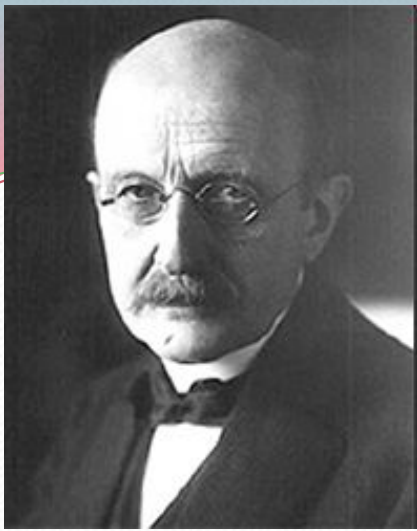




# *Квантовая физика*

## *Фотоэффект*

### *Теория фотоэффекта*



## **Макс Планк.**

Великий немецкий физик – теоретик, основатель квантовой теории – современной теории движения, взаимодействия и взаимных превращений

# **Повторение**

1. Какие из физических явлений не смогла объяснить классическая физика?

***строение атома,  
происхождение линейчатых  
спектров, тепловое излучение***

2. Кто является основоположником квантовой физики?  
микроскопических частиц.



# Повторение

3. Как атомы испускают энергию согласно гипотезе Планка?

*отдельными порциями - квантами*

4. Чему равна эта энергия?

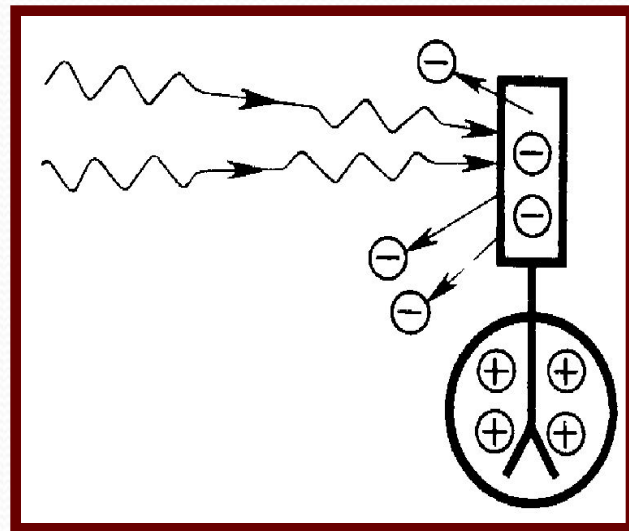
$$E = h\nu$$

5. Чему равна постоянная Планка?

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

# Эксперимент

№ 1. Цинковую пластину, соединенную с электроскопом, заряжают отрицательно и облучают ультрафиолетовым светом. Она быстро разряжается.



№ 2. Если же её зарядить положительно, то заряд пластины не изменится.

**Вывод**

***Свет вырывает электроны с поверхности пластины***



Это явление было открыто  
немецким учёным  
Генрихом Герцем  
в 1887 году.

## Фотоэффект

– это вырывание электронов  
из вещества под действием света



# Эксперимент

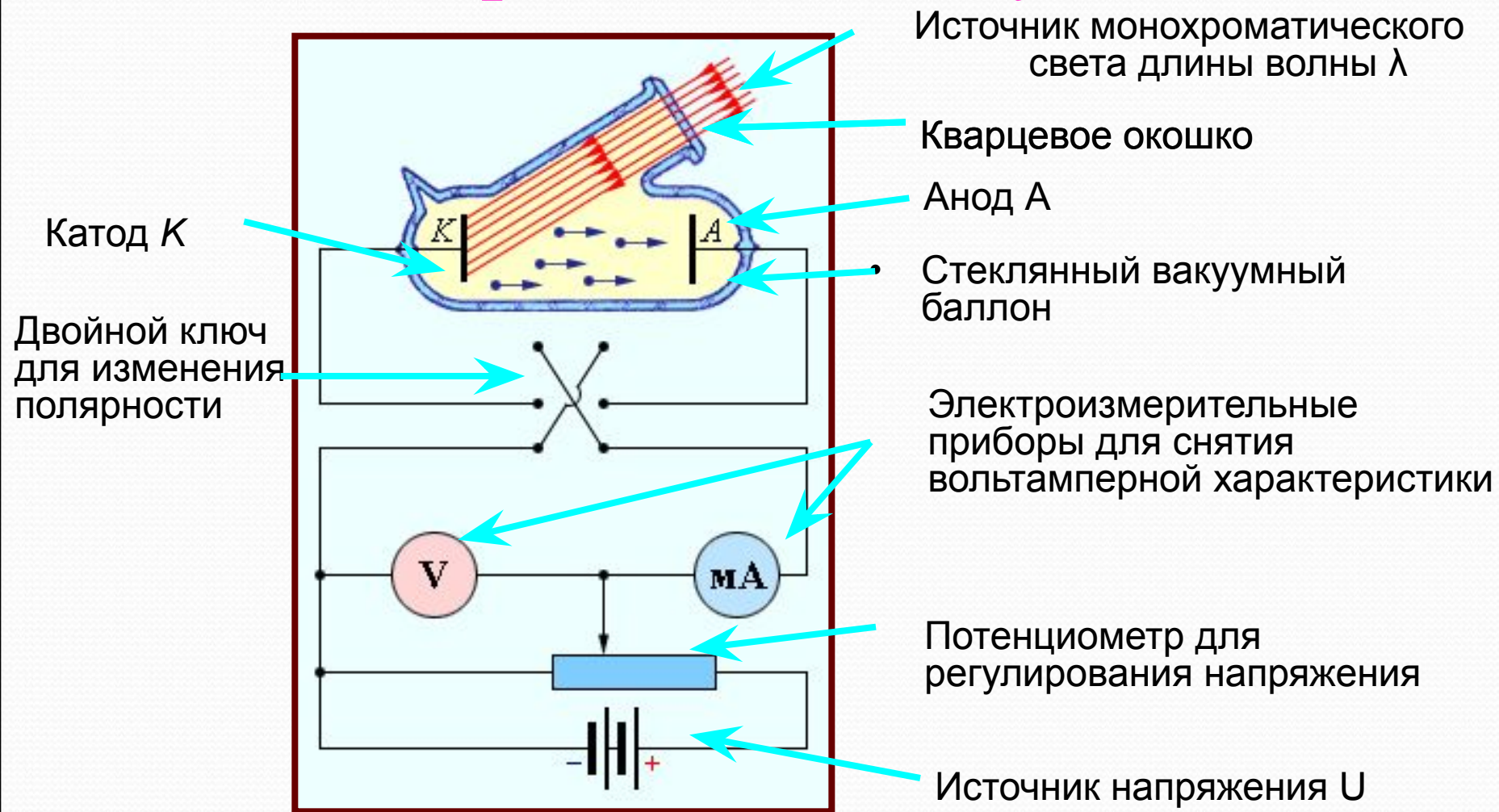


Количественные закономерности фотоэффекта были установлены русским физиком А. Г. Столетовым

Почему световые волны малой частоты не могут вырывать электроны, если даже амплитуда волны велика и, следовательно, велика сила, действующая на электрон?

***Этот факт нельзя объяснить на основе волновой теории света.***

# Схема экспериментальной установки



# Законы фотоэффекта

## 1 закон

Количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1 секунду, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.

***Пока ничего удивительного нет:***

***чем больше энергия светового пучка,  
тем эффективнее его действие***

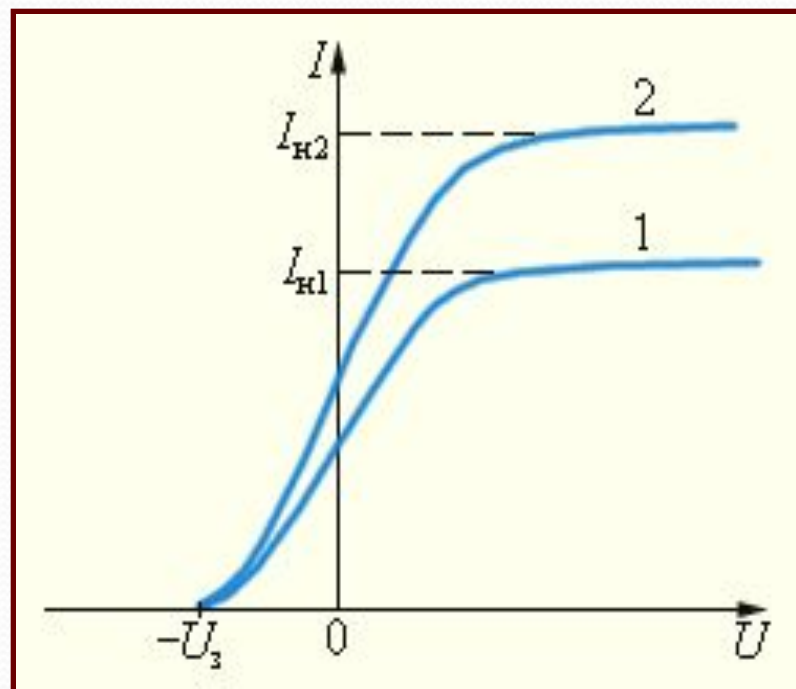


Максимальное значение силы тока называется **током насыщения**.

Ток насыщения определяется количеством электронов, испущенных за 1 секунду освещенным электродом

По модулю задерживающего напряжения

можно судить о скорости фотоэлектронов и об их кинетической энергии



# Законы фотоэффекта

## 2 ЗАКОН

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

## 3 ЗАКОН

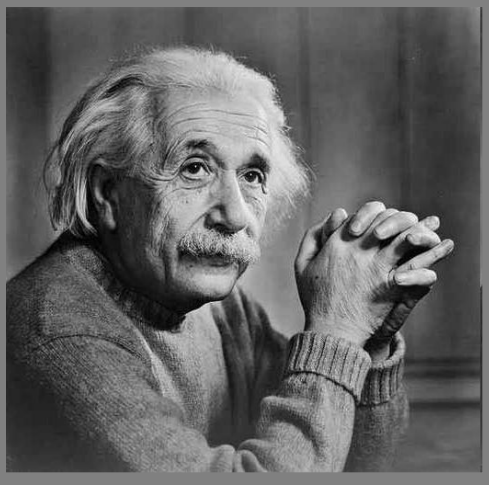
При  $V < V_{\text{min}}$  ни при какой интенсивности волны падающего на фотокатод света фотоэффект не происходит.



Почему энергия фотоэлектронов определяется только частотой света и почему лишь при малой длине волны свет вырывает электроны?

# Теория фотоэффекта

А. Эйнштейн 1905 год



Фотоэффект

практически

безинерционен, так как

с момента облучения

металла светом до

вылета электронов

проходит время **10**

**с.**

Свет имеет прерывистую структуру и поглощается отдельными порциями - квантами

**Поглотив квант света, электрон получает от него энергию и, совершая работу выхода, покидает вещество.**

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$



# Красная граница фотоэффекта



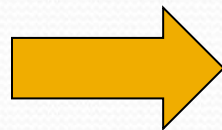
Для каждого вещества существует

**красная граница фотоэффекта,**

т. е. существует наименьшая частота  $\nu_{\min}$ ,  
при которой еще возможен фотоэффект.

**Минимальная частота света соответствует  $W_k = 0$**

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



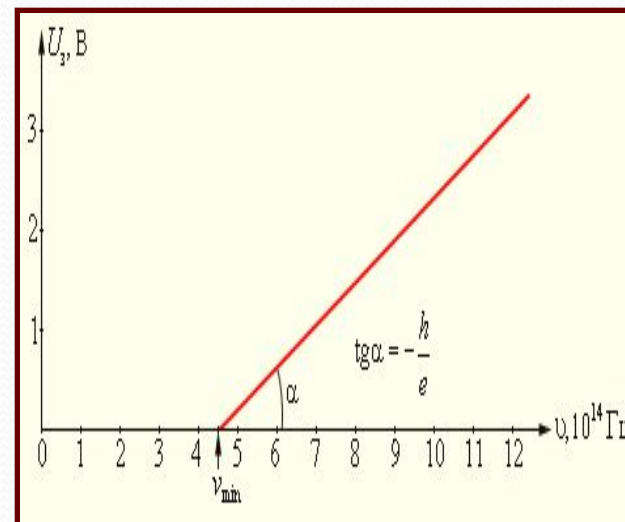
$$h \frac{c}{\lambda_{\max}} = A$$

# Экспериментальное определение постоянной Планка

Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала  $U_z$  от частоты  $\nu$ , равен отношению постоянной Планка  $h$  к заряду электрона  $e$ :

Это позволяет экспериментально определить значение постоянной Планка.

$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_1 - U_2)$$
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_1 - U_2}{\nu_2 - \nu_1} = \frac{h}{e}$$







## Решение задач

1. В каком случае электроскоп, заряженный отрицательным зарядом, быстрее разрядится при освещении:
1. рентгеновским излучением;
  2. ультрафиолетовым излучением?
1. 1.      2. 2.      3. Одновременно.
4. Электроскоп не разрядится в обоих случаях.





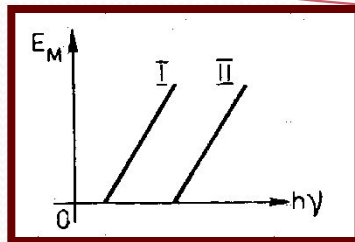
**2.** Как изменится скорость электронов при фотоэффекте, если увеличить частоту облучающего света, не изменяя общую мощность излучения?

**1.** Увеличится.

**2.** Не изменится.

**3.** Уменьшится.

**4.** Ответ неоднозначен.



3. На рисунке приведены графики зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от энергии падающих на фотокатод фотонов. В каком случае материал катода фотоэлемента имеет меньшую работу выхода?

1. I.      2. II.      3. Одинаковую.      4. Ответ неоднозначен.





4. При освещении катода вакуумного фотоэлемента потоком монохроматического света происходит освобождение фотоэлектронов. Как изменится максимальная энергия фотоэлектронов при уменьшении частоты в 2 раза?

1. Не изменится.
2. Уменьшится в 2 раза.
3. Уменьшится более чем в 2 раза.
4. Уменьшится менее чем в 2 раза.





**5.** Длина волны рентгеновского излучения равна  $10^{-10}$  м. Во сколько раз энергия одного фотона этого излучения превосходит энергию фотона видимого света с длиной волны  $4 \cdot 10^{-7}$  м?

1. 25

2. 40

3. 2500

4. 4000



**6.** Для опытов по фотоэффекту взяли пластину из металла с работой выхода  $3,4 \cdot 10^{-19}$  Дж и стали освещать ее светом частоты  $6 \cdot 10^{14}$  Гц. Затем частоту уменьшили в 2 раза, одновременно увеличив в 1,5 раза число фотонов, падающих на пластину за 1 с. В результате этого число фотоэлектронов, покидающих пластину за 1 с,

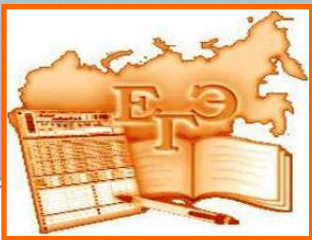
**1.** увеличилось в 1,5 раза

**2.** стало равным нулю

**3.** уменьшилось в 2 раза

**4.** уменьшилось более чем в 2 раза





**6.** Один из способов измерения постоянной Планка основан на определении максимальной кинетической энергии электронов при фотоэффекте с помощью измерения напряжения, задерживающего их. В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов.

Задерживающее напряжение $U$ , в	0, 4	0,9
Частота света, $\nu \cdot 10^{14}$ , Гц	5, 5	6, 9

Постоянная Планка по результатам этого эксперимента равна

1.  $6, 6 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\cdot$  с

2.  $5, 7 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\cdot$  с

3.  $6, 3 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\cdot$  с

4.  $6, 0 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\cdot$  с





## Решение задачи № 6

$$\begin{array}{l} hv_1 = A \\ + \\ hv_2 = A + \end{array} \left. \begin{array}{l} \frac{mv^2}{2} \\ \frac{mv^2}{2} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{вычитаем} \\ \Rightarrow \end{array} h(v_2 - v_1) = e(U_{32} - U_{31})$$

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3$$

$$h = \frac{\hbar \Delta U}{\Delta \nu}$$

**Ответ**

$$h = 5,7 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$



7. Фотоэффект наблюдают, освещая поверхность металла светом фиксированной частоты. При этом задерживающая разность потенциалов равна  $U$ . После изменения частоты света задерживающая разность потенциалов увеличилась на  $\Delta U = 1,2$  В.

Насколько изменилась частота падающего света?

1.  $1,8 \cdot 10^{14}$  Гц

3.  $6,1 \cdot 10^{14}$  Гц

2.  $2,9 \cdot 10^{14}$  Гц

4.  $1,9 \cdot 10^{15}$  Гц





## Решение задачи № 7

$$\begin{array}{l} h\nu_1 = A \\ + \\ h\nu_2 = A + \end{array} \left. \begin{array}{l} \frac{mv^2}{} \\ \frac{2}{2} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{вычитаем} \\ \Rightarrow \end{array} \quad h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_{32} - U_{31})$$

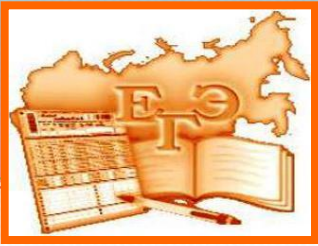
$$\frac{mv^2}{2} = eU_3$$

$$\nu_2 - \nu_1 = \frac{e\Delta U}{h}$$

**Ответ**

$$\nu_2 - \nu_1 = 2,9 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$





**8.** Красная граница фотоэффекта исследуемого металла соответствует длине волны  $\lambda_{кр} = 600$  нм. При освещении этого металла светом длиной волны  $\lambda$  максимальная кинетическая энергия выбитых из него фотоэлектронов в 3 раза меньше энергии падающего света.

Какова длина волны  $\lambda$  падающего света?

1. 133 нм

2. 300 нм

3. 400 нм

4. 1200 нм

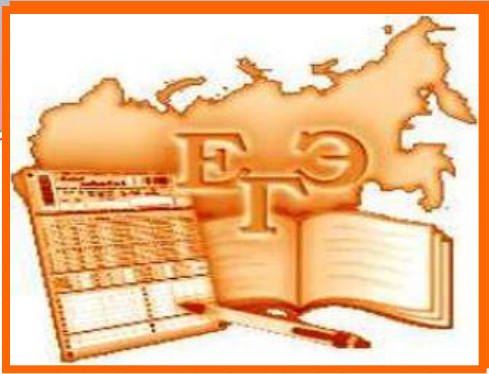


## Решение задачи № 8

$$\left. \begin{aligned} h\nu &= A + \frac{mv^2}{2} \\ \nu &= \frac{\tilde{n}}{\lambda} \\ \frac{mv^2}{2} &= \frac{h\nu}{3} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{h\tilde{n}}{\lambda} &= A + \frac{hc}{3\lambda} \\ A &= \frac{h\tilde{n}}{\lambda\hat{\epsilon}\delta} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \lambda = \frac{2\lambda\hat{\epsilon}\delta}{3}$$

**Ответ**  $\lambda = 400 \text{ нм}$





9. Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода) сосуда, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем напряженностью  $E = 5 \cdot 10^4$  В/м. Какой путь пролетел в этом электрическом поле электрон, если он приобрел скорость  $3 \cdot 10^6$  м/с. Релятивистские эффекты не учитывать.



## Решение задачи № 9

$$v_i = 0, \text{ò } \hat{e} \cdot \lambda = \lambda \hat{e} \delta$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{A} &= \frac{mv^2}{2} \\ \dot{A} &= FS = \dot{A} S \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$S = \frac{mv^2}{2eE}$$

**Ответ**

$$S \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$



**10.** Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из металлической пластины светом с длиной волны  $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$  м, если красная граница фотоэффекта  $\lambda_{кр} = 540$  нм?



## Решение задачи № 10

$$\left. \begin{aligned} h\nu &= A + \frac{m\nu^2}{2} \\ \nu &= \frac{\tilde{n}}{\lambda} \\ A &= \frac{h\tilde{n}}{\lambda\hat{e}\delta} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{m\nu^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda\hat{e}\delta} \Rightarrow$$
$$\nu = \sqrt{\frac{2hc}{m} \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda\hat{e}\delta} \right)}$$

**Ответ**  $\nu = 800 \frac{\hat{e}\dot{\lambda}}{\div}$





**11.** Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода  $\lambda_{кр} = 290$  нм. При облучении катода светом с длиной волны  $\lambda$  фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом  $U = 1,5$  В.

Определите длину волны  $\lambda$ .

## Решение задачи № 11

$$h\nu = A + \frac{m\nu^2}{2}$$

$$\nu = \frac{\tilde{n}}{\lambda}$$

$$A = \frac{h\tilde{n}}{\lambda\hat{e}\delta}$$

$$\frac{m\nu^2}{2} = eU_\zeta$$

$$\Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda\hat{e}\delta} + eU_\zeta \Rightarrow$$

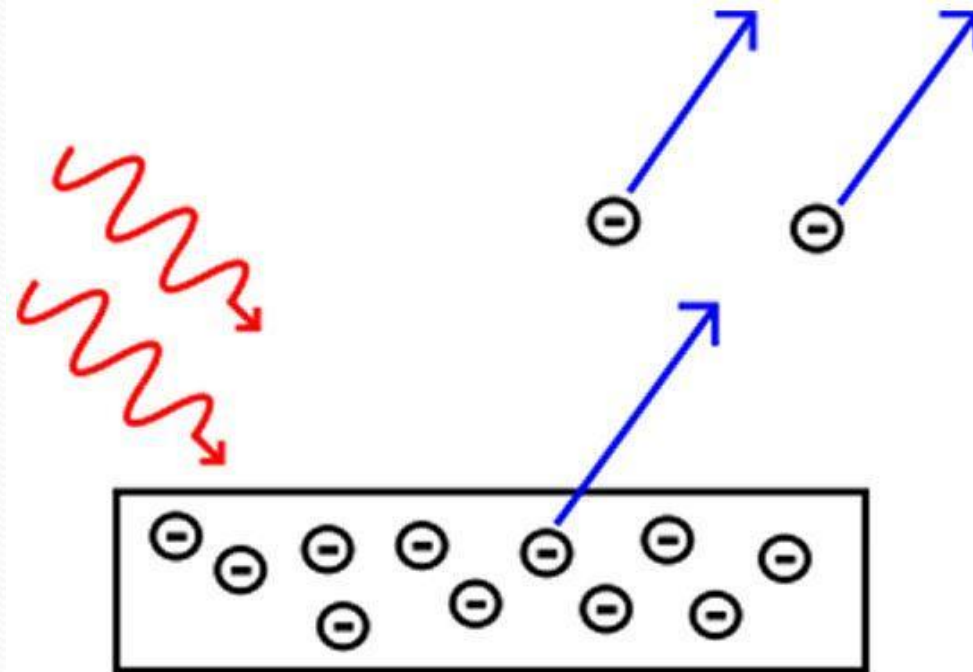
$$\lambda = \frac{hc\lambda\hat{e}\delta}{hc + eU_\zeta\lambda\hat{e}\delta}$$

**Ответ**  $\lambda = 215 \text{ нм}$

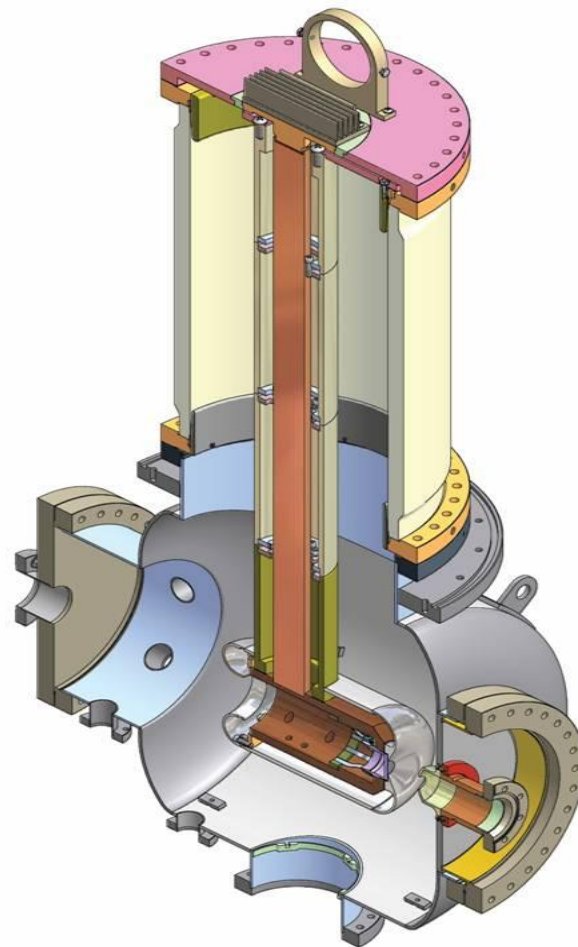


# Внешний фотоэффект

Внешним фотоэффектом (фотоэлектронной эмиссией) называется испускание электронов веществом под действием электромагнитных излучений. Электроны, вылетающие из вещества при внешнем фотоэффекте, называются *фотоэлектронами*, а электрический ток, образуемый ими при упорядоченном движении во внешнем электрическом поле, называется *фототоком*.



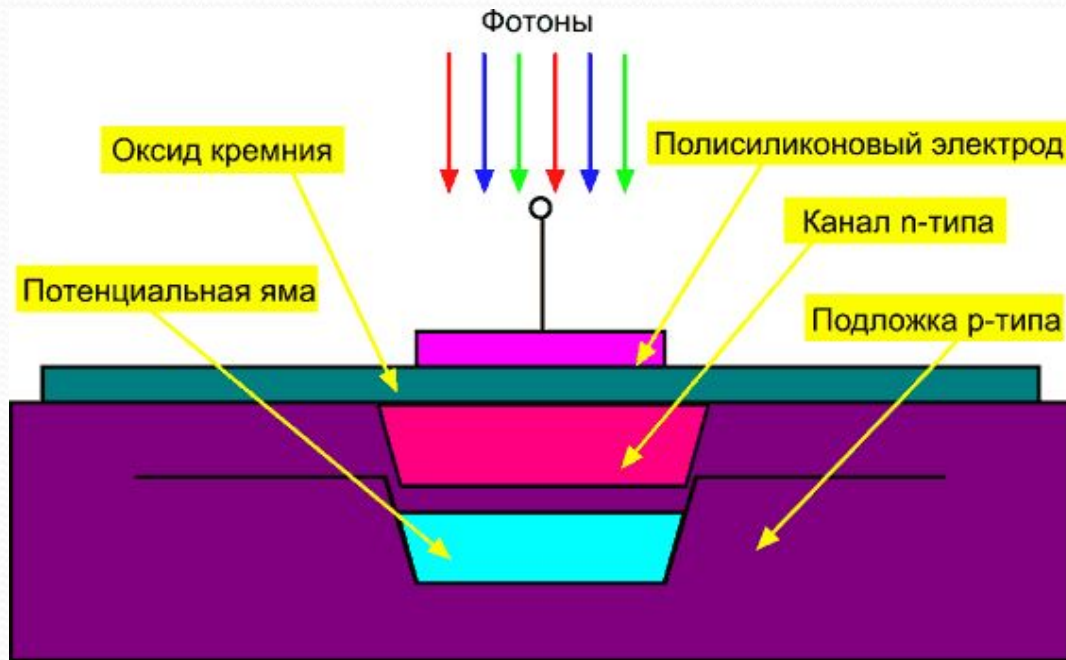
*Фотокатод* — электрод вакуумного электронного прибора, непосредственно подвергающийся воздействию электромагнитных излучений и эмитирующий электроны под действием этого излучения. Зависимость спектральной чувствительности частоты или длины волны электромагнитного излучения называют спектральной характеристикой фотокатода.





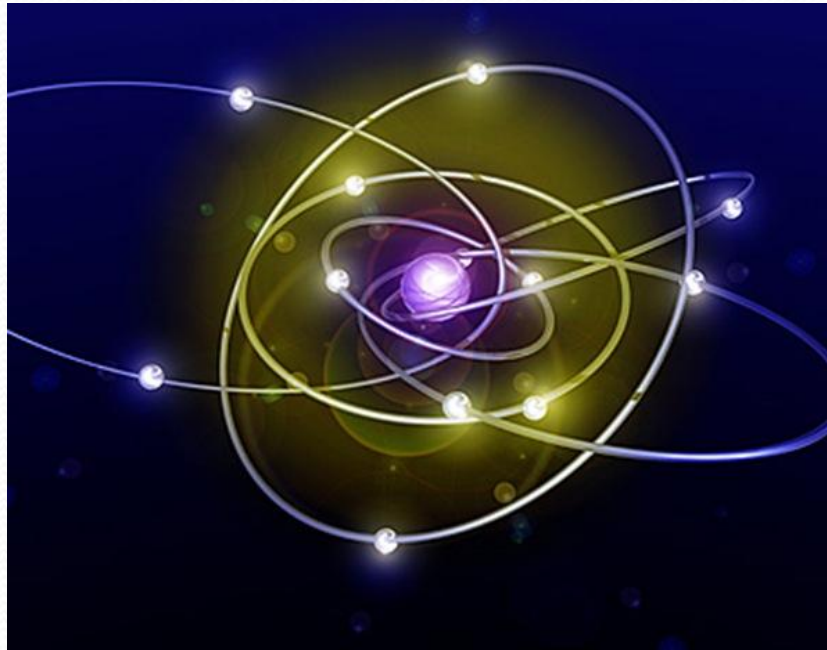
# Внутренний фотоэффект

Внутренним фотоэффектом называется перераспределение электронов по энергетическим состояниям в твёрдых и жидких полупроводниках и диэлектриках, происходящее под действием излучений. Он проявляется в изменении концентрации носителей зарядов в среде и приводит к возникновению *фотопроводимости* или *вентильного фотоэффекта*.



# ФОТОН

**Фотóн** — элементарная частица, квант электромагнитного излучения (в узком смысле — света). Это безмассовая частица, способная существовать только двигаясь со скоростью света. Электрический заряд фотона также равен нулю. Фотону как квантовой частице свойственен корпускулярно-волновой дуализм, он проявляет одновременно свойства частицы и волны. В физике фотоны обозначаются буквой  $\gamma$ . Фотон — самая распространённая по численности частица во Вселенной. На один нуклон приходится не менее 20 миллиардов фотонов.

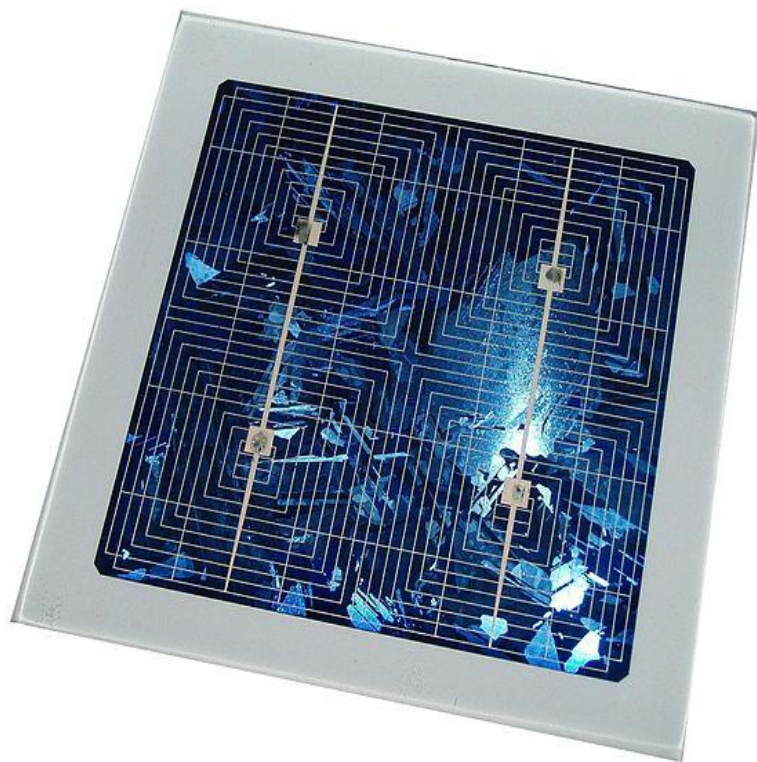




# Применение

Приборы, в основе принципа действия которых лежит явление фотоэффекта, называются фотоэлементами

# фотоэффекта





Фотоэлементы, использующие внешний фотоэффект, преобразуют в электрическую энергию лишь незначительную часть энергии излучения. Поэтому в качестве источников электроэнергии их не используют, зато широко применяют в различных схемах автоматики для управления электрическими цепями с помощью световых пучков.



С помощью фотоэлементов осуществляется воспроизведение звука, записанного на кинолентке а также передача движущихся изображений (телевидение).



На внешнем фотоэффекте основана работа электронно-оптического преобразователя (ЭОП), предназначенного для преобразования изображения из одной области спектра в другую, а также для усиления яркости изображений. В медицине ЭОП применяют для усиления яркости рентгеновского изображения, это позволяет значительно уменьшить дозу облучения человека.





На фотоэффекте основано превращение светового сигнала в электрический. Электрическое сопротивление полупроводника падает при освещении; это используется для устройства *фотосопротивлений*. При освещении области контакта различных полупроводников возникает фото-эдс, что позволяет преобразовывать световую энергию в электрическую.



Солнечные батареи на Международной космической станции

**Фотоэлектронные умножители позволяют регистрировать  
очень слабое  
излучение, вплоть до отдельных квантов.**





# Рефлексия.

- Учитель: Предлагает проанализировать свою деятельность на уроке.
- Учащиеся: Анализируют, записывают свои мысли на листочках, которые учитель заранее выдал им на парты.
- 1.       Сегодня на уроке я научился:
- 2.       Сегодня на уроке мне понравилось:
- 3.       Сегодня на уроке мне не понравилось:
-

