

## Работа N5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА

Цель работы: снятие вольт-амперной характеристики фотоэлемента, определение красной границы фотоэффекта, работы выхода электрона и постоянной Планка.

Оборудование: вакуумный фотоэлемент, галогеновая лампа, набор светофильтров, электронный блок приборов (включает микроамперметр, вольтметр, источник питания).

#### Введение

*Внешним фотоэффектом* называют процесс испускания электронов с поверхности металла под действием света. Согласно квантовой теории всякое тело может поглощать и испускать энергию порциями, содержащими целое число элементарных порций - *квантов энергии*. Энергия фотона  $\varepsilon$  определяется по *формуле Планка*:

$$\varepsilon = h\nu$$

где  $h = 6,624 \cdot 10^{-34}$  дж с - *постоянная Планка*.

Закон сохранения энергии при неупругом взаимодействии фотона со свободным электроном металла выражается *уравнением Эйнштейна*:

$$h\nu = A + \frac{mV^2}{2} \quad (1)$$

Из уравнения Эйнштейна видно, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона зависит не от интенсивности света, а от его частоты и работы выхода  $A$ . При уменьшении частоты света скорость выбитых электронов уменьшается и при некоторой частоте  $\nu_0$  становится равной нулю. Частоту  $\nu_0$ , ниже которой фотоэффект у данного металла не наблюдается, называют *граничной частотой фотоэффекта*:

$$h\nu_0 = A \quad (2)$$

Особенности фотоэлементов определяются их спектральной и вольт-амперной характеристиками. *Спектральная характеристика* определяет область спектра, в которой может применяться фотоэлемент.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) фотоэлемента (рис.1) выражает зависимость фототока  $I$  от разности потенциалов  $U$  между электродами. С увеличением  $U$  фототок растет до определенного предельного значения  $I_H$  - тока насыщения, который согласно закону Столетова, пропорционален световому потоку  $\Phi$ , падающему на катод:

$$I_H \sim \Phi \quad (3)$$

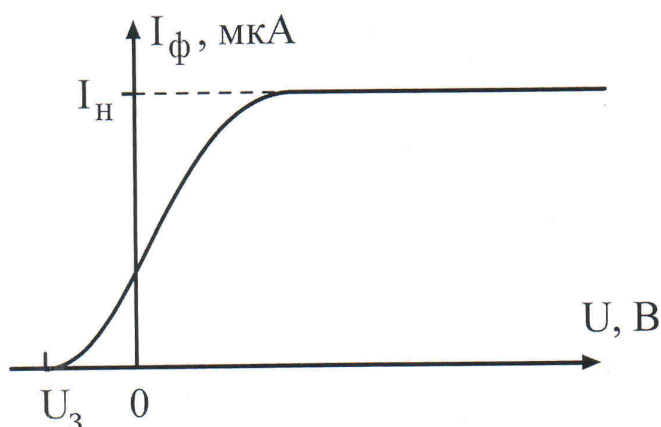


Рис. 1

Фототок полностью прекращается при создании задерживающего напряжения  $U_3$  обратной полярности по сравнению с ускоряющим. При  $U = U_3$  кинетическая энергия всех фотоэлектронов снижается до нуля под действием электрического поля, т.к. равна работе, совершаемой полем:

$$eU_3 = \frac{mV^2}{2} \quad (4)$$

### Метод измерений

В соответствии с уравнениями (1) и (4) имеем:

$$U_3 = \frac{h}{e} \cdot \nu - \frac{A}{e} \quad (5)$$

Это соотношение указывает на возможность экспериментального определения работы выхода  $A$  и постоянной Планка  $h$  по зависимости задерживающего потенциала  $U_3$  от частоты  $\nu$  падающего на фотоэлемент света. Согласно уравнению (5) зависимость  $U_3 = f(\nu)$  представляет собой прямую линию (рис.2) с угловым коэффициентом, равным  $\frac{h}{e}$ . На оси ординат прямая отсекает отрезок, равный  $\frac{A}{e}$ .

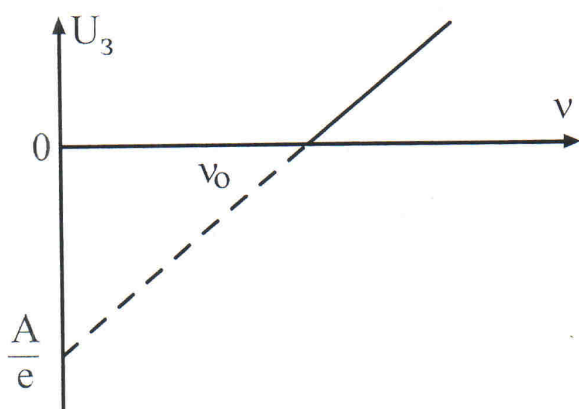


Рис. 2

Этот способ определения  $A$  основан на экстраполяции графика до значения  $\nu = 0$ .

Изучение закона Столетова состоит в построении графика зависимости фототока насыщения  $I_H$  от светового потока  $\Phi$ , падающего на фотокатод. При изменении накала лампы изменяется и спектральный состав света. Поэтому для изменения  $\Phi$  в работе изменяют расстояние от лампы до фотоэлемента. Если лампу

считать изотропным источником

света с силой света  $I_0$ , то на расстоянии  $r$  от нее освещенность

$$E = \frac{I_0}{r^2} \quad (5)$$

Световой поток, падающий на фотокатод с площадью  $S$

$$\Phi = E \cdot S = \frac{I_0 S}{r^2} \quad (6)$$

Согласно этому выражению закону Столетова соответствует прямая линия на графике зависимости  $I = f(1/r^2)$ .

### Описание установки

Фотоэффект изучают на установке (рис.3), состоящей из фотоэлемента и лампы накаливания, размещаемых на оптической скамье, а также цифровых микроамперметра и вольтметра, конструктивно объединенных вместе с реостатом в один электронный блок приборов. Вакуумный фотоэлемент 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, напряжение на которой может регулироваться ручкой, размещенной в левой части лицевой панели электронного блока. Монохроматическое излучение получают с помощью светофильтров, 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, расположенный в нижней части панели электронного блока.

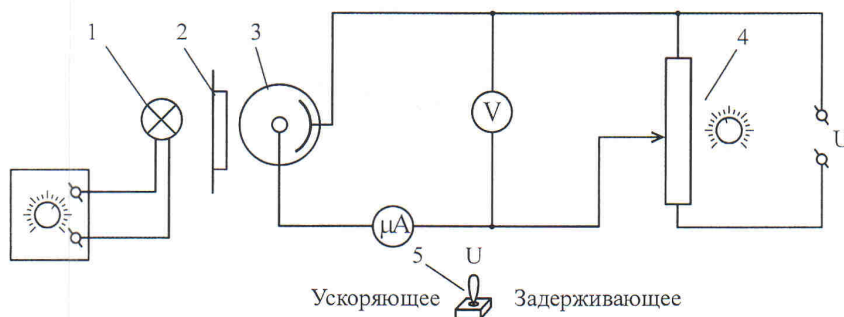


Схема установки:

- 1- лампа накаливания;
- 2- светофильтры в оправе;
- 3- фотоэлемент;
- 4- реостат;
- 5- переключатель полярности;

Рис. 3

## Порядок выполнения работы

### Задание 1. Построение вольт-амперной характеристики

1. На оптической скамье расположить источник света, набор светофильтров и фотозащитный элемент *как можно ближе друг к другу*.

2. Включить электронный блок приборов и установить режим ускоряющего напряжения. Выбрать один из светофильтров и подобрать такой накал лампы (световой поток), чтобы фототок при  $U=0$  был 0,03 мкА.

3. Увеличивать напряжение на фотозащитном элементе, как показано в табл.1, измерять фототок до момента наступления тока насыщения.

Результаты записать в табл.1.

Таблица 1

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

4. При том же светофильтре переключите режим работы на задерживающее напряжение, определите задерживающий потенциал (т.е. напряжение, при котором фототок становится равным 0) и результат запишите в первую графу табл.1.

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

6. В выводе сделайте анализ полученной ВАХ фотозащитного элемента.

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

1. На оптической скамье расположить источник света, набор светофильтров и фотозащитный элемент *как можно ближе друг к другу*. Установите в лампе накаливания максимальный ток.

2. В таблице 2 запишите длины волн  $\lambda$ , пропускаемых светофильтрами, в порядке их уменьшения.

Таблица 2

Цвет светофильтра							
$\lambda$ , нм							
$\nu$ , $\times 10^{14}$ Гц							
Задерживающий потенциал $U_3$ , В							
Средний $\bar{U}_3$ , В							

3. Поменяйте полярность напряжения на фотоэлементе. Для этого переключите тумблер в нижней части панели электронного блока в режим задерживающего напряжения.

4. Плавно вращая ручку реостата ( правая часть панели), определите задерживающий потенциал для каждого из светофильтров (не менее трех раз) и среднее  $U_3$ . Результаты запишите в таблицу 2.

5. Постройте график линейной зависимости  $U_3=f(\nu)$ . Экстраполируйте прямую до пересечения с осью ординат (см.рис.2).

6. По графику найдите граничную частоту  $\nu_0$  и задерживающее напряжение  $U_3 = A/e$ .

7. По формуле  $A=U_3 \cdot e$  (эВ) =  $U_3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$  (Дж) вычислите работу выхода электрона  $A$ .

8. Вычислите постоянную Планка  $h = A/\nu_0$ .

9. Вычислите относительную погрешность

$$\delta_h = \frac{h - h_{ТАБЛ}}{h_{ТАБЛ}}$$

10. Вычислите абсолютную погрешность

$$\Delta_h = h \cdot \delta_h$$

11. В выводе отразите возможности метода для измерения одной из фундаментальных физических констант - постоянной Планка.

### Задание 3. Изучение закона Столетова

1. Установите режим ускоряющего напряжения.

2. Разместите на оптической скамье лампу накаливания и фотоэлемент на расстоянии друг от друга  $\sim 320-330$  мм. Установите напряжение на

фотоэлементе, соответствующее началу эффекта насыщения (см.табл 1).

3. Установите максимальный накал лампы. Измерьте фототок.

4. Отодвигая фотоэлемент каждый раз на 40-50 мм (*и сохраняя при этом ориентацию фотоэлемента на источник света*), измеряйте фототок при различных расстояниях  $r$  от источника света до фотоэлемента. Результаты измерений записывайте в табл.3.

Таблица 3

Расстояние $r$ , м							
Величина $1/r^2$ , м <sup>-2</sup>							
Фототок $I_H$ , мкА							

5. Постройте график зависимости  $I_H = f(1/r^2)$ .

6. В выводе отразите, есть ли соответствие полученной зависимости закону Столетова.

### Вопросы

1. Что такое световой поток?
2. Связь между длиной волны, частотой и скоростью света.
3. Что такое фотон (квант света)?
4. Чему равна энергия фотона?
5. В чем заключается явление фотоэффекта?
6. Сформулируйте законы Столетова для фотоэффекта.
7. Сформулируйте и объясните уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
8. Что такое граничная частота?
9. Что понимают под красной границей фотоэффекта?
10. Объясните термин "задерживающая разность потенциалов".
11. Как найти задерживающий потенциал?
12. Как зависит задерживающий потенциал от частоты падающего света?
13. От чего зависит скорость фотоэлектронов?
14. Чему равен угловой коэффициент зависимости  $U_3 = f(\nu)$
15. Что называется спектральной и вольт-амперной характеристиками фотоэлемента?
16. Какой вид имеет вольт-амперная характеристика при освещении его светом :
  - а) с частотой, большей граничной;
  - б) с частотой, меньшей граничной;
  - в) равной граничной частоте?
17. Как устроен вакуумный фотоэлемент?