

## Тема 5.3.1. Фотоэффект. Законы фотоэффекта.

Явление вырванивания электронов из вещества под действием света называют фотоэффектом, а вырванные таким образом электроны называют фотоэлектронами.

Фотоэффект называется внешним, если вырванные электроны покидают вещество. Наблюдается у металлов.

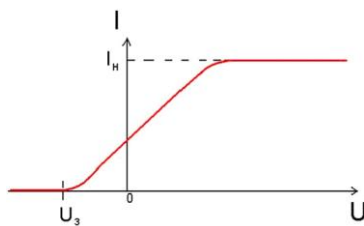
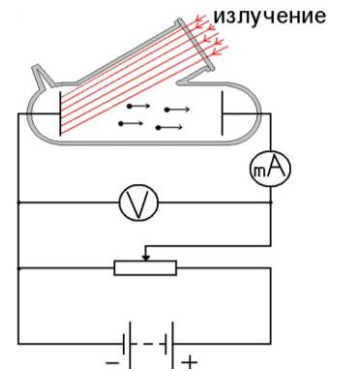
Фотоэффект называется внутренним, если вырванные из атомов электроны остаются в веществе в качестве свободных электронов. Наблюдается у полупроводников и некоторых диэлектриков.

### Опыты Столетова.

В стеклянный баллон, из которого выкачан воздух, помещаются два электрода.

Внутри баллона на один из электродов поступает свет через кварцевое окошко. На электроды подается напряжение, которое можно менять с помощью потенциометра и измерять вольтметром. К освещаемому электроду присоединим отрицательный полюс батареи. Под действием света этот электрод испускает электроны, которые при движении в электрическом поле образуют электрический ток.

При малых напряжениях не все вырванные светом достигают другого электрода. При увеличении разности потенциалов между электродами сила тока в цепи будет нарастать и достигнет своего максимального значения. Максимальное значение силы тока  $I_n$  называется током насыщения.



$I_n$  - ток насыщения

$U_3$  - напряжение задержки

При напряжении равно нулю сила фототока отлична от нуля. Это означает, что часть вырванных светом электронов достигает правого электрода и при отсутствии напряжения. Если изменить полярность батареи, то сила тока уменьшится и при некотором напряжении  $U_3$  обратной полярности она станет равной нулю. Это значит, что электрическое поле тормозит вырванные электроны до полной остановки, а затем возвращает их на электрод. Задерживающее напряжение зависит от кинетической энергии, которую имеют вырванные светом электроны.

$$E_k = A = eU_3$$

### Законы фотоэффекта.

Опытным путем установлены три закона внешнего фотоэффекта:

- 1) фототок насыщения (число фотоэлектронов, вырывааемых из катода за 1 с) прямо пропорциональна интенсивности света при постоянной частоте.
- 2) максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности;
- 3) для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. наибольшая длина при которой еще возможен внешний фотоэффект. Красной эта граница названа потому, что при  $\lambda > \lambda_{кр.}$ , т.е. при «более красном» свете, фотоэффект не происходит.

$$\lambda > \lambda_{кр.} - \text{фотоэффекта нет.}$$

$$\lambda \leq \lambda_{кр.} - \text{фотоэффект есть.}$$

Кроме того, установлена практическая безынерционность фотоэффекта: он сразу же возникает при освещении поверхности тела.

Полученные опытными законами фотоэффекта не удалось объяснить на основе электромагнитной волновой теории света. С точки зрения этой теории электромагнитная волна, достигнув поверхности металла, вызывает вынужденные колебания электронов, отрывая их от металла. Но тогда требуется время для «раскачки» электронов, и при малой освещенности металла должно возникнуть заметное запаздывание между началом освещения и моментом вылета электронов. Далее, кинетическая энергия электронов, покидающих металл, должна зависеть от амплитуды вынуждающей силы и тем самым от напряженности электрического поля в электромагнитной волне. Однако все эти выводы противоречат законам фотоэффекта.

### Теория фотоэффекта.

Как уже говорилось, в 1900 г. М. Планк предположил, что ЭМВ излучаются не непрерывно, а отдельными порциями — квантами.

Энергия кванта  $E = h\nu$ , где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с — постоянная Планка.

В 1905 г. Эйнштейн, анализируя свойства электромагнитного излучения, пришел к выводу, что сама электромагнитная волна состоит из отдельных квантов (названных впоследствии фотонами).

Квантовая точка зрения на природу света позволяет иначе, чем в электромагнитной теории, подойти к объяснению внешнего фотоэффекта в металлах.

При фотоэффекте в результате поглощения фотона его энергия  $h\nu$  целиком передается электрону. Известно, что для выхода из металла электрон должен совершить работу выхода  $A_{вых.}$ . Если  $h\nu > A_{вых.}$  то электрон сможет совершить работу выхода и выйти из металла. Оставшаяся энергия преобразуется в кинетическую энергию электрона.

$$h\nu = A_{\text{вых.}} + E_{\text{к}}$$

Это уравнение называют уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

С помощью уравнения Эйнштейна можно объяснить все законы внешнего фотоэффекта.

1). Общее число фотоэлектронов, покидающих за 1 с поверхность металла, должно быть пропорционально числу фотонов попадающих за это же время на поверхность. Чем больше интенсивность света, тем больше фотонов будет попадать на поверхность. Таким образом, доказывается первый закон фотоэффекта: число фотоэлектронов, ежесекундно вылетающих из металла, пропорционально интенсивности света.

2). Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, а следовательно, и его максимальная начальная скорость зависят от частоты света  $\nu$  и работы выхода  $A_{\text{вых.}}$ , но не зависят от интенсивности света. Это есть второй закон внешнего фотоэффекта.

3). Далее из этого же уравнения следует, что внешний фотоэффект возможен лишь при условии, что

$$h\nu \geq A_{\text{вых.}} \text{ — фотоэффект есть}$$

$$h\nu < A_{\text{вых.}} \text{ — фотоэффекта нет.}$$

Энергии фотона должно по меньшей мере хватить на то, чтобы вырвать электрон из металла. Обозначив через  $\nu_{\text{кр.}}$  наименьшую частоту света, при которой возможен фотоэффект, имеем  $h\nu_{\text{кр.}} = A_{\text{вых.}}$ , следовательно, граничная

длина волны  $\lambda_{\text{кр.}} = \frac{c}{\nu_{\text{кр.}}} = \frac{hc}{A_{\text{вых.}}}$ . Красная граница фотоэффекта зависит только от работы выхода электрона, т. е. от

химической природы металла и состояния его поверхности. Так объясняется третий закон фотоэффекта.

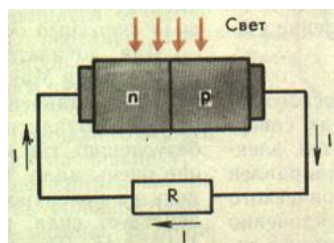
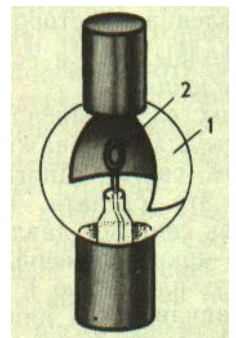
В квантовой и атомной физике применяют внесистемную единицу измерения энергии – электрон-вольт.

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

### Применение фотоэффекта.

На основе явления фотоэффекта были созданы особые приборы, в которых энергия света управляет энергией электрического тока или преобразуется в нее. Применение фотоэлектронных приборов позволило создать телевидение, станки, позволяющие без участия человека изготавливать детали по чертежам, контролировать размеры изделий, включать и выключать уличное освещение и маяки. Фотоэлементы можно разделить на вакуумные фотоэлементы и полупроводниковые фотоэлементы.

**Вакуумные фотоэлементы.** Вакуумный фотоэлемент представляет собой стеклянную колбу, часть внутренней поверхности которой покрыта тонким слоем металла с малой работой выхода (катод). Через светлую часть колбы свет проникает внутрь колбы. В ее центре расположена проволочная петля – это анод 2, который служит для улавливания фотоэлектронов. Анод присоединяют к положительному полюсу батареи. Фотоэлементы реагируют на видимое излучение и даже на инфракрасные лучи. При попадании света на катод в цепи возникает электрический ток, который включает или выключает то или иное реле. Эти автоматы применяются в метро, на заводских прессах, в аудио и видео пленках и т. д.



**Полупроводниковые фотоэлементы.** Разнообразные применения находит внутренний фотоэффект в полупроводниках. Это явление используется в фоторезисторах-приборах, сопротивление которых зависит от освещенности. Сконструированы фотоэлементы создающие ЭДС и непосредственно преобразующие энергию излучения в энергию электрического тока (называемую фото-ЭДС). Фото-ЭДС возникает в области p-n перехода. Под действием света образуются пары электрон-дырка. Между полупроводниками устанавливается разность потенциалов, равная фото-ЭДС. Если замкнуть цепь через внешнюю нагрузку, то в цепи пойдет ток. Сила тока зависит от интенсивности падающего света и сопротивления нагрузки R. Фотоэлементы малой мощности используются в фотоэкспонетрах и других приборах.

Особенно широкое применение полупроводниковые фотоэлементы получили при изготовлении солнечных батарей, устанавливаемых на космических кораблях. К сожалению, дороговизна изготовления полупроводниковых фото-ЭДС ограничивает их широкое применение.

