Тема: Внешний фотоэффект

Гипотеза Планка, блестяще решившая задачу теплового излучения АЧТ, получила дальнейшее развитие при объяснении явления фотоэффекта.

Фотоэффектом называется явление вырывания электронов из атомов вещества под действием электромагнитного излучения (открыто в 1887 г. немецким физиком Г. Герцем).

Внутренним фотоэффектом называется явление вырывания электронов из атомов вещества под действием электромагнитного излучения без вылета их за пределы вещества.
(при этом происходит перераспределение электронов по энергетическим состояниям внутри вещества в результате их перехода их связанных с атомами состояний в свободные).

Внешним фотоэффектом называется явление вылета электронов с поверхности твёрдых и жидких веществ под действием электромагнитного излучения.
(при этом вещество электризуется, приобретая положительный заряд).

Внешний фотоэффект является результатом трёх следующих процессов:

1. поглощение фотона атомом и в результате этого отрыв электрона из атома.
2. движение этого электрона к поверхности вещества.
3. выход электрона через поверхность вещества в другую среду.

Принципиальная схема для исследования внешнего фотоэффекта

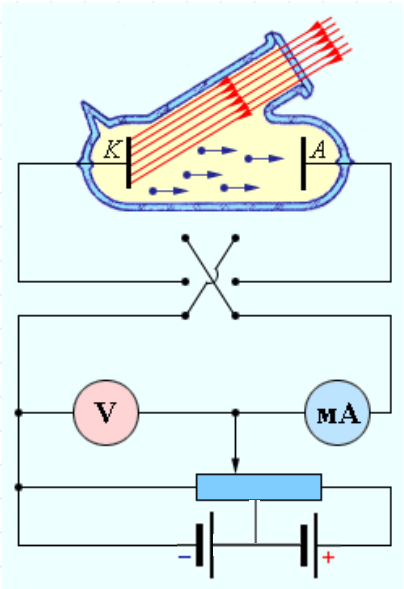
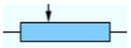


Схема для исследования внешнего фотоэффекта состоит из:

- вакуумного фотоэлемента ,

- вольтметра для изменения напряжения на вакуумном фотоэлементе,

- миллиамперметра для измерения силы тока текущего через фотоэлемент,

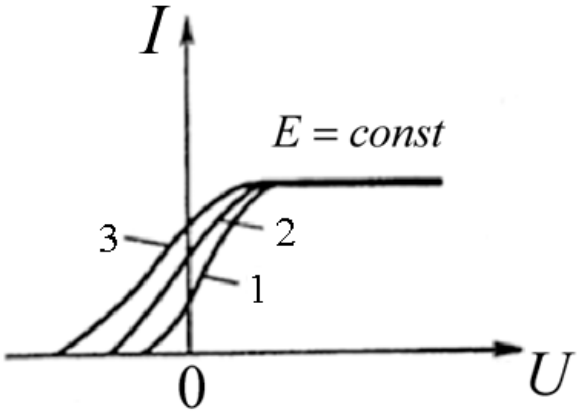
- реостата  , включённого в схему как потенциометр для изменения напряжения на электродах фотоэлемента,

- батареи источников постоянного тока , присоединённых таким образом, чтобы можно было менять полярность электродов фотоэлемента.

Вольт-амперные характеристики фотоэлемента

С помощью такой схемы были получены следующие вольт-амперные характеристики фотоэлемента.

Вольт - амперной характеристикой (ВАХ) называется зависимость фототока I, текущего через фотоэлемент, от напряжения U на его электродах.



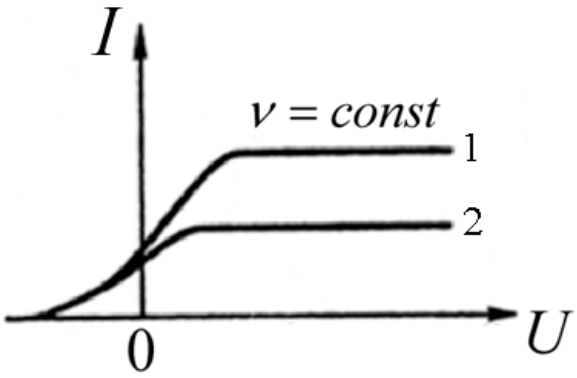
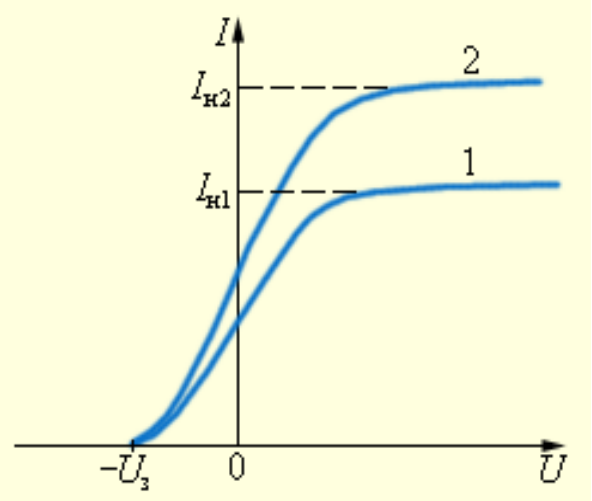


Рис. 1

ВАХ при одинаковой освещённости фотокатода ($E = const$), но разной частоте падающего на фотокатод света ($\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$)

ВАХ при одинаковой частоте падающего на фотокатод света ($\nu = const$), но разной освещённости фотокатода ($E_1 > E_2$).

Анализ вольт - амперных характеристик

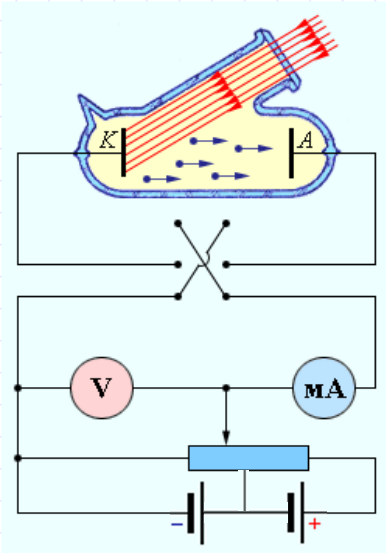


Анализ вольт - амперных характеристик показывает следующие закономерности:

1. При любой освещённости существует, так называемый, ***ток насыщения*** $I_н$, то есть максимальная величина тока при данной интенсивности света.
(это объясняется тем, что анода достигают все фотоэлектроны, которые возникают при фотоэффекте за одно и то же время)
2. При $U = 0$ В наблюдается небольшой фототок.
(это объясняется тем, что некоторая часть фотоэлектронов обладает достаточной скоростью и направлением движения, чтобы самостоятельно долететь до анода)
3. Чтобы прекратить фототок, необходимо на катод подать обратное напряжение (то есть подать на катод более высокий потенциал по отношению к аноду). Это напряжение называется ***задерживающим*** или ***запирающим*** $U_з$.

Изучая различные вольт-амперные характеристики фотоэлемента были получены следующие законы внешнего фотоэффекта.

Законы внешнего фотоэффекта



1. Максимальная начальная скорость вылетающих фотоэлектронов прямо пропорциональна частоте падающего на вещество света и не зависит от его интенсивности.
2. При фиксированной частоте падающего на вещество электромагнитного излучения, величина фототока (то есть число вылетающих из вещества за единицу времени электронов) прямо пропорциональна интенсивности света.
3. Для каждого вещества существует, так называемая, ***красная граница фотоэффекта***, то есть минимальная частота $\nu_{кр}$ (или максимальная длина волны $\lambda_{кр}$) падающего на вещество света, при которых ещё возможен фотоэффект.
4. Фотоэффект – явление безынерционное, то есть вылет электронов с поверхности вещества происходит сразу после поглощения веществом света.

(эти закономерности можно объяснить только исходя из квантовых представлений света, так как волновая теория света даёт совершенно другие закономерности при фотоэффекте)

Красная граница фотоэффекта ($\nu_{кр}$ или $\lambda_{кр}$) является характеристикой вещества и зависит от величины работы выхода электрона из вещества $A_{вых}$.

Работой выхода электрона из вещества $A_{вых}$ называется минимальная работа, которую необходимо совершить электрону, чтобы вылететь с поверхности вещества в вакуум.
(работа выхода является характеристикой вещества (величина табличная) и её значение не зависит от частоты и интенсивности падающего на вещество света).

Красную границу фотоэффекта можно найти по формуле: $\begin{cases} h\nu_{кр} = A_{вых} \\ \dfrac{hc}{\lambda_{кр}} = A_{вых} \end{cases}$

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

В 1905 году Эйнштейн показал, что явление внешнего фотоэффекта и его закономерности можно объяснить на основе предложенной им квантовой теории фотоэффекта.
Он предположил, что:

1. свет частотой ν не только излучается порциями с энергией $E = h\nu$, как предполагал Планк, но и распространяется в пространстве и поглощается веществом тоже только квантами с энергией $E = h\nu$.
2. каждый квант поглощается целиком (не наблюдается поглощение половины кванта), только одним электроном.

Основываясь на этой теории, Эйнштейн получил следующее уравнение для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A_{вых} + \frac{mv_{max}^2}{2},$$

где $E_ф = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$ - энергия фотона, *Дж* или *эВ*. *эВ* – электрон-вольт; 1 *эВ* = $1.6 \cdot 10^{-19}$ *Дж*,

$h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ *Дж·с* - постоянная Планка, $[\nu] = Гц$ - частота падающего света, $[\lambda] = м$ - длина волны падающего света, $c = \lambda\nu = 3 \cdot 10^8 \dfrac{м}{с}$ - скорость света в вакууме, $T_{max} = \dfrac{mv_{max}^2}{2}$ - максимальная кинетическая энергия вылетающих фотоэлектронов, *Дж* или *эВ*, $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$ *кг* – масса электрона,

v_{max} - максимальная скорость вылетающих фотоэлектронов, *м/с*.

$A_{вых}$ - работа выхода электрона из поверхности вещества, *Дж* или *эВ*.

Фотоэффект можно прекратить, приложив к веществу **запирающее (**или **задерживающее) напряжение** $U_{зап}$**,** которое можно найти по формуле:

$|e|U_{зап} = \frac{mv_{max}^2}{2}$, где $U_{зап}$ - запирающее напряжение в *В*; $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ *Кл* – заряд электрона.

У каждого вещества существует, так называемая, **красная граница фотоэффекта**, то есть минимальная частота $\nu_{кр}$ (или максимальная длина $\lambda_{кр}$) световой волны, при которой ещё возможен фотоэффект.

Уравнение Эйнштейна было неоднократно подтверждено различными экспериментами.

Масса $m_ф$, импульс $p_ф$ и энергия $E_ф$ фотона

Корпускулярные характеристики	Волновые характеристики
$E_ф = m_ф c^2$	$E_ф = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$
$p_ф = m_ф c$	$p_ф = \frac{h}{\lambda}$

где $E_ф$ - энергия фотона в *Дж* или *эВ*, $p_ф$ - импульс фотона, *Н·с*,

$m_ф = \frac{h\nu}{c^2}$ - масса фотона, *кг*; $c = \lambda\nu = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ - скорость света в вакууме.

Скорость фотона не зависит от частоты и интенсивности света и во всех веществах одна и та же и равна скорости света в вакууме.