

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

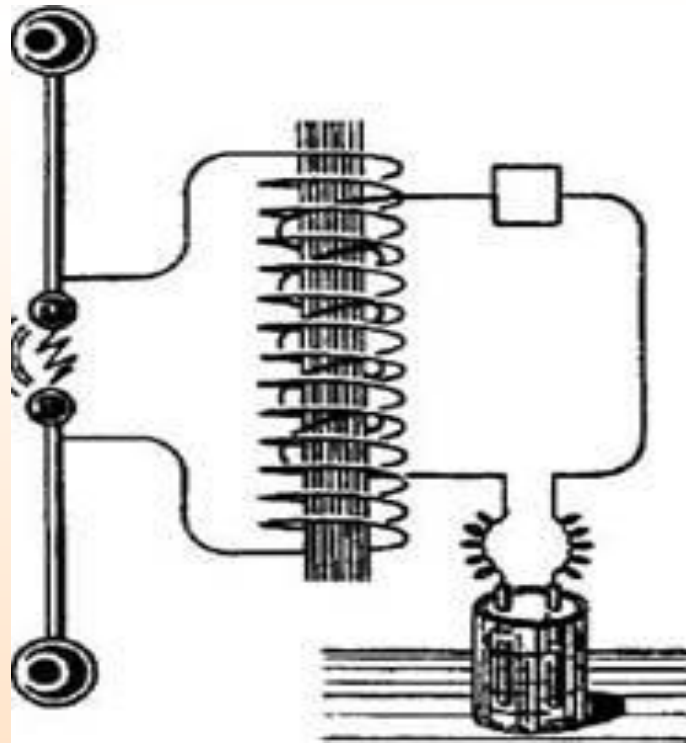
**2.6. Характеристическое рентгеновское
излучение**

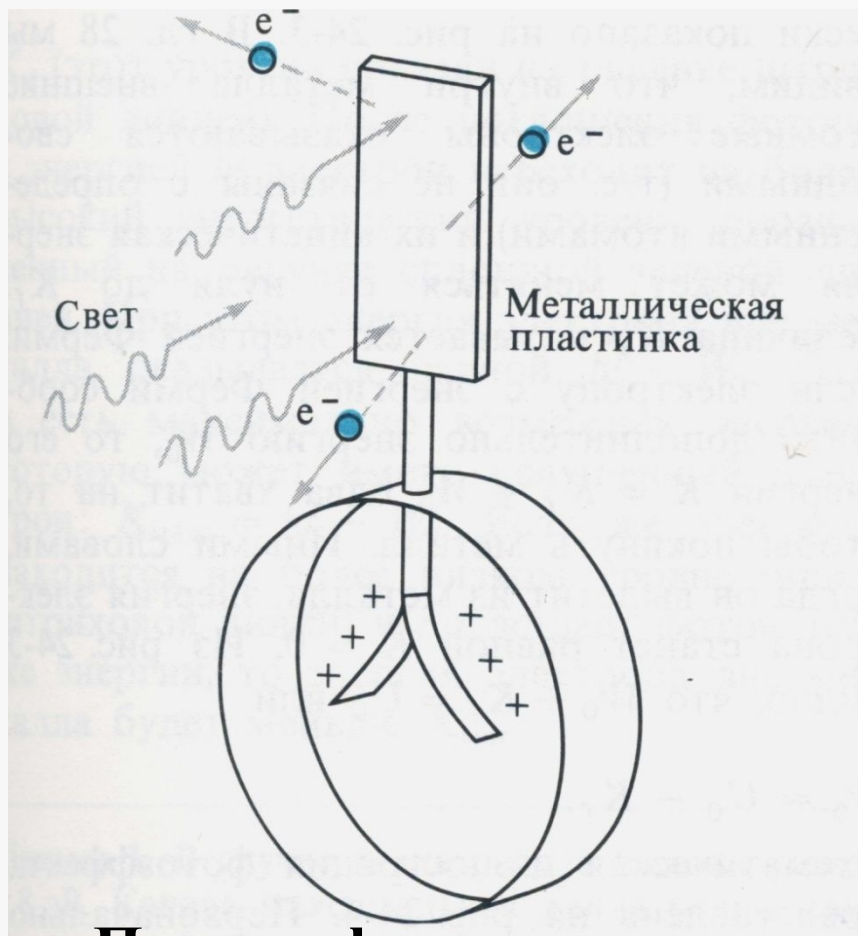
2.7. Давление света

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, вентиляный и многофотонный.*

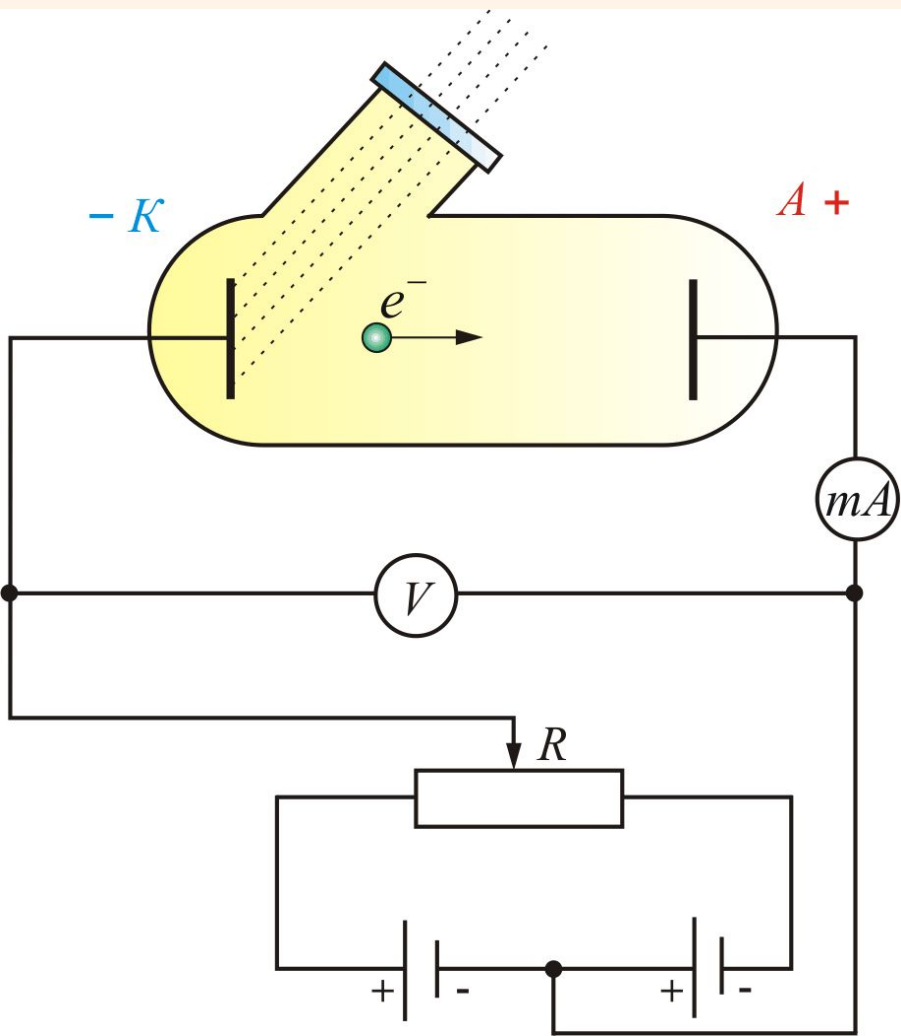
Внешним фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

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

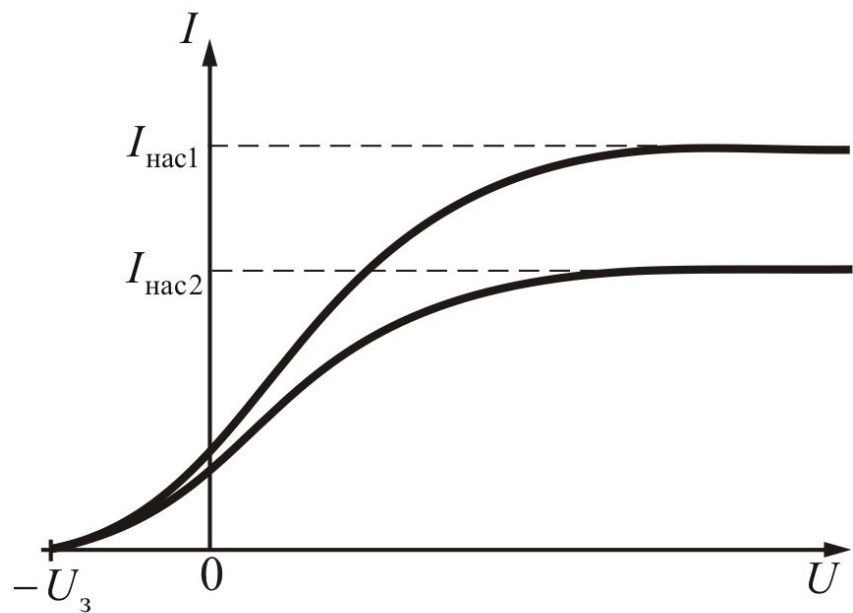
Вентильный фотоэффект, – возникновение эдс (фото-эдс) при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла (при отсутствии внешнего электрического поля).

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.

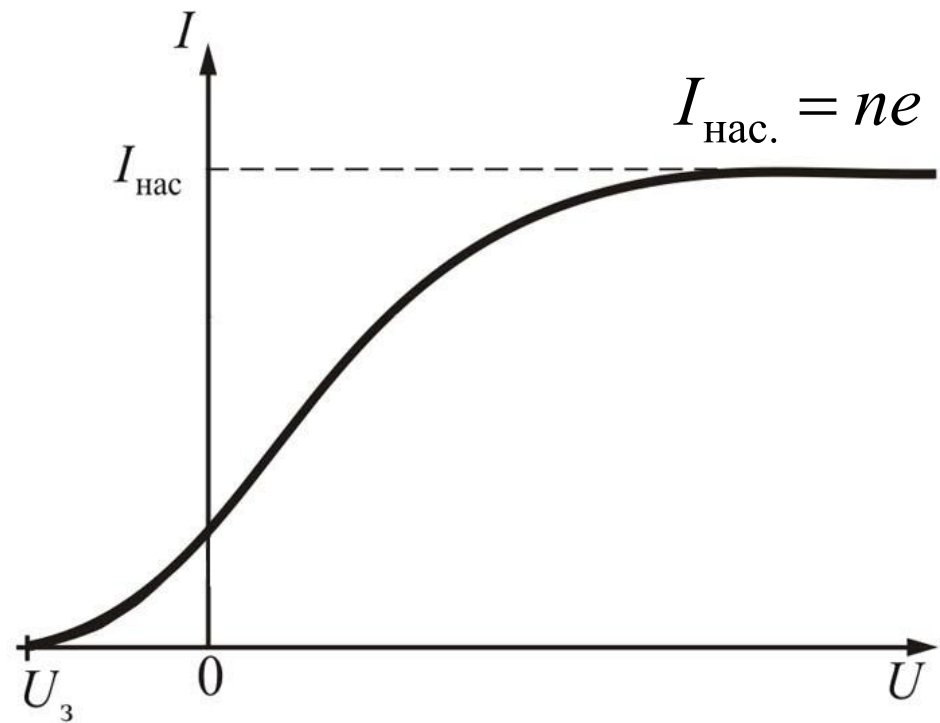
В 1899 Дж. Дж. Томпсон и Ф. Ленард доказали, что при фотоэффекте *свет выбивает из вещества электроны.*



Вольтамперная характеристика (ВАХ)



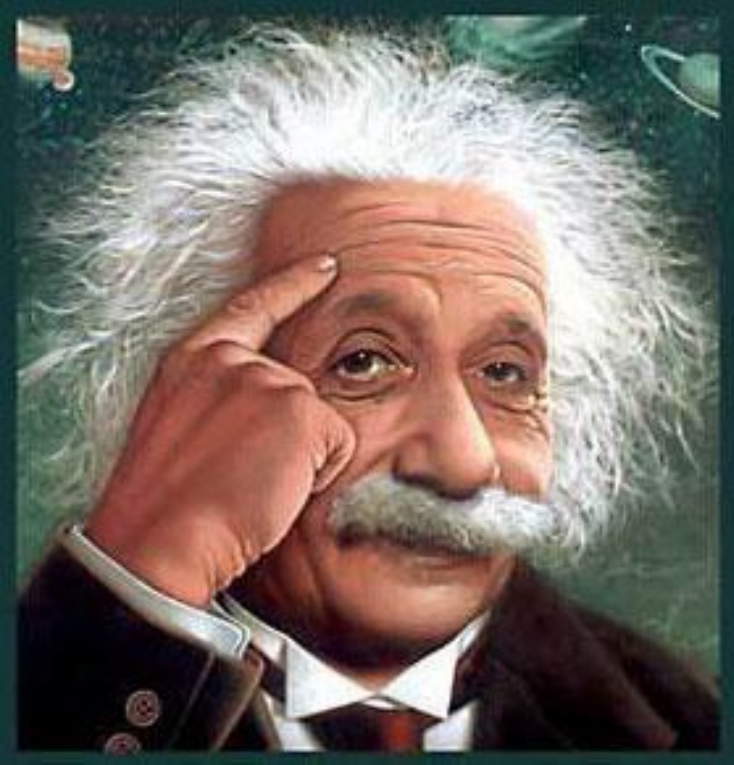
Максимальное значение тока $I_{\text{нас.}}$ — **фототок насыщения** — определяется таким значением U , при котором **все электроны, испускаемые катодом, достигают анода**: $I_{\text{нас.}} = ne$, где n — число электронов испускаемых катодом в 1 с



Для того чтобы фототок стал равным нулю, необходимо приложить **задерживающее напряжение** U_3
$$\frac{m\nu_{\text{max}}^2}{2} = eU_3$$

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 ν .**
3. **Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. минимальная частота ν_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:

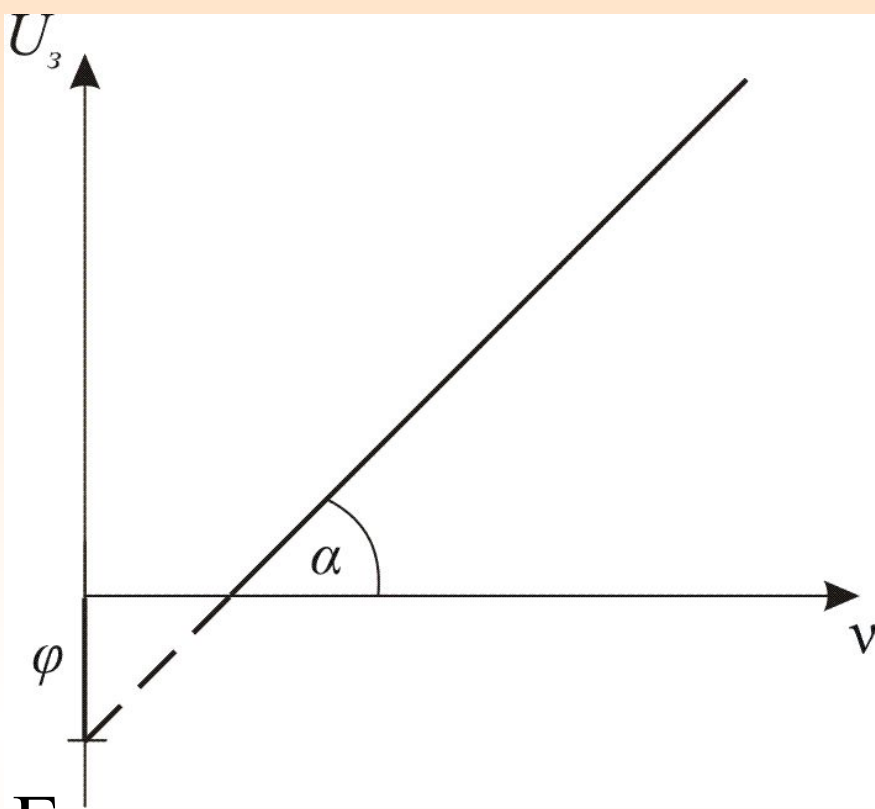
$$h\nu = \frac{mV_{\max}^2}{2} + A.$$

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).

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



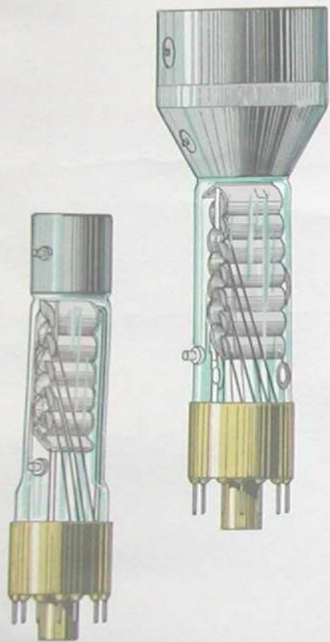
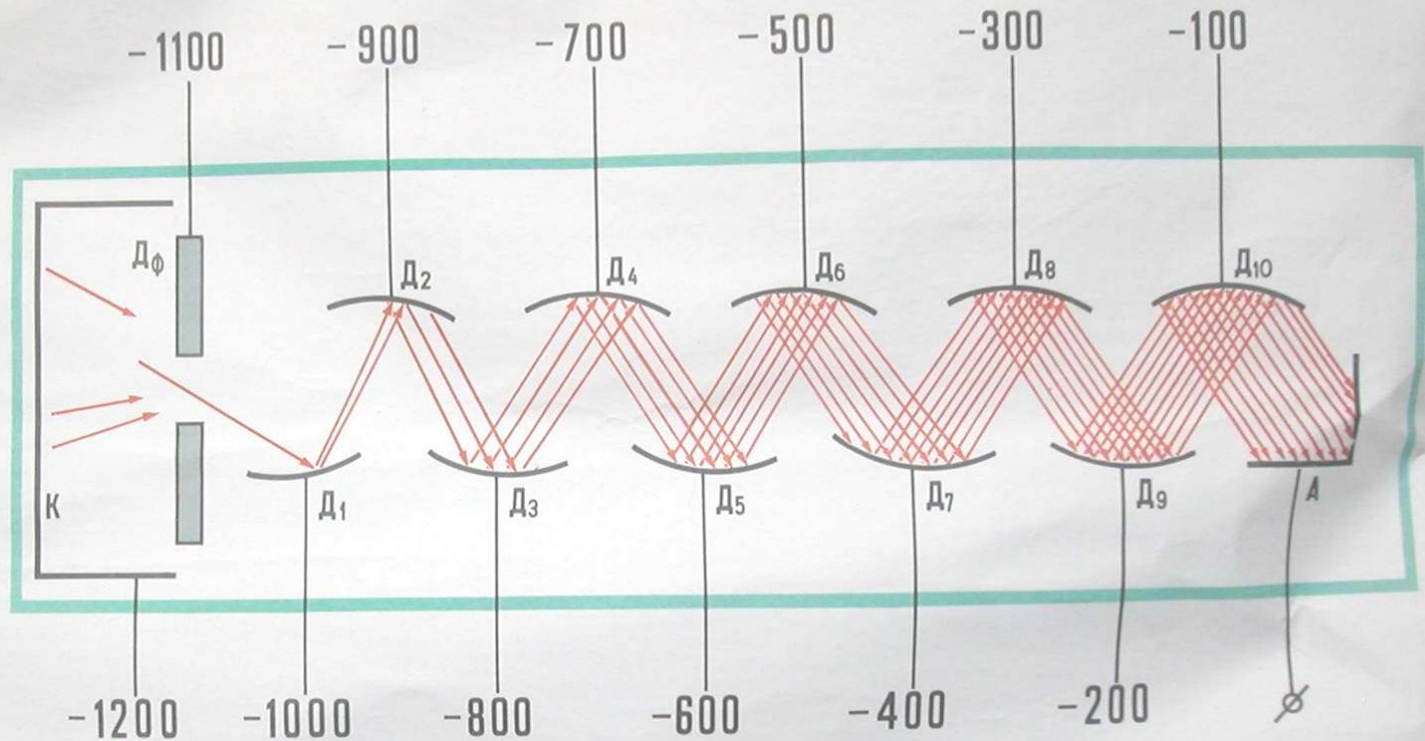
$$\frac{mv_{\text{макс.}}^2}{2} = h\nu - A$$

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

3. Если частота ν меньше частоты ν_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

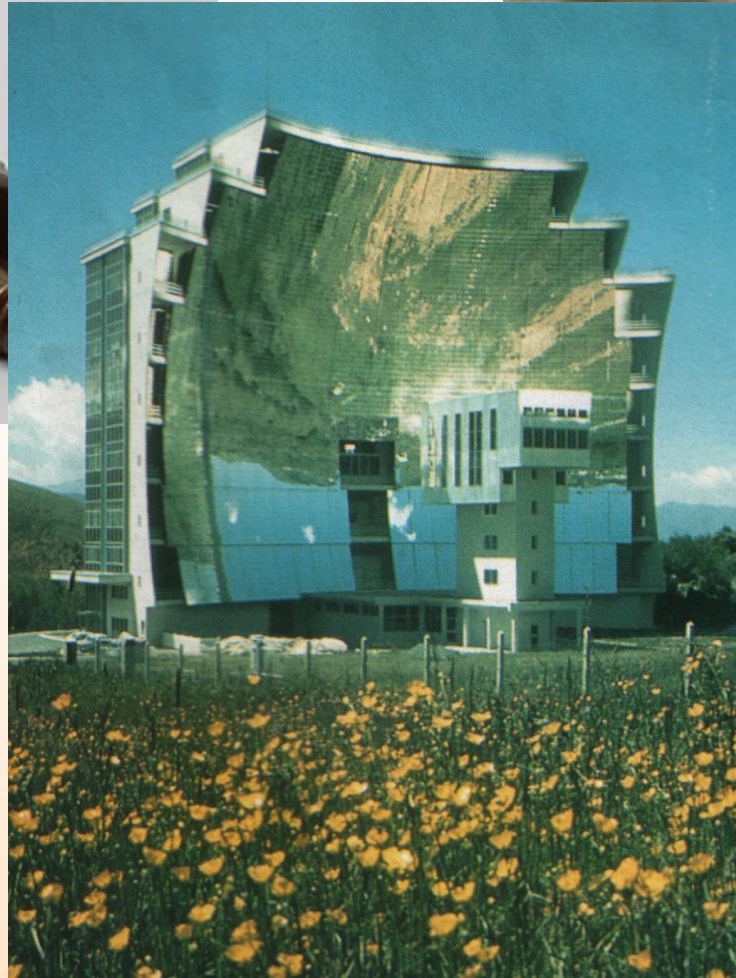
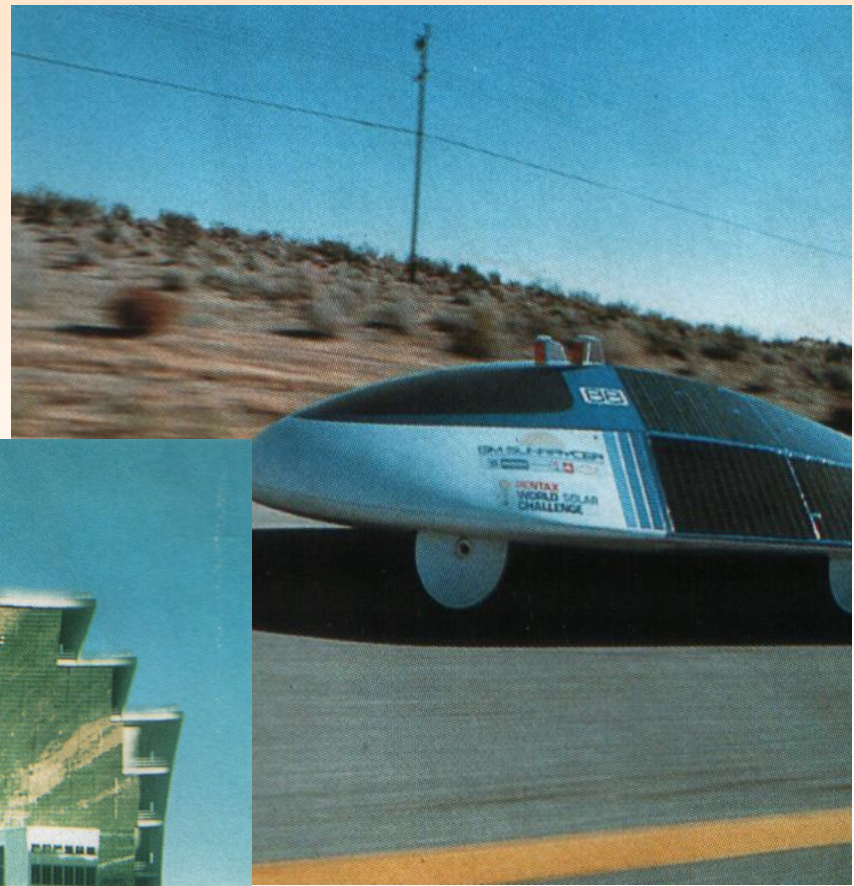


ВНЕШНИЙ
ВИД
ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ

К - КАТОД
 Д_φ - ФОКУСИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОД
 Д₁, Д₂, Д₃ ... - 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^α/ЛМ
 КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ~ 10⁸
 ВРЕМЯ НАРАСТАНИЯ ИМПУЛЬСА ~ 10⁻⁹ СЕК
 МАКСИМАЛЬНЫЙ ТОК В ИМПУЛЬСЕ ~ 0.5-1.5 α



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 ν 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.

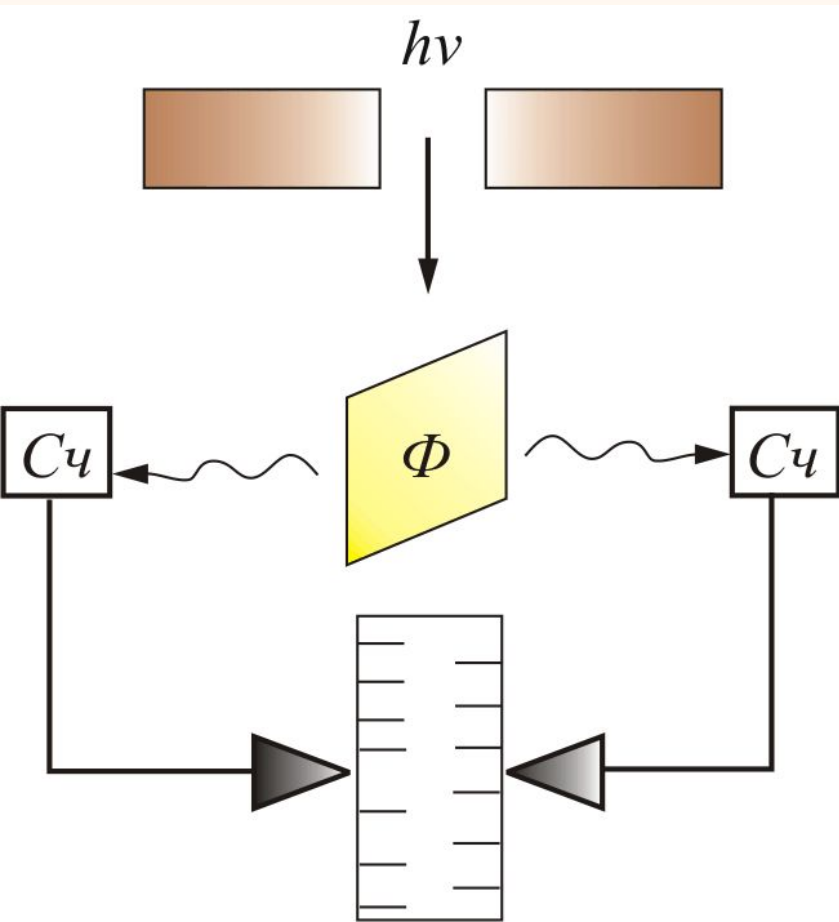
подтверждающий гипотезу Эйнштейна

Тонкая металлическая фольга Φ помещена между двумя газоразрядными счетчиками $Cч$.

При облучении рентгеновскими лучами Φ 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 :

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

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

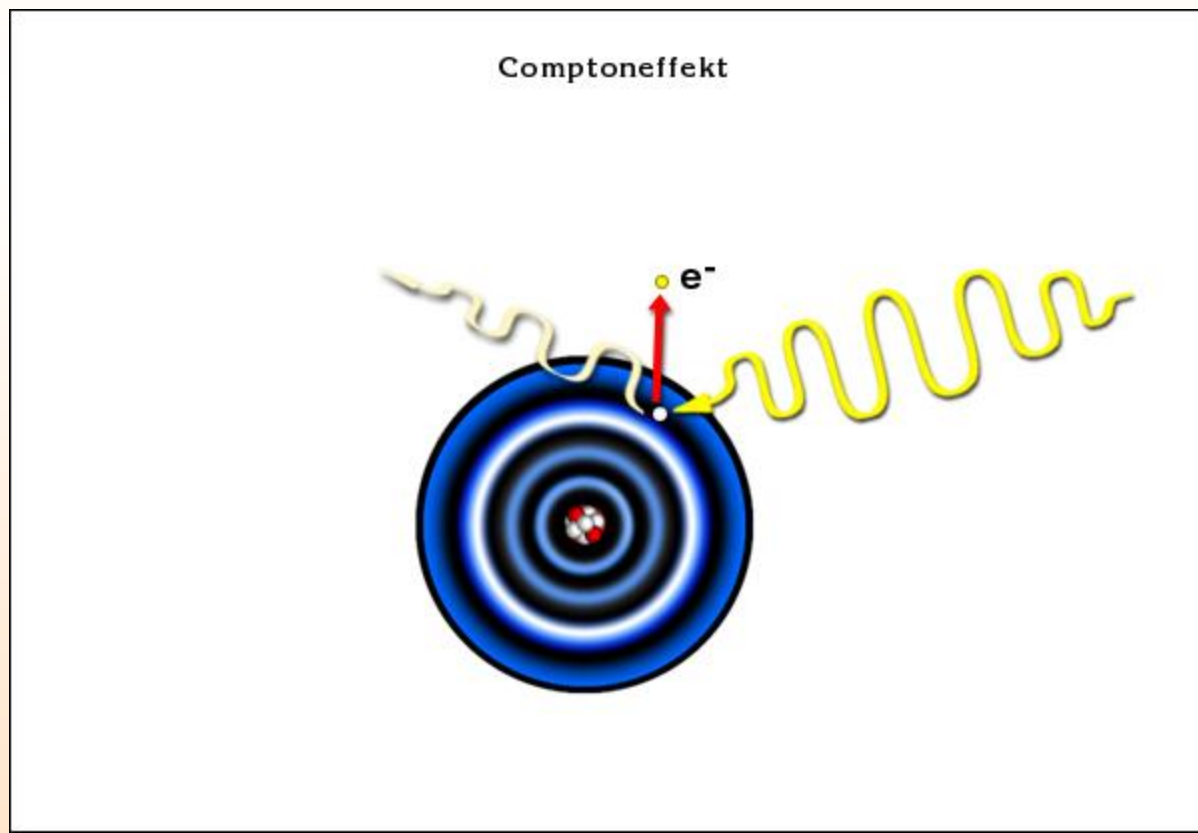
$$p = \frac{h}{\lambda}, \quad k = \frac{\omega}{c} \quad \text{— волновое число}$$

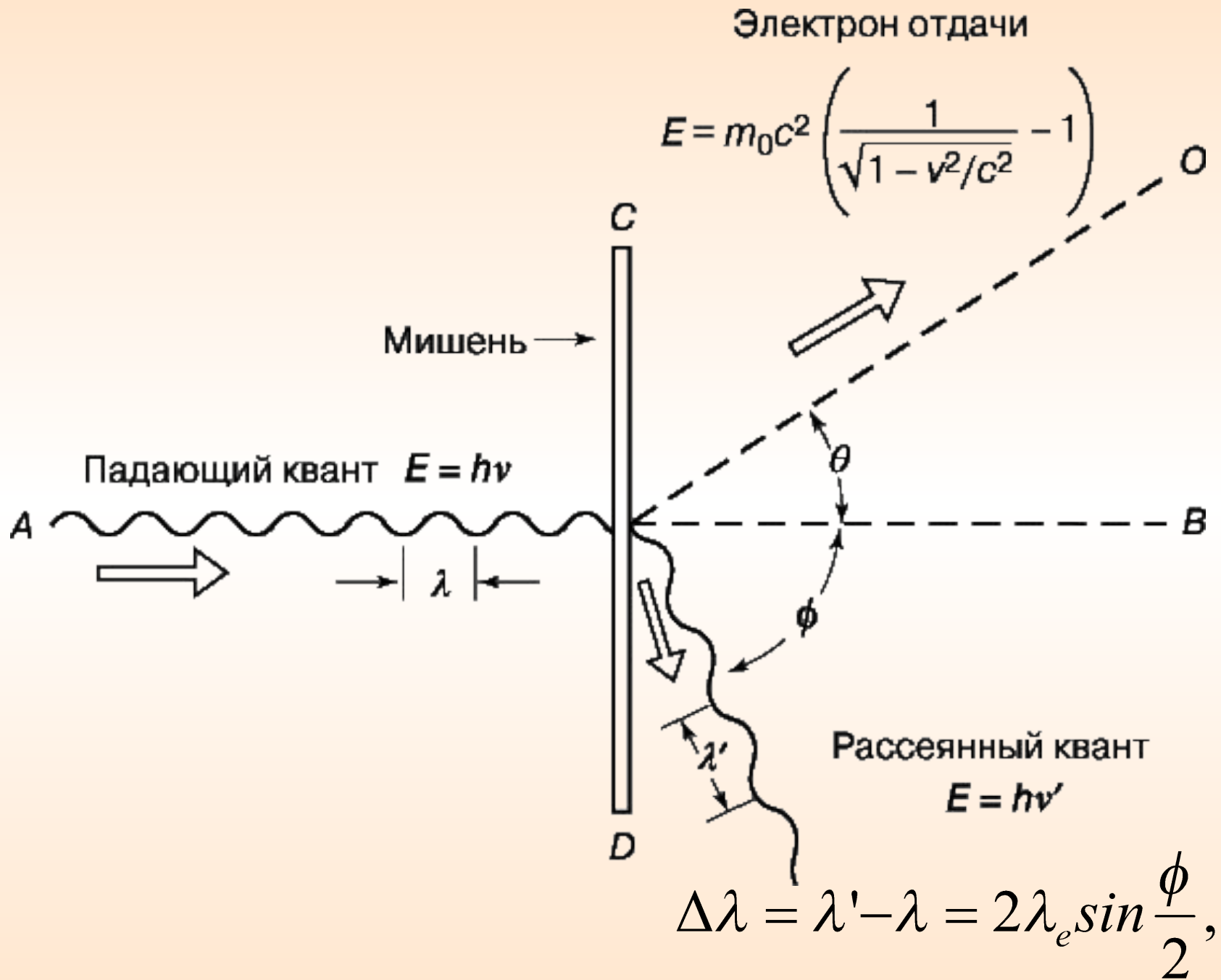
$$\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}$$

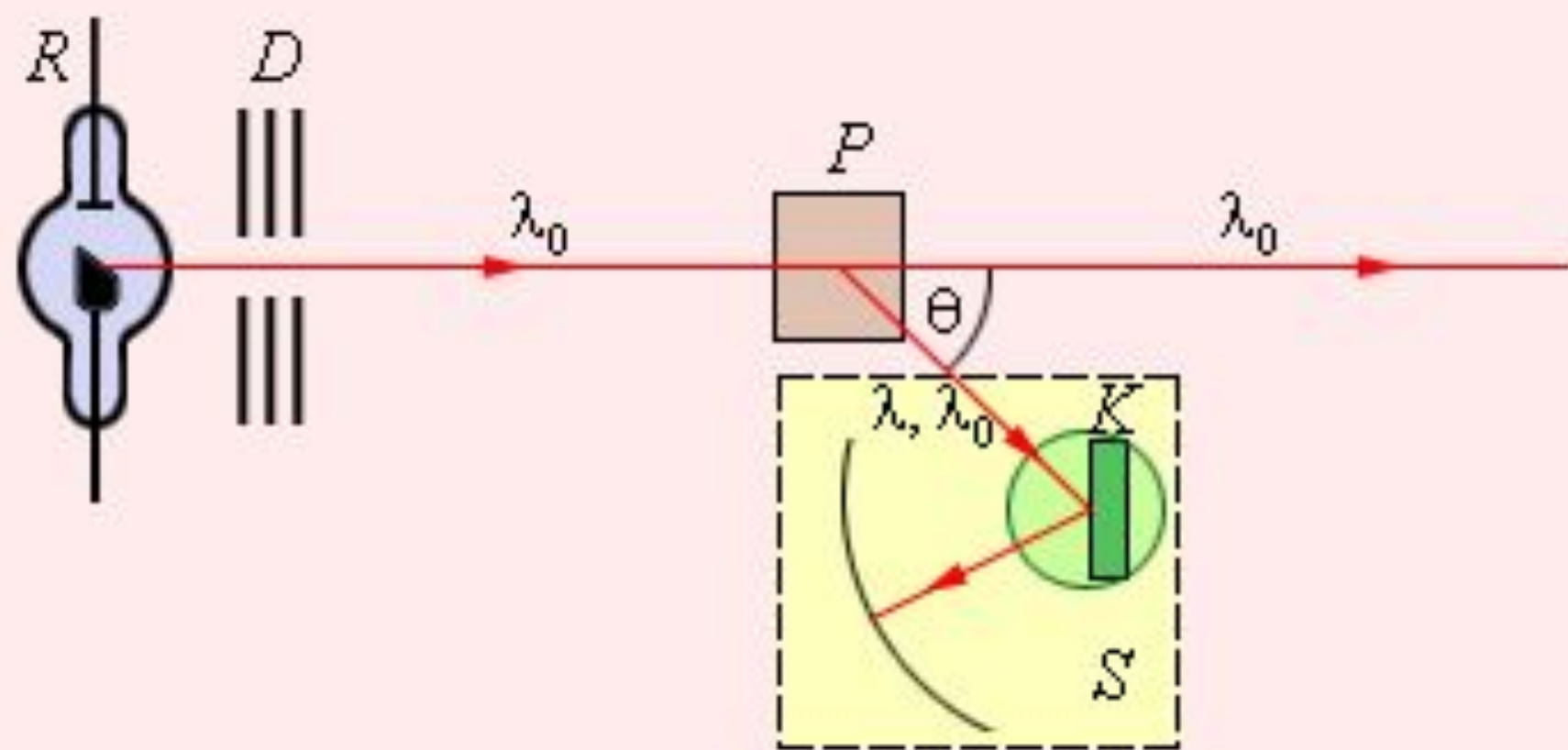
\mathbf{k} — волновой вектор фотона.

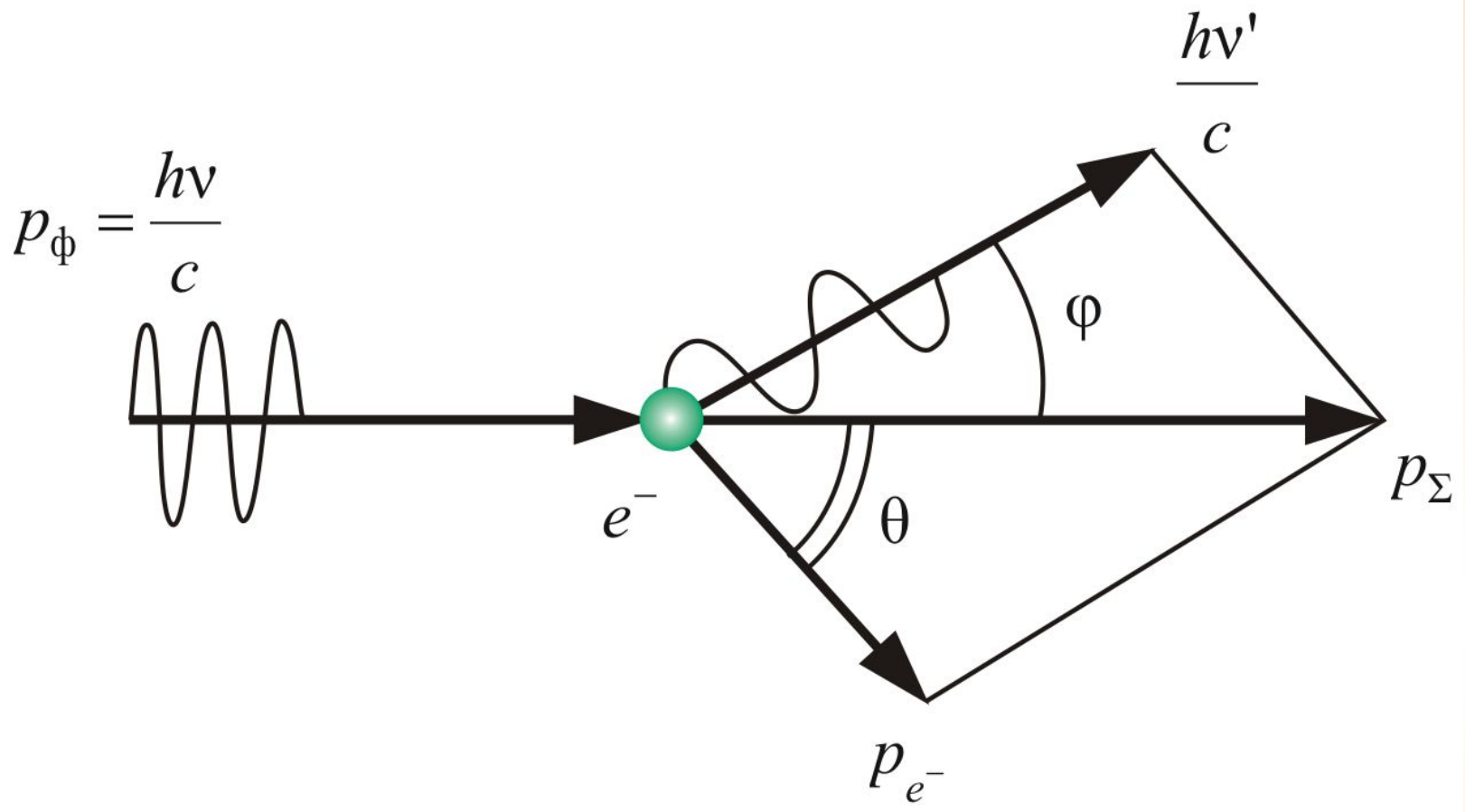
2.4. Эффект Комптона

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



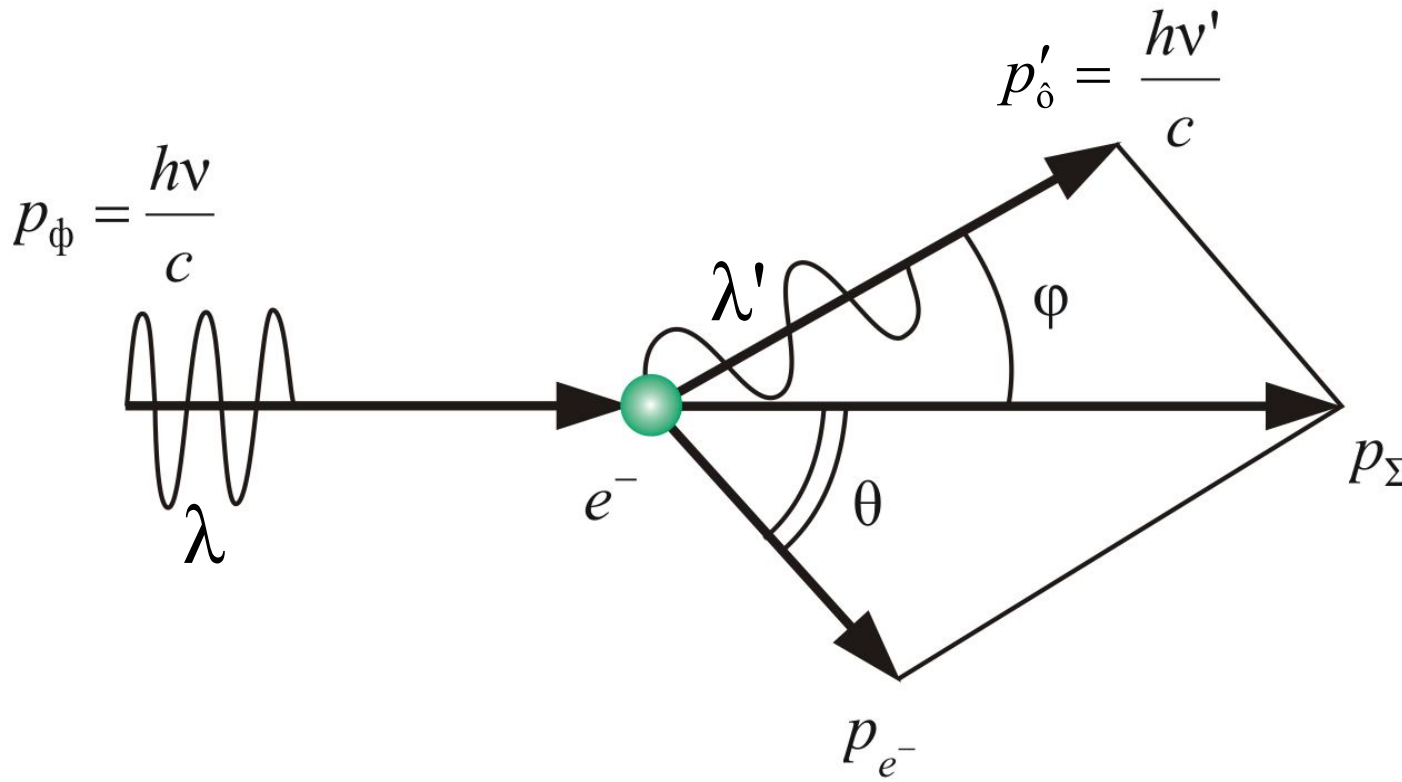






$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin \frac{\phi}{2},$$

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_ϕ – импульс фотона до столкновения;

p_{e^-} – импульс электрона;

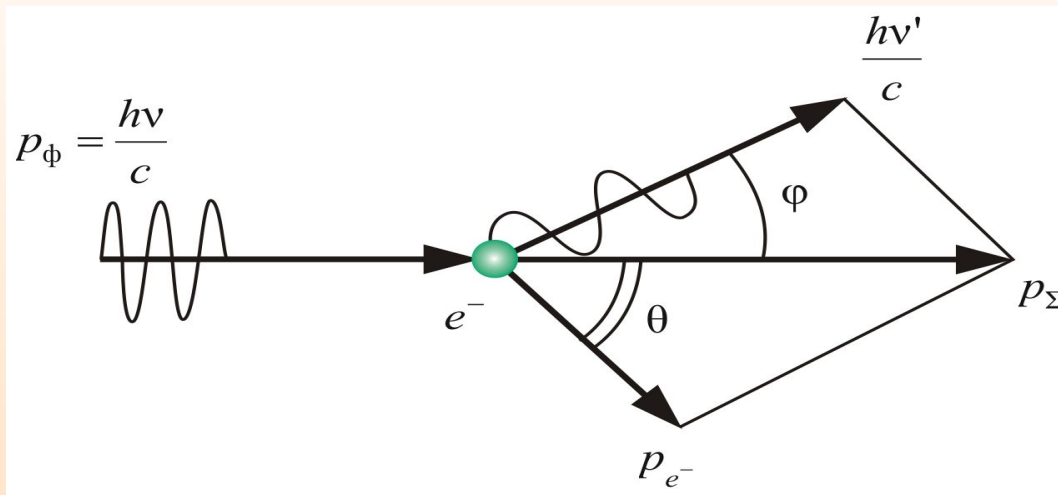
p_Σ – суммарный импульс фотона и электрона после столкновения;

θ – угол рассеяния.

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

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

λ' – длина волны рассеянного излучения,
 λ_e – комптоновская длина волны
(при рассеянии фотона на электроне $\lambda_e = 2,426$ пм).



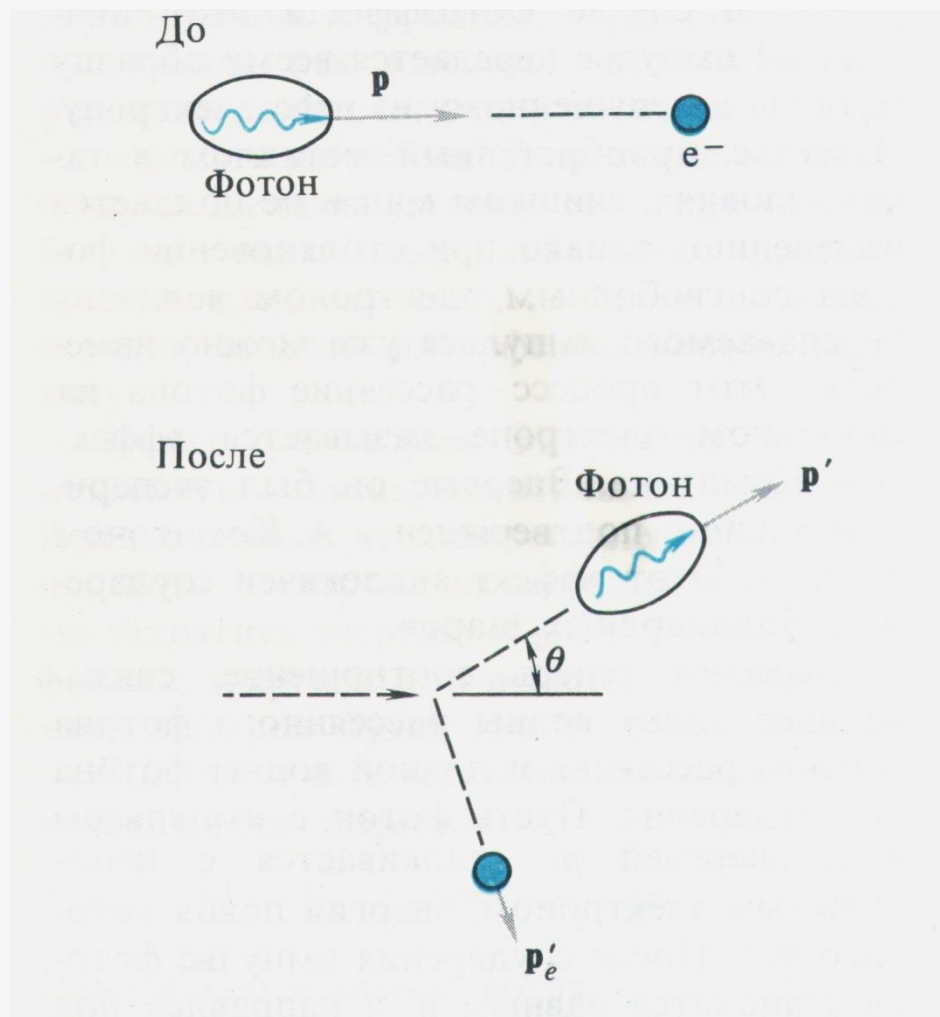
Опытным путем Комптон установил, что $\Delta\lambda$ -разность длин волн рассеянного и падающего излучения не зависит от материала рассеивателя, а определяется только величиной угла рассеяния θ :

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

– 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 θ .

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

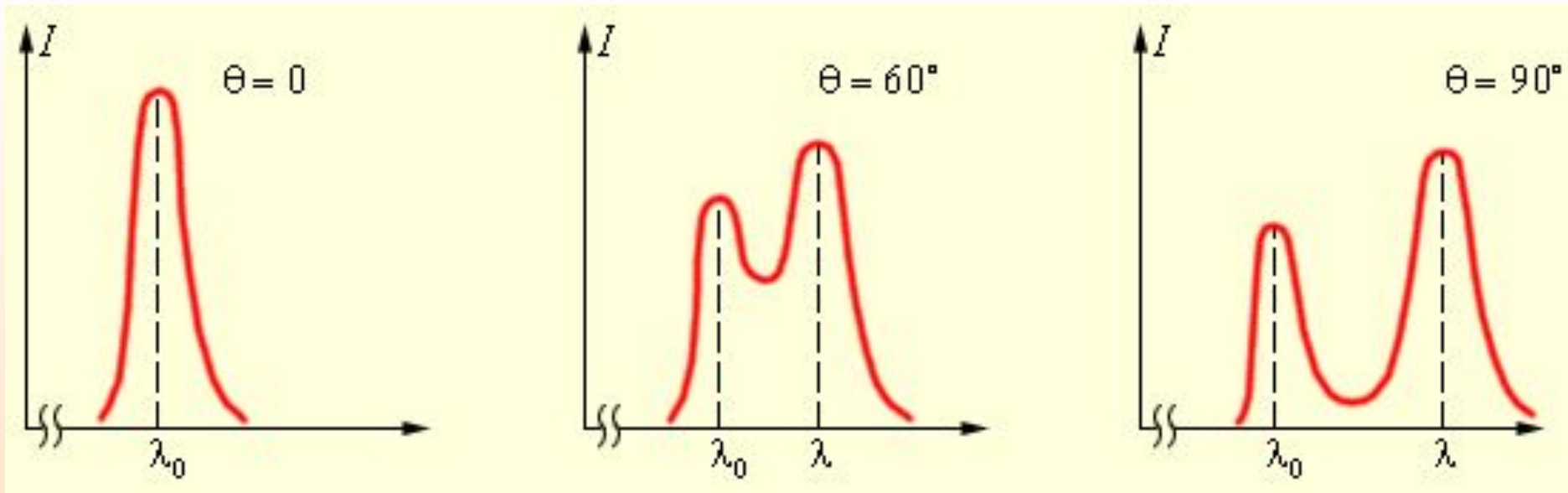
$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$$

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

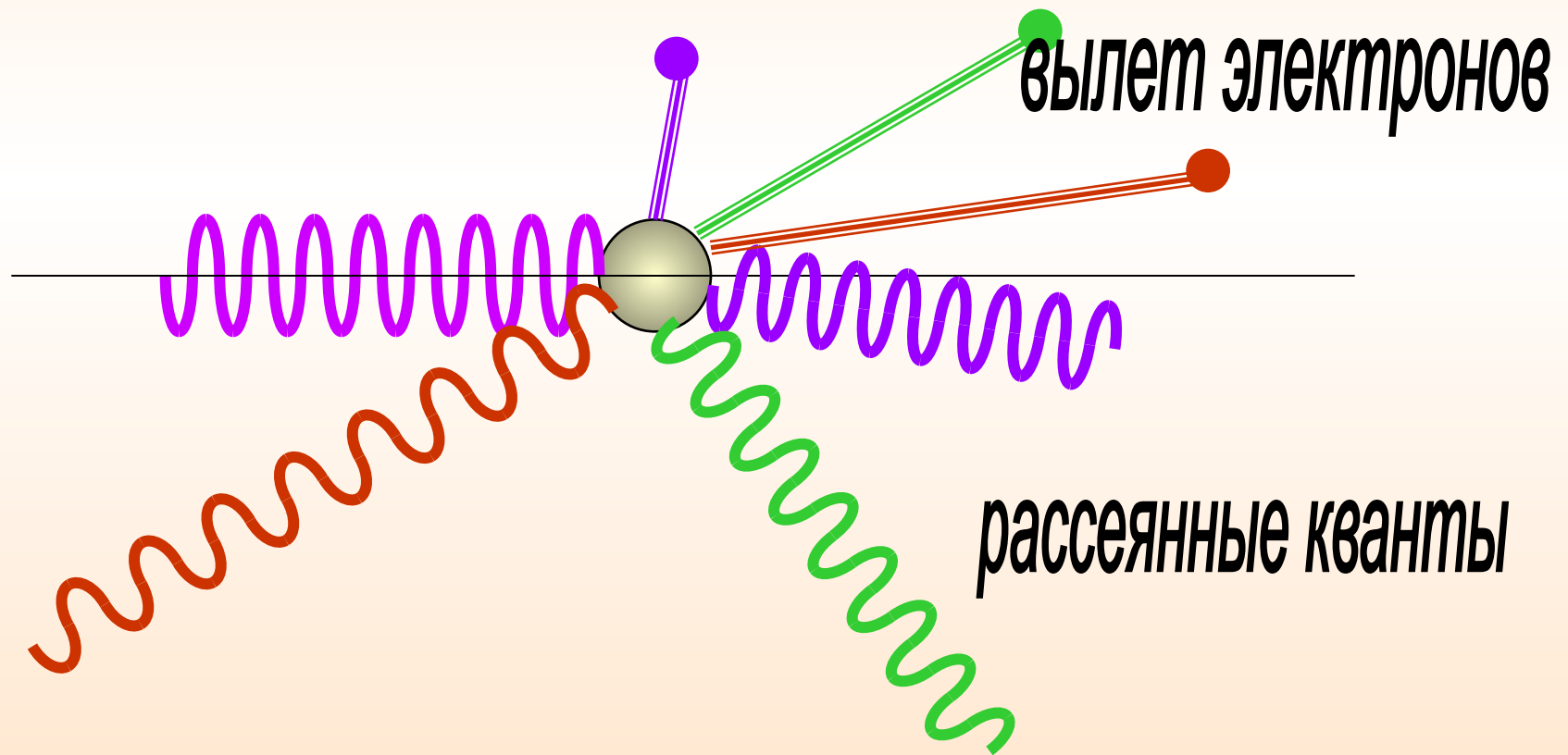
В диапазоне энергий квантов 0,1–10 МэВ комптон–эффект является основным физическим механизмом энергетических потерь γ –излучения при его распространении в веществе.

Моделирование эффекта Комптона

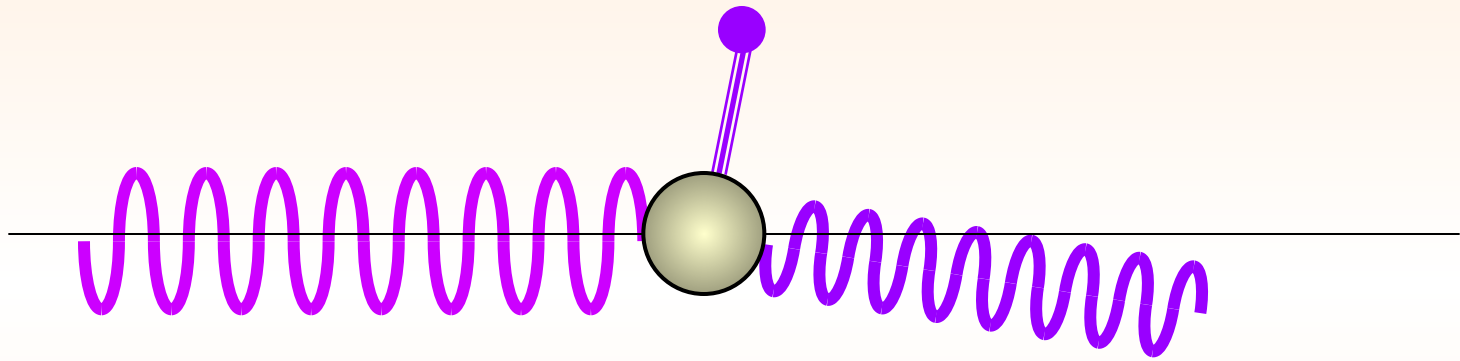
Разность $\Delta\lambda$ не зависит от длины волны λ падающего излучения и природы рассеивающего вещества, а определяется только углом рассеяния φ



моделирование эффекта Комптона

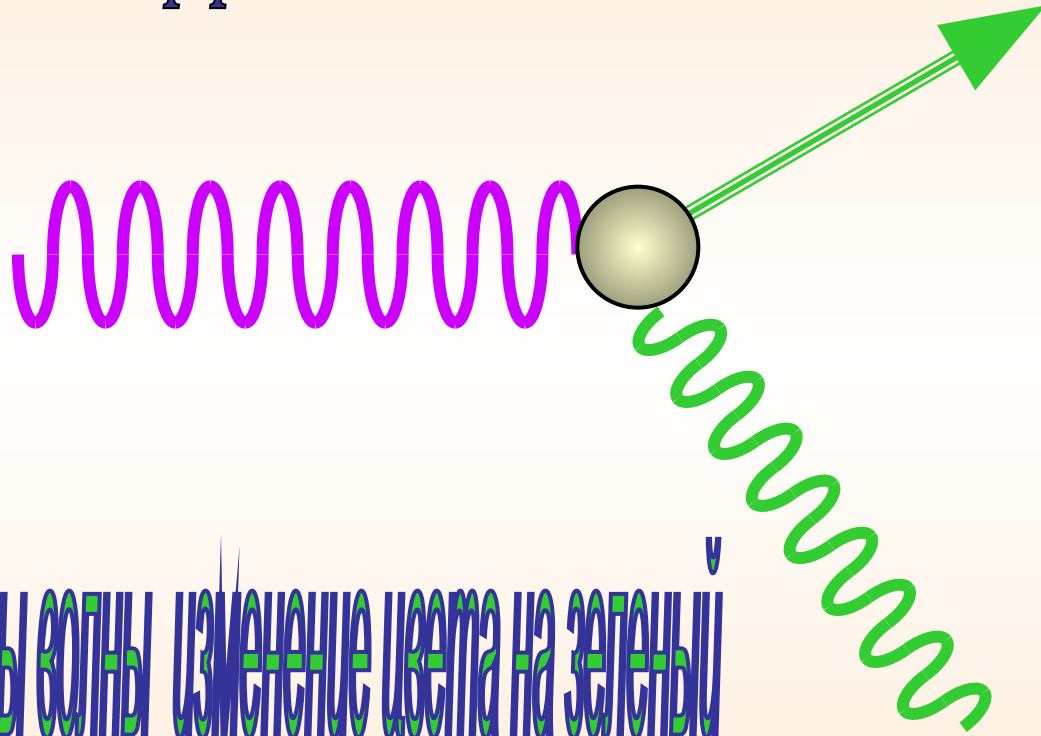


моделирование эффекта Комптона



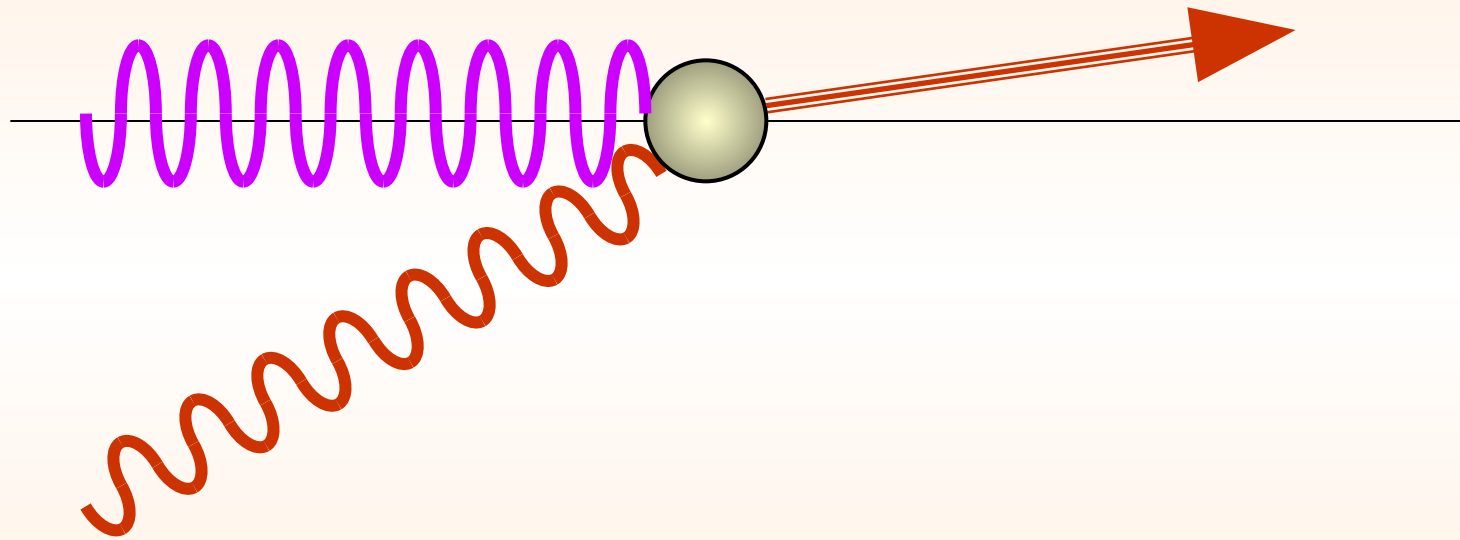
короткая длина волны синий цвет

моделирование эффекта Комптона



увеличение длины волны изменение цвета на зеленый

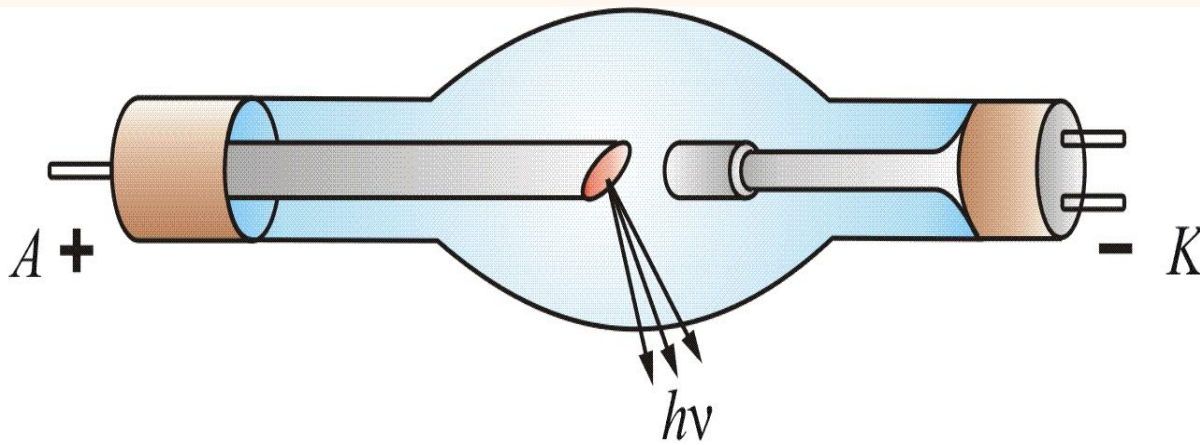
моделирование эффекта Комптона



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).

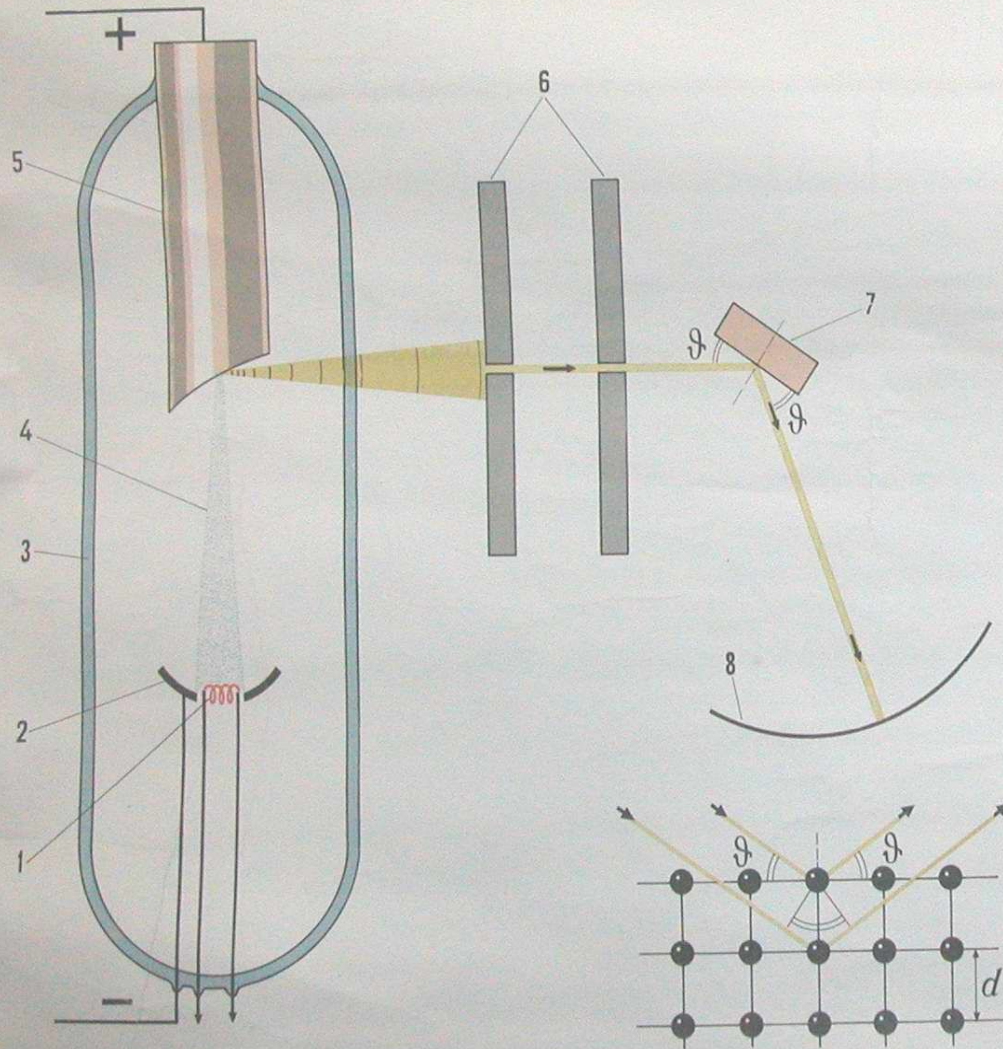
В индукционных ускорителях электронов – **бетатронах**, электроны приобретают энергию до 50 МэВ, $v = 0,99995 c$.

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

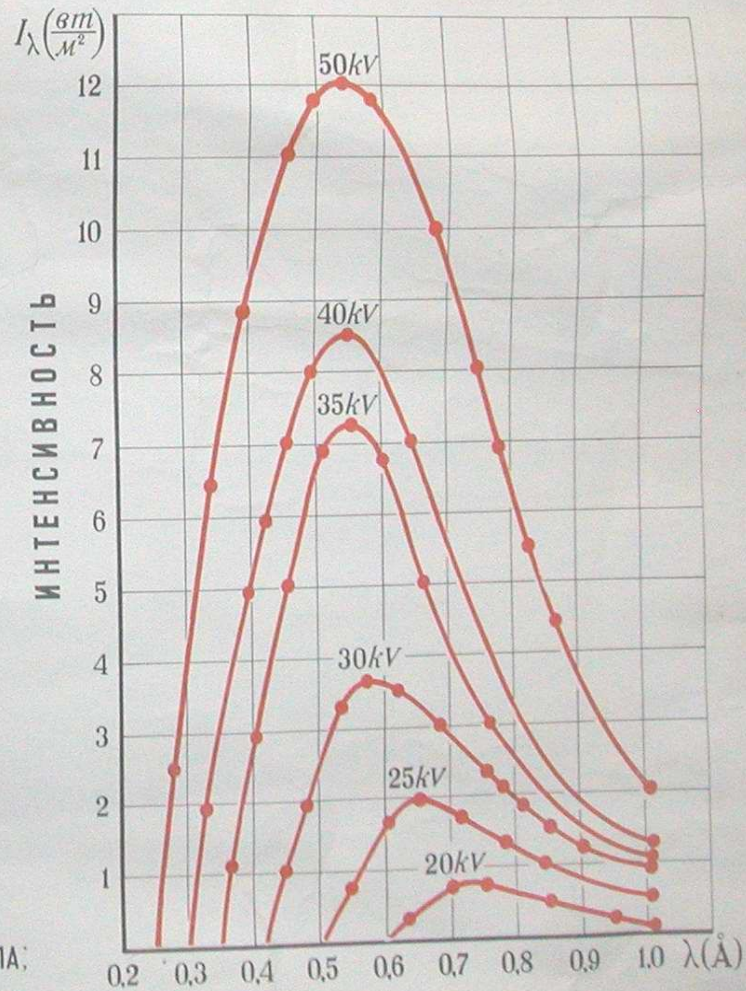
Это излучение обладает большой проникающей способностью.

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

СПЛОШНОЙ (ТОРМОЗНОЙ) СПЕКТР



ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ I_λ ДЛЯ ВОЛЬФРАМОВОГО АНОДА ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ λ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ

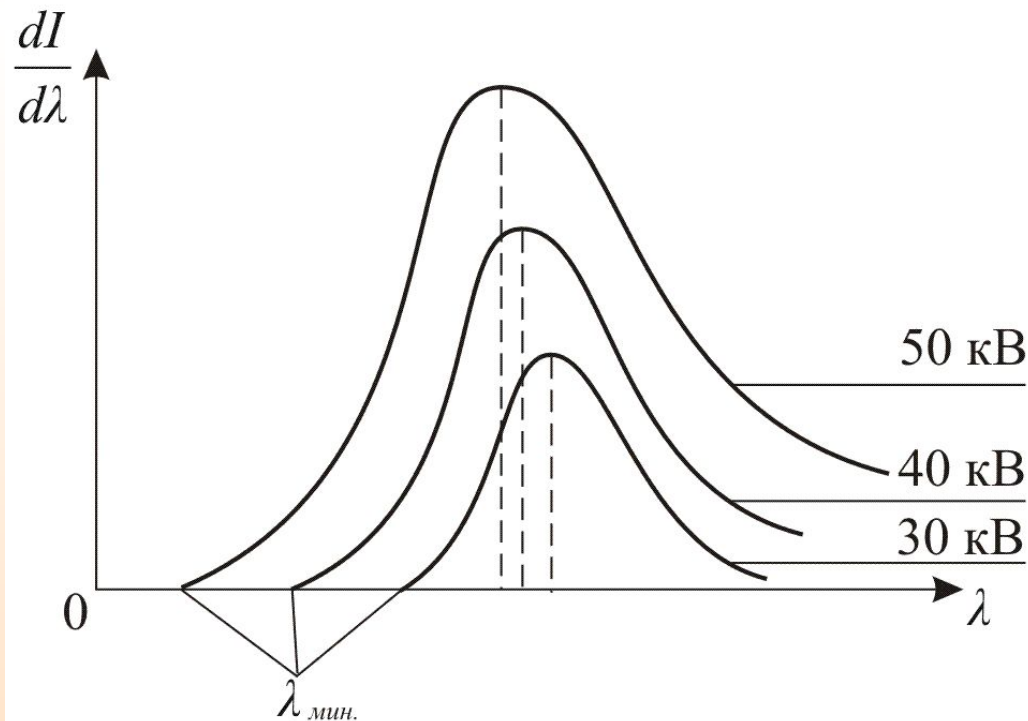


1-НИТЬ НАКАЛА; 2-ФОКУСИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОД;
3-СТЕКЛЯННАЯ ВАКУУМНАЯ КАМЕРА; 4-ПУЧЕК
ЭЛЕКТРОНОВ; 5-АНТИКАТОД; 6-СВИНЦОВЫЕ
ДИАФРАГМЫ; 7-КРИСТАЛЛ НА ПЛАТФОРМЕ;
8-ФОТОПЛЕНКА;

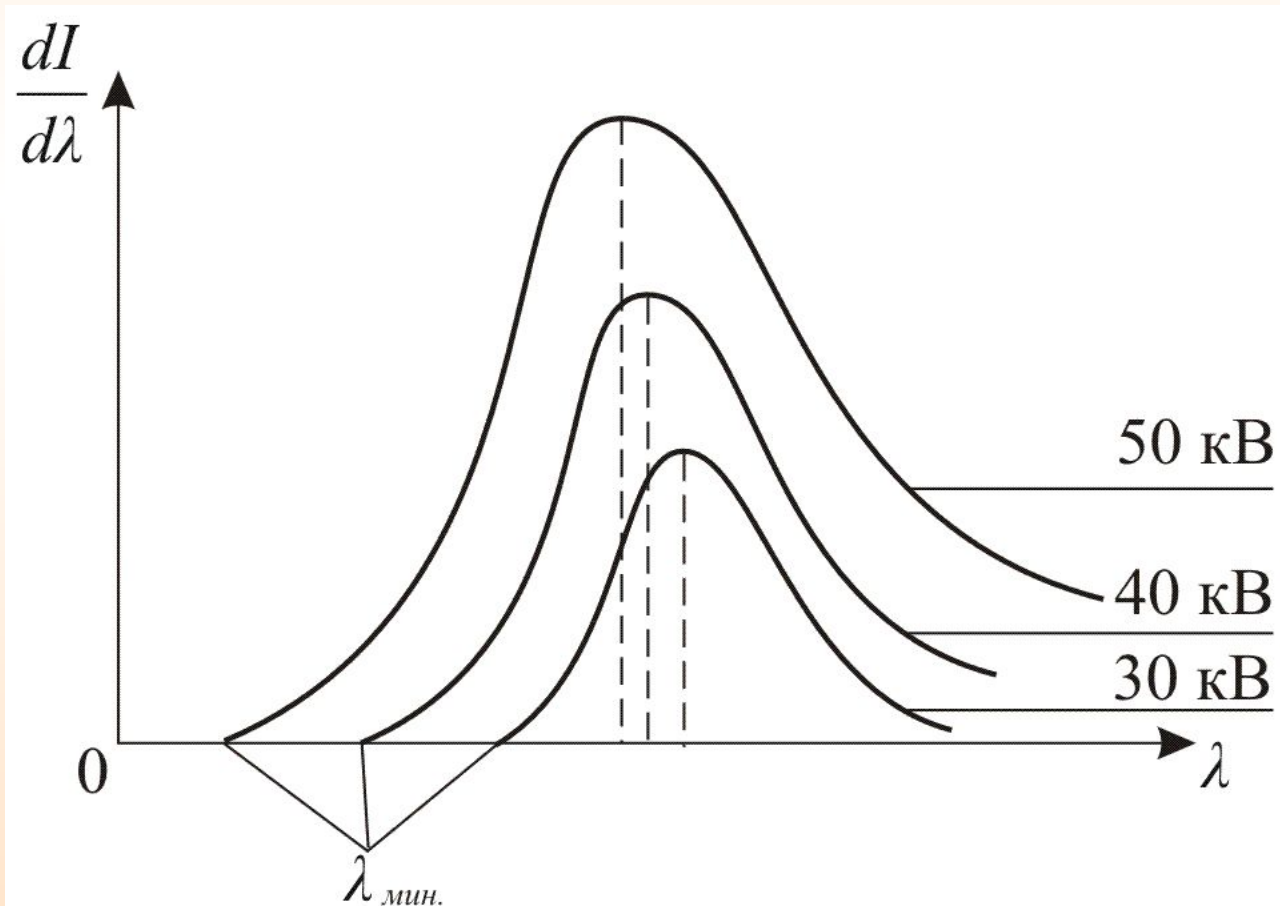
$$n\lambda = 2d \sin \vartheta$$

λ -длина волны; d -постоянная решетки кристалла;
 ϑ -угол скольжения; n -порядок отражения;

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 λ_{\min}** . ЭТО **коротковолновая граница рентгеновского спектра**.



Экспериментально установлено, что

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

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

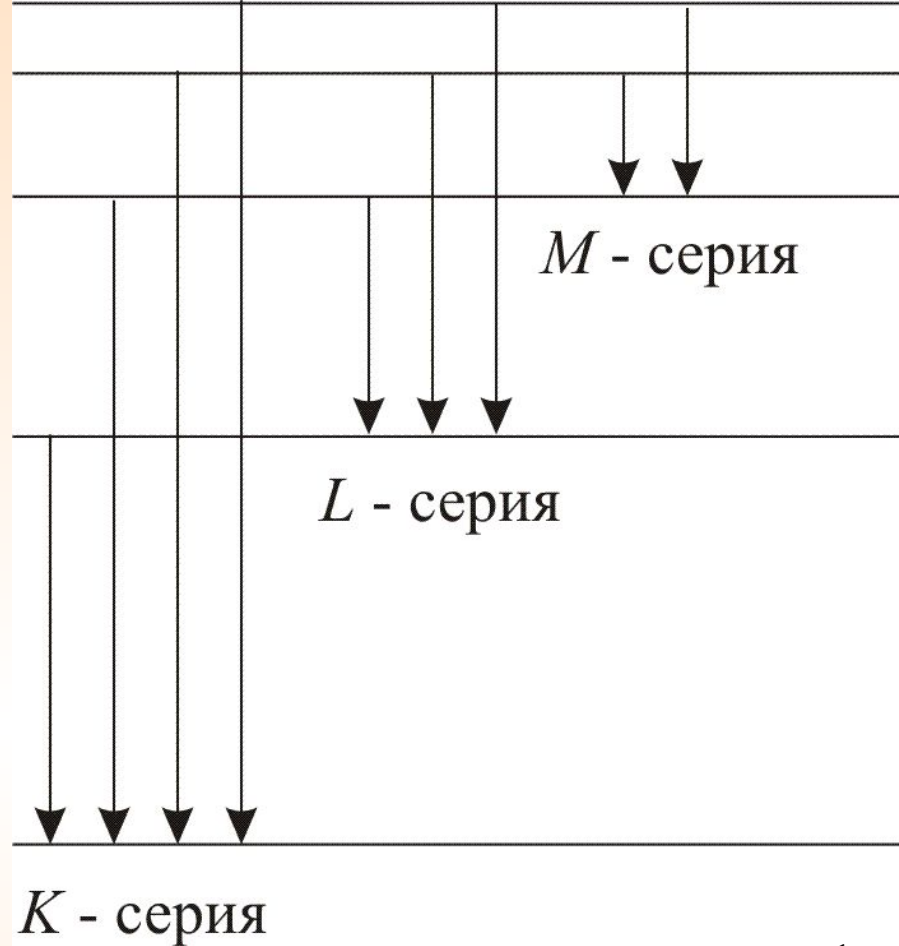
$$\lambda_{\text{к}} = \frac{c}{\nu_{\text{к}}} = \frac{ch}{eU}$$

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

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

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

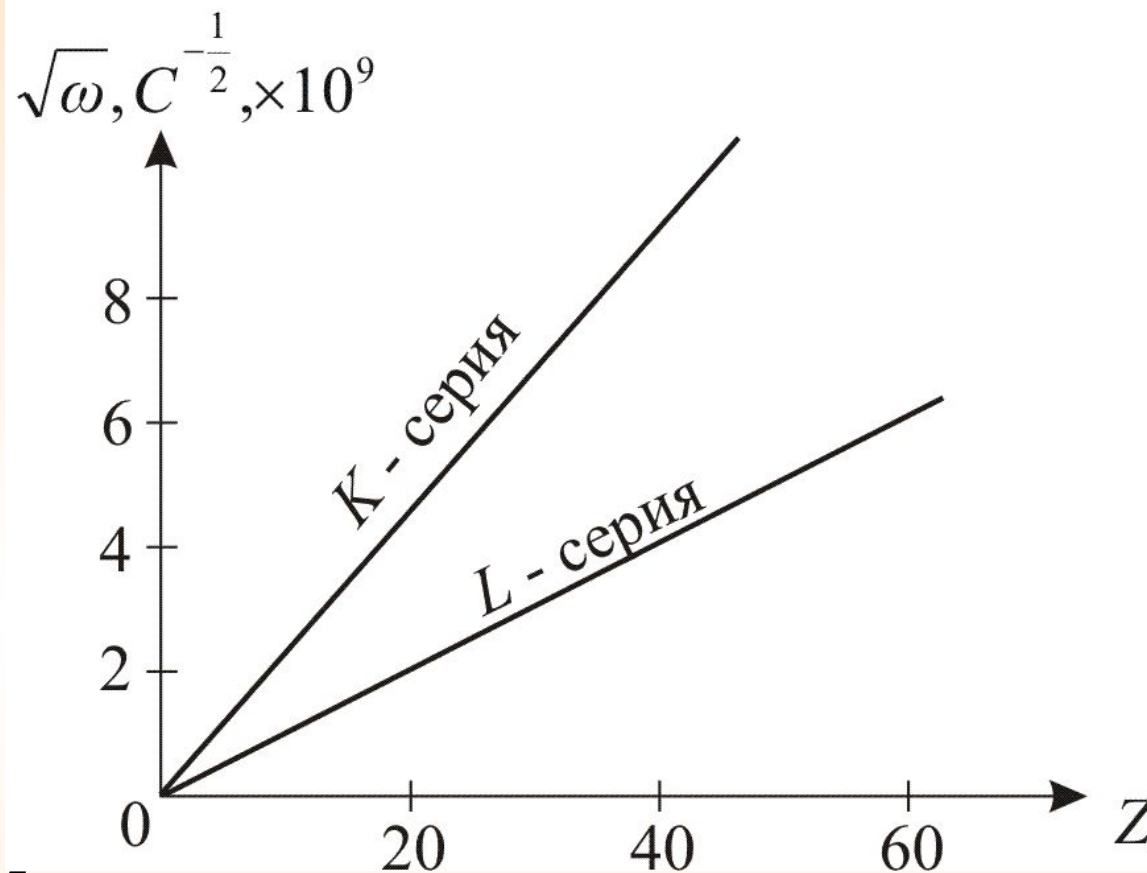
Закон Мозли:

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

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

σ – постоянная учитывающая экранирующую роль электронов

Графическая часть закона показана на рисунке



Закон Мозли позволил по измерению длин волн

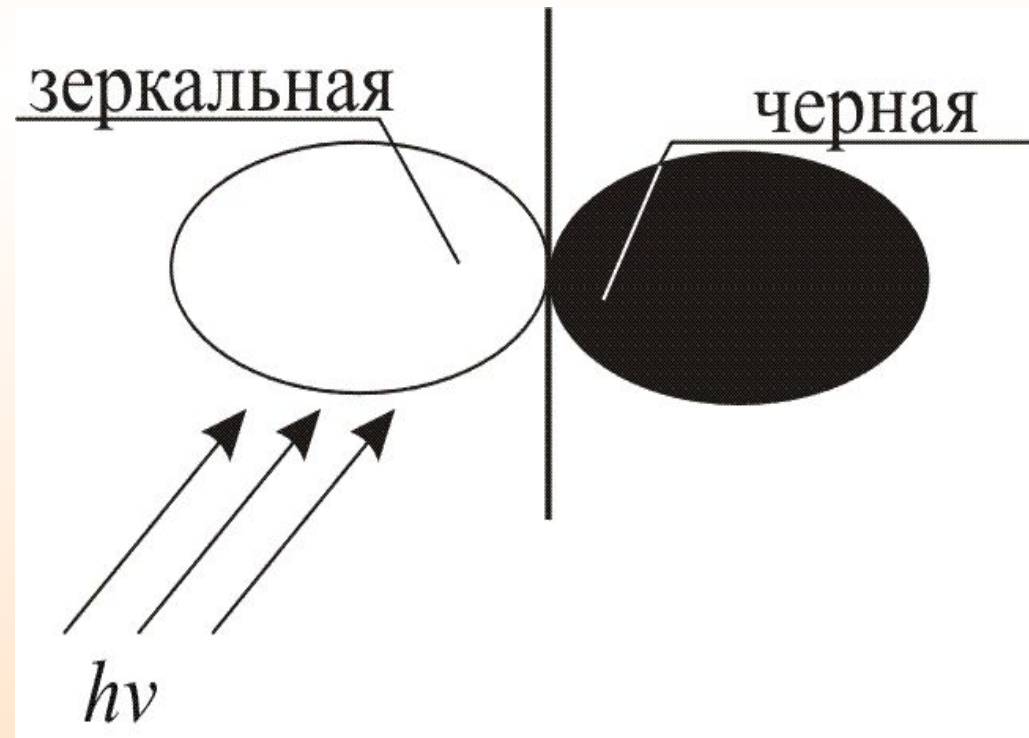
λ рентгеновских лучей **точно установить атомный номер элемента.**

Он сыграл большую роль при размещении элементов в таблице Менделеева.

2.7. Давление света

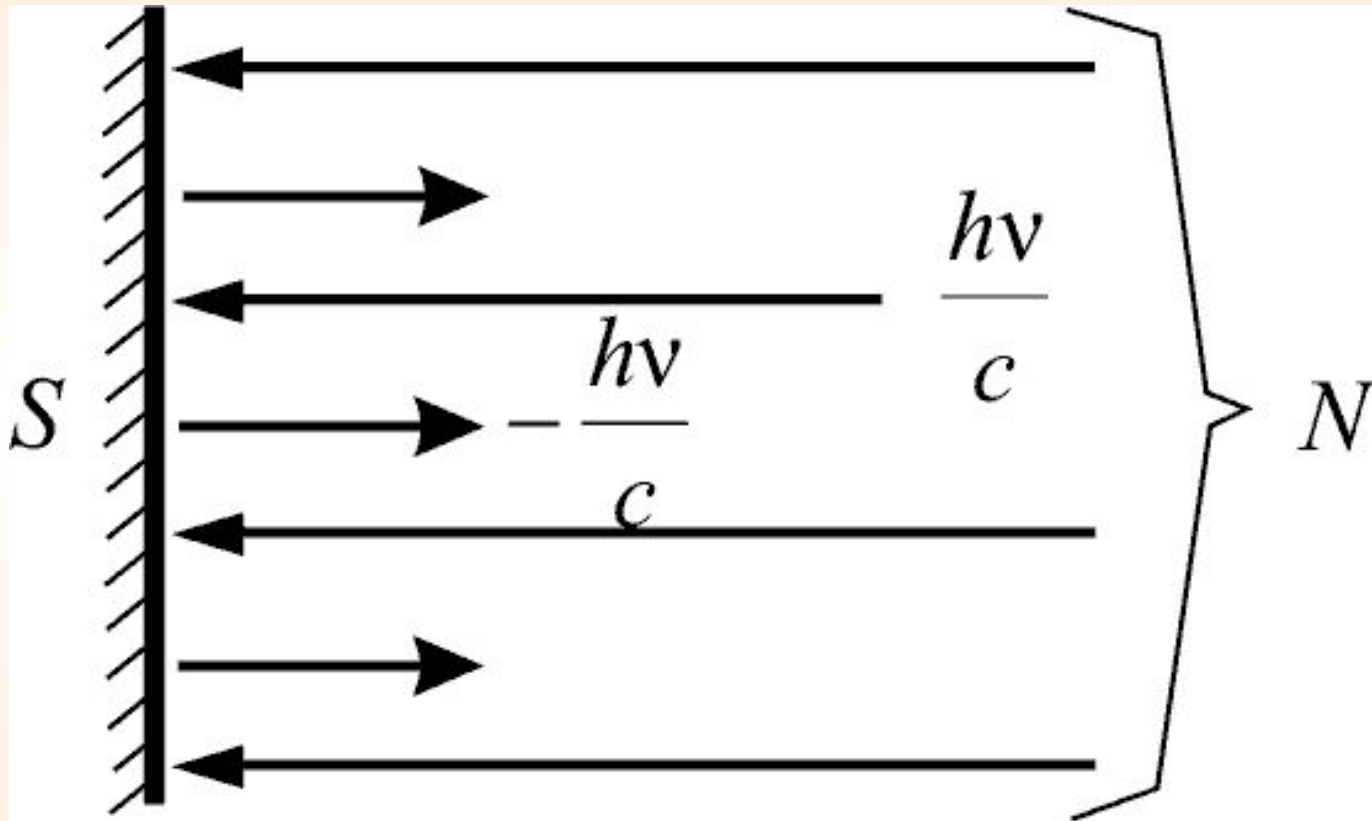
Исследовано *Лебедевым П.Н. в 1901 году.*

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.



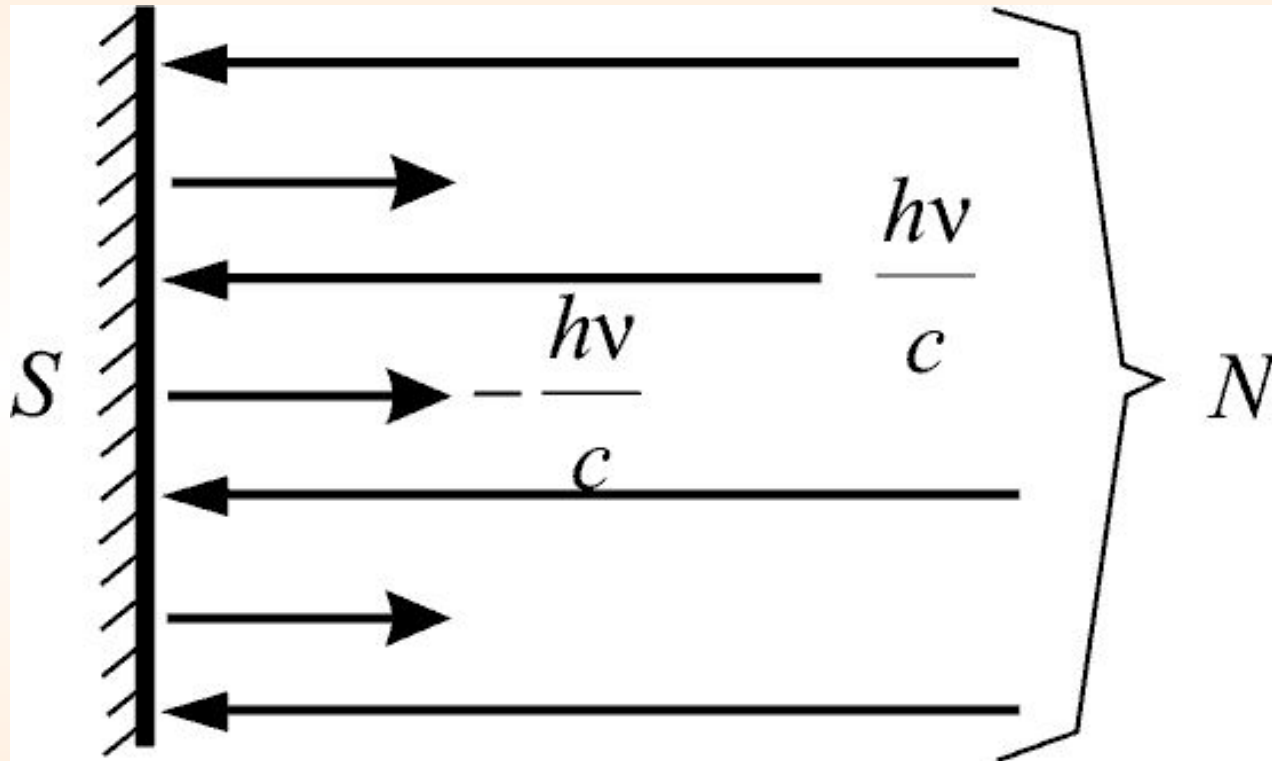
KN – квантов отразится от поверхности;

$(1 - K)N$ – поглотится,

K – коэффициент отражения.

Каждый **поглощенный фотон** передаст телу импульс

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



Каждый **отраженный фотон** передаст телу импульс:

$$p_{\text{отд}} = \frac{2h\nu}{c}$$

(доказать самостоятельно)

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

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) $K = 0$ $P = \frac{J}{c}$

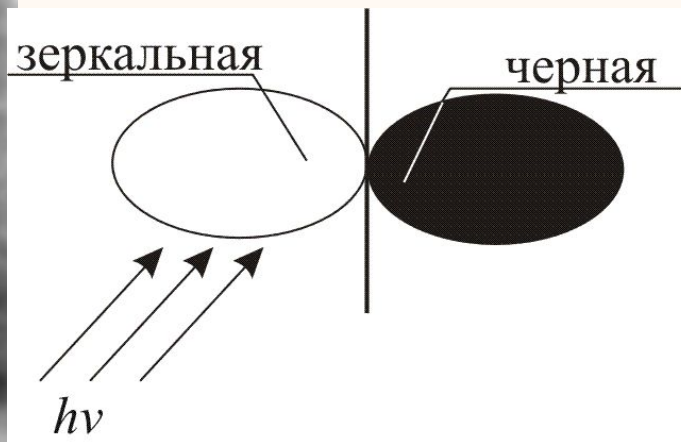
т.о. световое давление на абсолютно черное тело в два раза меньше, чем на зеркальное.

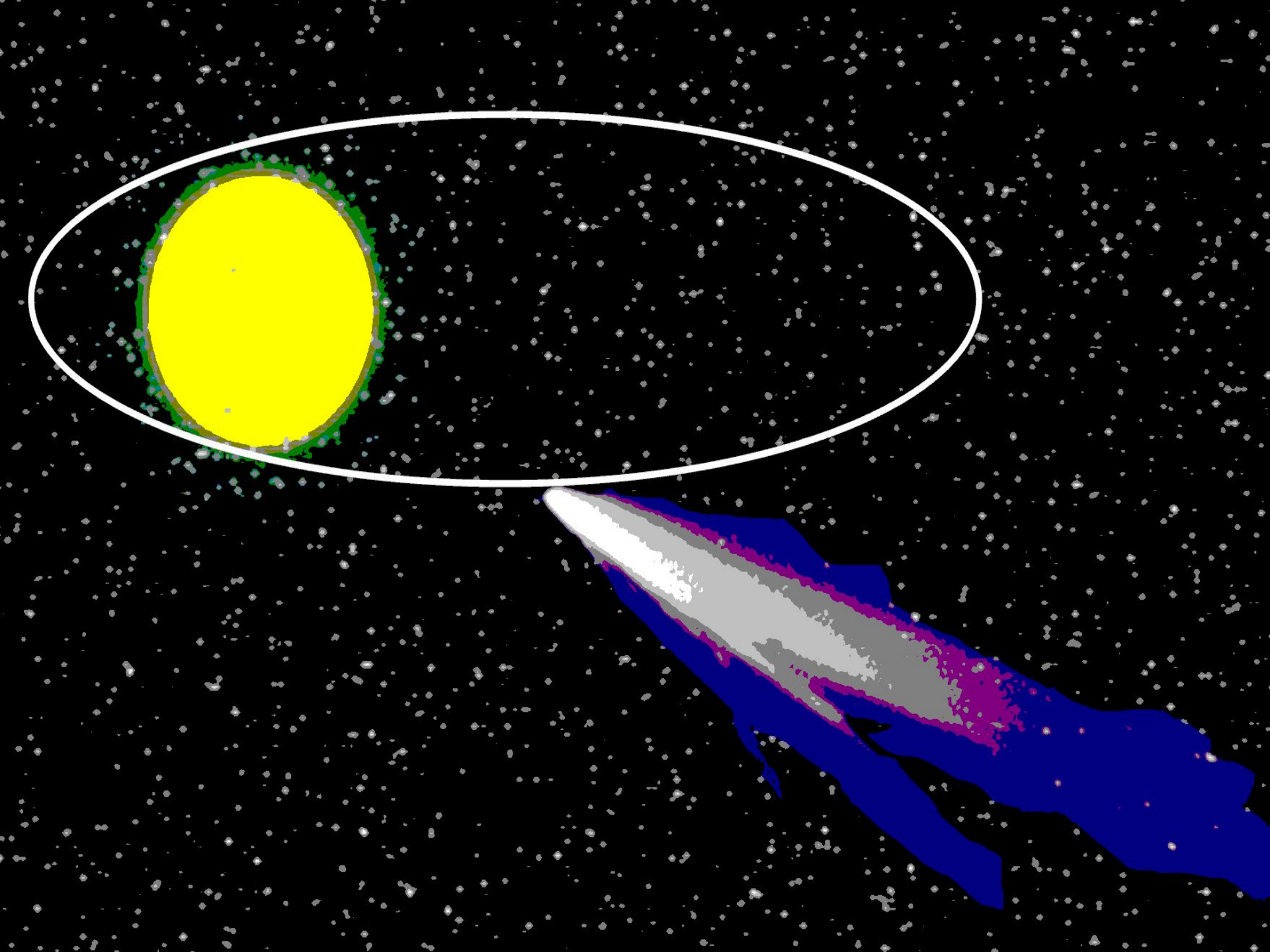
Из корпускулярной теории электромагнитного излучения следует, что

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 ν *и длиной волны* λ *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

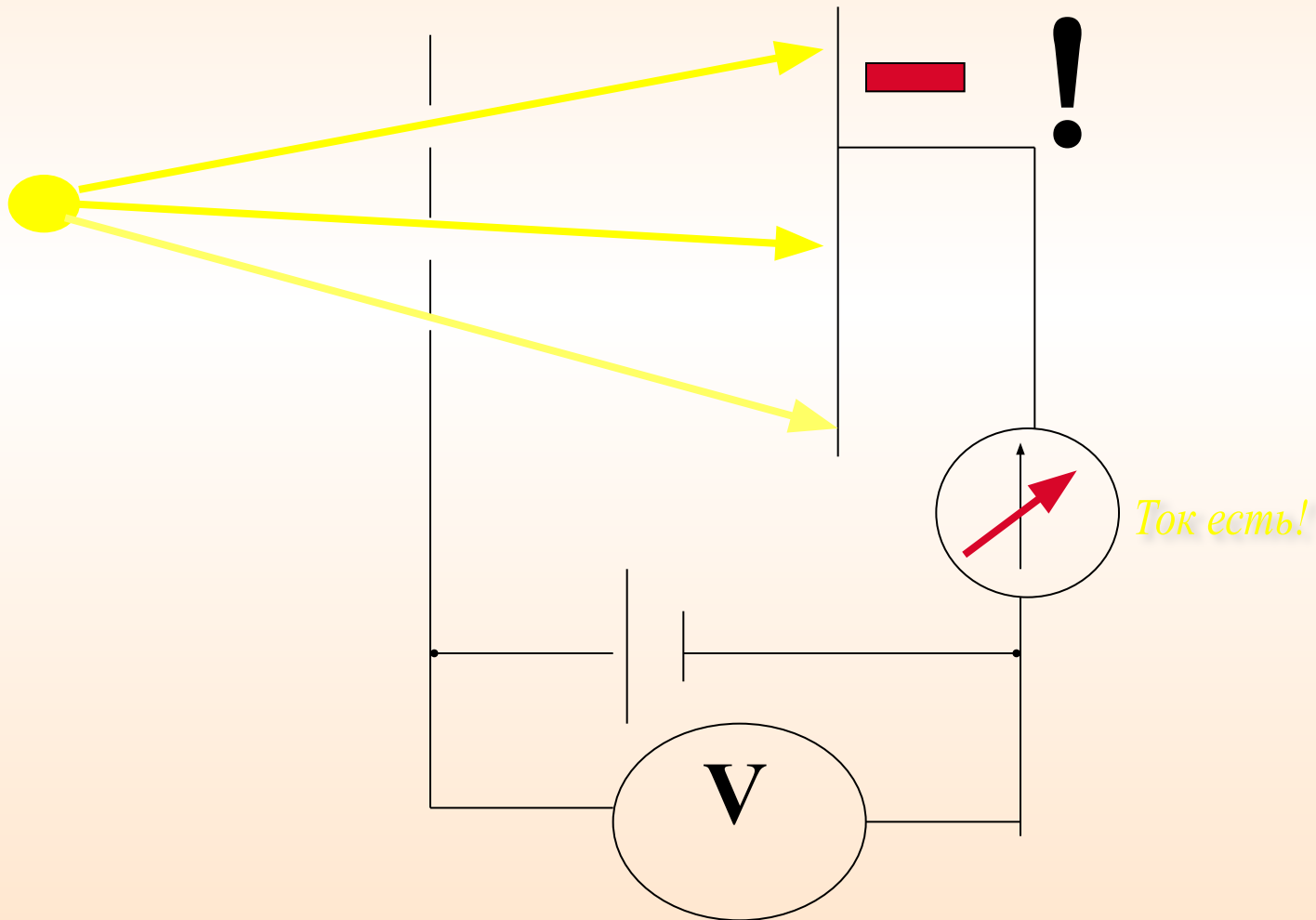
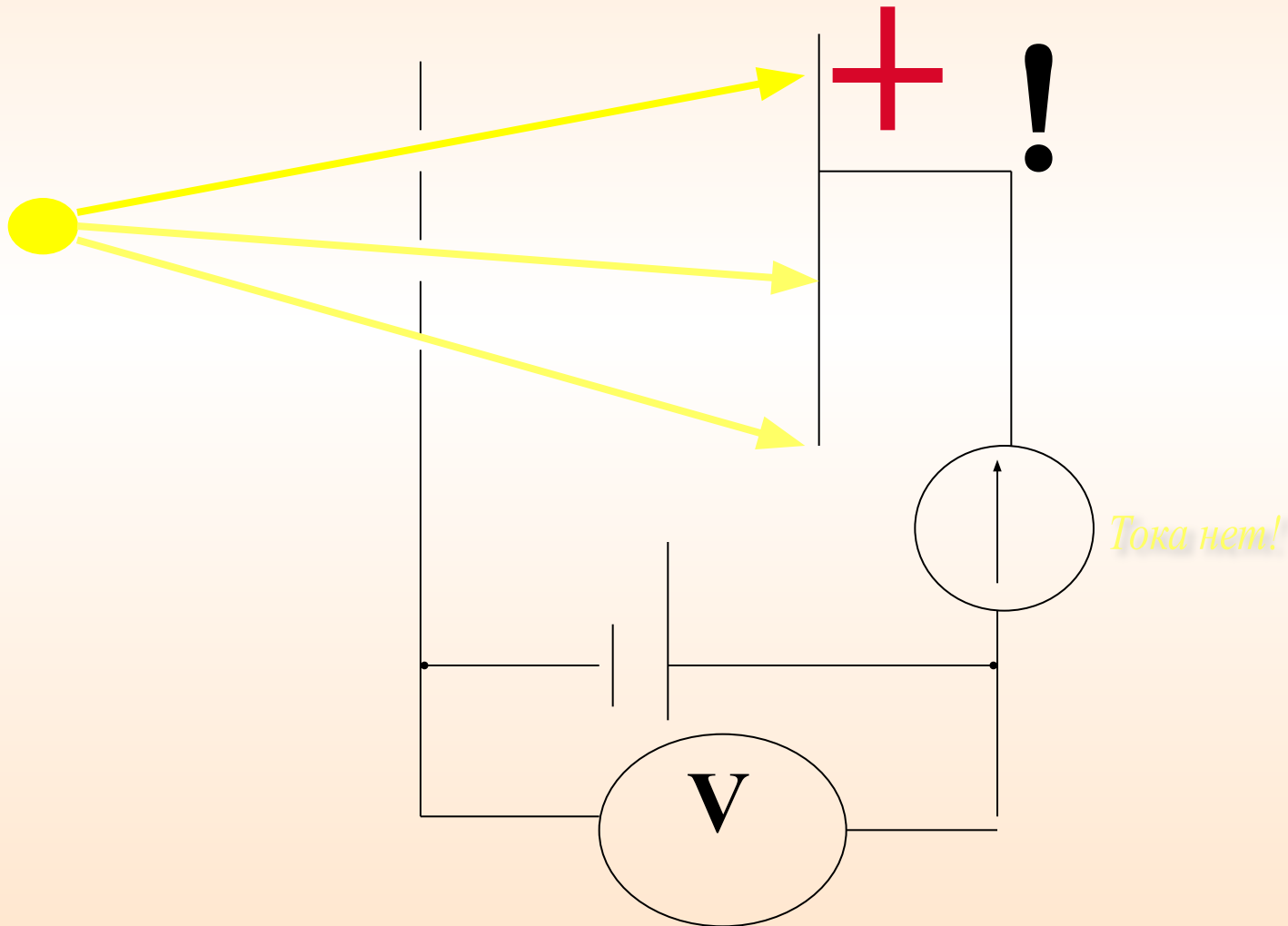
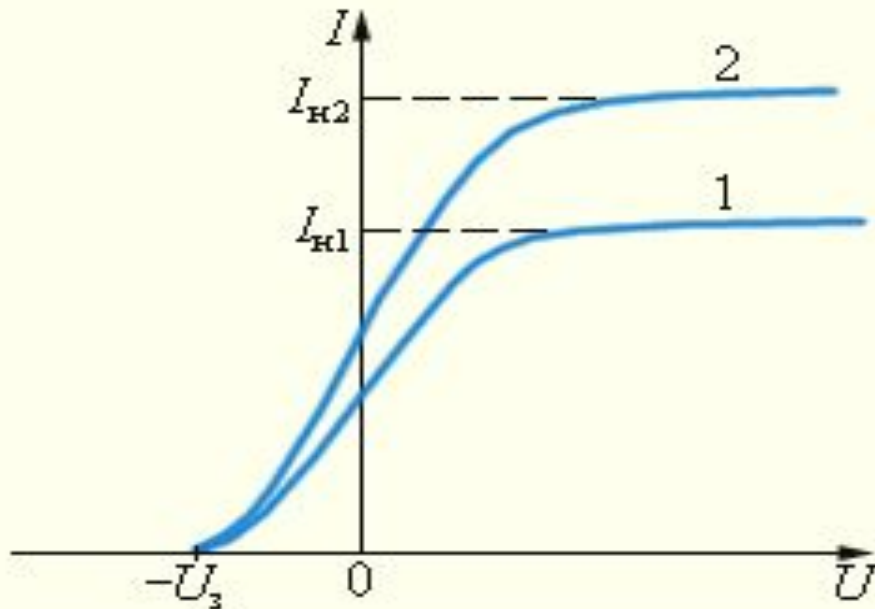


Схема установки Столетова 1-й вариант опыта



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.

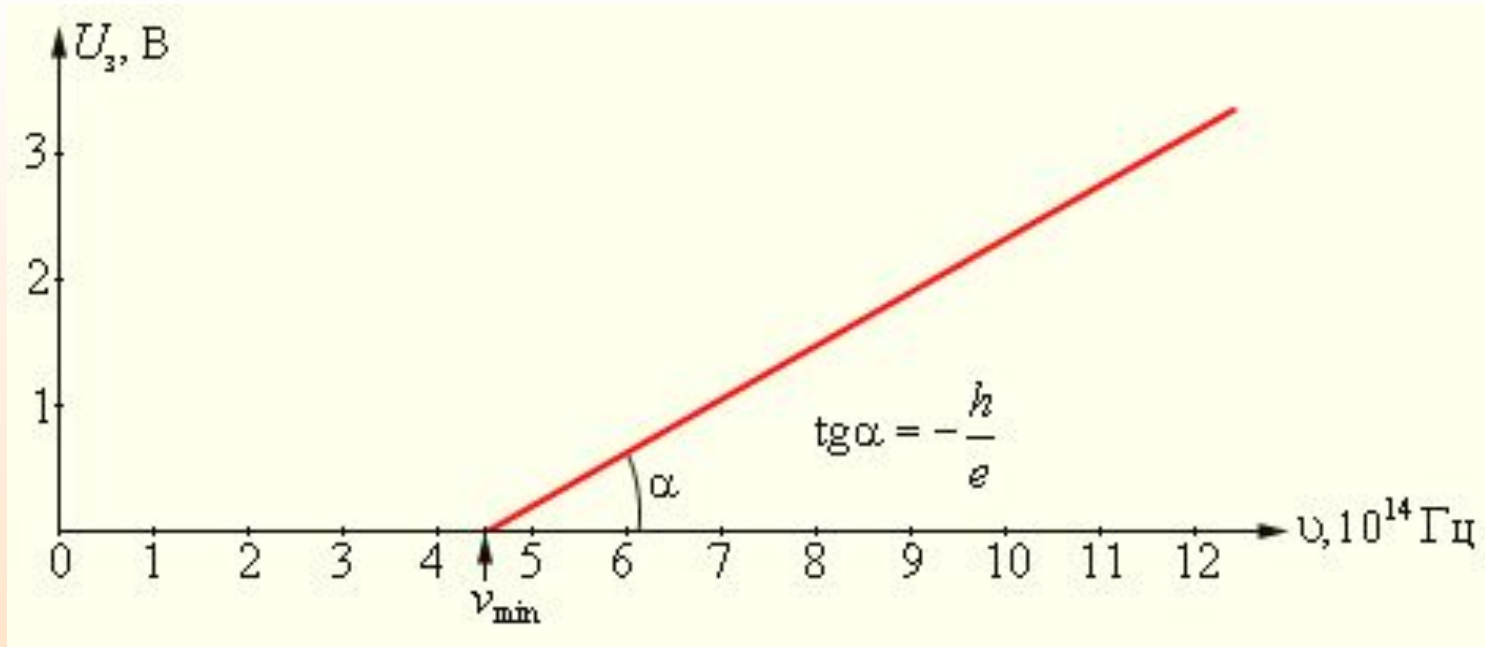
Важно!

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

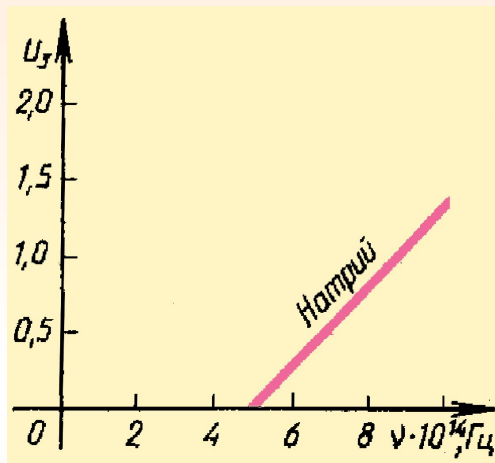
$$eU = \frac{mv^2}{2} \rightarrow v_m = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$$

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!

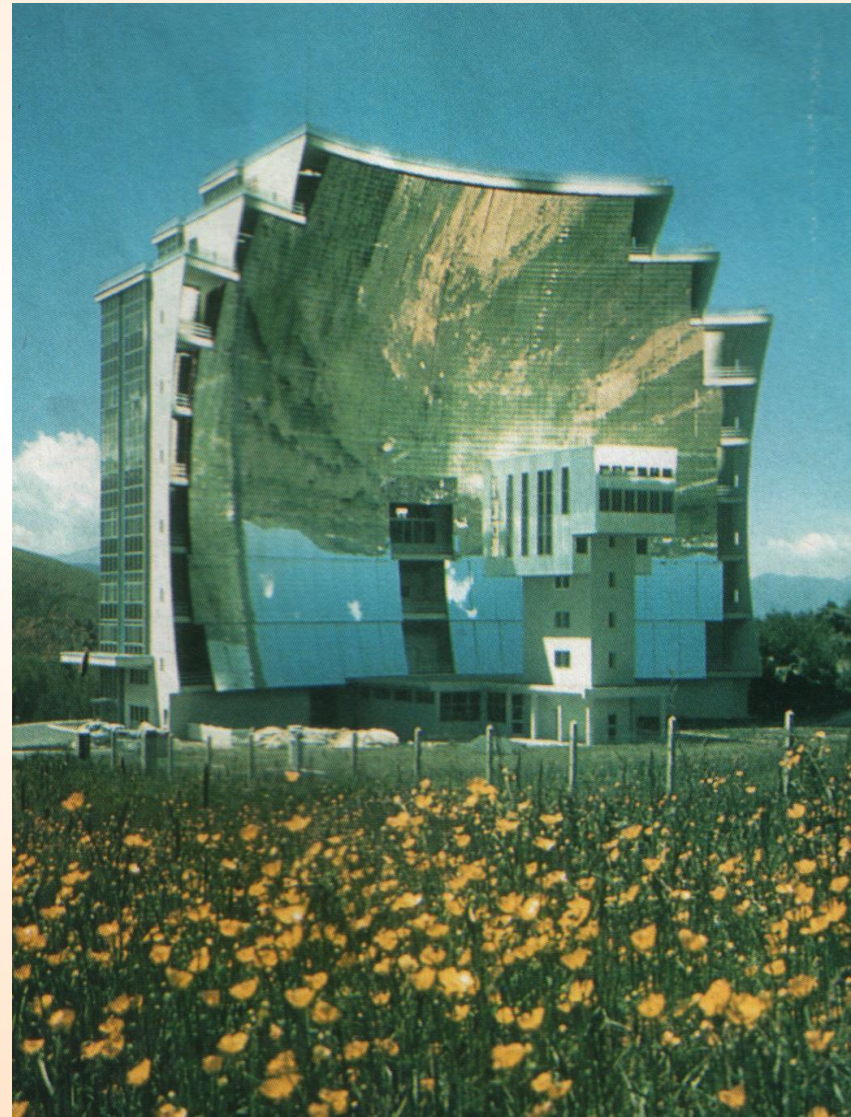
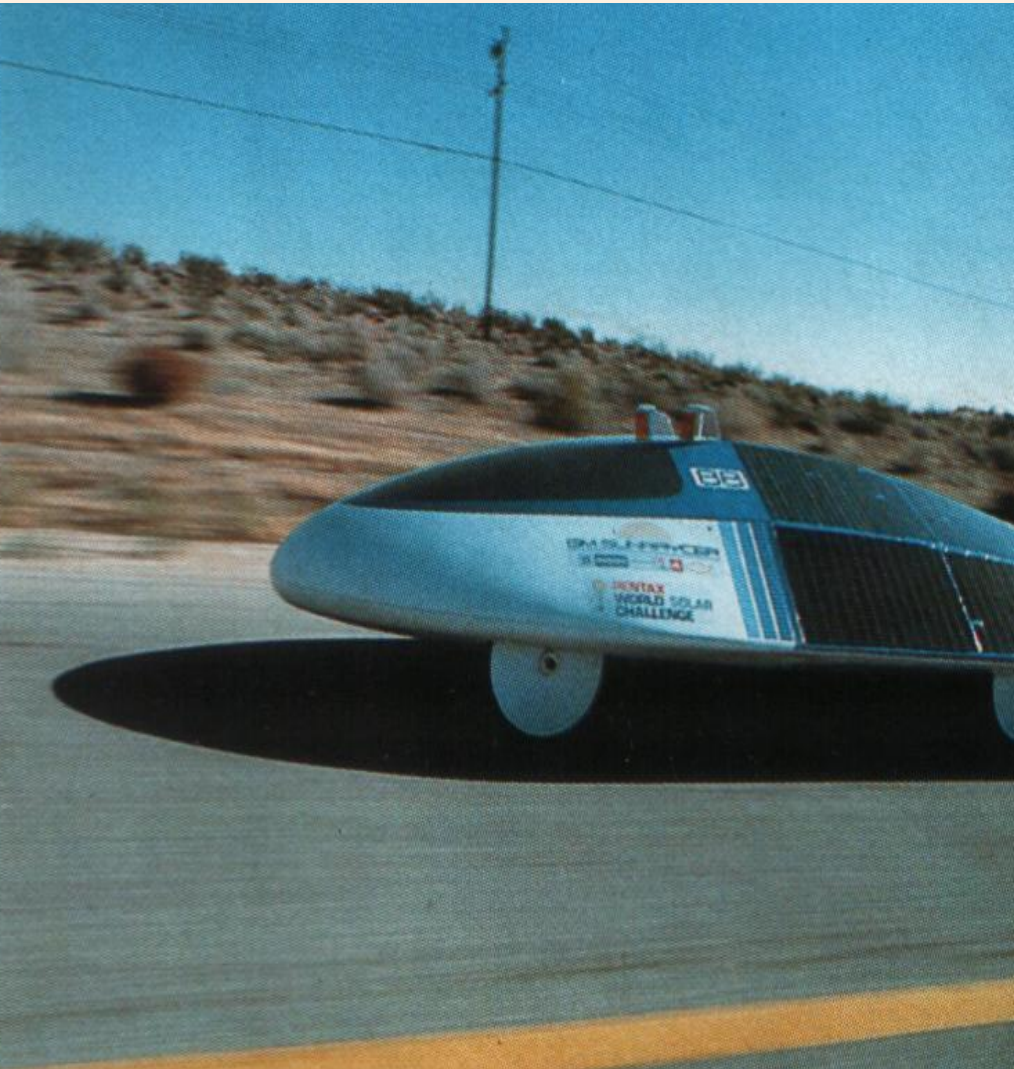
$$\nu_{\min} = \frac{A}{h}$$

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) Дж · с

б) кг · м/с²

в) кг · м/с

г) Н · м

д) кг/м³

№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.