

Квантовая физика



Фотоэффект

Теория фотоэффекта



Повторение

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

Макс Планк.

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

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?

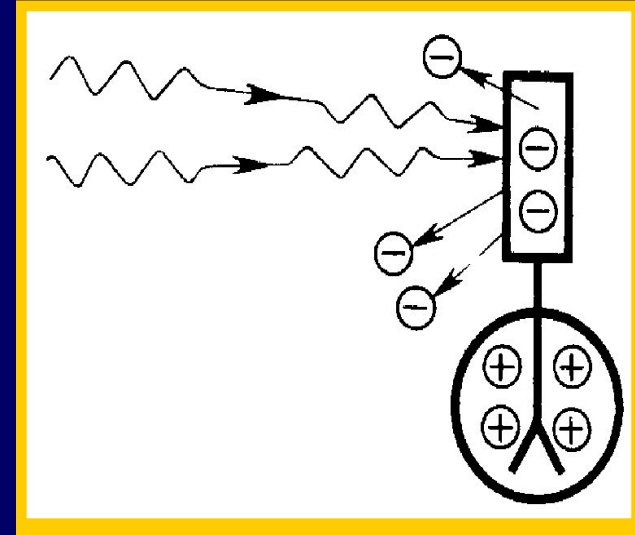
$$E = h\nu$$

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



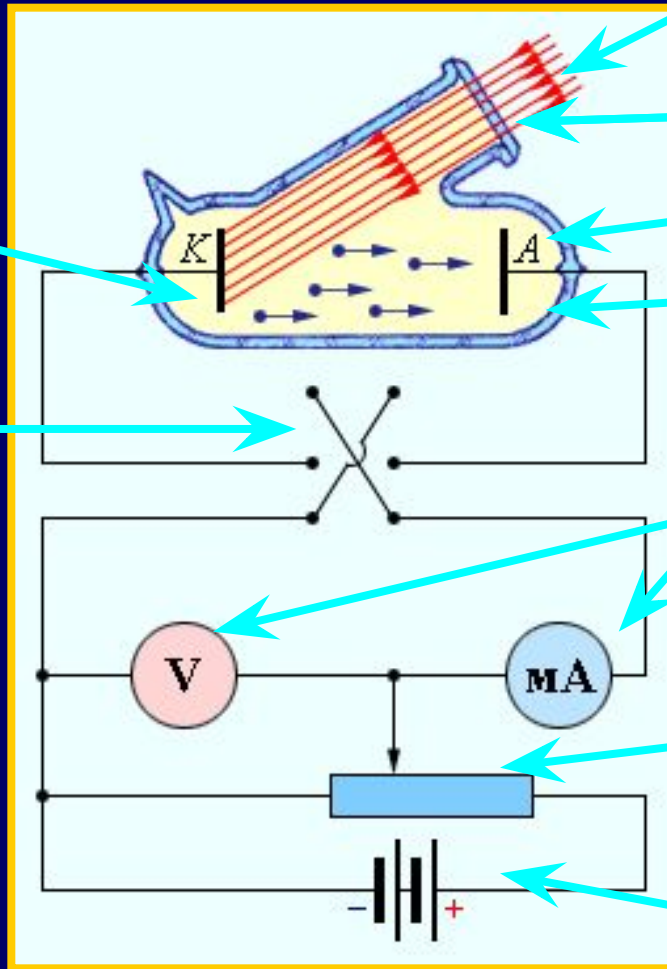
№ 3. Стеклом экраном перекрывает источник ультрафиолетового излучения. Отрицательно заряженная пластина уже не теряет электроны, какова бы ни была интенсивность излучения. Количество вырванных электронов не зависит от частоты излучения. Эксперименты были установлены русским физиком А. Г. Столетовым.



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



Катод K

Двойной ключ для изменения полярности

Источник монохроматического света длины волны λ

Кварцевое окошко

Анод A

Стеклянный вакуумный баллон

Электроизмерительные приборы для снятия вольтамперной характеристики

Потенциометр для регулирования напряжения

Источник напряжения U

Законы фотоэффекта

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*

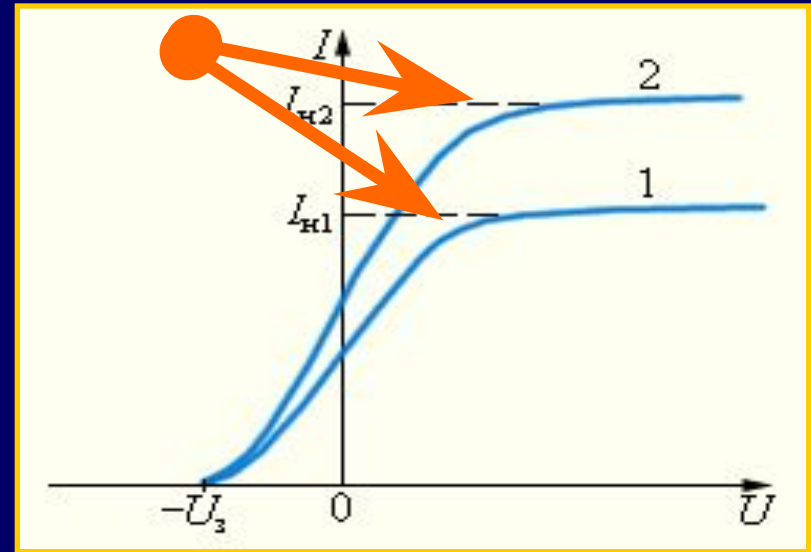
1

ЗАКОН

По модулю задерживающего напряжения
Максимальное значение силы тока
можно судить
называется **током насыщения**.

о скорости

Ток насыщения определяется
фотоэлектронами
и **об их кинетической энергии**
за 1 секунду
освещенным электродом.



$$eU_3 = \frac{m v_m^2}{2}$$



$$v_m = \sqrt{\frac{2eU_3}{m_e}}$$

Законы фотоэффекта

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

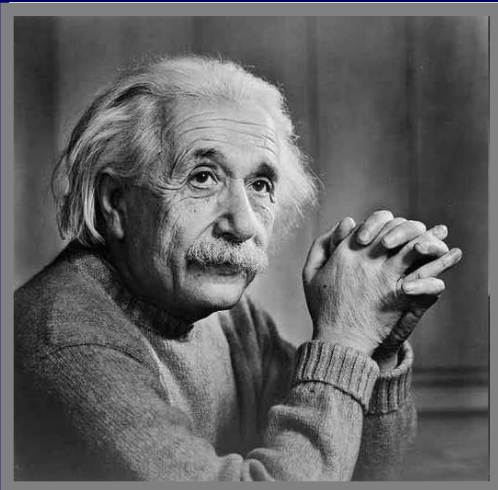
При $\nu < \nu_{\text{min}}$ ни при какой интенсивности волны падающего на фотокатод света фотоэффект не происходит.

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

2
ЗАКОН

3
ЗАКОН





Теория фотоэффекта

А. Эйнштейн 1905 год

Фотоэффект практически безинерционен, так как с момента облучения металла светом до вылета электронов проходит время 10^{-9} с.

Поглотив квант света, электрон получает от него энергию $h\nu$, совершая работу выхода, покидает вещество.

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

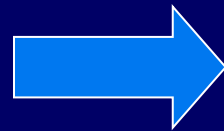
Красная граница фотоэффекта



Для каждого вещества существует **красная граница фотоэффекта**, т. е. существует наименьшая частота ν_{\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, это позволяет экспериментально определить тангенс угла наклона прямой, выражающей значение постоянной Планка.

Такие измерения были выполнены Ш. Р. Миллером, в 1914 г. и дали хорошее согласие со значением, найденным Планком. равно отношению постоянной Планка h к заряду электрона e :



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



Решение задач

Часть А – базовый уровень

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.



Часть А – базовый уровень

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

1. Увеличится.

2. Не изменится.

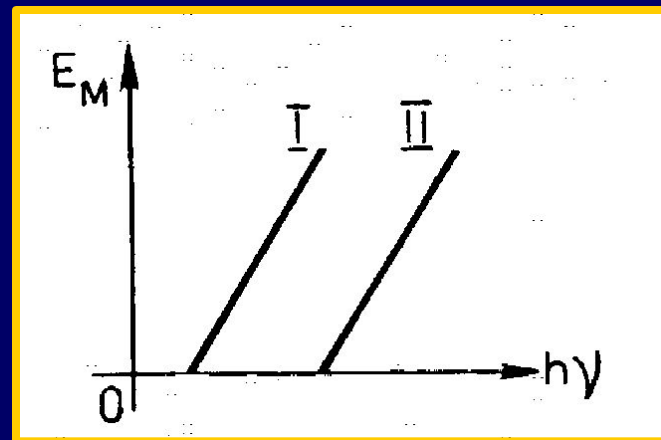
3. Уменьшится.

4. Ответ неоднозначен.



Часть А – базовый уровень

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.



Часть А – базовый уровень

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.



Часть А – базовый уровень

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



Часть А – базовый уровень

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

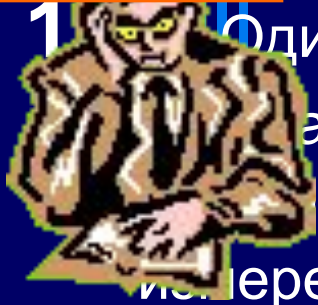
2. стало равным нулю

3. уменьшилось в 2 раза

4. уменьшилось более чем в 2 раза



Часть А – повышенный уровень



Один из способов измерения постоянной Планка связан с определением 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 № 1

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

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

$$h = \frac{e\Delta U}{\Delta v}$$

ОТВЕТ

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



Часть А – повышенный уровень

2. 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



Обратите **ВНИМАНИЕ**
– стандартные и очень схожие задачи.

Встречаются во многих вариантах ЕГЭ.

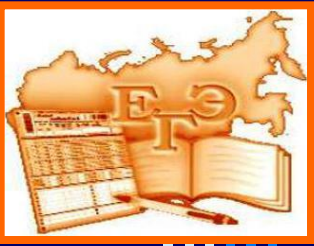
$$\left. \begin{array}{l} hv_1 = A \\ hv_2 = A + \frac{mv^2}{2} \end{array} \right\} \text{вычитаем} \Rightarrow h(v_2 - v_1) = e(U_{32} - U_{31})$$

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

$$v_2 - v_1 = \frac{e\Delta U}{h}$$

ОТВЕТ

$$v_2 - v_1 = 2,9 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$



Часть А – повышенный уровень

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

Какова длина волны λ падающего света?

1. 133 нм

2. 300 нм

3. 400 нм

4. 1200 нм



Решение задачи № 3

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

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

$$\frac{m\nu^2}{2} = \frac{h\nu}{3}$$

\Rightarrow

$$\frac{h\tilde{n}}{\lambda} = A + \frac{hc}{3\lambda}$$

$$A = \frac{h\tilde{n}}{\lambda \epsilon_0}$$

\Rightarrow

$$\lambda = \frac{2\lambda \epsilon_0}{3}$$

Ответ

$$\lambda = 400 \text{ нм}$$



Часть С

1. 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 № 1

$$\nu_0 = 0, \text{ т.к. } \lambda = \lambda_{\text{кр}}$$

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

$$A = FS = eES$$

\Rightarrow

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

ОТВЕТ

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



Часть С

2. 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 № 2

$$\left. \begin{aligned} h\nu &= A + \frac{m\nu^2}{2} \\ \nu &= \frac{c}{\lambda} \\ A &= \frac{hc}{\lambda_{кр}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{m\nu^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{ед}} \Rightarrow$$
$$\nu = \sqrt{\frac{2hc}{m} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{ед}} \right)}$$

Ответ

$$\nu = 800 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$



Часть С

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

Определите длину волны λ .



Решение задачи № 3

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

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$A = \frac{hc}{\lambda_{кр}}$$

$$\frac{m\nu^2}{2} = eU_3$$

$$\Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{кр}} + eU_3 \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{hc\lambda_{кр}}{hc + eU_3\lambda_{кр}}$$

ОТВЕТ

$$\lambda = 215 \text{ нм}$$

Пети!



**И вы обязательно будете
развлекаться**