

Лабораторная работа № 18

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

ФОТОЭЛЕМЕНТА С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ

Цель работы: Экспериментальная проверка законов внешнего фотоэффекта.
По спектральной характеристике фотоэлемента определить красную границу фотоэффекта.

Требуемое оборудование

Модульно учебные комплексы:

1. Модульный учебный комплекс МУК-ОК

Приборы

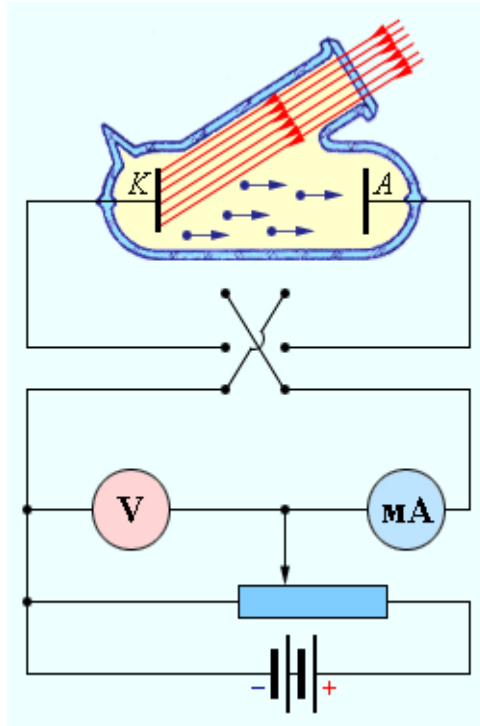
- | | |
|---|------------|
| 1. Блок амперметра-вольтметра АВ1 | 1 шт. |
| 2. Стенд с объектами исследования СЗ-ОК01 и источник питания ИПС1 | 1 комплект |
| 3. Проводники Ш4/Ш1, 6 - 60 см | 6 шт. |

Общие сведения

Внешний фотоэффект - это явление испускания электронов вещества под действием падающего светового излучения. Фотоэффект устанавливает непосредственную связь между электрическими и оптическими явлениями. Различают внешний, внутренний и фотоэффект в запирающем слое. Фотоэффект был открыт в 1887 г. Генрихом Герцем, который обнаружил, что проскакивание искры между электродами разрядника сильно облегчается при облучении электродов ультрафиолетовым излучением.

Основные законы фотоэффекта :

1. Максимальный фототок при фиксированной частоте света пропорционален интенсивности падающего светового пучка.
2. Максимальная скорость фотоэлектронов зависит только от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности. При этом скорость электронов (а, следовательно, и кинетическая энергия) увеличивается с ростом частоты света.
3. Для каждого вещества существует минимальная частота (так называемая красная граница фотоэффекта), ниже которой фотоэффект невозможен. Иногда красной границей называют максимальную длину волны (обратно пропорциональную частоте), выше которой фотоэффект невозможен.



Для объяснения явления внешнего фотоэффекта Эйнштейн предположил, что свет не только излучается (как в теории Планка), но и распространяется и поглощается веществом в виде квантов энергии, называемых фотонами. Энергия фотона ε вычисляется по формуле

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

где h - постоянная Планка, c - скорость света в вакууме, ν и λ - соответственно частота и длина волны фотона.

При взаимодействии фотона со свободным электроном в металле часть энергии фотона тратится на вырывание электрона (эта часть энергии называется работой выхода $A_{\text{вых}}$), а остаток реализуется в форме кинетической энергии вылетевшего электрона. Этот процесс описывается уравнением

$$\varepsilon = A_{\text{вых}} + E_{\text{max}}, \quad (2)$$

E_{max} - максимальная кинетическая энергия вылетевших фотоэлектронов. Уравнение (2) называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта. Как видно, из него следует существование красной границы фотоэффекта. Действительно, если энергия фотона будет меньше, чем работа выхода, электрон не сможет вылететь из металла. Таким образом, красная граница фотоэффекта равна

$$\nu_{\text{кр}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$$

Основными характеристиками фотоэлемента являются вольтамперная, световая и спектральная.

Вольтамперные характеристики фотоэлемента, полученные для одинаковой частоты, но различных интенсивностей света, представлен на рис.1. Участок AB графика соответствует току насыщения $I_{\text{нас.}}$ фотоэлемента. Сила тока насыщения не зависит от напряжения между катодом и анодом потому что все электроны, выбитые светом в область пространства между катодом и анодом, достигают анода. При напряжениях $U < U_A$ электрическое поле между катодом и анодом недостаточно для того, чтобы при данной геометрии фотоэлемента собрать на аноде все выбитые электроны. Сила тока становится меньше $I_{\text{нас.}}$.

При некоторой определенной разности потенциалов задерживающего поля U_3 наступает состояние, когда даже самые энергичные из летевших к аноду электронов не коснувшись его отбрасываются назад к катоду. Ток через фотоэлемент при этом становится равным нулю (точка D графика).

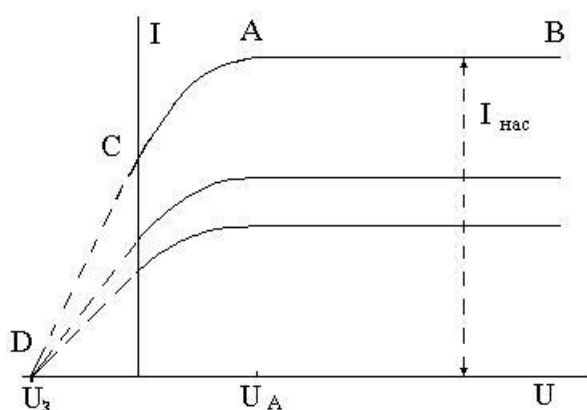


Рис.1

Световой характеристикой фотоэлемента называется зависимость фототока насыщения от светового потока при неизменном его спектральном составе и постоянном напряжении:

$$I_{\text{нас}} = f\left(\frac{J}{J_0}\right)_{U=\text{const}}$$

Световая характеристика вакуумного фотоэлемента носит линейный характер (при не слишком больших освещенностях фотокатода, когда не создается большого отрицательного заряда у фотокатода и может быть получен ток насыщения).

Спектральной характеристикой фотоэлемента называется зависимость фототока насыщения фотоэлемента от длины волны падающего света при неизменной величине потока монохроматического излучения разных длин волн: $I_n = f(\lambda)_{\Phi\lambda=\text{const}}$.

Для значений $\lambda > \frac{c}{\nu_{\text{кр}}}$ (c – скорость света) фотоэффект не наблюдается, а значит и сила фототока насыщения $I_{\text{нас}} = 0$.

При уменьшении длины волны фототок быстро растет, достигая максимума при некоторой длине волны λ_l , затем уменьшается. При дальнейшем уменьшении длины волны может опять

наблюдаться медленный рост фототока. Указанный характер спектральной характеристики связан с энергетическими состояниями свободных электронов и наблюдается у металлов.

Красная граница фотоэффекта для щелочных металлов соответствует энергии фотона $\epsilon_0 \approx 3 \div 5 \text{ эВ}$, а для остальных металлов еще больше $\epsilon_0 \approx 10 \div 15 \text{ эВ}$. Сказанное означает, что

металлические фотоэммитеры нефоточувствительны в видимой области спектра и, кроме того, имеют, как показывает опыт, малый квантовый выход. Поэтому чистые металлы практически не используются в качестве фотоэммитеров в электровакуумных приборах.

Эффективные фотоэммитеры в видимой и ближней ультрафиолетовой областях спектра созданы на основе полупроводниковых материалов. При этом следует отметить, что переходя от металлов к полупроводникам, нужно применять в уравнении Эйнштейна (1) вместо работы выхода

$A_{\text{вых}}$ другую энергию W – **порог фотоэффекта**:

Это связано с более сложным, чем у металлов характером энергетических состояний электронов, способных покинуть полупроводник при фотоэффекте. Существенное влияние на фотоэмиссию оказывает примесь, добавленная в полупроводник, и состояние его поверхности.

При использовании полупроводниковых фотоэммитеров порог фотоэффекта $W = 1 \div 2 \text{ эВ}$.

Методика эксперимента

В качестве источников света в лабораторной установке используется набор светодиодов (кластер), излучающих в различных узких диапазонах длин волн. Эти диапазоны лежат в видимой инфракрасной частях спектра.

В качестве фотоэммитера используется катод фотоэлемента (или полупрозрачный катод фотоэлектронного умножителя), изготовленный из полупроводникового вещества. Электроны, выбитые светом из катода, собираются анодом (роль анода у фотоэлектронного умножителя играют соединенные между собой диноды). Поскольку фотоэммитер и анод обычно изготавливают из веществ, близких по электрофизическим свойствам, контактную разность потенциалов между катодом и анодом можно считать малой

На рис. 2 представлена электрическая схема. В качестве источника ЭДС используется генератор регулируемого постоянного напряжения блока ИПС1, работающий в диапазоне $0..20 \text{ В}$. Обратите внимание на правильность подключения полярности амперметра. Такое включение обеспечивает подавление сетевых наводок в измерительной цепи.

При выполнении работы необходимо учитывать, что в лабораторной установке устанавливается не абсолютная, а относительная интенсивность излучения J/J_0 . Где J_0 некоторая константа, задаваемая измерительным прибором и регулируется пользователем с помощью регулятора.

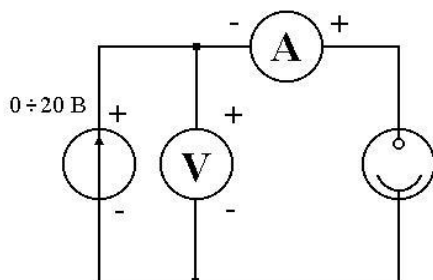


Рис.2

Задание по проведению измерений

1. Собрать схему (Рис.2)
2. На блоке управления ИПС1 регулятором интенсивности излучения установите значение J/J_0 в диапазоне 1.0-1.2; выберете режим измерения вольтметра -200 В, режим измерения амперметра -200 мкА. Построить семейство вольтамперных характеристик (зависимость величины фототока от напряжения) для трёх значений длины волны с шагом 1 В. Для исключения влияния усилителя необходимо снять темновую характеристику фотоэлемента при величине $J/J_0 = 0$. Истинное значение фототока равно разности светового и темнового токов $I - I_{\text{тем}}$. Результаты измерений занесите в таблицу 1.
3. Снять семейство световых характеристик (зависимость величины фототока от относительной интенсивности I/I_0). Измерения выполнить при фиксированном значении напряжения из диапазона 18-22 В для двух длин волн с шагом по $I/I_0 = 0.1$. Из измеренных значений фототока вычесть величину темнового тока. Результаты измерений занесите в таблицу 2.
4. Снять спектральную характеристику фотоэлемента (зависимость величины фототока от длины волны) используя все 8 длин волн, значения которых написаны на крышке стенда СЗ-ОК1. Измерения выполнять при фиксированном значении напряжения, как указано в п.3. Из измеренных значений вычесть величину темнового тока. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Задание по обработке результатов измерений

1. Используя результаты измерений в таблице 1 построить на миллиметровой бумаге графики зависимостей величины фототока от ускоряющего напряжения. Укажите примерно, при каком напряжении достигается фототок насыщения. С чем связана зависимость фототока насыщения от длины волны?
2. Постройте на миллиметровой бумаге световые кривые по результатам измерений, полученные в таблице 2.
3. По результатам измерений из таблицы 3 постройте на миллиметровой бумаге спектральную характеристику фотоэлемента. По ней определить красную границу фотоэффекта, а также работу выхода из фотокатода.

Контрольные вопросы.

1. В чём состоит явление внешнего фотоэффекта?
2. Объясните принцип работы фотоэлемента.
3. Что такое красная граница фотоэффекта?
4. Объясните вид вольтамперной характеристики фотоэлемента.
5. Что такое задерживающий потенциал? От чего он зависит?
6. Напишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

Протокол наблюдений
к лабораторной работе № 18
"Исследование характеристик фотоэлемента с внешним фотоэффектом"

Таблица 1: вольтамперные характеристики фотоэлемента

$$J/J_0 =$$

U, В		1	2	3									20	22	24
I _{тем} , мкА															
$\lambda =$	I, мкА														
	I-I _{тем} , мкА														
$\lambda =$	I, мкА														
	I-I _{тем} , мкА														
$\lambda =$	I, мкА														
	I-I _{тем} , мкА														

Таблица 2: световые характеристики фотоэлемента

$$U = , I_{\text{тем}} =$$

J/J_0		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$\lambda =$	I, мкА													
	I-I _{тем} , мкА													
$\lambda =$	I, мкА													
	I-I _{тем} , мкА													

Таблица 3: спектральная характеристика фотоэлемента

$$J/J_0 = , U = , I_{\text{тем}} = .$$

λ , нм	430	470	520	565	590	660	700	860
I, мкА								
I-I _{тем} , мкА								
I, мкА								
I-I _{тем} , мкА								