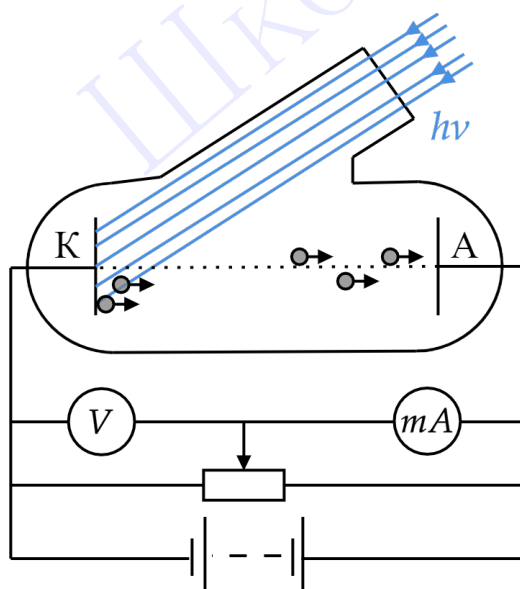


ФОТОЭФФЕКТ. УРАВНЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА

Внешний фотоэффект

Внешний фотоэффект — явление вырывания электронов с поверхности металла под действием света. Внешний фотоэффект был открыт Г. Герцем, его количественные закономерности были установлены А. Г. Столетовым, а объяснил это явление с точки зрения квантовой физики А. Эйнштейн.

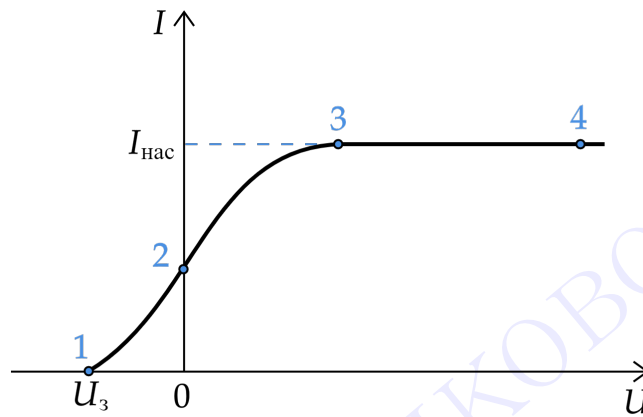


Рассмотрим упрощенную схему установки для изучения явления внешнего фотоэффекта, которая представляет собой вакуумный стеклянный баллон с двумя электродами. Через кварцевое стекло на катод попадает свет. С помощью потенциометра можно регулировать напряжение между электродами. Ток в цепи измерялся миллиамперметром.

Вольт-амперная характеристика

При фиксированной частоте падающего излучения будем менять напряжение от некоторого отрицательного значения до нуля и затем увеличивать. Посмотрим, что произойдет с силой тока и изобразим данную зависимость на графике, который является вольт-амперной характеристикой фотоэффекта.

Участок 1: Если приложить некоторое отрицательное (задерживающее) напряжение U_3 , то ни одному фотоэлектрону не удастся преодолеть задерживающее поле и достигнуть противоположной пластины. Согласно закону сохранения



энергии

$$\frac{m_e v_{max}^2}{2} = eU_3$$

где m — масса электрона, а v_{max} — максимальная скорость фотоэлектрона.

Участок 2: При $U = 0$ лишь часть самых быстрых электронов достигает анода.

Участок 3: При увеличении напряжения, поле разгоняет электроны, и ток увеличивается, достигая насыщения, при котором все выбитые электроны достигают анода.

Участок 4: Сила тока уже не зависит от напряжения. То есть металл не в состоянии «отдать» больше электронов, все электроны уже «используются».

Интенсивность излучения

Интенсивность излучения — энергия излучения E_ϕ , переносимая N_ϕ фотонами (квантами) в единицу времени t через поверхность, принятую за единицу площади S , в направлении, перпендикулярном этой поверхности.

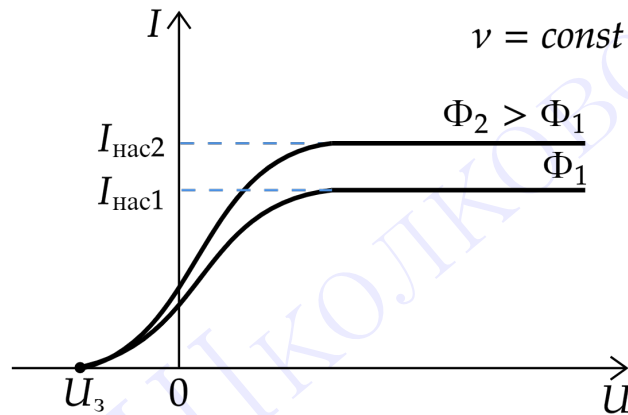
$$J = \frac{N_\phi E_\phi}{St}$$

Законы Столетова

А. Столетов экспериментальным путем изучал явление внешнего фотоэффекта и вывел количественные закономерности, которые были названы законами Столетова.

1-ый закон Столетова

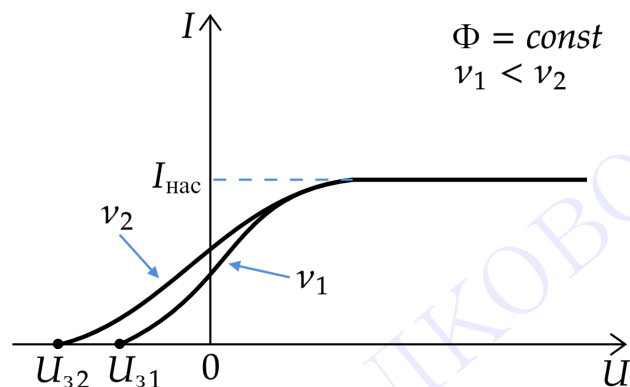
При фиксированной частоте ток насыщения $I_{\text{нас}}$ строго пропорционален световому потоку Φ (интенсивности падающего излучения).



Так как сила тока определяется величиной заряда, а световой поток — энергией светового пучка, то можно сказать, что число электронов, выбиваемых за 1 с из вещества, пропорционально интенсивности света, падающего на это вещество.

2-ой закон Столетова

Задерживающее напряжение U_3 не зависит от светового потока (интенсивности). Максимальная начальная скорость фотоэлектронов v_{max} линейно возрастает с частотой света.

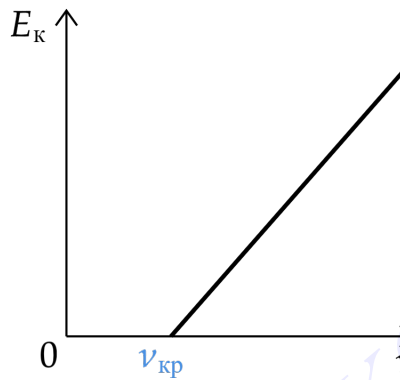


Из опыта следовало, что если частоту света увеличить, то при неизменном световом потоке запирающее напряжение увеличивается, а, следовательно, увеличивается и кинетическая энергия фотоэлектронов.

3-й закон Столетова

Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, то есть существует наименьшая частота $\nu = \nu_{\text{min}}$, при которой еще возможен фотоэффект.

При $\nu < \nu_{\text{min}}$ ни при какой интенсивности волны падающего на фотокатод све-



та фотоэффект не произойдет. Так как $\lambda = \frac{c}{\nu}$, то минимальной частоте света соответствует максимальная длина волны.

Формула Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

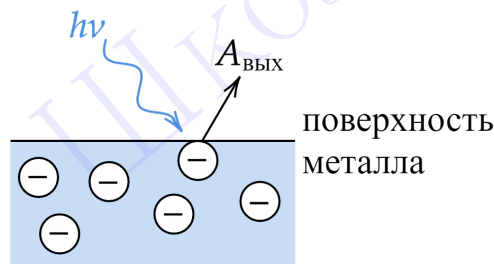
В 1905 году А. Эйнштейн, основываясь на гипотезе Планка, показал, что законы фотоэффекта могут быть объяснены при помощи квантовой теории. Явление фотоэффекта экспериментально доказывает: свет имеет прерывистую структуру. Излученная порция $E = h\nu$ сохраняет свою индивидуальность и поглощается веществом только целиком. Эйнштейн предположил:

1. Один фотон может выбить только один электрон (это верно для всех процессов с небольшой интенсивностью излучения).
2. На основании закона сохранения энергии:

$$E_{\text{ф}} = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$$

причем $E_{\text{ф}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ — энергия фотона, $E_{\text{к}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = eU_{\text{з}}$ — кинетическая энергия фотоэлектрона.

Смысл уравнения: энергия кванта тратится на работу выхода электрона из металла и сообщается электрону кинетической энергии.



Работа выхода — это характеристика материала (табличная величина). Она показывает, какую работу должен совершить электрон, чтобы преодолеть поверх-

ностную разность потенциалов и выйти за пределы металла.

Доказательство законов фотоэффекта

1. Пусть число фотонов $N_{\text{ф}}$ равно числу электронов $N_{\text{э}}^*$. Энергия света $E = N_{\text{ф}}h\nu = N_{\text{э}}h\nu$. Следовательно, $N_{\text{э}} = \frac{E}{h\nu}$, то есть ток насыщения $I_{\text{нас}} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{eN_{\text{э}}}{\Delta t}$ зависит от энергии света (интенсивности).

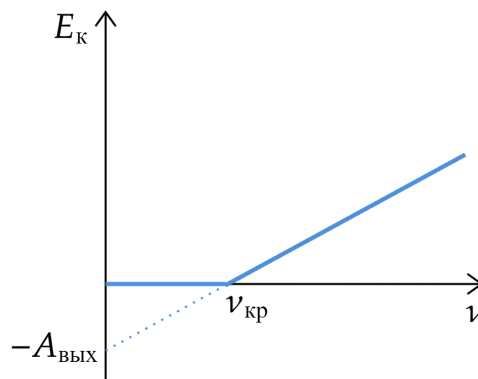
2. Уравнение Эйнштейна $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$ можно представить в виде

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} \Rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2h\nu - 2A_{\text{вых}}}{m}} \Rightarrow v_{\text{max}} \sim \nu$$

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3 \Rightarrow U_3 = \frac{h\nu - A_{\text{вых}}}{e} \Rightarrow U_3 \sim \nu$$

и не зависят от интенсивности падающего излучения.

3. Из уравнения Эйнштейна: $E_{\text{к}} = h\nu - A_{\text{вых}}$, то есть зависимость $E_{\text{к}}(\nu)$ имеет линейный характер.



Минимальная частота света соответствует $E_{\text{к}} = 0$, следовательно

$$h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}}$$

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} = A_{\text{вых}}$$

*Это не всегда так. В задаче может быть описано, что несколько фотонов выбивают один электрон тогда

$$\frac{N_{\text{ф}}}{n} = N_{\text{э}}$$

где n — число, которое показывает, сколько фотонов выбивает один электрон.