | ДО 2500 В                          |
| ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ            | ДО $1000 \frac{\alpha}{\text{ЛМ}}$ |
| КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ        | $\sim 10^8$                        |
| ВРЕМЯ НАРАСТАНИЯ ИМПУЛЬСА   | $\sim 10^{-9}$ СЕК                 |
| МАКСИМАЛЬНЫЙ ТОК В ИМПУЛЬСЕ | $\sim 0.5 - 1.5 \alpha$            |



ВНЕШНИЙ  
 ВИД  
 ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ



## 2.3. Фотонная теория света. Масса, энергия и импульс фотона

**Альберт Эйнштейн**  
(Albert Einstein)

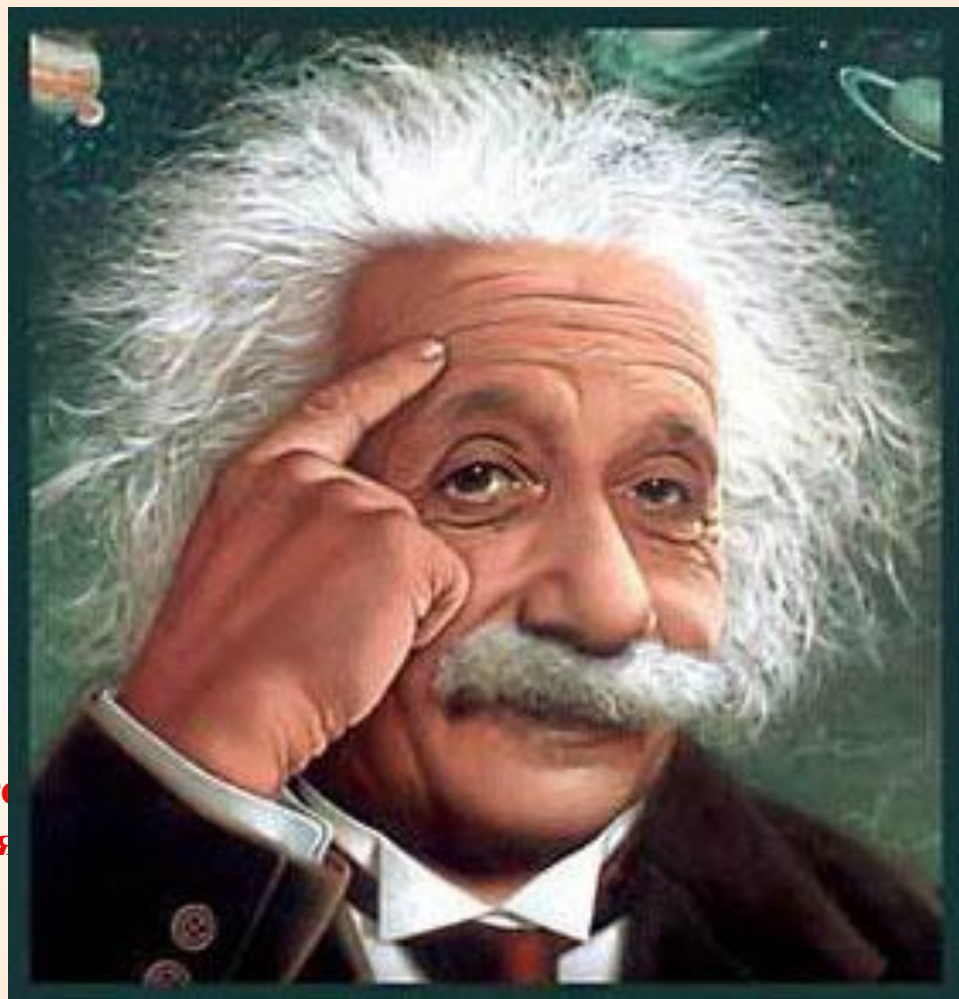
Родился *14 марта 1879*  
*Ульм (Ulm)*  
*Германия*  
Умер *18 апреля 1955*  
*Принцетон (Princeton)*  
*США (New Jersey)*

**величайший ученый 20 века**

*важнейшие работы*

**теория относительности**      **квантовая механика**  
**и статистическая механика**      **космология**

**Нобелевская премия по физике 1921**



## 2.3. Фотонная теория света.

### Масса, энергия и импульс фотона

В 1905г. Эйнштейн выдвинул смелую идею, обобщавшую гипотезу квантов, и положил ее в основу новой теории света (квантовой теории фотоэффекта).

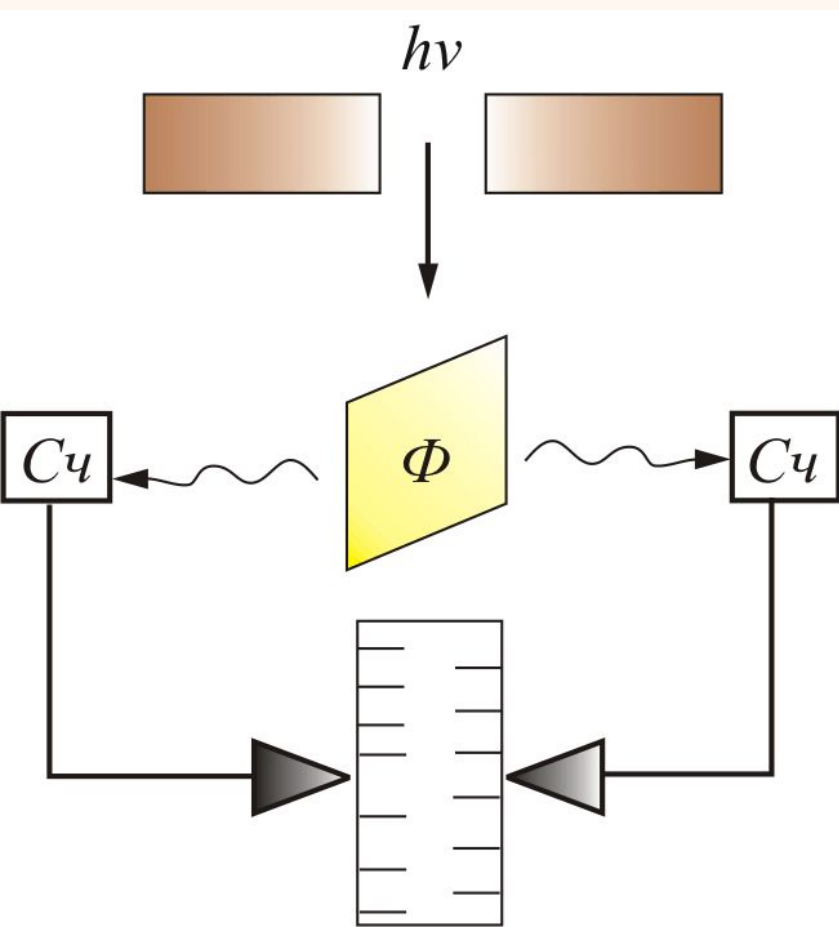
*Согласно Эйнштейну свет частотой  $\nu$  не только испускается, как это предполагал Планк, но и распространяется и поглощается веществом отдельными порциями (квантами), энергия которых*  
$$\varepsilon_0 = h\nu.$$

Таким образом, распространение света нужно рассматривать не как непрерывный волновой процесс, а как поток локализованных в пространстве дискретных световых квантов, движущихся со скоростью  $c$  распространения света в вакууме

*Кванты электромагнитного излучения* получили название *фотонов*.

## Опыт Боте.

подтверждающий  
гипотезу Эйнштейна



Тонкая металлическая фольга  $\Phi$   
помещена между двумя  
газоразрядными счетчиками  $Сч$ .

При облучении рентгеновскими  
лучами  $\Phi$  становится источником  
рентгеновского излучения.

При попадании рентгеновских  
лучей счетчик срабатывает и с  
помощью спец. устройства делает  
метку на движущейся ленте.

Метки располагались на ленте  
**хаотично**, что свидетельствует о  
квантовой природе излучения – в  
каждом акте испускания  
направление движения частиц свое

## Масса, энергия и импульс фотона

**Фотон обладает энергией**  $W = h\nu = h(c/\lambda)$ .

Для видимого света  $\lambda = 500 \text{ \AA}$  и  $W = 2,2 \text{ эВ}$ ,  
для рентгеновских лучей  $\lambda = 10^{-4} \text{ \AA}$  и  $W = 0,5 \text{ эВ}$ .

**Фотон обладает инертной массой:**

$$W = mc^2 \Rightarrow m_{\phi} = W/c^2 = hc/\lambda c^2 = h/c\lambda; \quad m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2}$$

**Фотон движется со скоростью света  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ .**

Подставим это значение скорости в выражение:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 1}} = \frac{m_0}{0} \rightarrow \infty.$$

**Фотон – частица, не обладающая массой покоя потому, что она может существовать только двигаясь со скоростью света  $c$ .**

**Релятивистское выражение для импульса:**  $p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

**И для энергии:**  $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ .

**Отсюда связь :**

$$E = c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{\hbar \omega}{c}$$

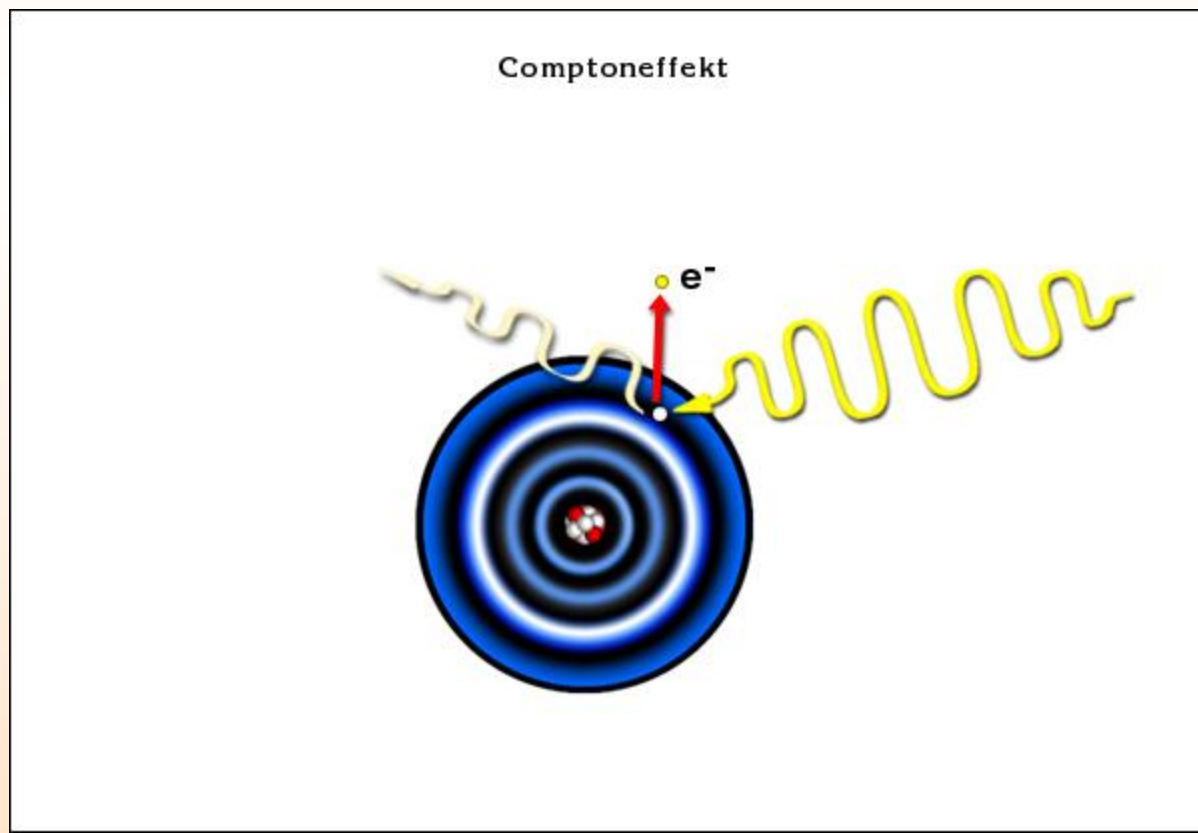
$$p = \frac{h}{\lambda}, \quad k = \frac{\omega}{c} \quad - \text{волновое число}$$

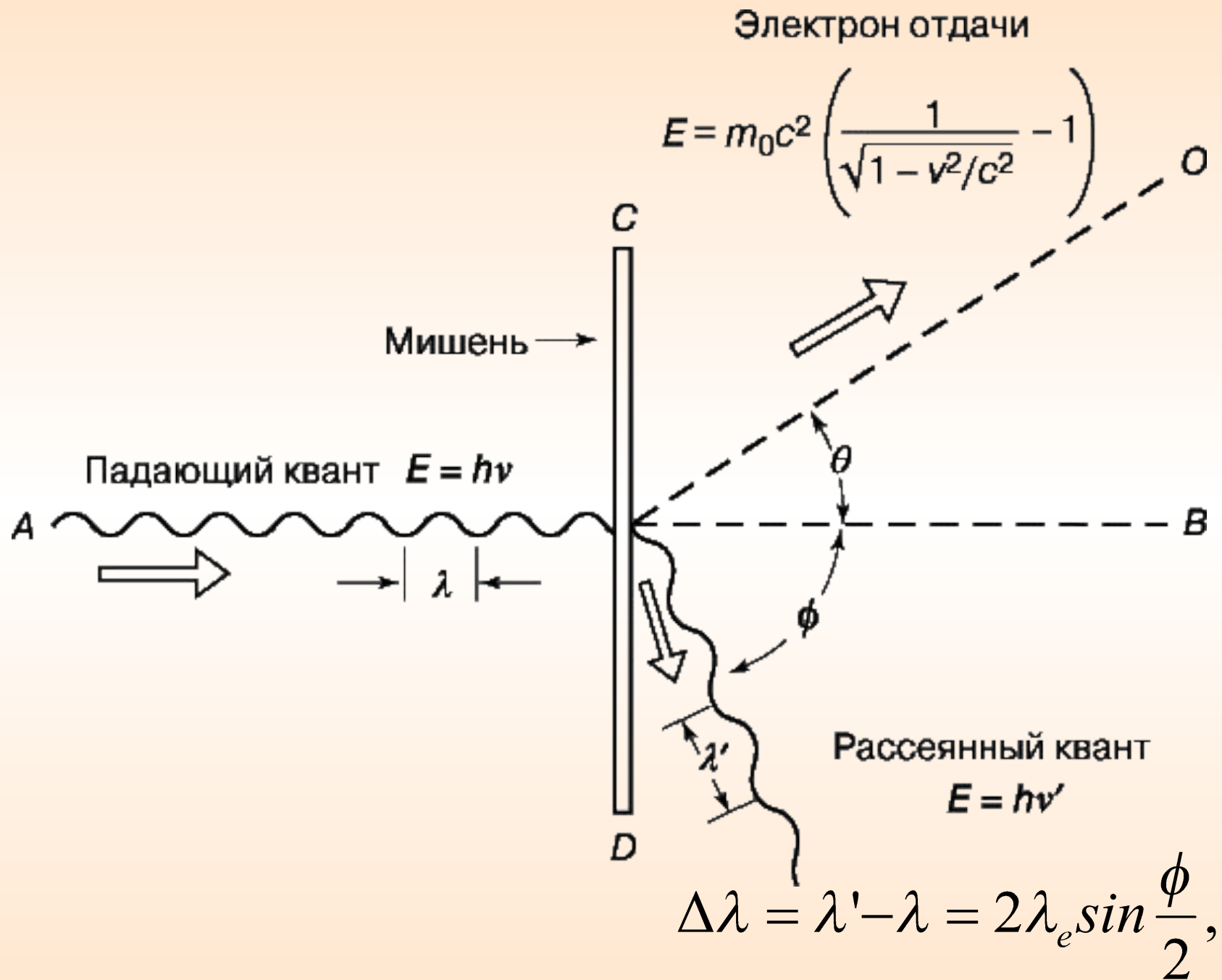
$$\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}$$

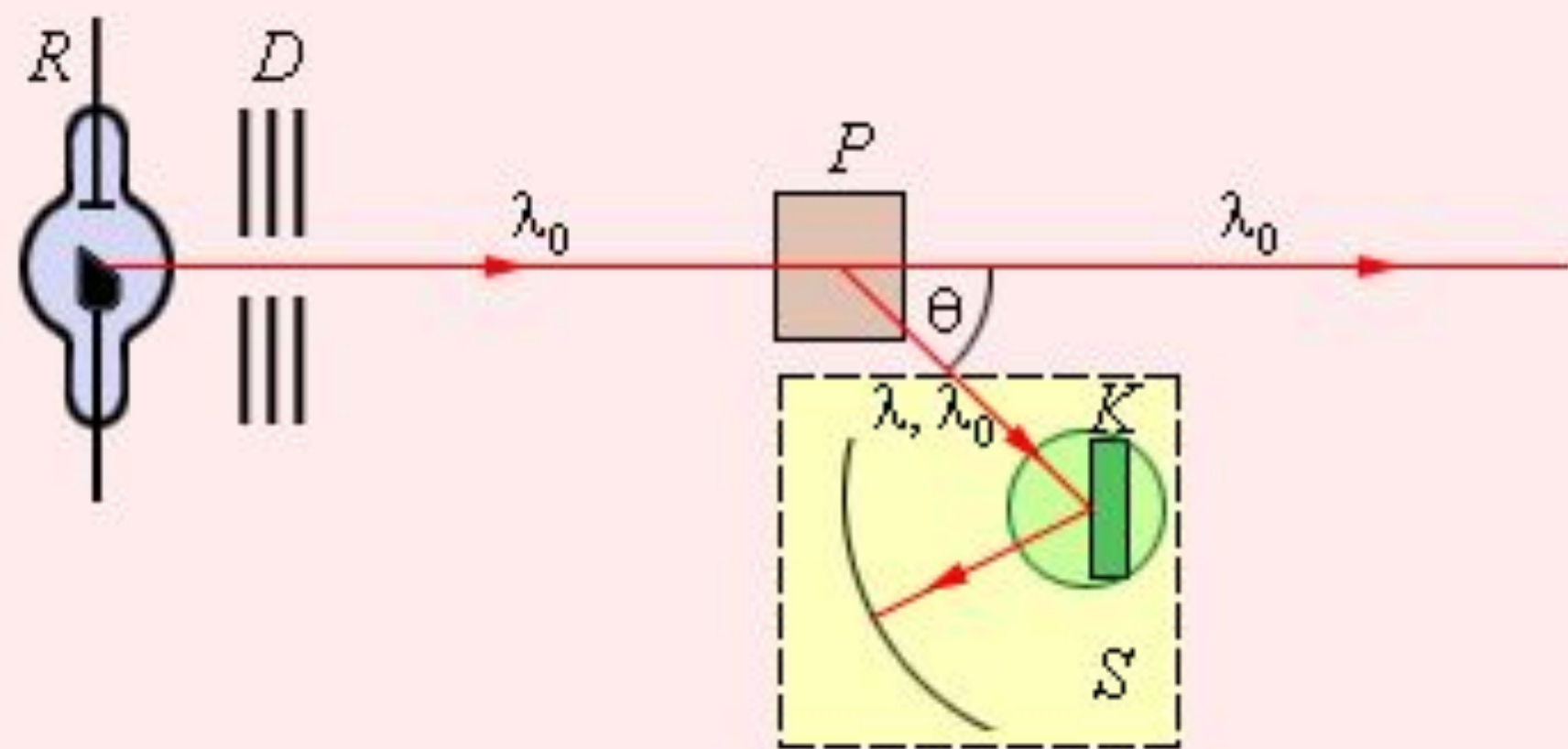
$\mathbf{k}$  – волновой вектор фотона.

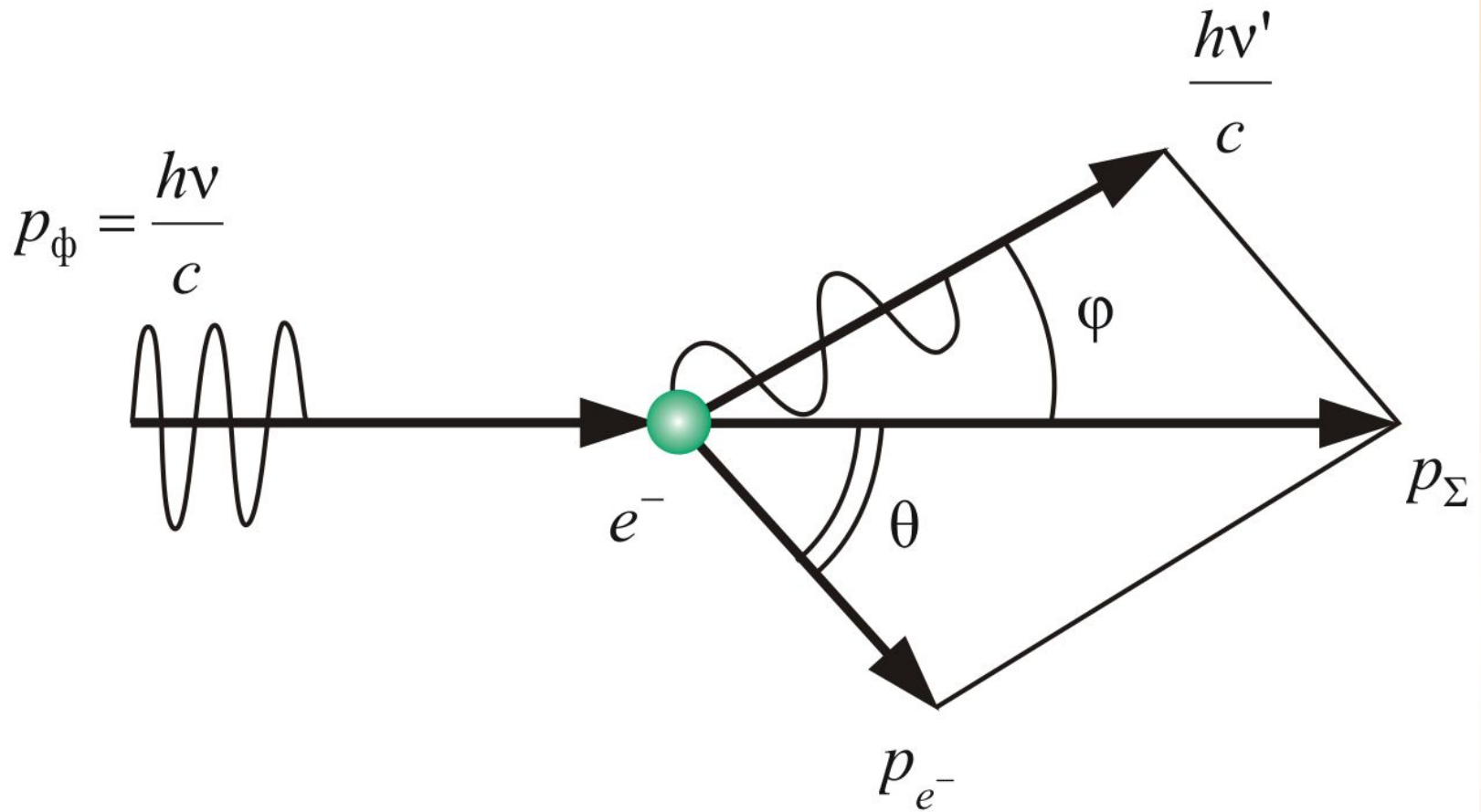
## 2.4. Эффект Комптона

А.Г. Комптон занимался изучением рассеяния рентгеновского излучения различными веществами и обнаружил, что частота рассеянного света меньше частоты падающего света.



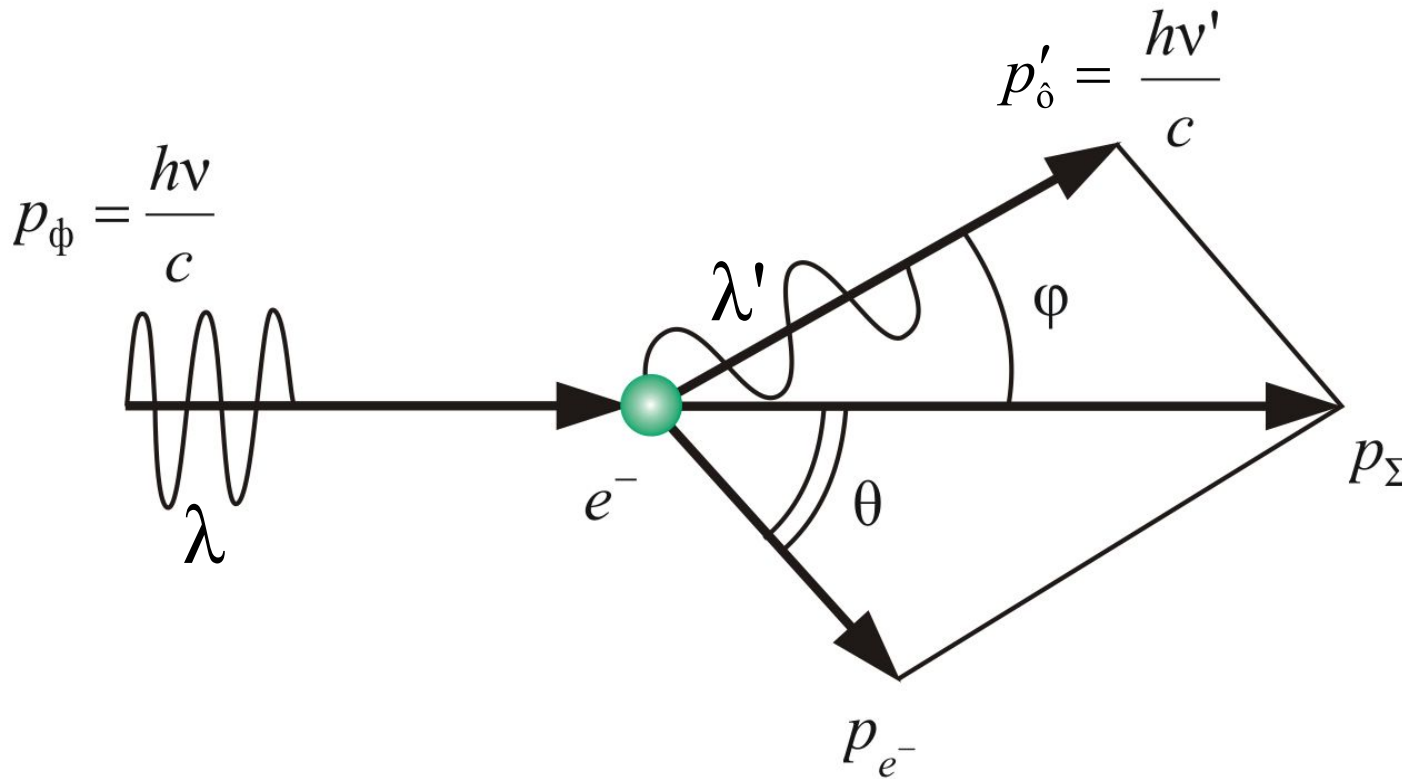






$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin \frac{\phi}{2},$$

Объяснение явления возможно, если рассматривать *рассеяние как процесс упругого столкновения фотона со слабо связанными электронами атома:*



При рассеянии на покоящемся электроне фотон отдает ему часть энергии.

$p_\phi$  — импульс фотона до столкновения;

$p_{e^-}$  — импульс электрона;

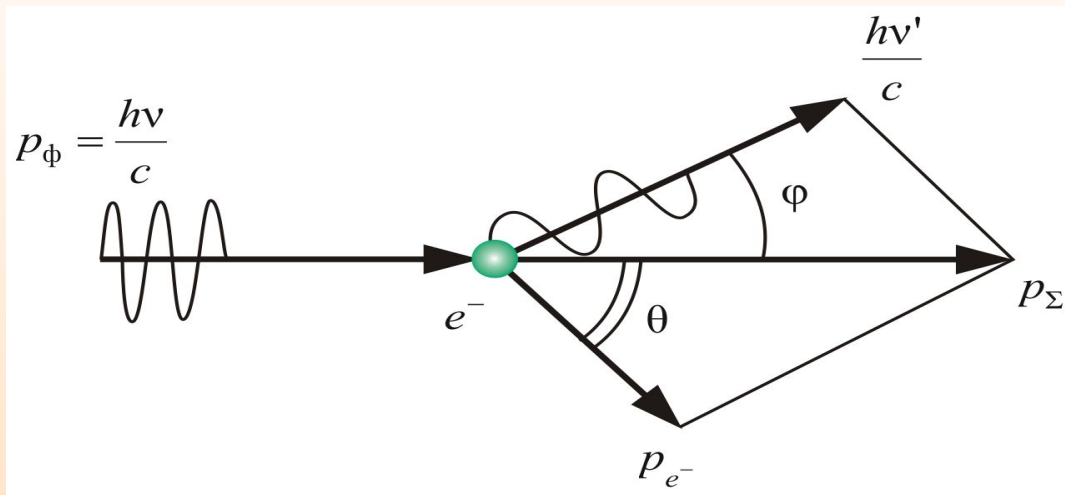
$p_\Sigma$  — суммарный импульс фотона и электрона после столкновения;

$\theta$  — угол рассеяния.

Опыты показали, что **разность**  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda''$  **не зависит от длины волны  $\lambda$  падающего излучения и природы рассеивающего вещества, а определяется только углом рассеяния  $\varphi$**

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin \frac{\varphi}{2},$$

$\lambda'$  — длина волны рассеянного излучения,  
 $\lambda_e$  — КОМПТОНОВСКАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ  
(при рассеянии фотона на электроне  $\lambda_e = 2,426$  пм).



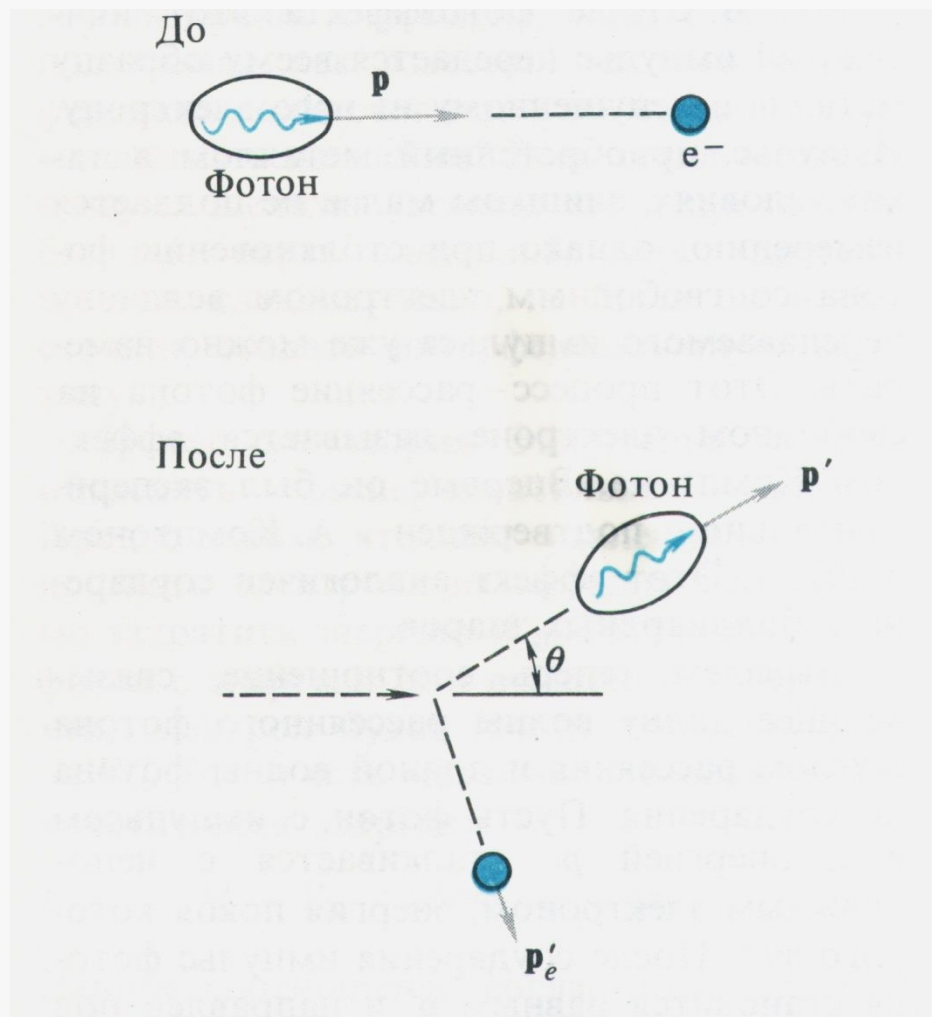
Опытным путем Комптон установил, что  $\Delta\lambda$ -разность длин волн рассеянного и падающего излучения не зависит от материала рассеивателя, а определяется только величиной угла рассеяния  $\theta$ :

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

– формула Комптона.

Значение постоянной  $\lambda_c = 2,426 \cdot 10^{-12}$  м Комптон определил экспериментально.

Выведем соотношение, связывающее длину волны рассеянного фотона с углом рассеяния и длиной волны фотона до соударения.



**Рис. 6. Эффект Комптона.  
Соударение фотона со  
свободным электроном.**

Пусть фотон с импульсом  $\mathbf{p}$  и энергией  $pc$  сталкивается с неподвижным электроном.

Энергия покоя электрона  $mc^2$ .

После соударения импульс фотона  $\mathbf{p}'$  и направлен под углом  $\theta$ .

Импульс электрона отдачи  $\mathbf{p}'_e$ , а полная релятивистская энергия  $E'_e$ .

Запишем законы сохранения энергии и импульса до и после столкновения:

Закон сохранения энергии:

$$pc + mc^2 = p'c + E'_e$$

$$(p - p' + mc)^2 = (E'_e / c)^2$$

Закон сохранения импульса

$$\mathbf{p} - \mathbf{p}' = \mathbf{p}'_e$$

Откуда находим

$$p' = \frac{p}{1 + \frac{p}{mc}(1 - \cos \theta)}$$

Воспользовавшись тем, что  $p = h/\lambda$ , получаем

$$\frac{1}{\lambda'} = \frac{1}{\lambda + \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)}$$

или

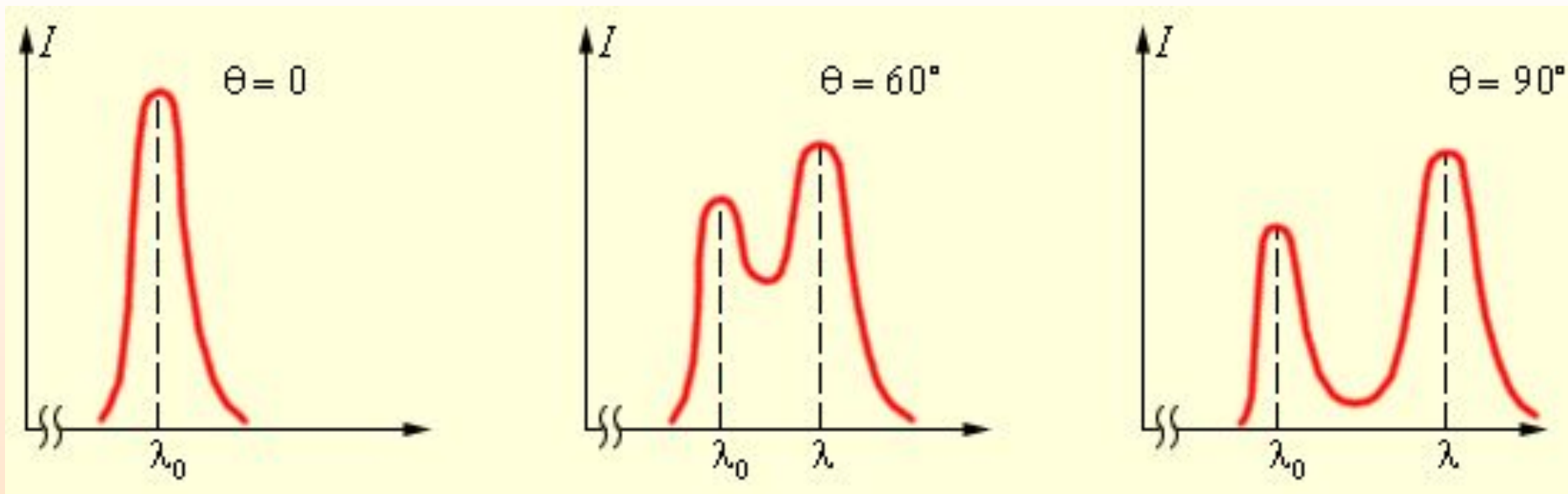
$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)$$

Здесь  $\lambda_0 = \frac{h}{mc} = 0,024 \text{ \AA}$  – постоянная Комптона.

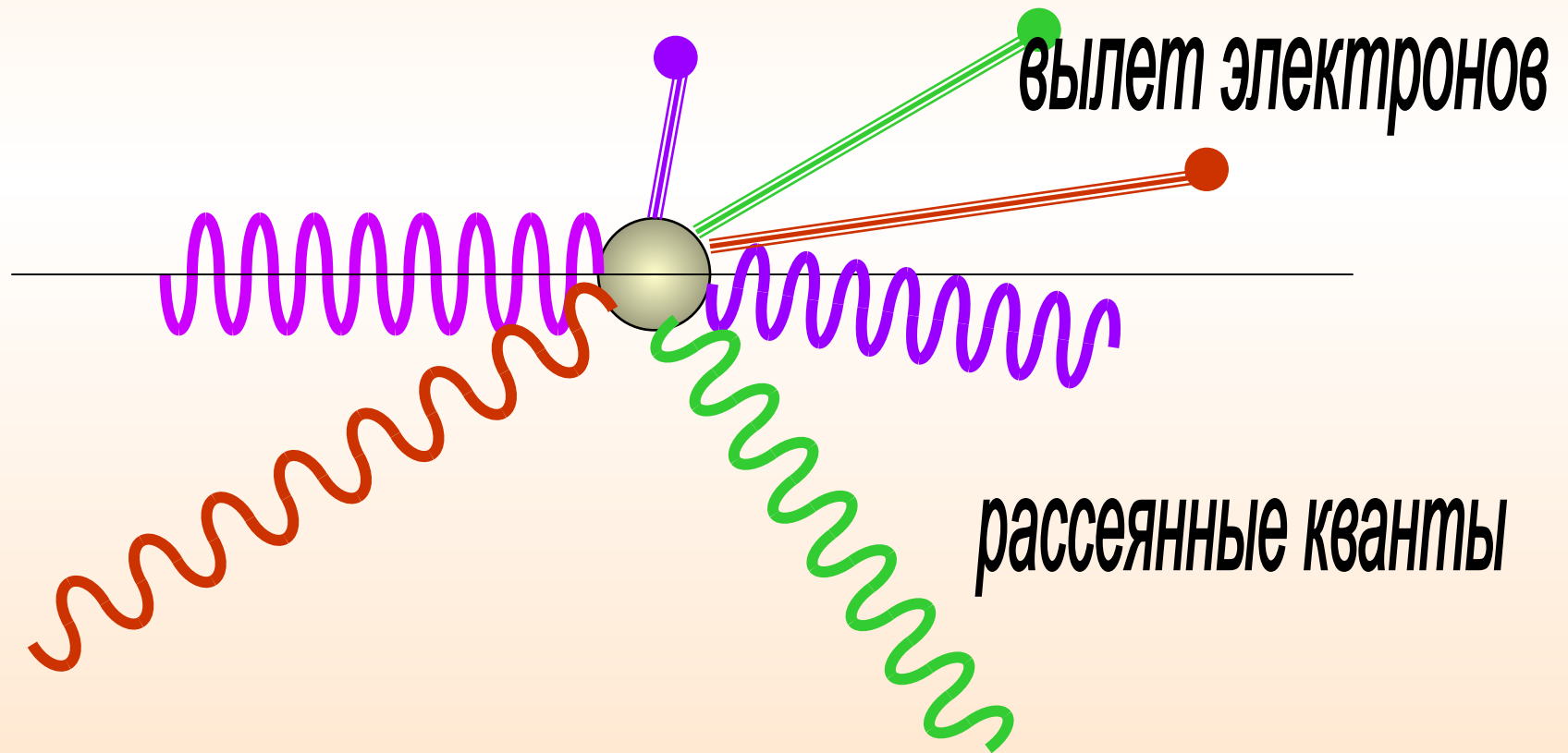
В диапазоне энергий квантов 0,1–10 МэВ комптон-эффект является основным физическим механизмом энергетических потерь  $\gamma$ -излучения при его распространении в веществе.

# Моделирование эффекта Комптона

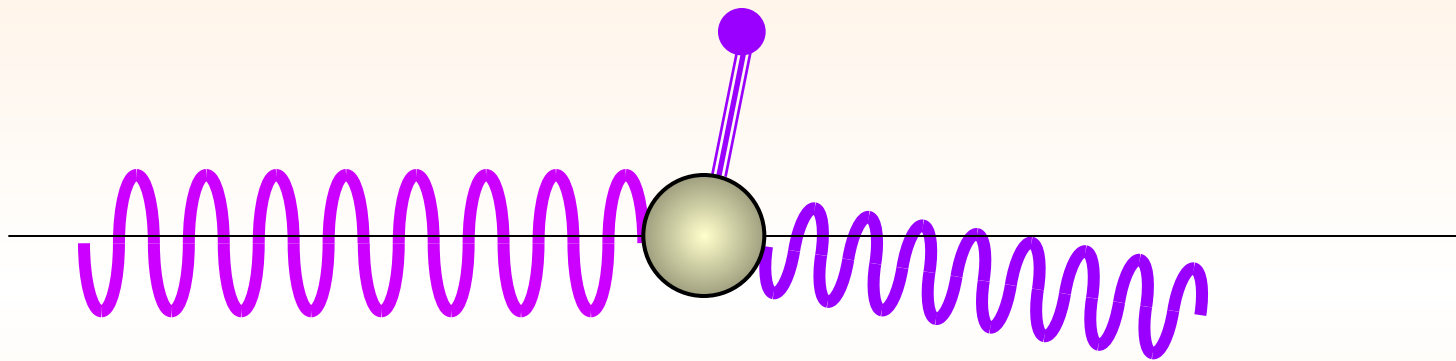
**Разность  $\Delta\lambda$  не зависит от длины волны  $\lambda$  падающего излучения и природы рассеивающего вещества, а определяется только углом рассеяния  $\varphi$**



# моделирование эффекта Комптона

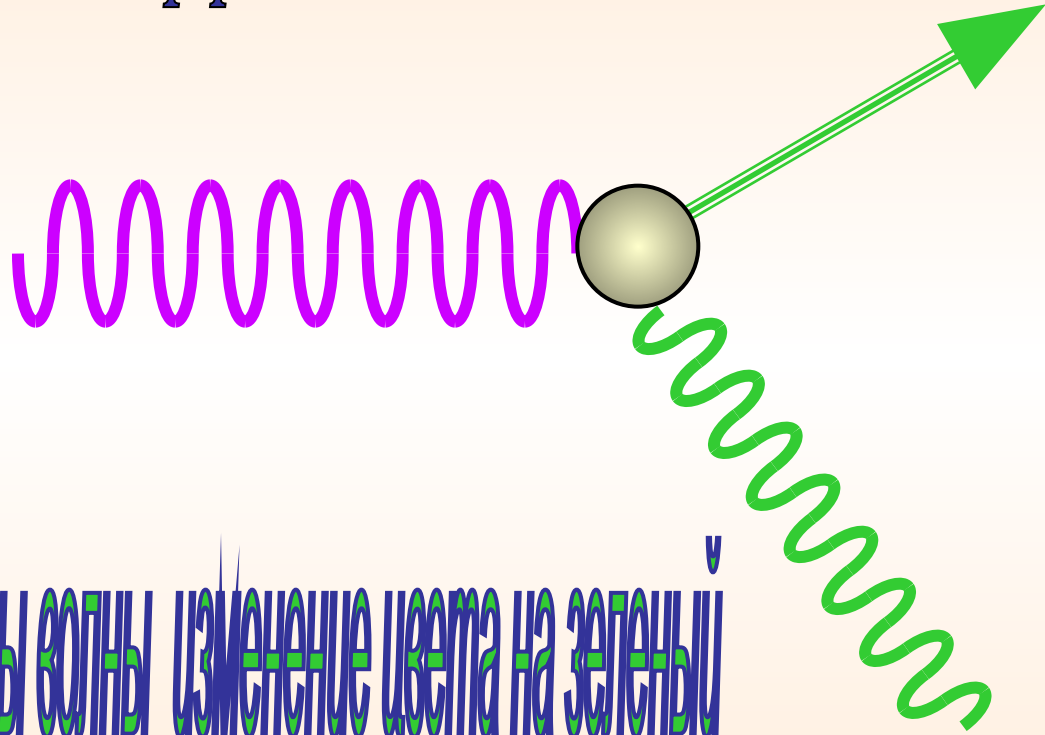


# моделирование эффекта Комптона



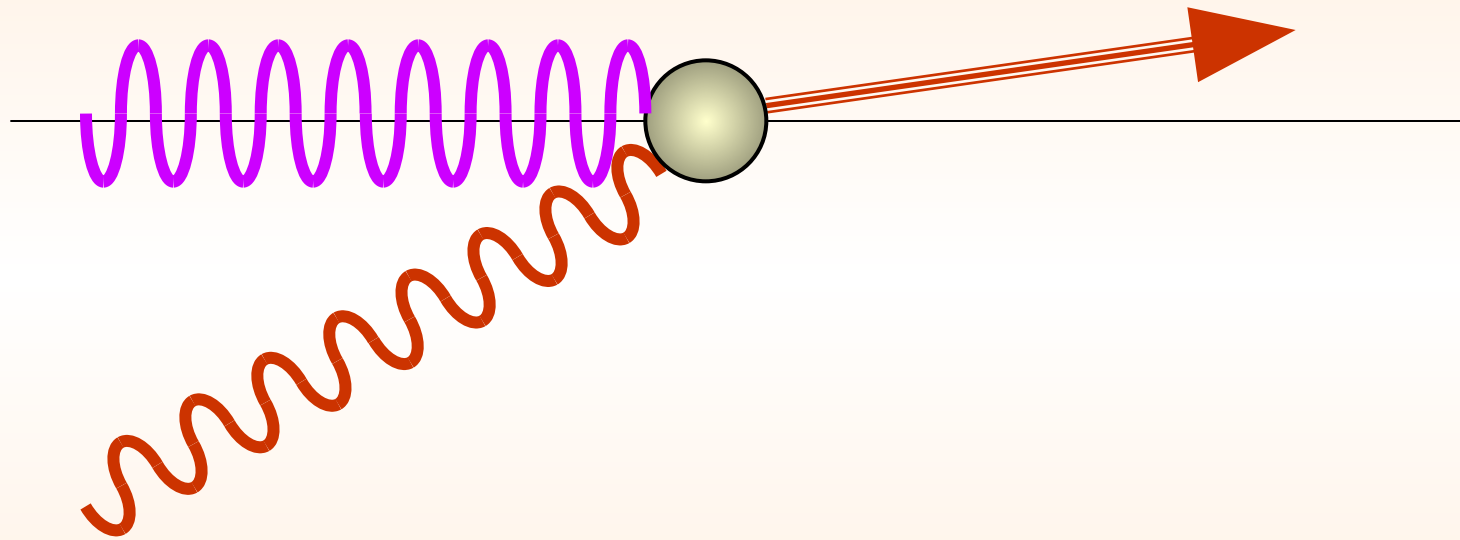
короткая длина волны синий цвет  $\nu$

# моделирование эффекта Комптона



увеличение длины волны изменение цвета на зеленый

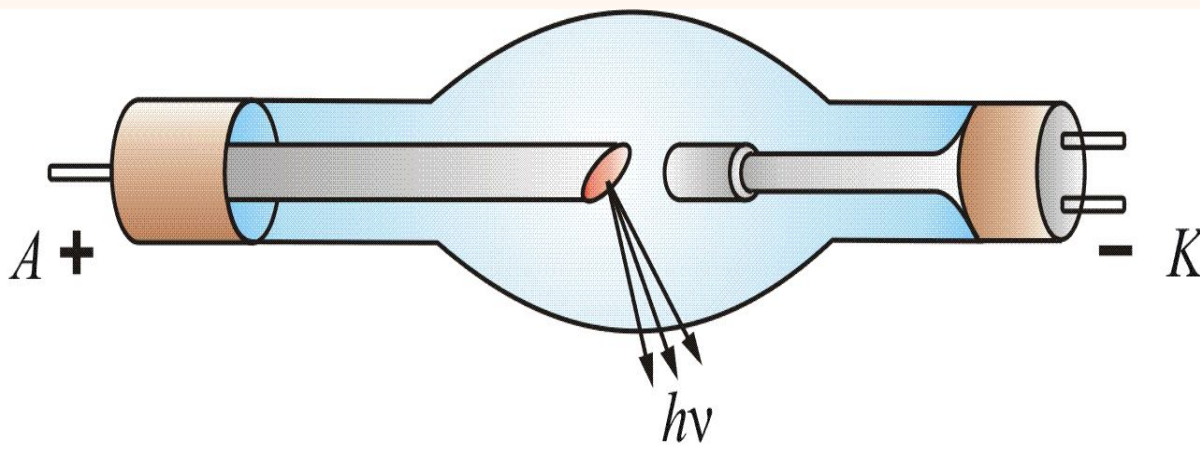
# моделирование эффекта Комптона



еще большее увеличение длины волны  
изменение цвета на красный

## 2.5. Тормозное рентгеновское излучение

Квантовая природа излучения подтверждается также *существованием коротковолновой границы тормозного рентгеновского спектра.*



За время торможения электрон излучает энергию

$$W = U\tau = e^2 a^2 \tau = \frac{e^2 v_0^2}{\tau}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

– начальная скорость электрона.

Заметное излучение наблюдается при резком торможении быстрых электронов, начиная с  $U \sim 50$  кВ, при этом  $\nu_0 \approx 0,4 c$  ( $c$  – скорость света).

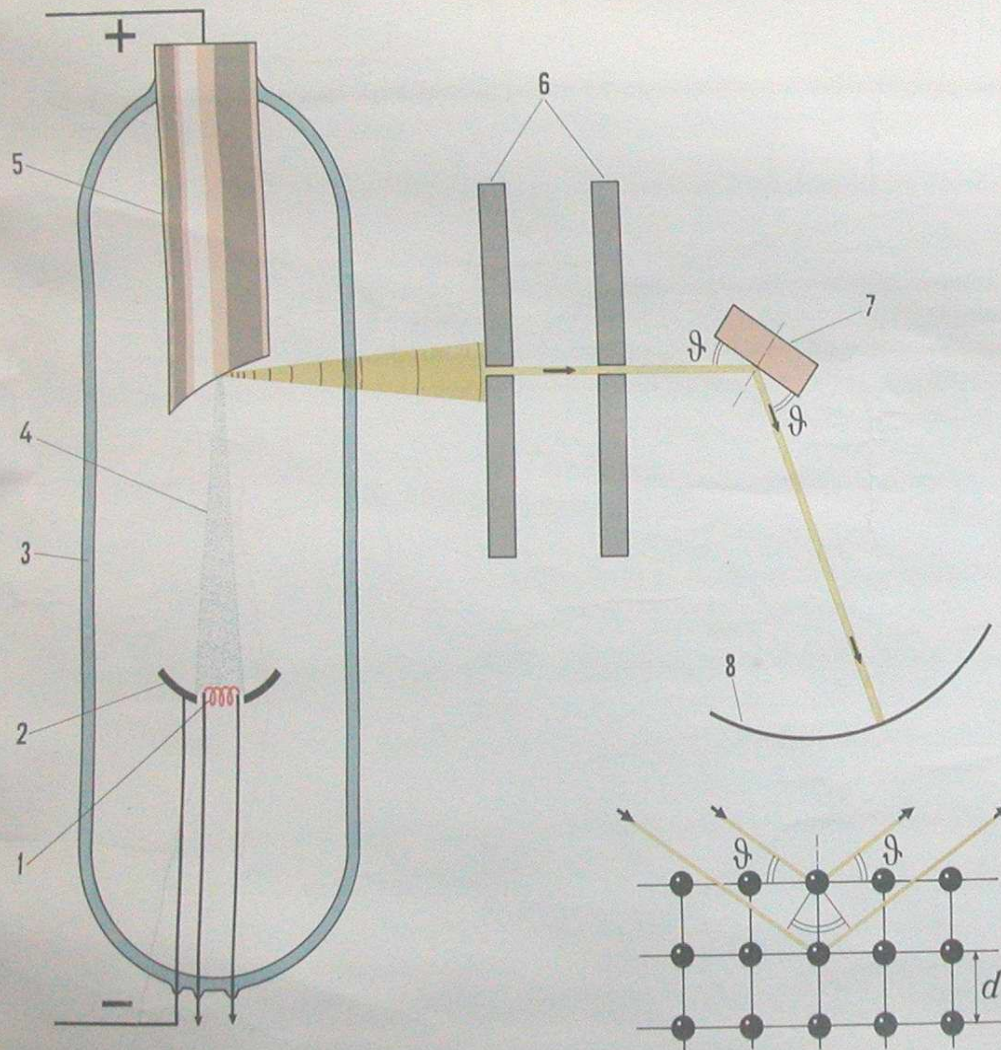
В индукционных ускорителях электронов – *бетатронах*, электроны приобретают энергию до 50 МэВ,  $v = 0,99995 c$ .

Направив такие электроны на твердую мишень, получим *рентгеновское излучение с малой длиной волны*.

Это излучение обладает большой проникающей способностью.

# РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

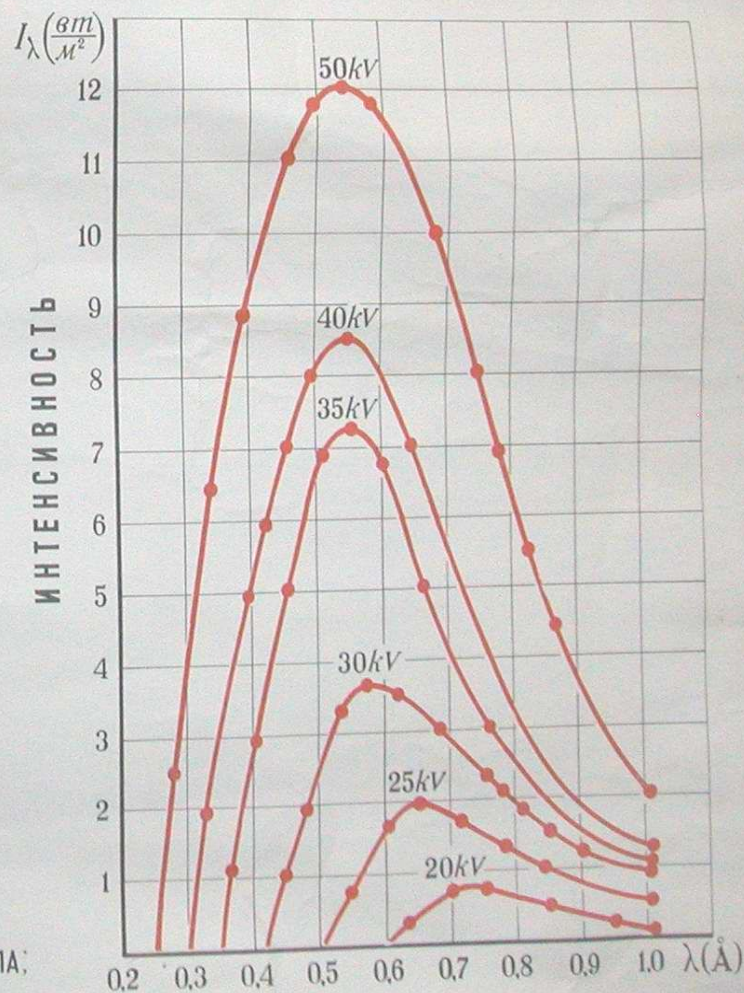
## СПЛОШНОЙ (ТОРМОЗНОЙ) СПЕКТР



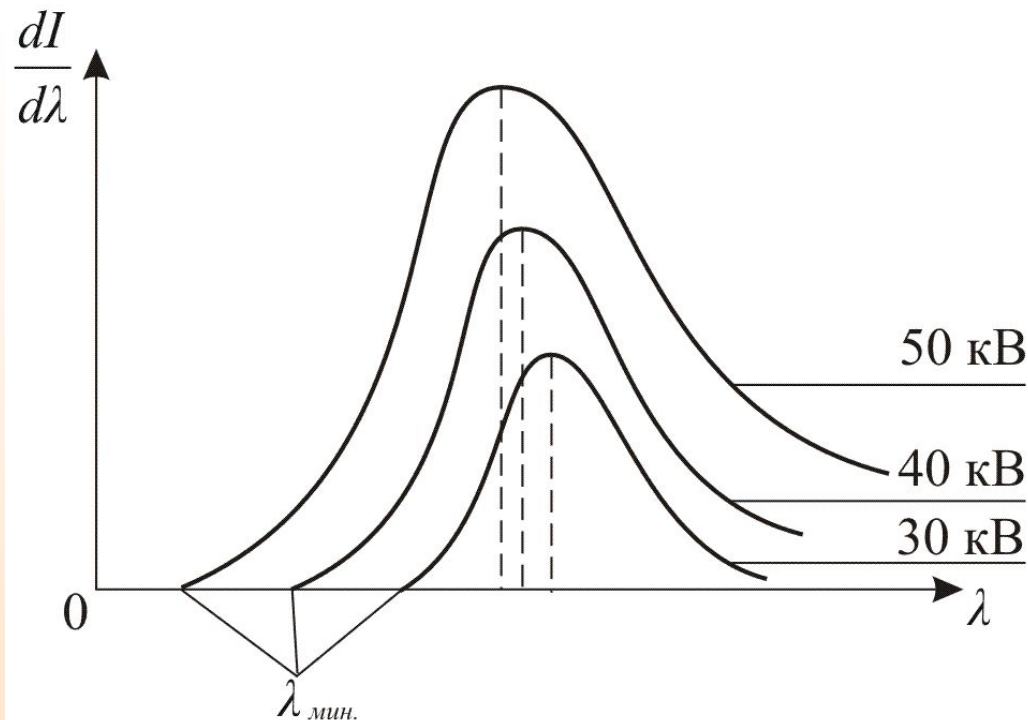
$$n\lambda = 2d \sin \vartheta$$

$\lambda$  — длина волны;  $d$  — постоянная решетки кристалла;  
 $\vartheta$  — угол скольжения;  $n$  — порядок отражения;

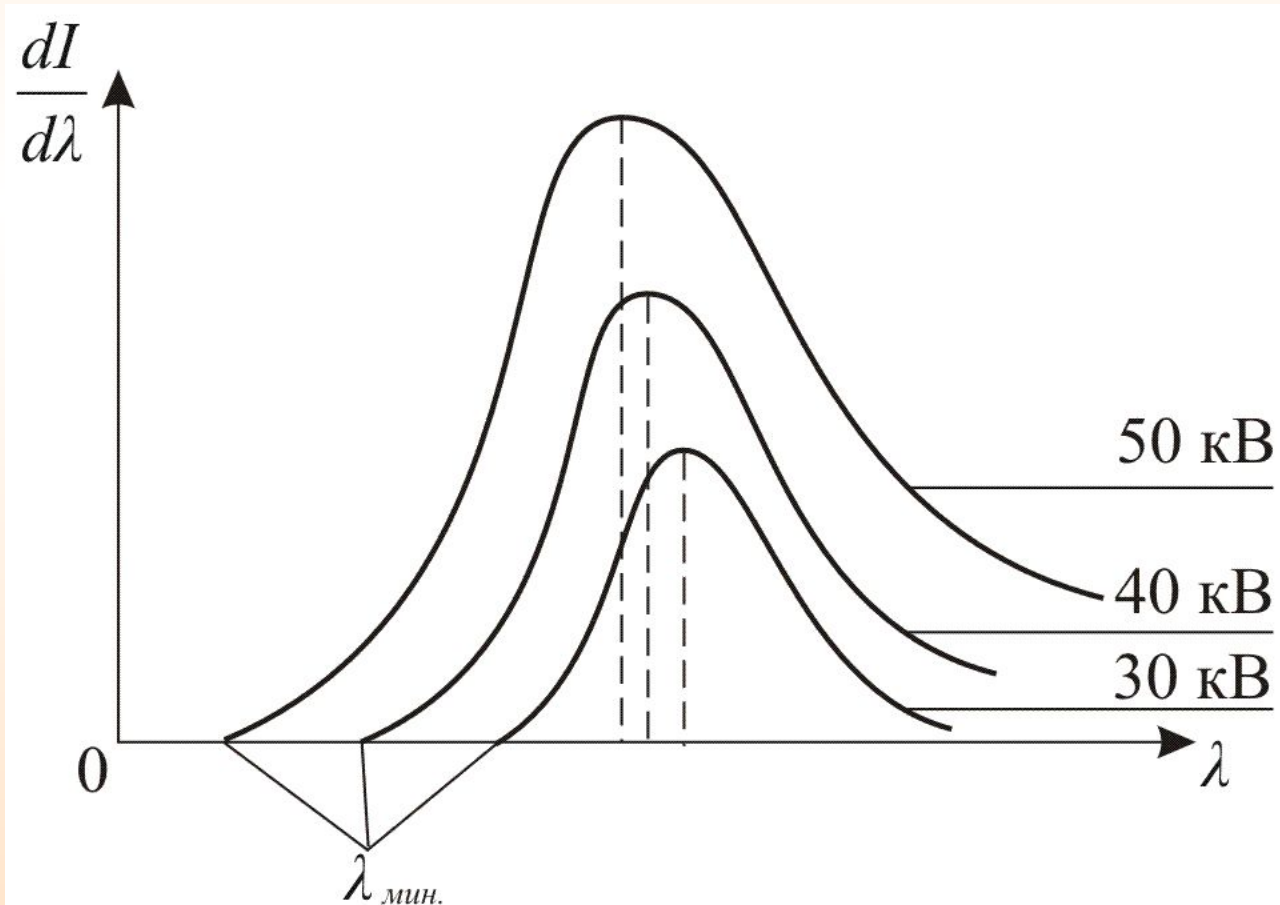
ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  $I_\lambda$   
 ДЛЯ ВОЛЬФРАМОВОГО АНОДА ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ  $\lambda$   
 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ



Согласно *классической электродинамике*, при торможении электрона, должны возникать излучения *всех длин волн* от нуля до бесконечности. *Длина волны, на которую приходится максимум мощности излучения, должна уменьшиться по мере увеличения скорости электронов*. что подтверждается на опыте



Однако, есть принципиальное **отличие от классической теории**: нулевые распределения мощности не идут к началу координат, а **обрываются при конечных значениях  $\lambda_{\min}$** . ЭТО **коротковолновая граница рентгеновского спектра**.



Экспериментально установлено, что

$$\lambda_{\text{кр}} \text{ (Å)} = \frac{12390}{U(\text{В})} = \frac{\text{const}}{U}$$

Существование коротковолновой границы непосредственно вытекает из квантовой природы излучения. Действительно *если излучение возникает за счёт энергии, теряемой электроном при торможении, то энергия кванта  $h\nu$  не может превысить энергию электрона  $eU$*  т.е.  $h\nu \leq eU$

$$\nu = \frac{eU}{h}$$

ИЛИ

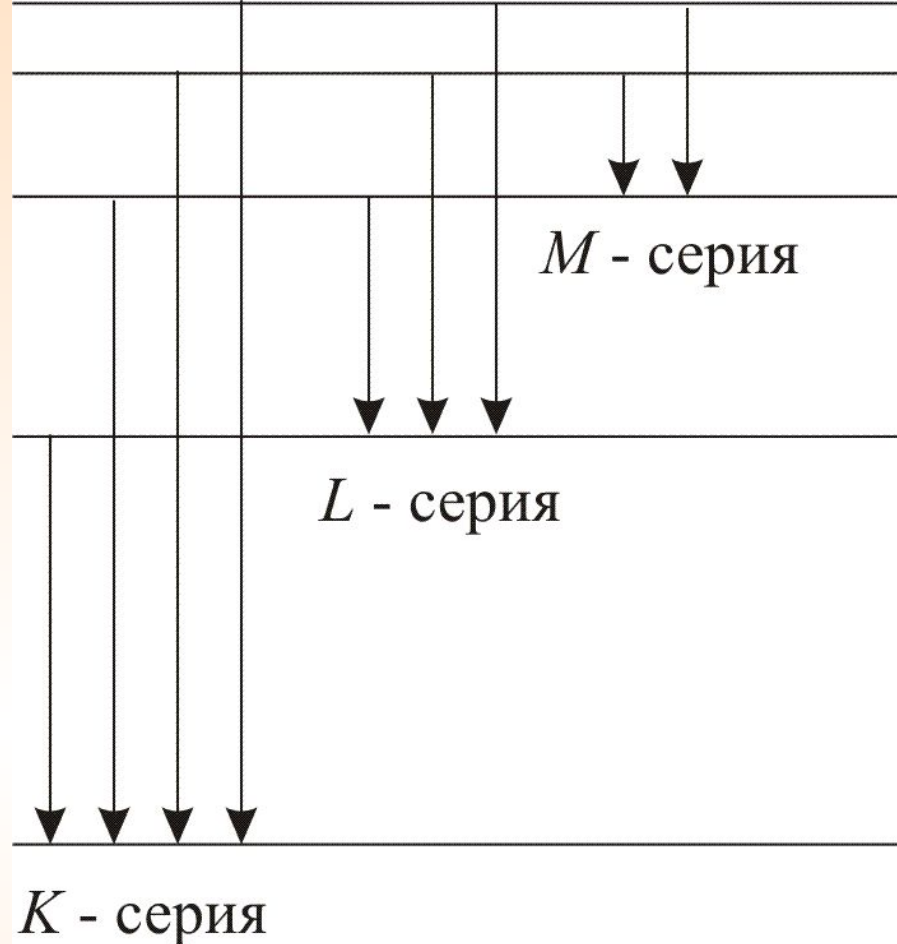
$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{c}{\nu_{\text{кр}}} = \frac{ch}{eU}$$

## 2.6. Характеристическое рентгеновское излучение

Состояние атома с вакансией во внутренней оболочке неустойчиво. Электрон одной из внешних оболочек может заполнить эту вакансию, и атом при этом испускает избыток энергии в виде *фотона характеристического излучения*

$$\nu = \frac{W_1 - W_2}{h}$$

Все переходы на  $k$  – оболочку образуют  $K$  – серию, соответственно, на  $L$  и  $M$  – оболочки –  $L$  и  $M$  – серии



Английский физик **Генри Мозли** в 1913 году установил закон, названный его именем, связывающий частоты линий рентгеновского спектра с атомным номером  $Z$  испускающего их элемента

$$\omega_x = R''(Z - 1)^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ где } n = 3, 4, 5, \dots$$

$$\omega_x = R''(Z - 7,5)^2 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

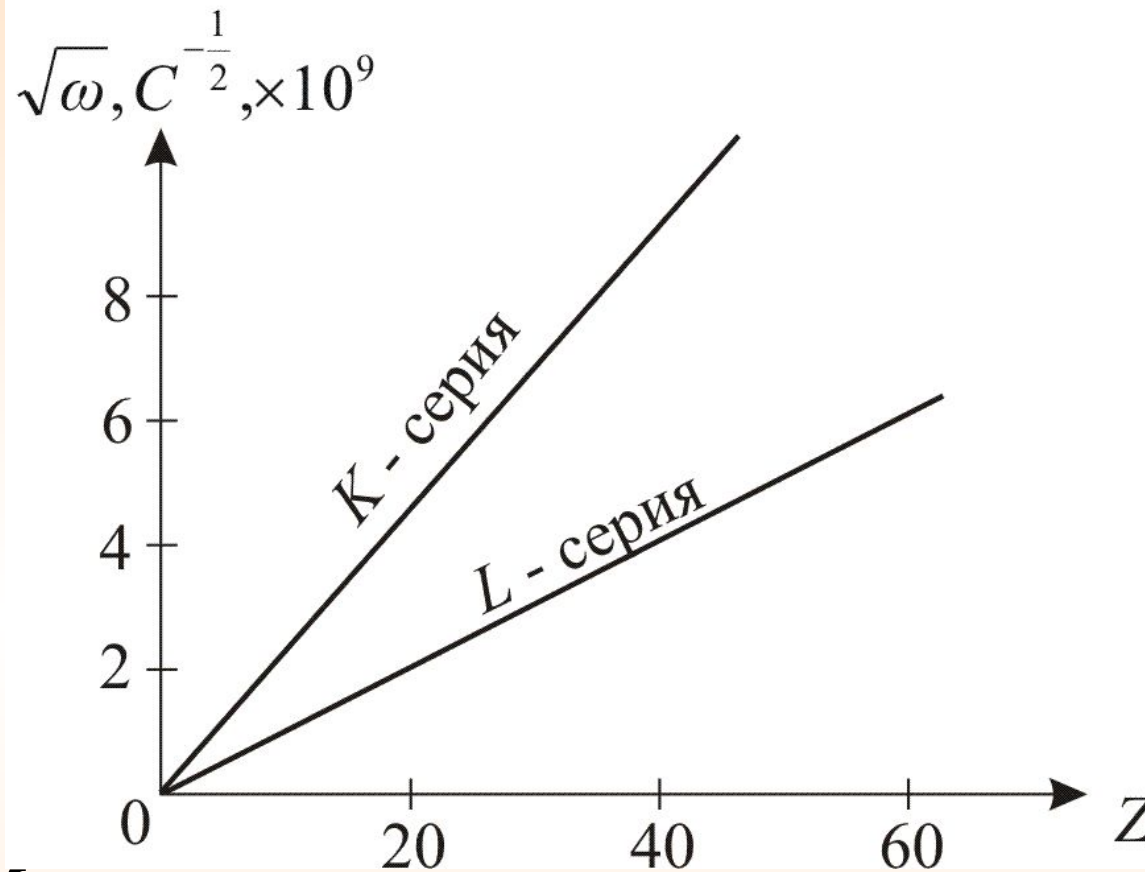
## Закон Мозли:

$$\omega = R''(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{K^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$R'' = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-2}$  – постоянная Ридберга

$\sigma$  – постоянная учитывающая экранирующую роль электронов

Графическая часть закона показана на рисунке



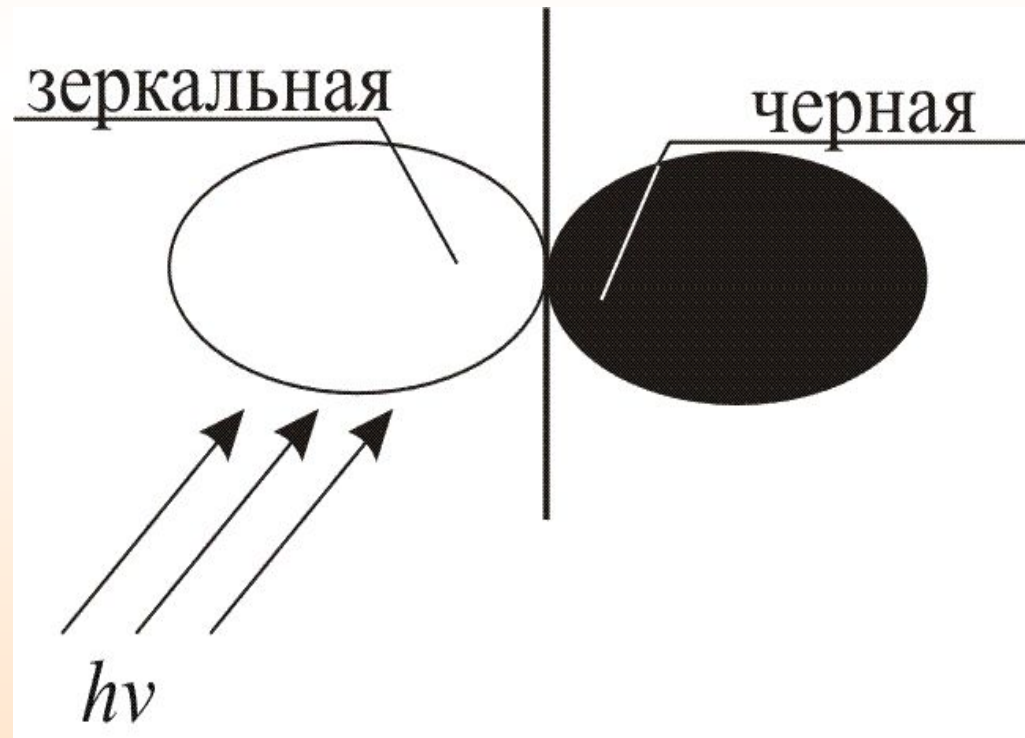
Закон Мозли позволил по измерению длин волн  $\lambda$  рентгеновских лучей **точно установить атомный номер элемента.**

Он сыграл большую роль при размещении элементов в таблице Менделеева.

## 2.7. Давление света

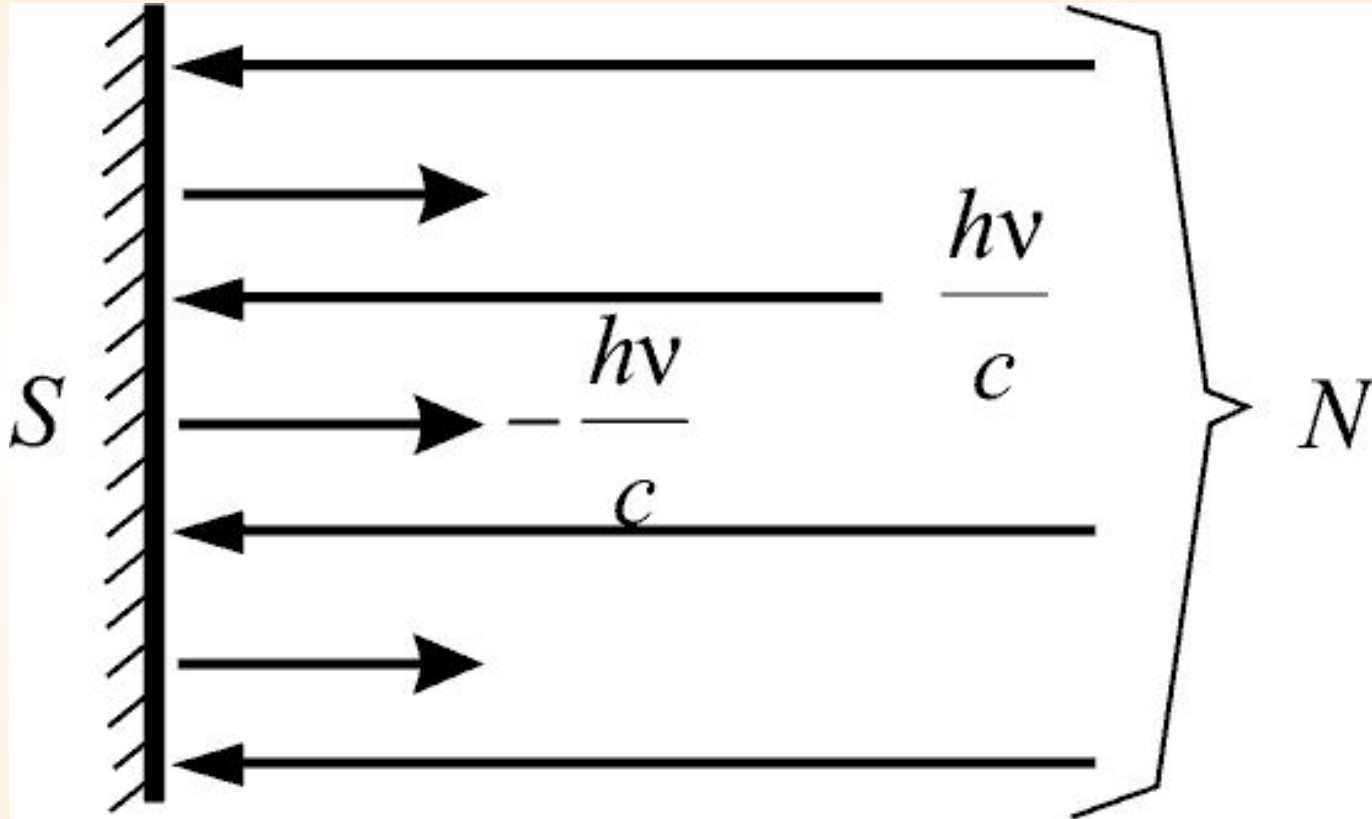
Исследовано *Лебедевым П.Н. в 1901 году.*

В своих опытах он установил, что *давление света зависит от интенсивности света и от отражающей способности тела.*



Вычислим величину светового давления.

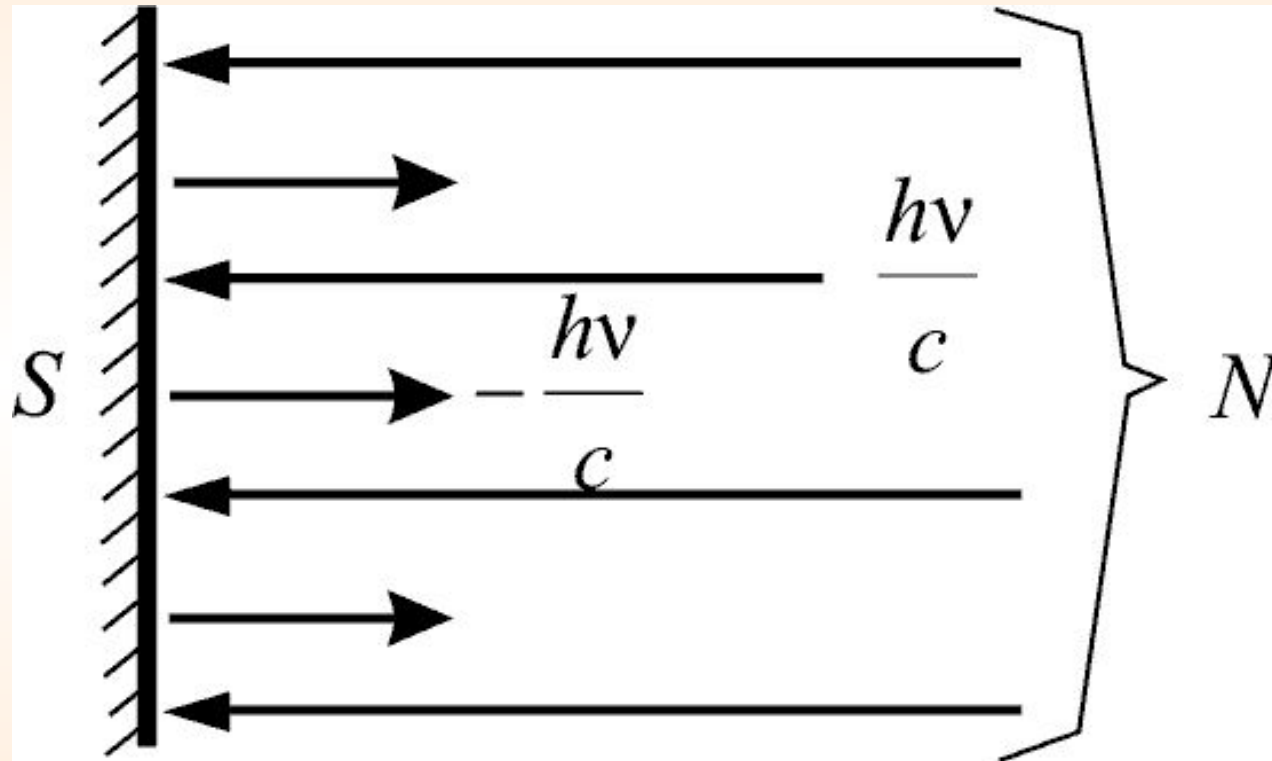
На тело площадью  $S$  падает световой поток с энергией  $E = N h \nu$ , где  $N$  – число квантов.



$KN$  – квантов отразится от поверхности;  
 $(1 - K)N$  – поглотится,  
 $K$  – коэффициент отражения.

Каждый **поглощенный фотон** передаст телу импульс

$$p_i = \frac{h\nu}{c}$$



Каждый **отраженный фотон** передаст телу импульс:

$$p_{\text{отр}} = \frac{2h\nu}{c}$$

(доказать самостоятельно)

В единицу времени все  $N$  квантов сообщают телу импульс  $p$ :  $p_{\text{общ}} = (1 - K)N \frac{h\nu}{c} + \frac{2h\nu}{c} NK$

Давление  $P = F / S$   $J$  – интенсивность излучения

$$P = \frac{h\nu N}{cS} (1 + K) = J \frac{(1 + K)}{c},$$

$$P = J \frac{(1 + K)}{c}$$

**Световое  
давление**

• если тело **зеркально отражает**, то  $K = 1$  и  $P = \frac{2J}{c}$ ,

• если **полностью поглощает**  
(абсолютно черное тело)  $K = 0$   $P = \frac{J}{c}$

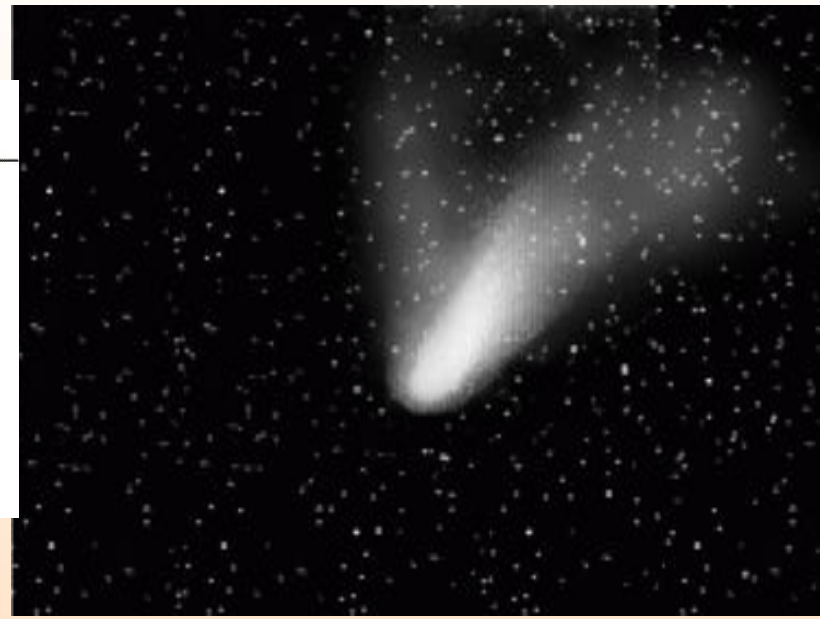
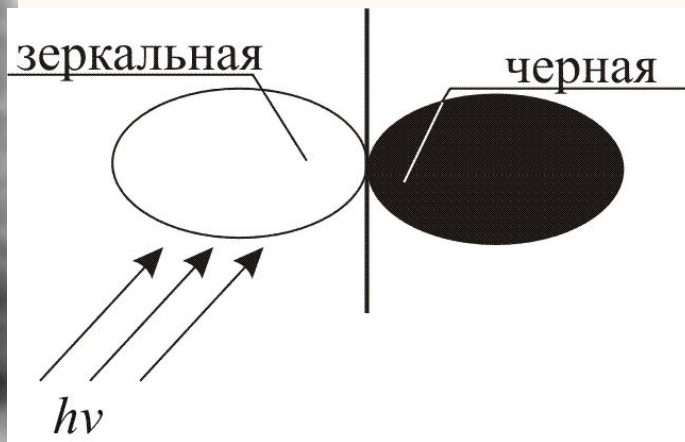
**т.о. световое давление на абсолютно черное тело в два раза меньше, чем на зеркальное.**

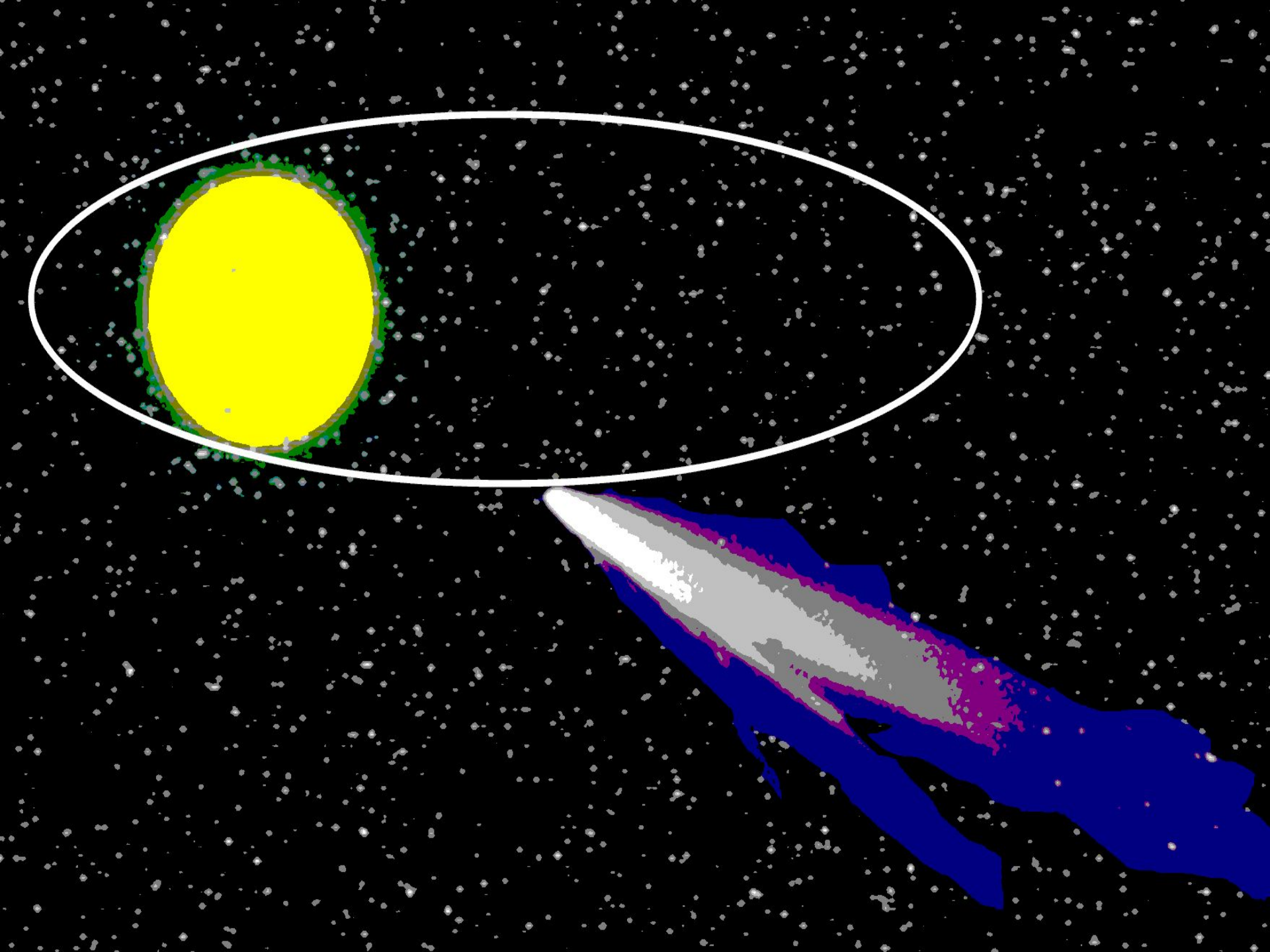
Из корпускулярной теории электромагнитного излучения следует, что

*световое излучение оказывает давление на материальные предметы, причем величина давления пропорциональна интенсивности излучения:*

$$P = J \frac{(1 + K)}{c}$$

*Эксперименты прекрасно подтверждают этот вывод:*





## 2.8. Двойственная природа света

*Основной постулат корпускулярной теории электромагнитного излучения, звучит так:*

*Электромагнитное излучение (и в частности, свет) — это поток частиц, называемых фотонами.*

*Фотоны* распространяются в вакууме со скоростью  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

*Масса и энергия покоя* фотона равны *нулю*.  
*Энергия фотона  $E$  связана с частотой электромагнитного излучения  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$  формулой:*

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

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

Эта формула **связывает** *корпускулярную* характеристику электромагнитного излучения — *энергию фотона* с *волновыми* характеристиками — *частотой и длиной волны*.

Она представляет собой **МОСТИК** между корпускулярной и волновой теориями. Существование этого мостика неизбежно, т. к. и фотон, и электромагнитная волна, это *две модели одного и того же реально существующего объекта — электромагнитного излучения*.

Всякая движущаяся частица (*корпускула*) обладает импульсом, причём согласно теории относительности энергия частицы  $E$  и ее импульс  $p$  связаны формулой:

$$E = \sqrt{E_0^2 + (cp)^2}$$

$$E = cp$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

*Свет — диалектическое единство противоположных свойств: он одновременно обладает свойствами непрерывных электромагнитных волн и дискретных фотонов.*

*При уменьшении длины волны все явственнее проявляются **корпускулярные свойства**.*

Волновые свойства коротковолнового излучения проявляются слабо (например, рентгеновское излучение).

*Наоборот, у длинноволнового (инфракрасного) излучения квантовые свойства проявляются слабо.*

Взаимодействие фотонов с веществом (например, при прохождении света через дифракционную решетку) приводит к *перераспределению* фотонов в пространстве и возникновению дифракционной картины на экране.

*Очевидно, что освещенность экрана в различных точках экрана прямо пропорциональна вероятности попадания фотонов в различные точки экрана.*

Но с другой стороны, *из волновых представлений видно, что освещенность пропорциональна интенсивности света  $I$ , а та в свою очередь, пропорциональна квадрату амплитуды  $A^2$ .*

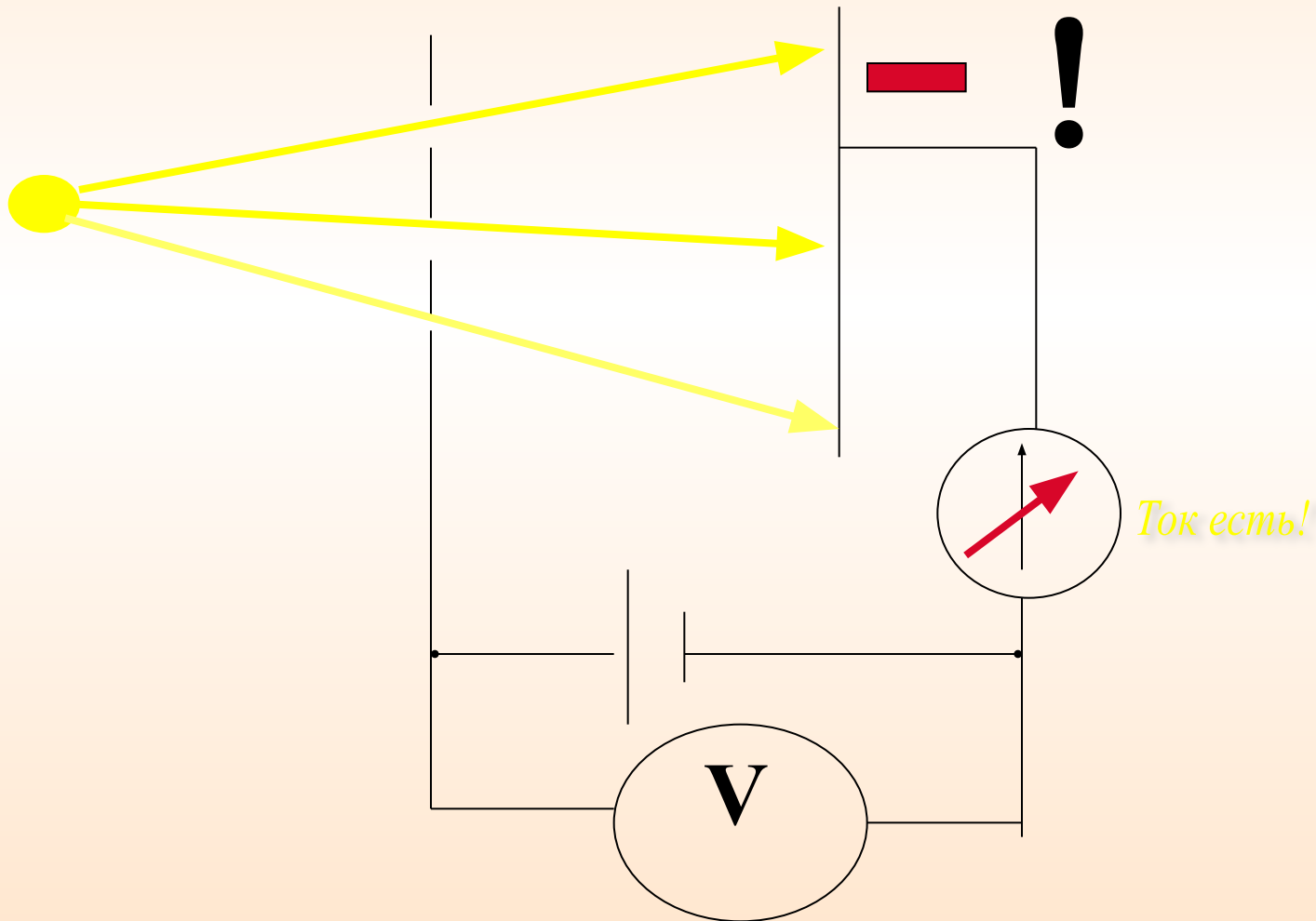
**Вывод:** *Квадрат амплитуды световой волны, в какой либо точке есть мера вероятности попадания фотонов в эту точку.*



*Лекция окончена!!!*

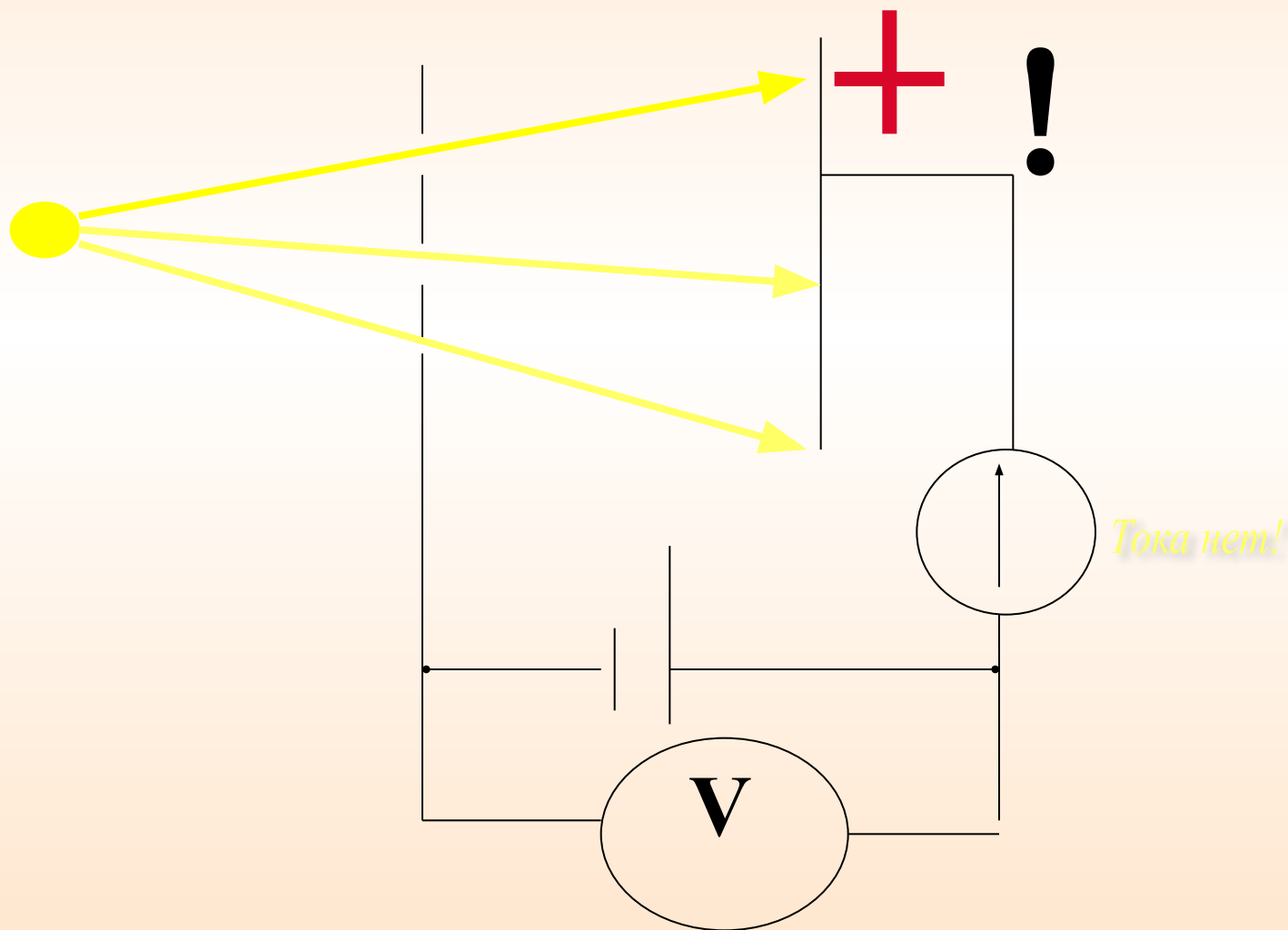
# Схема установки Столетова

## 1-й вариант опыта



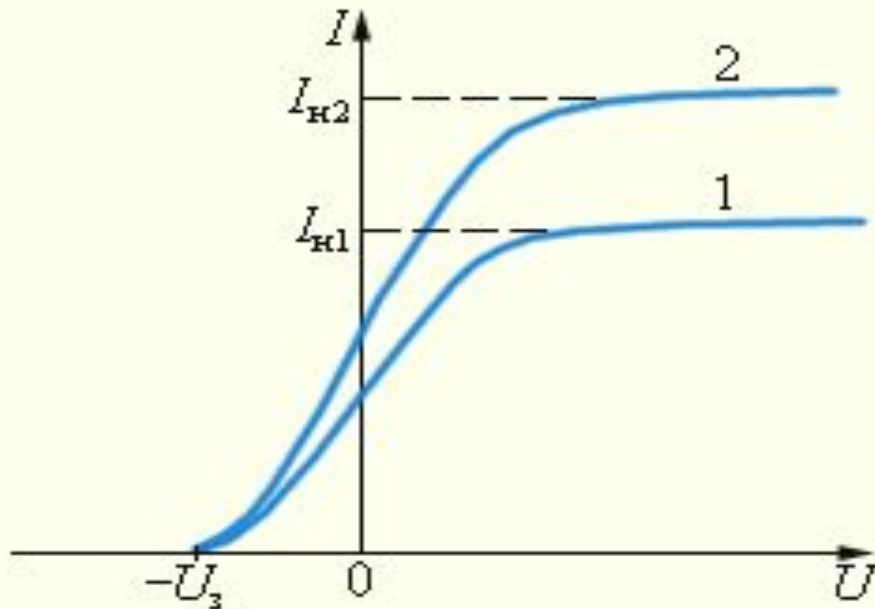
# Схема установки Столетова

## 1-й вариант опыта



# Первый закон фотоэффекта

Сила тока насыщения (фактически, число выбиваемых с поверхности электронов за единицу времени) прямо пропорциональна интенсивности светового излучения, падающего на поверхность тела.  $I_{\text{нас}} \sim$  световому потоку!



Внимание!  
Световой поток,  
падающий на фотокатод,  
увеличивается, а его  
спектральный состав  
остается неизменным:

$$\Phi_2 > \Phi_1$$

# Второй закон фотоэффекта

Если частоту света увеличить, то при неизменном световом потоке запирающее напряжение увеличивается, а, следовательно, увеличивается и кинетическая энергия фотоэлектронов.

**Максимальная скорость фотоэлектронов зависит только от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.**

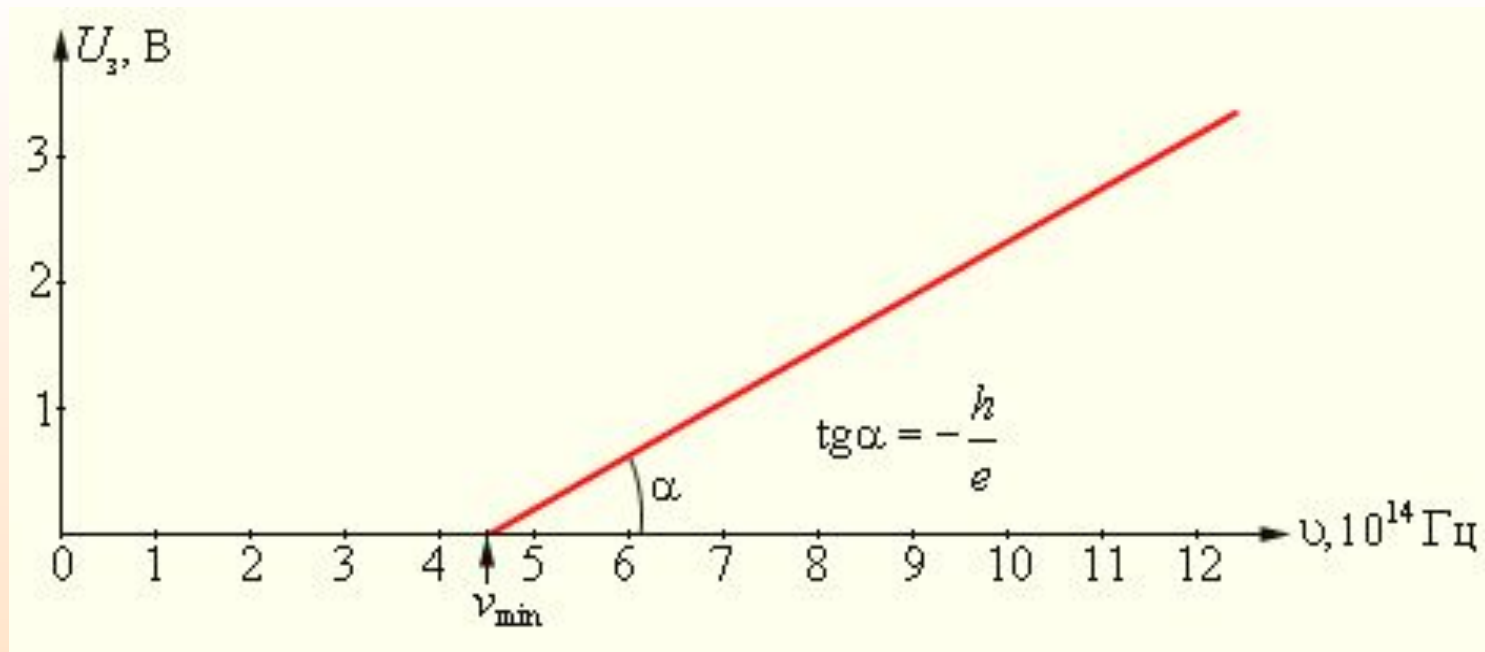
Важно!

По модулю запирающего напряжения можно судить о скорости фотоэлектронов и об их кинетической энергии!

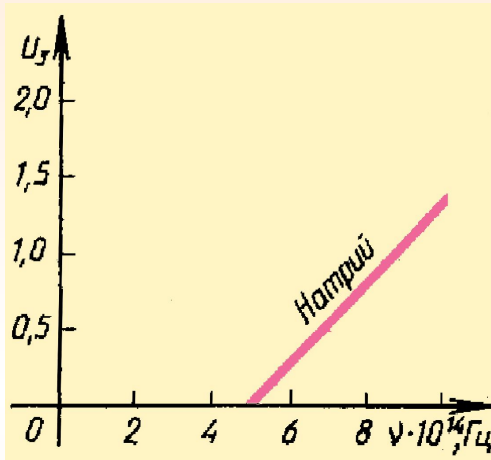
$$eU = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v_m = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$$

# Третий закон фотоэффекта

Для каждого вещества существует минимальная частота (так называемая красная граница фотоэффекта), ниже которой фотоэффект невозможен.



# Красная граница фотоэффекта



При  $\nu < \nu_{\min}$  ни при какой интенсивности волны падающего на фотокатод света фотоэффект не произойдет!

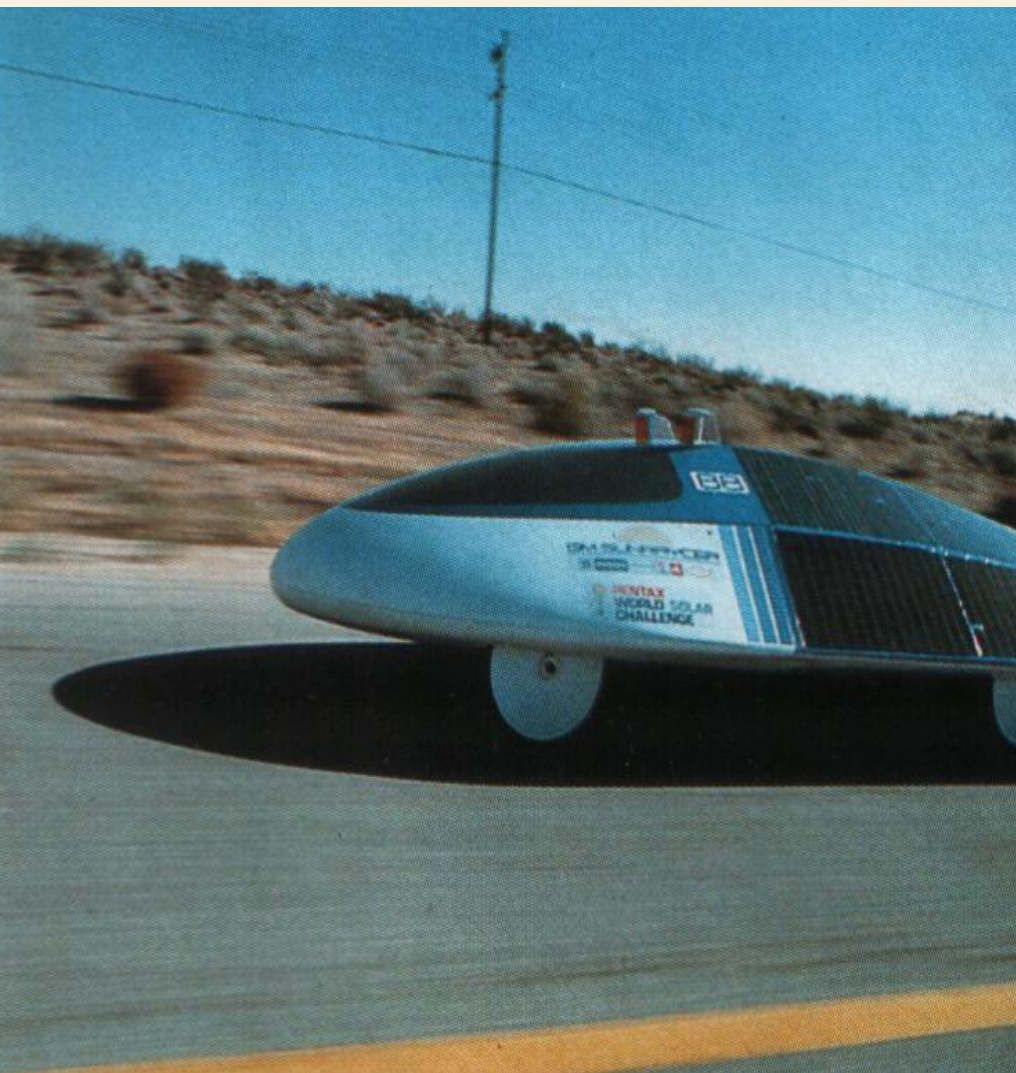
$$\nu_{\min} = \frac{A}{h}$$

*Для каждого вещества своя!!!*

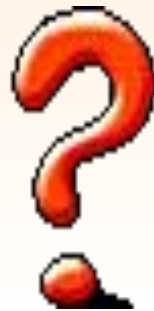
Такие батареи уже в течение многих лет работают на космических спутниках и кораблях. Их КПД приблизительно 10% и, как показывают теоретические расчеты, может быть доведён до 22%, что открывает широкие перспективы их использования в качестве источников для бытовых и производственных нужд.



# Солнцемобиль, солнечная станция



*Контрольный блок*



Проверочные тесты

№1: Какому из нижеприведенных выражений  
соответствует единица измерения постоянной  
Планка в СИ?

а)  $\text{Дж} \cdot \text{с}$

б)  $\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$

в)  $\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}$

г)  $\text{Н} \cdot \text{м}$

д)  $\text{кг}/\text{м}^3$

№2: По какой из нижеприведенных формул, можно рассчитать импульс фотона? (  $E$ - энергия фотона;  $c$ - скорость света)

$$Ec \quad \text{A)}$$

$$Ec^2 \quad \text{B)}$$

$$c/E \quad \text{C)}$$

$$c^2/E \quad \text{D)}$$

$$E/c \quad \text{E)}$$

№3 Как изменится работа выхода, при увеличении длины волны падающего излучения на катод, в четыре раза?

- А) Увеличится в четыре раза.
- В) Уменьшится в четыре раза.
- С) Увеличится в два раза.
- Д) Уменьшится в два раза.
- Е) Не изменится.

№4 Какое из нижеприведенных утверждений  
( для данного электрода) справедливо?

- А) Работа выхода зависит от длины волны падающего излучения.
- В) «Запирающее» напряжение зависит от работы выхода.
- С) Увеличение длины волны падающего излучения приводит к увеличению скорости вылетающих фотоэлектронов.
- Д) Максимальная скорость вылетающих фотоэлектронов, зависит только от работы выхода.
- Е) Увеличение частоты падающего излучения, приводит к увеличению скорости фотоэлектронов.

№5. Пластина изготовлена из материала, «красная граница» для которого попадает в голубую область спектра. При освещении какими лучами данной пластины наблюдается фотоэффект?

- А) Инфракрасными.
- В) Ультрафиолетовыми.
- С) Желтыми.
- Д) Красными.
- Е) Оранжевыми.

№6: Как изменится работа выхода, при увеличении длины волны падающего излучения на катод, в четыре раза?

- А) Увеличится в четыре раза.
- В) Уменьшится в четыре раза.
- С) Увеличится в два раза.
- Д) Уменьшится в два раза.
- Е) Не изменится.

№7 Какое из нижеприведенных утверждений справедливо? Кинетическая энергия вылетающих фотоэлектронов зависит от:

- А) Только от частоты падающего излучения.
- В) Только от температуры металла.
- С) Только от интенсивности излучения.
- Д) От частоты и интенсивности падающего Излучения.
- Е) От температуры металла и интенсивности излучения.