

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53

### ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

**Цель работы** – изучение законов внешнего фотоэффекта; получение вольтамперной характеристики фотоэлемента; определение постоянной Планка и работы выхода для материала фотокатода.

#### 1. Теоретические основы работы

Внешним фотоэффектом называют испускание электронов веществом под действием света. Фотоэффект – одно из проявлений квантовой природы света. Энергия фотона передается электрону, и, если эта энергия достаточна для совершения работы выхода, то электрон может «оторваться» от вещества. При этом импульс отдачи передается близлежащему ядру практически без потери энергии.

Ограничения, накладываемые законом сохранения энергии для внешнего фотоэффекта, определяются уравнением Эйнштейна:

$$\hbar\omega = \frac{mv_{\max}^2}{2} + A, \quad (1)$$

где  $\hbar\omega$  – энергия фотона,  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка,  $\omega$  – частота света,  $m$  – масса электрона,  $\frac{mv_{\max}^2}{2}$  – максимальная кинетическая энергия «фотоэлектрона»,  $v_{\max}$  – максимальная скорость «фотоэлектрона»,  $A$  – работа выхода электрона из вещества.

Из (1) следует, что существует граничная частота  $\omega_0$  (красная граница фотоэффекта), при которой еще возможен фотоэффект. Красная граница определяется из условия, что  $mv_{\max}^2 / 2 = 0$ :

$$\omega_0 = \frac{A}{\hbar}. \quad (2)$$

Работа выхода  $A$  зависит от материала фотокатода и состояния его поверхности. Так, для щелочных металлов, которые легко “отдают” свои электроны, красная граница лежит в области видимого диапазона.

Примерный вид экспериментальных зависимостей силы фототока  $I_{\text{ф}}$  от напряжения  $U$  на фотоэлементе для трёх длин волн  $\lambda_1$  (кривая 1),  $\lambda_2$  (кривая 2) и  $\lambda_3$  (кривая 3) при  $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$  представлен на рис. 1. Зависимость силы фототока от напряжения на фотоэлементе нелинейная. При увеличении анодного напряжения фототок растет, т.к. все больше испу-

щенных электронов достигает анода. При достаточно большом анодном напряжении имеет место насыщение. При неизменном спектральном составе падающего на фотокатод излучения фототок насыщения пропорционален интенсивности света.

При подаче на анод фотоэлемента отрицательного потенциала электроны отталкиваются от анода, фототок уменьшается и становится равным нулю при некотором значении напряжения  $U_3$ , называемом задерживающим напряжением. Максимальная начальная скорость фотоэлектрона  $v_{\max}$  связана с задерживающим напряжением  $U_3$  следующим соотношением:

$$mv_{\max}^2 / 2 = |eU_3|, \quad (3)$$

где  $e$  – заряд электрона. Из (1) и (3) получаем:

$$\hbar\omega = |eU_3| + A, \quad (4)$$

или

$$|eU_3| = \hbar\omega - A. \quad (5)$$

Зависимость  $|eU_3|$  от  $\omega$  – линейная (рис. 2). С увеличением частоты монохроматического света максимальная кинетическая энергия электронов  $|eU_3|$  возрастает. Экстраполяция экспериментальной прямой  $|U_3(\omega)|$  до пересечения с осью ординат позволяет определить работу выхода  $A$ ; точка пересечения прямой с осью абсцисс дает значение частоты  $\omega_0$ ; угловой коэффициент прямой

$$\Delta|eU_3| / \Delta\omega = \hbar \quad (6)$$

определяется только значением постоянной Планка.

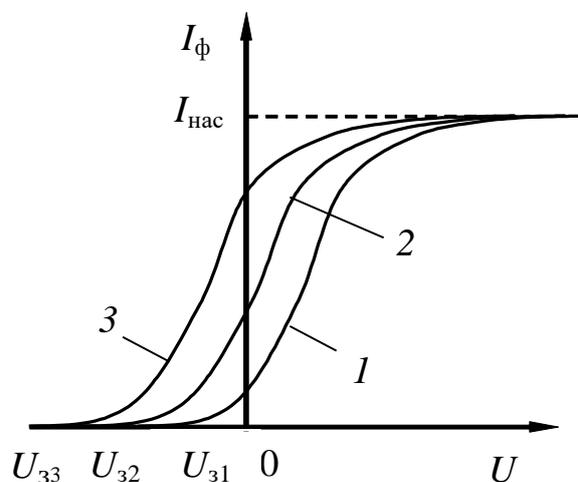


Рис. 1. Примерный вид зависимостей силы фототока от напряжения на фотоэлементе при различных длинах волн (вольт-амперные характеристики)

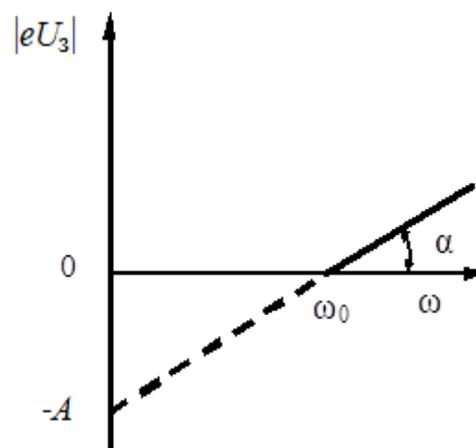


Рис. 2. Зависимость задерживающего напряжения от частоты света

## 2. Описание экспериментальной установки

Схема установки для изучения фотоэффекта представлена на (рис. 3). Установка состоит из лампы накаливания 1, светофильтров 2 и фотоэлемента 3, размещаемых на оптической скамье, а также цифровых микроамперметра и вольтметра, конструктивно объединенных вместе с реостатом 4 в один электронный блок приборов. Вакуумный фотоэлемент 3 заключен в защитный кожух с окном и представляет собой стеклянный баллон, половина которого изнутри покрыта тонким слоем щелочного металла. Этот слой является катодом фотоэлемента. Анодом служит металлическое кольцо, расположенное в центре баллона. Источником света является галогеновая лампа накаливания 1, напряжение на которой может

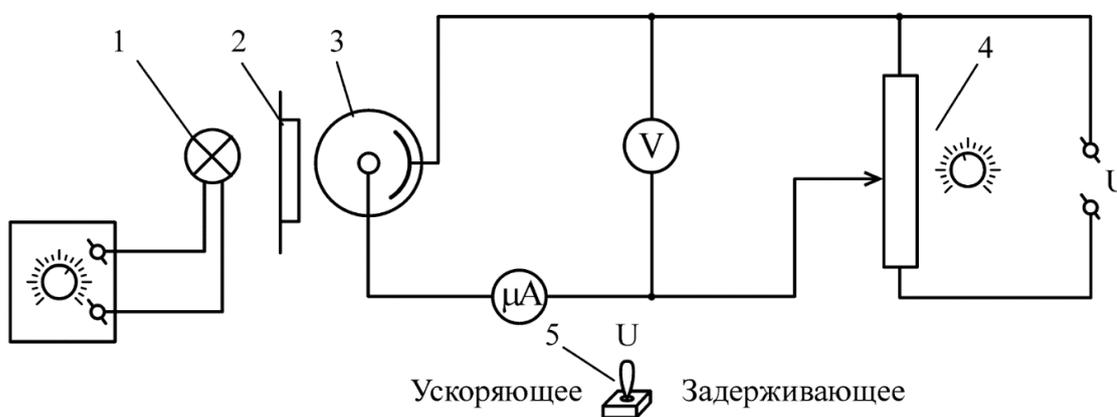


Рис. 3. Схема установки

регулироваться ручкой, размещенной в левой части лицевой панели электронного блока. Монохроматическое излучение получают с помощью светофильтров 2, закрепленных во вращающейся оправе ( $\lambda$  пропускания светофильтров указаны на установке). Фототок измеряют цифровым микроамперметром. Напряжение на фотоэлементе может изменяться вращением ручки реостата и измеряется цифровым вольтметром. Для переключения режимов задерживающего и ускоряющего напряжений служит специальный переключатель полярности 5 (тумблер), расположенный в нижней части панели электронного блока.

### 3. Порядок выполнения работы

#### Задание 1. Построение вольтамперной характеристики

1. Заполните табл. 1 спецификации измерительных приборов и запишите данные установки.
2. Расположите на оптической скамье источник света, набор светофильтров и фотоэлемент как можно ближе друг к другу.
3. Включите электронный блок, пользуясь клавишей на задней поверхности блока, и установите режим ускоряющего напряжения тумблером 5.

Таблица 1

Спецификация измерительных приборов

Название прибора и его тип	Пределы измерения	Инструментальная погрешность

4. Выберите один из светофильтров по указанию преподавателя и подберите такой ток накала лампы, чтобы фототок при  $U = 0$  был 0.1- 0.2 мкА. Регулировка тока накала лампы выполняется с помощью ручки регулятора тока, расположенной в левой части панели электронного блока. Запишите значение длины волны  $\lambda$ , пропускаемой светофильтром в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость фототока от ускоряющего напряжения

$\lambda =$ нм										
Напряжение $U$ , В	0	0,5	1	2	3	5	8	12	16	18
Фототок $I$ , мкА	0,...									

5. Увеличивайте напряжение на фотоэлементе, как показано в табл. 2, и измеряйте фототок до появления признаков насыщения. Результаты запишите в табл. 2.

#### Задание 2. Определение работы выхода и постоянной Планка

1. Установите максимальный ток в цепи лампы, повернув ручку регулятора тока в положение вправо до упора.

2. Переключите тумблер в нижней части панели электронного блока в режим задерживающего напряжения.

3. Плавно вращая ручку реостата (правая часть панели), определите задерживающее напряжение ( $I = 0$  мкА) для каждого из светофильтров. Результаты запишите в табл. 3.

4. Сразу после того, как закончите измерения, поставьте регулятор тока в цепи лампы на минимальное значение (влево до упора) и выключите электронный блок клавишей на задней поверхности блока.

Таблица 3

Измерение задерживающего напряжения

Цвет	$\lambda$ , нм	$\omega$ , рад/с	$U_3$ , В	$eU_3$ , Дж	$eU_3$ , эВ
Жел.	520				
Зел.	510				
Голуб.	500				
Син.	490				
Фиол.	480				

## 5. Обработка результатов измерений

1. Переведите длины волн излучения светодиодов в циклическую частоту, а задерживающее напряжение в кинетическую энергию электронов  $|eU_3|$ . Результаты запишите в табл. 3.

2. Постройте график зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов (модуль произведения заряда электрона на задерживающее напряжение  $|eU_3|$ ) от циклической частоты  $\omega$ . Проведите аналитическую или графическую аппроксимацию экспериментальной зависимости прямой линией согласно уравнению (5). По коэффициентам уравнения прямой определите постоянную Планка и работу выхода материала фотокатода.

3. Определите абсолютные погрешности постоянной Планка и работы выхода. Запишите результаты измерений в стандартном виде.

4. Постройте график зависимости  $I = f(U)$ .

5. Сравните полученное значение постоянной Планка с табличным значением.

## 6. Контрольные вопросы

1. Что такое внешний фотоэффект? Что такое работа выхода? Что такое «красная граница» фотоэффекта?

2. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Поясните физический смысл входящих в него величин.
3. Нарисуйте примерный вид вольтамперной характеристики фотоэлемента. Почему происходит насыщение фототока?
4. Что такое задерживающее напряжение? Нарисуйте зависимость задерживающего напряжения от частоты света.
5. Что такое постоянная Планка? Как можно ее определить по измеренным в работе величинам?
6. Как по красной границе фотоэффекта можно определить работу выхода?