

## Урок №22 (17.12.2019)

### Фотоэффект. (По Бутикову, Кондратьеву и Уздину, т.3)

#### 1. Открытие и экспериментальные закономерности.

Г. Герц открыл в 1887 г. следующий эффект: если свет направить на металлическую пластинку, то из неё «выбиваются» электроны. При этом этот эффект наблюдается только в том случае, если частота фотонов выше определённой величины, зависящей от металла. При этом количество выбитых в единицу времени электронов пропорционально падающему на поверхность металла световому потоку.

Заметим, что электроны были открыты Дж. Томпсоном лишь через 10 лет, в 1897 г. Однако эксперимент показывал, что именно отрицательный заряд теряется металлом при облучении его светом.

Простейший опыт – облучение ультрафиолетом заряженной цинковой пластинки, связанной с электроскопом. Если пластинка заряжена положительно, то облучение не влияет на скорость разряда электроскопа. Если же пластинка заряжена отрицательно, то облучение очень быстро приводит к разряду пластинки и электроскопа.

Если собрать установку, показанную на левом рисунке, то можно вывести некоторые закономерности данного явления: если, не меняя светового потока, увеличивать разность потенциалов между электродами, то сила тока нарастает, при некотором напряжении она достигает максимального значения и перестаёт увеличиваться. Этот максимальный ток называется *током насыщения*.

Если же сменить полярность напряжения, то при некотором значении  $U_3$  – его называют *задерживающим (или запирающим) напряжением*, сила тока становится равной нулю. При изменении интенсивности света сила тока насыщения  $I_n$  изменяется, а задерживающее напряжение остается постоянным. Следовательно, энер-

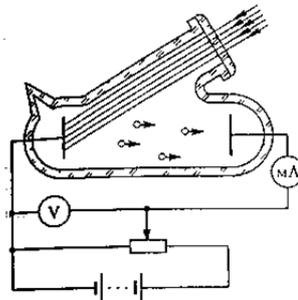


Рис. 16. Схема экспериментальной установки для изучения фотоэффекта

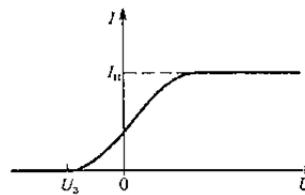


Рис. 17. Зависимость силы фототока от приложенного напряжения при неизменном световом потоке

гия вылетающих электронов не зависит от интенсивности света. Однако изменение частоты света приводит к изменению энергии фотоэлектронов.

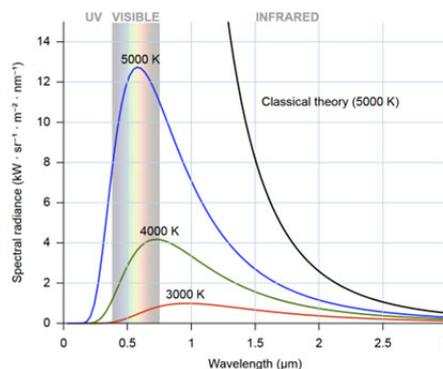
Итак, наблюдаемые эффекты:

- Количество электронов (ток насыщения) прямо пропорциональна интенсивности излучения (закон Столетова).
- Максимальная кинетическая энергия вылетающих электронов (она связана с запирающим напряжением  $\left(\frac{m_e v^2}{2}\right)_{\max} = U_3 e$ ) возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

- Для каждого вещества существует минимальная частота света, ниже которой эффект не наблюдается (красная граница фотоэффекта).
- Фотоэффект обладает свойством безинерционности.

## 2. Теоретическое объяснение.

К началу XX века стало понятно, что классическая физика не в состоянии объяснить некоторые явления, связанные со светом. Так, например, теория для излучения абсолютно чёрного тела (закон Рэлея-Джинса), основанная на классическом представлении электромагнитного поля как среды с бесконечным количеством осцилляторов, приводила к расходимости для излучения при высоких энергиях (ультрафиолетовая катастрофа). В 1900 году Макс Планк показал, что согласованные с экспериментом результаты можно получить, если допустить, что энергия в электромагнитном излучении содержится «порциями» или квантами, причём энергия каждой такой порции определяется формулой  $E = h\nu$ . Постоянная  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с называется *постоянной Планка*.



Ещё один парадокс, решённый Максом Планком, это невозможность движения электрона по стабильной замкнутой орбите: электрон, как и любая другая заряженная частица, обязан излучать электромагнитное поле, если он движется с ускорением. В этом случае он отдаёт свою энергию на излучение и, в конце концов, должен упасть на ядро. Это противоречие снимается, если энергию электрон может отдавать лишь порциями.

В 1905 г. Эйнштейн объяснил явление фотоэффекта, основываясь на гипотезе Планка. Он написал уравнение сохранения энергии в элементарном акте взаимодействия светового кванта, имеющего энергию  $h\nu$  :

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

где  $A$  — это *работа выхода* электрона из металла, т.е. минимальная энергия, необходимая для вырывания электрона из металла.

Из формулы видно, что при  $h\nu_{\min} = A$ , электроны вообще не выбиваются. Эта величина называется *красной границей* фотоэффекта. Она является константой для каждого металла. Для цинка частота красной границы лежит в мягком ультрафиолете.

### Даты и факты:

- 1913 г. Нильс Бор создает планетарную модель атома водорода. Для объяснения экспериментальных фактов ему приходится постулировать жёсткое положение электронных орбит, описываемое 4 числами.
- 1923 г. Л. де Бройль теоретически доказывает, что если излучение обладает свойствами частиц, то и частицы обладают волновыми свойствами. Длины волн должны быть обратно пропорциональны импульсу частицы.
- 1923 г. Комpton показывает, что рентгеновские лучи при рассеянии на атомах вещества изменяют направление и теряют энергию (увеличивается длина волны), т.е. ведут себя как частицы. (Эффект Комптона)

- 1926 г. Э. Шрёдингер рассматривает атом с позиции теории де Бройля. Представив электрон как волну он показывает, что электрон не движется по орбите, а рассеян по орбитали: можно лишь описать с какой вероятностью электрон находится в данной точке пространства.
- 1926 г. Гейзенберг публикует свой принцип неопределённости, показывающий принципиальную невозможность одновременного определения положения и скорости элементарной частицы.
- 1927 г. К. Дэвиссон и Л. Гермер получают интерференционную картину от пучка электронов на крупнокристаллическом никеле. Длина волны электрона  $1,65 \text{ \AA}$ .
- 1937 г. Дж. Хиллер и А. Пребус создают в университете Торонто (Канада) электронный микроскоп с увеличением 7000 раз.

### 3. Задачи

1. Фотон с импульсом  $p$  сталкивается с покоящимся электроном и рассеивается под углом  $\varphi = 90^\circ$ . Найти изменение длины волны фотона после столкновения.
2. Источник монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda$  имеет мощность  $P$ . Определить число фотонов  $N$ , испускаемых источником за время  $t$ .
3. Короткий импульс света с энергией  $E = 10 \text{ Дж}$  в виде узкого параллельного монохроматического пучка фотонов падает на пластинку под углом  $\theta = 60^\circ$ . При этом  $k = 50\%$  фотонов зеркально отражаются, а остальные поглощаются. Найти импульс, переданный пластинке.
4. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетающих из рубидия при его освещении ультрафиолетовыми лучами с длиной волны  $\lambda = 3,17 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ,  $E = 2,84 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ . Определить работу выхода электронов из рубидия и красную границу фотоэффекта.
5. Серебряную пластинку освещают светом с частотой  $\nu = 2 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ . Найти максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.