

## Лабораторная работа № 3•12

### ИЗУЧЕНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТА С ВНЕШНИМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

**Цель работы:** сформулировать гипотезу исследования, выделить уровни сложности изучаемой системы, исследовать световую характеристику фотоэлемента, снять его вольтамперные характеристики.

**Приборы и принадлежности:** фотоэлемент Ф-26, источник света (лампа накаливания), источник питания для лампы накаливания на 12 вольт, источник питания для снятия вольтамперной и световой характеристик с цифровым отсчетом тока и напряжения на 50 В, цифровой мультиметр для измерения фотоэлектрического тока.

#### Краткое теоретическое введение

Явление вырывания электронов из твердых и жидких веществ под действием света получило название внешнего фотоэлектрического эффекта (внешнего фотоэффекта). Внешний фотоэффект подчиняется следующим трем законам:

1) максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой падающего на фотокатод монохроматического света и не зависит от его интенсивности;

2) для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т.е. минимальная частота  $\nu_0$  монохроматического света, при которой еще возможен внешний фотоэффект;

3) число фотоэлектронов, вырываемых из фотокатода катода за единицу времени, пропорционально интенсивности света.

Основное уравнение для фотоэффекта было сформулировано А. Эйнштейном и имеет следующий вид:

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A \quad \text{или} \quad h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

где  $h\nu$  – энергия кванта света (фотона) с частотой  $\nu$ ;  $h$  – постоянная Планка;  $A$  – работа выхода электрона из металла;  $m$  – масса электрона;  $v$  – максимальная скорость фотоэлектрона. Соотношение (1) отражает то, что энергия кванта света, поглощенного электроном в металле, расходуется на совершение работы по вырыванию электрона из вещества (работа выхода  $A$ ), и на сообщение электрону кинетической энергии  $\frac{mv^2}{2}$ . Внешний фотоэффект используют в приборах, называемых фотоэлементами.

### Измерение основных характеристик фотоэлемента

Фотоэлемент представляет собой стеклянный баллон (рис. 1), на внутренней поверхности которого нанесен тонкий слой металла, выполняющий роль фотокатода 2. Анод фотоэлемента 3 изготовлен в виде диска (или сферы), помещенного в центре баллона. Включение электрическую цепь производится с помощью специальных выводов от анода и катода (4 и 5).

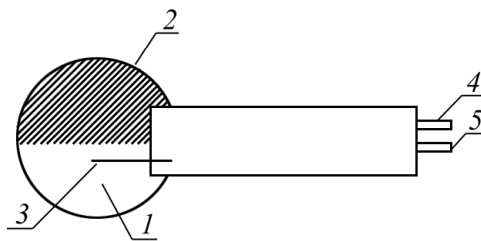


Рис. 1

Вакуумный фотоэлемент, используемый в работе, имеет фотокатод из серебра и цезия. Если на фотокатод подействовать светом, содержащим длины волн, способные вырвать электроны из катода, то по цепи пойдет ток, величина которого зависит от напряжения между анодом и катодом. Этот ток называется фототоком. Характеристиками фотоэлемента являются световая и вольтамперная. Световой характеристикой называют зависимость между силой фототока и величиной падающего светового потока при условии, что напряжение между электродами фотоэлемента сохраняется неизменным. Эта зависимость выражается формулой

$$i_{\Phi} = K \cdot \Phi, \quad (2)$$

где  $i_{\Phi}$  – фототок, измеренный в микроамперах;  $\Phi$  – световой поток в люменах;  $K$  – коэффициент пропорциональности, называемой чувствительностью фотоэлемента. В вакуумных фотоэлементах существует пропорциональная зависимость между  $i_{\Phi}$  и  $\Phi$ , следовательно, для них  $K = \text{const}$ .

В газонаполненных фотоэлементах интегральная чувствительность  $K \neq \text{const}$  превышает чувствительность вакуумных фотоэлементов. Вольтамперной характеристикой фотоэлемента называется зависимость фототока от напряжения между катодом и анодом фотоэлемента. Ее снимают при постоянном значении светового потока.

### Описание экспериментальной установки

Фотоэлемент включается в электрическую цепь, схема которой изображена на рис. 2.

На электроды фотоэлемента  $\Phi_3$  подается постоянное напряжение от источника питания. В источник питания встроен потенциометр ( $R$ ),

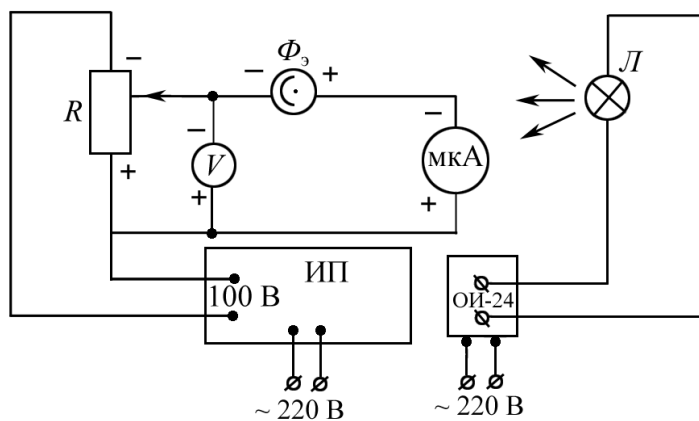


Рис. 2

позволяющий менять напряжение. Сила тока измеряется миллиамперметром.

Напряжение измеряется вольтметром. Источник света – лампа  $L$  включается в осветительную сеть 220 В.

Для увеличения срока службы и улучшения работы фотоэлемент помещен в специальный футляр-оправу с открывающимся окошечком, которое должно быть закрытым, если измерения в данный момент не проводятся.

Сила

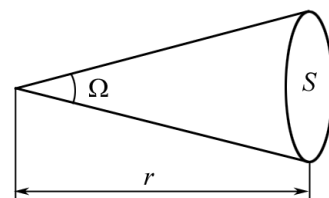


Рис. 3

света  $I$  источника ( $L$ ) известна. Световой поток, излучаемый источником в пределах телесного угла  $\Omega$  (рис. 3), определяется по формуле  $\Phi = \Omega I$ .

Величина телесного угла может быть найдена, если известно расстояние от источника света  $r$  до освещаемой поверхности  $S$

$$\Omega = \frac{S}{r^2}.$$

Сила света  $I$  указана на футляре осветителя, площадь открытого участка фотокатода измеряется в процессе работы: расстояние между фотоэлементом и лампой-осветителем изменяют в процессе работы, для изменения величины светового потока. Величину  $r$  определяют по шкале оптической скамьи, на которой устанавливаются приборы.

### **Задание**

1. Измерьте световую характеристику фотоэлемента.
2. Определите интегральную чувствительность фотоэлемента.
3. Измерьте вольтамперную характеристику фотоэлемента.
4. Оцените наименьшее и наибольшее значения скорости электронов, вырываемых из катода фотоэлемента.

## **Методика и техника измерений**

### **Снятие световой характеристики**

1. Ознакомьтесь с установкой на рабочем месте.
2. Включите в электрическую сеть (220 В) источник питания и с помощью потенциометра  $R$  установите на электродах фотоэлемента напряжение 50 В, которое при дальнейшей работе должно оставаться неизменным.
3. Откройте окошечко фотоэлемента и измерьте фототок. Запишите его значение и расстояние  $r$  в табл. 1.

Таблица 1

Напряжение $U$ , В	Увеличение	Уменьшение	Фототок, мкА		Среднее значение	$\Phi$ , л м	$K$ , мкА/ лм
			увеличен ие $r$	уменьше ние $r$			

4. Уменьшая расстояние фотоэлемента до осветителя, вновь измерьте расстояние и соответствующий фототок. Вновь уменьшите расстояние его и фототок. Измерение фототока проведите для пяти-семи различных расстояний  $r$ , сначала при уменьшении, а затем при увеличении, в обратной последовательности.

5. Рассчитайте по формуле (3) величину светового потока при различных расстояниях  $r$ .

6. Постройте по данным табл. 1 график зависимости  $i_{\Phi} = f(\Phi)$ ; вычислите по формуле (2) интегральную чувствительность  $K$  и постройте график зависимости  $K = f(\Phi)$  при постоянном напряжении.

### Снятие вольт-амперной характеристики

1. Установите фотоэлемент и осветитель лампу ( $L$ ) на расстоянии  $r_1 = 0,2$  м друг от друга и далее его сохраняйте неизменным.

2. Подайте с помощью потенциометра  $R$  на электроды фотоэлемента напряжение, изменяя от 0 до 100 В (через 10 В) и измерьте фототок  $i_{\Phi}$ .

3. Получите всего 8 ÷ 10 экспериментальных точек сначала при увеличении, а затем уменьшении напряжения  $U$ , сохраняя неизменным световой поток  $\Phi$ .

4. Установите фотоэлемент и лампу осветитель на взаимном расстоянии  $r_2 = 0,3$  м и снова измерьте фототок сначала при увеличении напряжения  $U$  от 0 до 100 В, а затем при уменьшении от 100 до 0 В, сохраняя поток  $\Phi_2$  неизменным.

5. Подсчитайте по формуле (3) значение светового потока  $\Phi_1$  при  $r_1 = 0,2$  м и  $\Phi_2$  при  $r_2 = 0,3$  м. вольтамперную характеристику фотоэлемента при двух значениях светового потока.

Таблица 2

$U, В$	$r_2 = 0,3$ м $\Phi$ лм			$U, В$	$r_1 = 0,2$ м $\Phi$ лм		
	Фототок $i_{\Phi}, мкА,$	Фототок $i_{\Phi}, мкА,$	Средне $e$		Фотото	Фотото $k i_{\Phi},$	Средне $e$

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. В каких единицах измеряется световой поток? Какова размерность единицы светового потока в СИ?
2. Каков физический смысл интегральной чувствительности? Найдите его, используя формулу (2).
3. Почему чувствительность фотоэлемента называется интегральной?
4. Каковы физические причины того, что интегральная чувствительность газонаполненного фотоэлемента не является величиной постоянной?
5. Как влияют на величину фототока частота и интенсивность света? Объясните физическую суть этого влияния?
6. Нарисуйте график зависимости кинетической энергии фотоэлектрона от частоты падающего света. Какие величины можно вычислить, используя такой график?
7. Зависит ли величина фототока от мощности лампы накаливания данной работы?
8. В каком случае вырываемые фотоэлектроны попадают на анод?
9. Каков характер распределения по энергиям фотоэлектронов, вырываемых с поверхности фотокатода?
10. Что называют спектральной чувствительностью фотоэлемента?

11. Какие действия нужно осуществить, чтобы проверить первый закон фотоэффекта?
12. Почему классическая физика не может объяснить третий закон фотоэффекта?
13. В чем состоит физическая сущность уравнения Эйнштейна для фотоэффекта?
14. Какие экспериментальные величины нужно измерить, чтобы определить красную границу фотоэффекта?
15. Почему для точных спектральных измерений явлений фотоэффекта не используют светофильтры?
16. Чем определяется минимальное значение фототока фотоэлемента? Какова его величина?
17. С какой целью снимают световую, вольтамперную характеристики фотоэлемента?
18. С какой точностью необходимо измерять фототок и напряжение в данной работе?
19. В ряде экспериментов на анод фотоэлемента подают отрицательный потенциал. Что происходит в анодной цепи? Что можно измерить в этом случае?
20. Какой вид имеет зависимость отрицательного потенциала анода от частоты падающего света?
21. Какова точность определения величины интегральной чувствительности фотоэлемента?
22. Предложите схему измерений, максимально учитывающую размеры источника света.
23. В процессе измерений предлагается постоянно перекрывать окошечко фотоэлемента. С какой целью это делается? Обоснуйте ответ.
24. Какое явление называют многофотонным фотоэффектом?
25. В чем состоит отличие внутреннего и внешнего фотоэффекта?

