

## Урок №7 (11.02.2013)

### 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 фотонов 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.

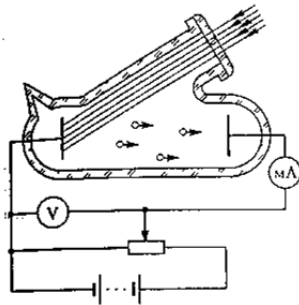


Рис. 16. Схема экспериментальной установки для изучения фотоэффекта

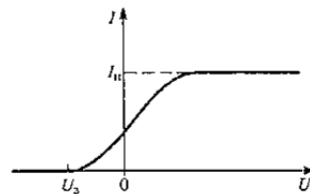


Рис. 17. Зависимость силы фототока от приложенного напряжения при неизменном световом потоке

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 напряжением*, сила тока становится равной нулю. Из закона сохранения энергии следует, что

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

При изменении интенсивности света сила тока насыщения  $I_n$  изменяется, а задерживающее напряжение остается постоянным. Следовательно, энергия вылетающих электронов не зависит от интенсивности света. Однако изменение частоты света приводит к изменению энергии фотоэлектронов.

#### 2. Теоретическое объяснение.

В 1905 г. Эйнштейн объяснил явление фотоэффекта, основываясь на гипотезе Планка, что свет излучается определёнными порциями (квантами), причем энергия каждой такой порции определяется формулой  $E = h\nu$ . Постоянная  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с называется *постоянной Планка*.

Планк ввёл предположение о квантовой природе света, чтобы объяснить некое противоречие, названное «ультрафиолетовой катастрофой».

*Тут надо пару слов сказать о законе Релея-Джинса, описывающий равновесную плотность излучения абсолютно чёрного тела  $u(\omega, T)$ . Релей и Джинс в 1900-1905 годах вывели закон, основанный на законе о равномерном распределении энергии по степеням свободы: на каждое электромагнитное колебание приходится в среднем энергия, являющаяся суммой электрической и магнитной, каждая из которых равна  $kT$ . В результате получается замечательная формула, описывающая энергию излучения при длинных волнах, а вот при коротких волнах классическая физика не совпадает с экспериментом (а если проинтегрировать полный спектр излучения, то энергия вообще получается бесконечной!) Т.е. на уровне ультрафиолетового излучения и более коротковолнового начинается расхождение с экспериментом и здравым смыслом. Для совсем крутых: формула Релея-Джинса:  $u(\omega, T) = kT \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3}$ .*

*Правильная формула, выведенная Максом Планком в 1900 году, выглядит так:*

$$u(\omega, T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega}{e^{\frac{\hbar \omega}{kT}} - 1}$$

*Заметим, что Планк вывел свою формулу эмпирически, просто чтобы было согласование с экспериментом. Из этой формулы следует, что энергия не может быть непрерывной, она излучается порциями, каждая из которых равна  $\varepsilon = \hbar \omega$ , где  $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-34}$  Дж·с*

Это предположение отлично согласовывалось с экспериментом, но при этом означало, что классическая механика не может объяснить явления теплового излучения.

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.

Итак, Эйнштейн 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. Комптон 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 А.
- 1937 г. Дж. Хиллер и А. Пребус создают в университете Торонто (Канада) электронный микроскоп с увеличением 7000 раз.