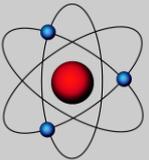




Урок физики 2 курс (2 семестр)

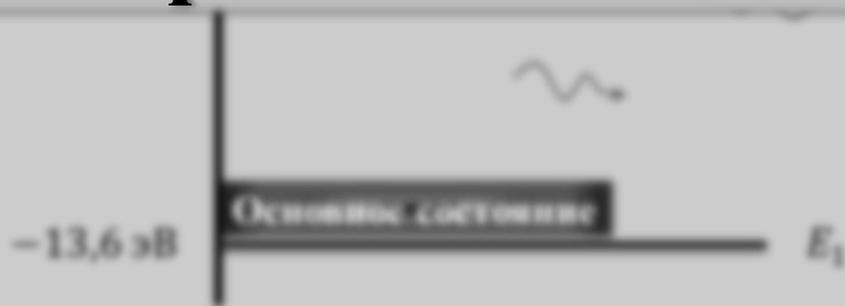
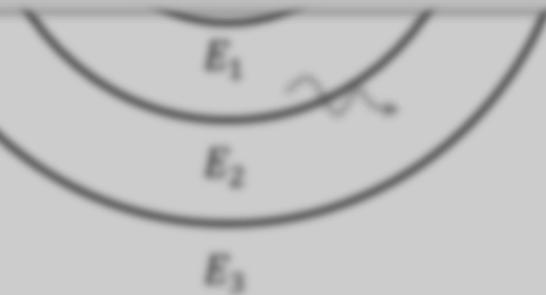


Тема № 9. Возникновение квантовой физики. Явление фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна.



Преподаватель к.ф-м. наук: **Мирахмедова Нигора Миркамаловна**

На смену классическим представлениям о явлениях, происходящих на атомном и субатомном уровнях, приходит **квантовая физика.**

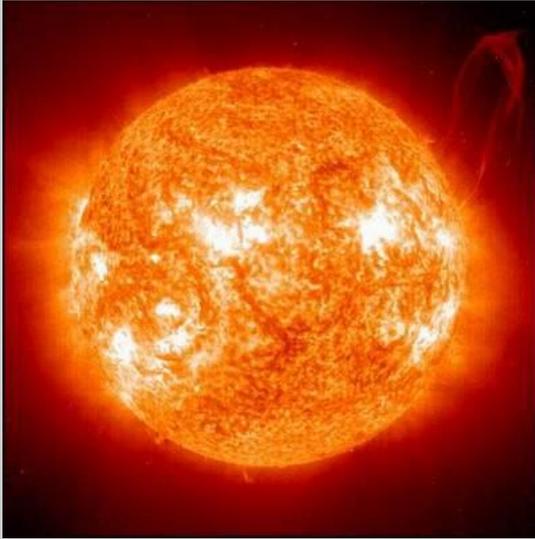




Тепловое излучение



потери атомом энергии на излучение света компенсируются за счет энергии теплового движения атомов излучающего тела.



Солнце



Лампа накаливания



Костер



Идея Эйнштейна (1905 г.)



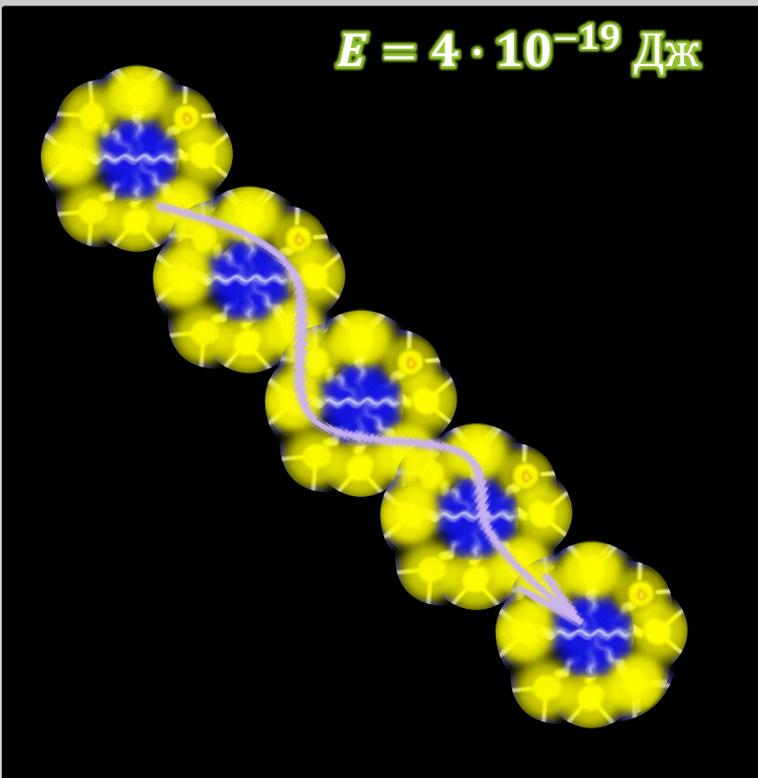
- Свет имеет прерывистую дискретную структуру. Электромагнитная волна состоит из отдельных порций – квантов, впоследствии названных фотонами.
- Квант поглощается электроном целиком. Энергия кванта передается электрону. (Один фотон выбивает один электрон.)
- Энергия каждого фотона определяется формулой Планка $W = E = h\nu$, где h – постоянная Планка.



Фотон — это частица света,
квант электромагнитного излучения.



ТИАМЕ



Энергия фотона:

$$E = h\nu$$

$$E = mc^2$$

Масса фотона:

$$mc^2 = h\nu$$

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

Импульс фотона:

$$p = mc$$

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

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

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

Направление импульса фотона совпадает
с направлением светового луча.



Открытие фотоэффекта



TIAME

- *Фотоэлектрический эффект* был открыт в 1887 году немецким физиком Г.Герцем
- Экспериментально исследован в 1888–1890 годах А. Г. Столетовым.
- Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено **Ф. Ленардом** в 1900 г.

Фотоэффект



Генрих Рудольф Герц

Фотоэффект — явление взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, в результате которого энергия излучения передается электронам вещества.

Внешний фотоэффект — фотоэффект, сопровождающийся вылетом электронов с поверхности вещества.

Фотоэлектроны — вылетающие с поверхности вещества под действием света электроны.

Внутренний фотоэффект — фотоэффект, сопровождающийся увеличением концентрации носителей заряда в веществе.



Александр Григорьевич Столетов

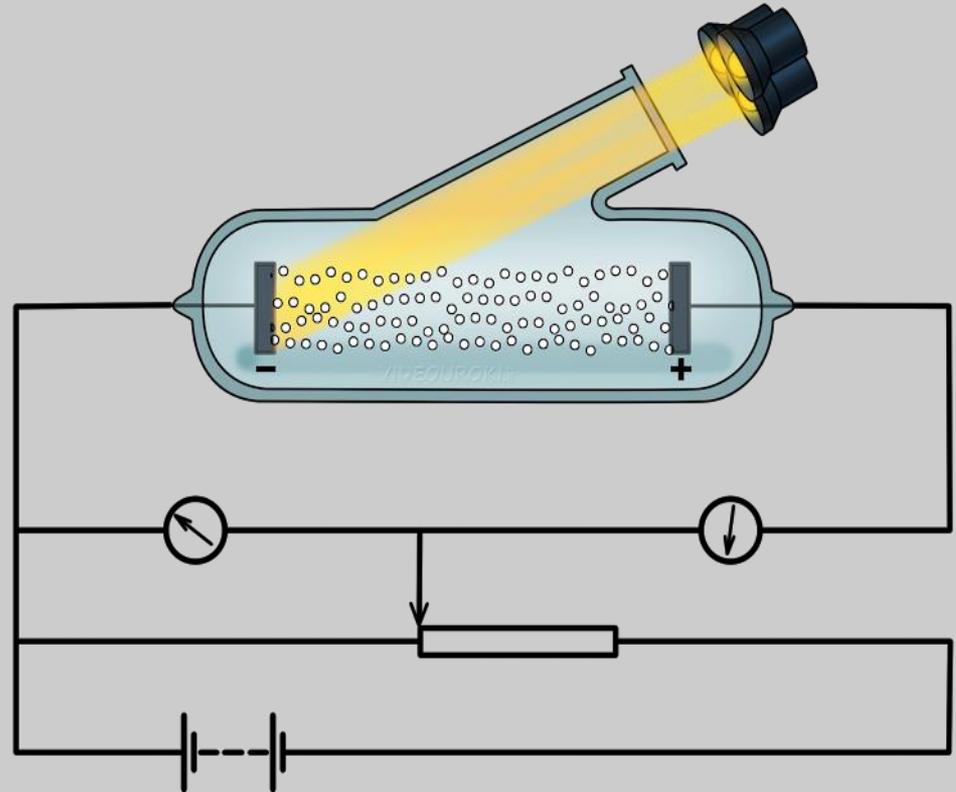
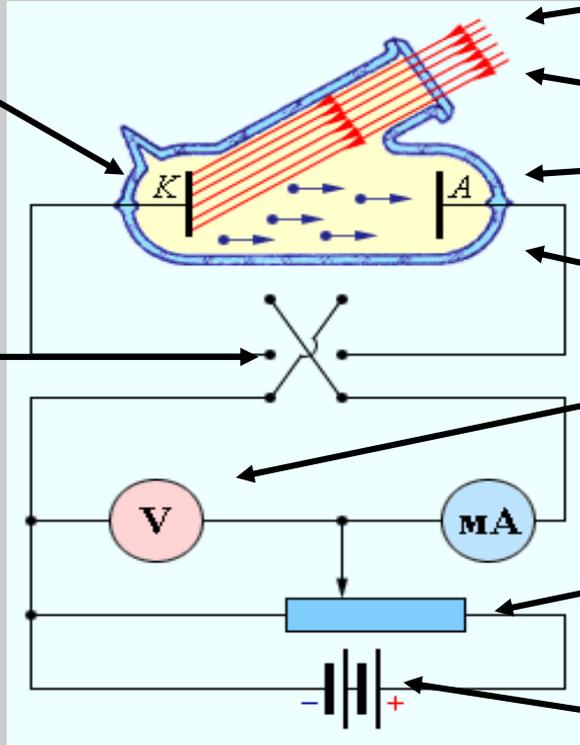


Схема экспериментальной установки для изучения фотоэффекта.

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



Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:



TIAME

- На основании закона сохранения энергии:

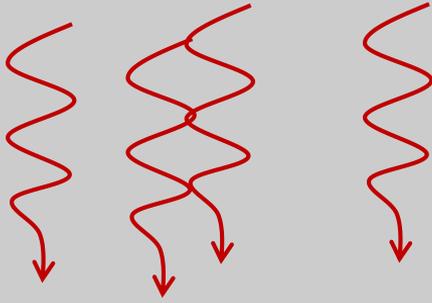
$$E = h\nu$$

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

- **Смысл уравнения Эйнштейна:**
 - энергия кванта тратится на работу выхода электрона из металла и сообщение электрону кинетической энергии.

В этом уравнении:

- ν - частота падающего света,
- m - масса электрона (фотоэлектрона),
- ν - скорость электрона,
- h - постоянная Планка,
- A - работа выхода электронов из металла.



Работа выхода



TIAME

$$E = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$

Работа выхода ($A_{\text{ВЫХ}}$) — это работа, которую необходимо совершить против сил электрического поля для того, чтобы электрон вылетел из вещества.





Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта



$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$

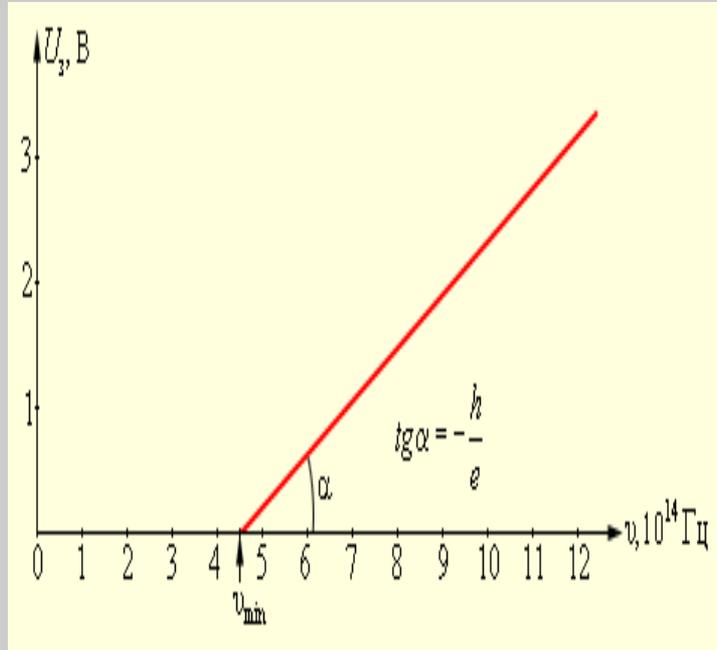
$$\frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$

— кинетическая энергия вылетевшего электрона;

Работа выхода ($A_{\text{ВЫХ}}$) — табличные данные

| Вещество | $A_{\text{ВЫХ}}$, эВ | ν_{min} , 10^{-14} Гц | $\lambda_{\text{кр}}$, нм |
|----------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Цезий | 1,9 | 4,6 | 650 |
| Калий | 2,2 | 5,3 | 560 |
| Натрий | 2,3 | 5,6 | 540 |
| Кальций | 2,7 | 6,5 | 460 |
| Цинк | 3,7 | 8,9 | 340 |
| Серебро | 4,3 | 10 | 300 |
| Вольфрам | 4,5 | 11 | 270 |
| Никель | 5,0 | 12 | 250 |
| Платина | 5,3 | 13 | 230 |

Кинетическая энергия фотоэлектронов

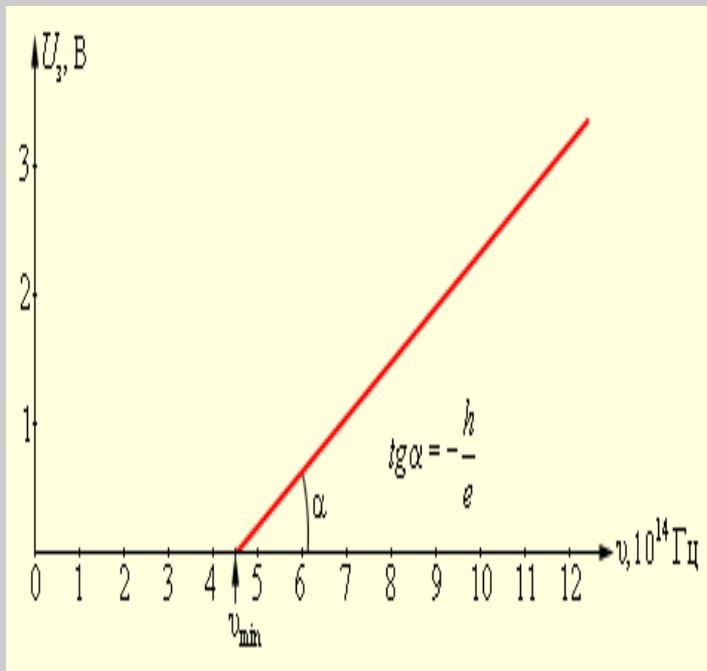


Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света не зависит от интенсивности падающего света.

Из уравнения Эйнштейна:

$$\left(\frac{mv^2}{2} \right)_{\max} = eU_s = h\nu - A.$$

Определение постоянной Планка



Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала U_3 от частоты ν , равен отношению постоянной Планка h к заряду электрона e :

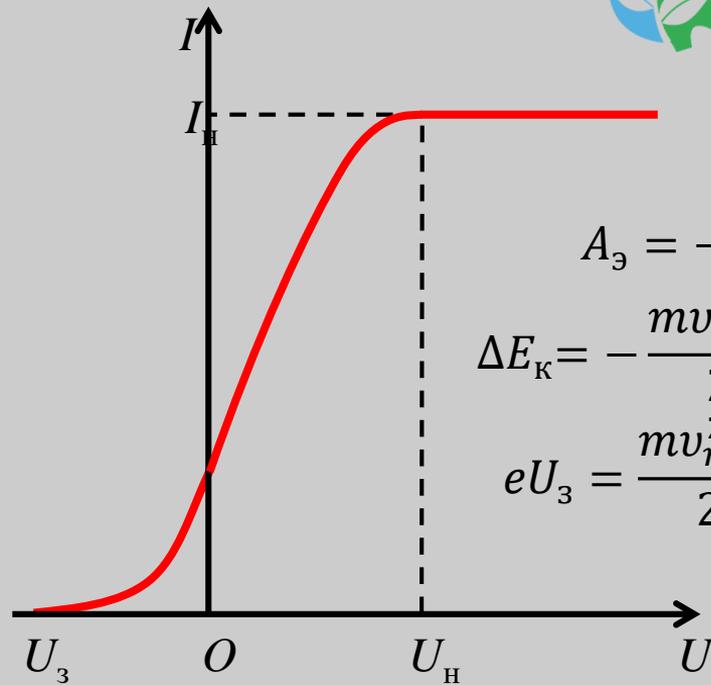
$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_1 - U_2)$$

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

Вольт-амперная характеристика.



Александр Григорьевич Столетов



$$A_э = -eU_3$$

$$\Delta E_K = -\frac{mv_{max}^2}{2}$$

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

I_H — фототок насыщения;

U_3 — задерживающее напряжение.



Красная граница фотоэффекта



TIAME

Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота ν_{\min} , при которой еще возможен фотоэффект.

Минимальная частота света соответствует $W_{\kappa} = 0$, то

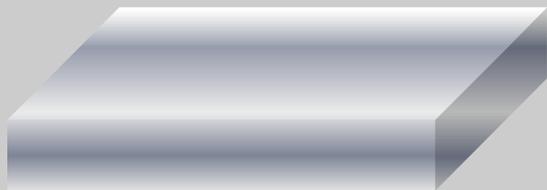
или

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

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

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

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{A}$$



Первый закон фотоэффекта. Сила фототока насыщения пропорциональна общему числу фотоэлектронов, покидающих поверхность металла за единицу времени.

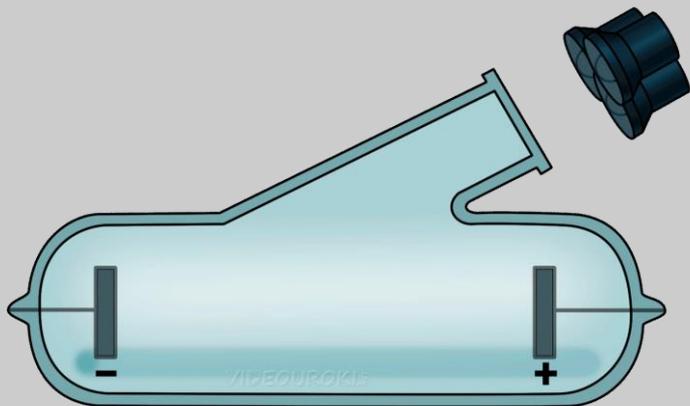
Второй закон фотоэффекта. При увеличении частоты падающего света максимальная кинетическая энергия линейно возрастает:

$$E_k^{max} = h\nu - A_{\text{ВЫХ}}$$

Третий закон фотоэффекта.

$$h\nu_{min} = A_{\text{ВЫХ}}$$

$$\nu_{min} = \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{h} \quad \lambda_K = \frac{c}{\nu_{min}} = \frac{ch}{A_{\text{ВЫХ}}}$$





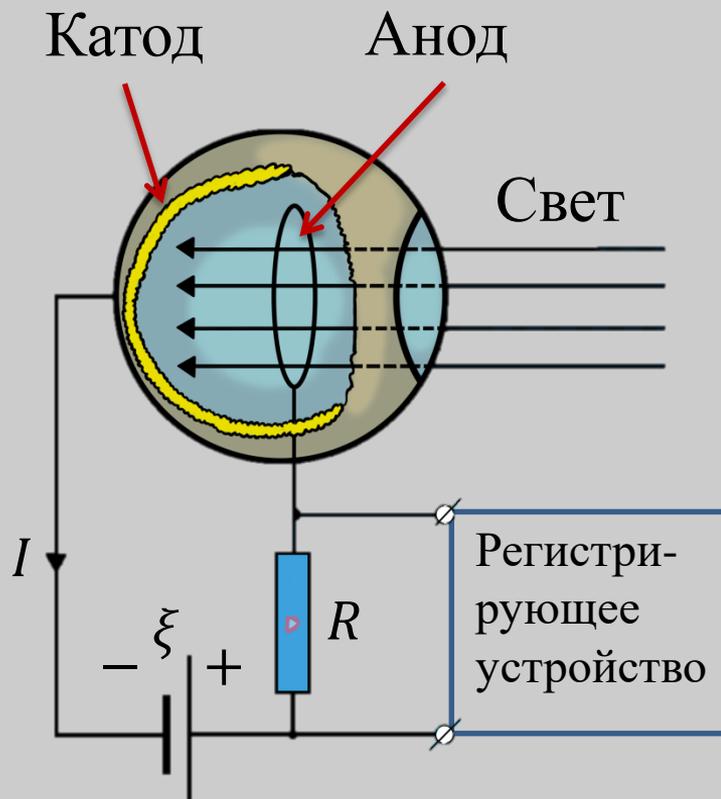
Законы фотоэффекта:



TIAME

- Количество фотоэлектронов, выбиваемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.
- Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света не зависит от интенсивности падающего света.
- Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота ν_{\min} , при которой еще возможен фотоэффект.
- Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $\nu > \nu_{\min}$.

Применение фотоэффекта



Фотоэлемент — это устройство, в котором энергия света управляет энергией электрического тока или преобразуется в неё.

ФотоЭДС — ЭДС, создаваемая разностью потенциалов между полупроводниками p -типа и n -типа.

На явлении фотоэффекта основана работа **солнечных батарей**.

Явлению фотоэффекта лежит в основе **фотографии**.



Применение фотоэффекта

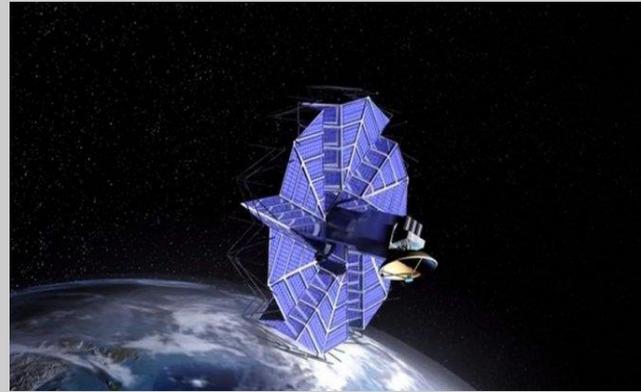




Применение фотоэффекта



TIAME





Задача 1. Известно, что для вольфрама явление фотоэффекта не происходит, если длина волны света больше, чем 275 нм. Найдите работу выхода электронов из вольфрама. Также найдите максимальную скорость электронов, вырываемых из вольфрама светом с длиной волны 200 нм.



TIAME

Дано: $\lambda_{max} = 275 \text{ нм}$

$$\lambda_{max} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\lambda = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$A - ?$

$v_{max} - ?$

Решение:

Красная граница фотоэффекта: $\lambda_{max} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

$$\lambda_{max} = \frac{hc}{A} \Rightarrow A = \frac{hc}{\lambda_{max}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,75 \cdot 10^{-7}} = 11,6 \text{ эВ}$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad \frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv_{max}^2}{2}$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} \approx 7,72 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 772 \text{ км/с}$$

$$\lambda = 200 \text{ нм}$$



Задача 2. Какой импульс приобретет изначально покоящаяся металлическая пластинка при вылете из неё одного электрона, если на её поверхность падает фотон, соответствующий длине волны 280 нм. Работа выхода электрона равна $5 \cdot 10^{-19}$ Дж. Считать, что импульсы фотона и электрона перпендикулярны поверхности пластинки.



TIAME

Дано: $\lambda = 280 \text{ нм}$

$\lambda = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

$A = 5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

$p = ?$

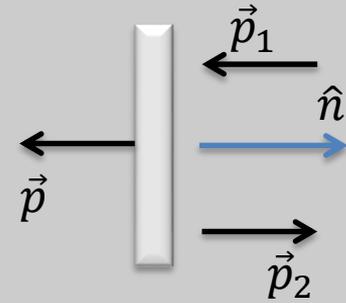
Решение: $A = 5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

По закону сохранения импульса: $\vec{p}_1 = \vec{p} + \vec{p}_2$

$-p_1 = -p + p_2 \Rightarrow p = p_1 + p_2$

Из соотношения де Бройля: $p_1 = \frac{h}{\lambda}$

Из классической механики: $p_2 = m_e v_e$



$$v_e = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} + m_e \sqrt{\frac{2}{m_e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} \approx 9,86 \cdot 10^{-24} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$



Благодарю за внимание