

# Фотоефект

Фотоелектричен ефект	Фотони	Квантова оптика
----------------------	--------	-----------------

- Фотоефект
  - Волтамперна характеристика
    - *Право напрежение*
    - *Обратно напрежение*
- Основни закономерности
  - Проблеми на Максвеловата теория
- Уравнение на Айнщайн за фотоефекта - фотони
  - Обяснение на закономерностите на фотоефекта
  - Спирачно напрежение
  - Свойства на фотоните

# Фотоефект

- *Външен фотоефект (фотоелектричен ефект)* – явлението на отделяне на електрони от метали, в резултат на облъчването им с интензивно оптично излъчване . (открит от Херц в 1887, изследван от Столетов и Халвакс през 1888-1889)
  - Наблюдава се в метали, диелектрици и полупроводници



Г. Херц

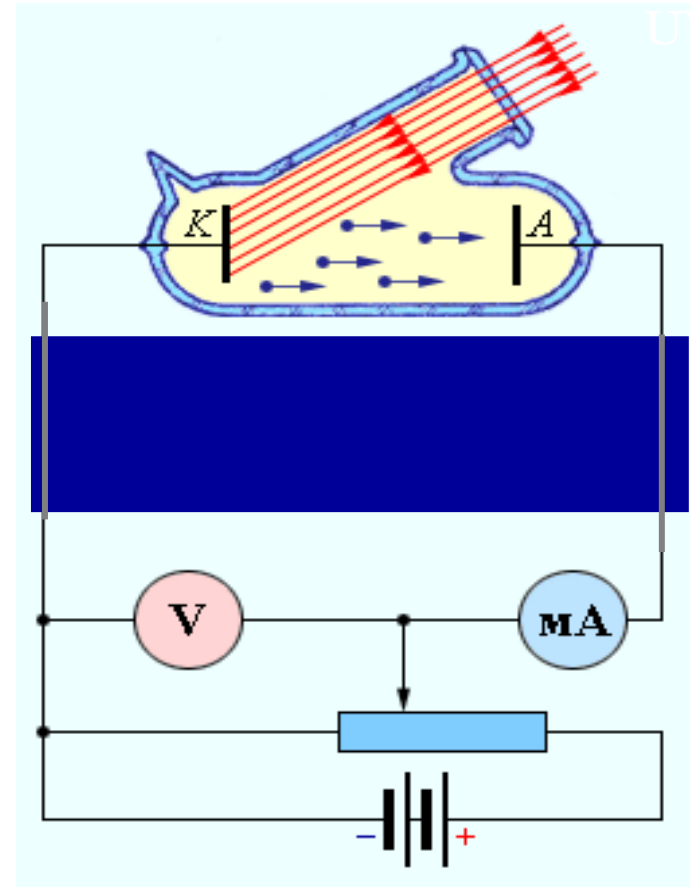


А.Г.Столетов

- *Вътрешен фотоефект* – явлението при което вследствие на облъчването със светлина настъпва изменение в състоянието на електроните вътре във веществото, при което се променят електричните свойства на веществото.
  - Намира приложение в полупроводникови прибори - фотосъпротивления, фотодиоди, и др.

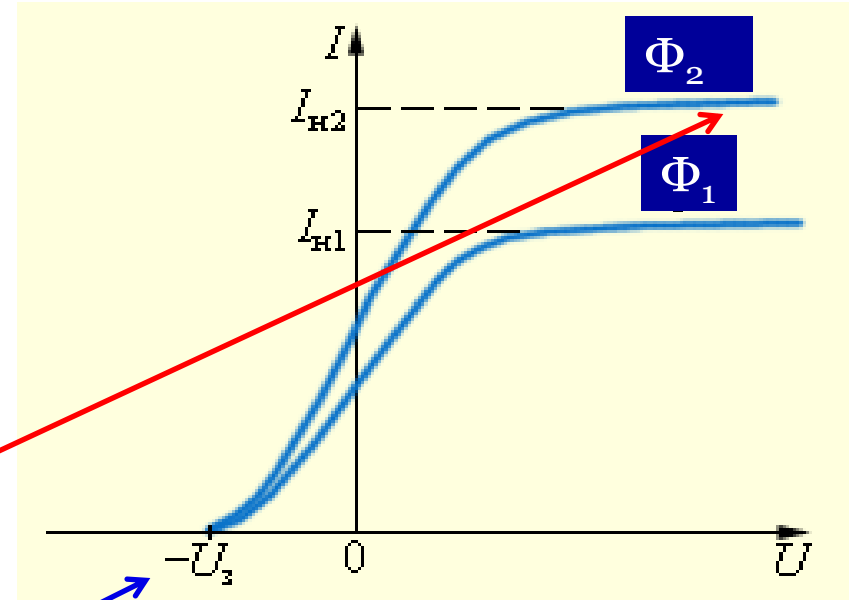
# Външен фотоэффект

- За наблюдение на *външен фотоэффект* се използва *фотоклетка*.
  - Тя представлява вакумиран стъклен или кварцов балон в който са поставени два метални електрода - катод и анод.
  - Катодът е свързан към отрицателния полюс на източник на постоянно ЕДН.
- *На тъмно* във веригата не протича ток, тъй като в пространството между катода и анода няма свободни токови носители.
- *При осветяване*, от катода се избиват фотоелектрони, които се ускоряват от приложеното напрежение и достигат до анода.
  - Протича *фототок*, който измерваме с галванометъра



# Външен фотоэффект

- *Волт-амперна характеристика* – зависимост на измерения *фототок* от приложеното *напрежение*
- *Право напрежение*
  - *Фототокът* нараства с увеличаване на напрежението.
  - При определено напрежение, всички електрони достигат анода - *ток на насищане*.
  - *Токът на насищане* нараства с интензитета на излъчването.
- *Обратно напрежение*
  - При определена стойност на обратното напрежение - *спирачно напрежение*, *фототокът* става равен на нула



$$e U_s = E_{k, \max} = m v_{\max}^2 / 2$$

# Основни закономерности на външния фотоефект

- *Броят на отделените фотоелектрони от катода за единица време при осветяване с монохроматична светлина е пропорционален на интензитета на светлината*
- *Максималната скорост (максималната кинетична енергия) на електроните*
  - *зависи от честотата на падащата светлина!*
  - *НЕ зависи от интензитета на падащата светлина!*
- *За всеки метал съществува минимална гранична честота на светлина, при която е възможен фотоефект*
- *Фотоефекта е безинерционен – електрони се отделят практически едновременно с осветяването - около 1 ns.*

# Обяснение на фотоефекта с помощта на класическата физика

- Свободните електрони, които се намират до повърхността на метала:
  - извършват *принудени трептения* в полето на падащата ЕМВ
  - поглъщат енергия и амплитудите им на трептене нарастват
  - *Когато енергията на трептене достигне някаква критична стойност, електронът може да се откъсне от повърхността на метала*
- *Отделителна работа за метал* - минималната енергия, необходима на електрона за да напусне повърхността на метала
  - специфична стойност за всеки метал
  - обикновено се задава с  $eV$

Елемент	Отделителна работа (eV)
Литий	2,30
Алуминий	4,28
Мед	4,65
Желязо	4,70
Злато	5,10

# Обяснение на фотоефекта с помощта на класическата физика

- С нарастването на интензитета на ЕМВ, кинетичната енергия на електроните нараства, и следователно по-лесно биха напуснали метала
  - *По-голям интензитет на падащата вълна – по-голям брой отделени електрони !*
  - *? Максималната скорост на електроните обаче, НЕ зависи от интензитета на ЕМВ, а зависи от честотата  $\nu$ !*
- Възникването на фотоефект при всяка честота на вълната стига енергията, получавана от електрона да е достатъчно голяма
  - *? Съществува минимална честота на възникване на фотоефекта!*
- Необходимо е известно време за натрупване на необходимата енергия от електрона за да напусне метала
  - *? Опитът показва, че фотоефектът е безинерционен!*

# Обяснение на Айнщайн на закономерностите на фотоефекта - постулати

- Айнщайн предлага обяснение на свойствата на фотоефекта с помощта на хипотезата за електромагнитните (*светлинните*) *кванти*: светлината се поглъща на *светлинни кванти*!
- Светлината с честота  $\nu$ , разпространяваща се във вакуум, представлява съвкупност от *светлинни кванти* (*фотони*)
  - Всеки *фотон* се движи със скоростта на светлината с и има *количество енергия* (*квант енергия*)

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}, h = 6,626 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$$

където  $h$  е *константата на Планк*.

*Важно:*

$$1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$$

- *Фотонът* взаимодейства само с един *електрон*!
- Веществото излъчва или поглъща *цяло число фотони* и следователно, *цяло число порции енергия*!



# Уравнение на Айнщайн за външния фотоефект

- Закон за запазване на енергията при поглъщането на *светлинен квант* от *електрон*

$$h\nu = A + E_{k, \max}$$

- Падащия *фотон* отдава *кванта си енергия*  $h\nu$  на *електрон* при удара помежду им
  - Част от енергията отива за отделянето на *електрона* от повърхността – и тази енергия е точно равна на *отделителната работа*
  - Друга част от енергията отива за *кинетична енергия* на *отделения електрон*
- Предположение на Айнщайн: Спирачното напрежение* трябва да бъде линейна нарастваща функция на светлинната честота (Р. Миликен, 1916 г. експериментално го потвърждава )
- Уравнение на Айнщайн чрез *спирачното напрежение*

$$\left. \begin{array}{l} h\nu = A + E_{k, \max} \\ E_{k, \max} = eU_s \end{array} \right\} \Rightarrow eU_s = h\nu - A \Rightarrow U_s = (h\nu - A)/e$$

# Обяснение на Айнщайн на закономерностите на фотоефекта

- Максималната кинетична енергия на отделения електрон зависи от честотата на светлината, но НЕ зависи от нейния интензитет!

$$E_{k, \max} = h \nu - A$$

- За всеки метал, съществува *най-малка честота за отделяне на електрон*, независимо от това колко голям е интензитетът на светлината

$$E_{k, \max} \geq 0 \Rightarrow \nu \geq \nu_c = A/h$$

- Фотоелектричният ефект е безинерционен*, защото поглъщането на фотона от електрона се извършва практически мигновено

# Корпускулярно-вълнова двойнственост на свойствата на светлината

- Според хипотезата за *електромагнитните (светлинните) кванти* на Планк и Айнщайн, светлината се излъчва, разпространява и поглъща на дискретни порции – *електромагнитните (светлинните) кванти*, наречени през 1926 г. *фотони*.
- *Фотонът* подобно на всяка движеща се частица притежава:  
*Енергия, маса и импулс*
  - И трите корпускулярни характеристики са свързани с вълновите характеристики – *честота и дължината на вълната*
- *Енергията на фотона* е:  $E_{\phi} = h\nu \Rightarrow \nu = E_{\phi} / h$
- *Масата на фотона* е:  $m_{\phi} = E_{\phi} / c^2$ 
  - винаги се движи със скоростта на светлината  $c$  и има *маса на покой* равна на нула!
- *Импулсът на фотона* е:

$$p_{\phi} = E_{\phi} / c = h / \lambda \Rightarrow \lambda = h / p_{\phi}$$

# Корпускулярно-вълнова двойнственост на свойствата на светлината

- Свойствата на непрекъснатост характерни за електромагнитните вълни НЕ ИЗКЛЮЧАВАТ дискретните свойства характерни за електромагнитните (светлинните) кванти – фотоните!
  - С увеличаването на честотата се проявяват квантовите свойства на светлината
    - топлинно лъчение
    - фотоефект
  - С намаляването на честотата се проявяват вълновите свойства на светлината
    - интерференция
    - дифракция
- Светлината едновременно притежава свойствата на непрекъснати електромагнитни вълни и свойствата на дискретни електромагнитни (светлинни) кванти- фотони!