

Методические указания
к выполнению лабораторной работы 3.3.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОТОКА ОТ
НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАЗНЫХ СВЕТОВЫХ ПОТОКАХ***

* Степанова Л.Ф., Рябов С.Е., Некрасов В.В., Добрынина В.В. Квантовая оптика: Методические указания к выполнению лабораторных работ по физике. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1988. – 32с.

Цель работы – исследование зависимости фототока от напряжения при разных световых потоках, определение интегральной чувствительности фотоэлемента.

Теоретические положения

Фотоэлектрическим эффектом называется явление изменения электрических свойств тел под влиянием электромагнитного излучения. Различают три типа фотоэффекта: внешний, внутренний и запирающего слоя (вентильный).

В настоящей работе изучается только внешний фотоэффект. Внешний фотоэффект - испускание электронов под действием света с поверхности металлов. Этот эффект был открыт во второй половине прошлого столетия и впервые обстоятельно изучен русским ученым А.Г.Столетовым. Он установил следующие законы фотоэффекта:

- 1) под действием света вещество теряет только отрицательные заряды;
- 2) величина испущенного телом заряда (число электронов) пропорциональна интенсивности падающего света;
- 3) активными оказываются не все лучи, а только те, частота колебаний которых не меньше ν_0 – “красной” границы фотоэффекта.

Впоследствии было найдено, что скорость фотоэлектронов зависит от природы катода фотоэлемента и частоты колебаний падающего света, но не зависит от интенсивности света.

Закономерности фотоэффекта были объяснены только квантовой теорией света. Согласно этой теории свет представляет собой поток материальных частиц, называемых фотонами. Скорость фотонов равна скорости распространения света c , энергия фотона $\varepsilon = h \cdot \nu$, масса $m = h\nu/c^2$, количество движения (импульс) $mc = h\nu/c$. Здесь h - постоянная Планка; ν – частота света, причем $\nu = c/\lambda$ (где λ - длина волны излучения).

Часть энергии фотона, поглощенного поверхностью металла, называемая работой выхода, расходуется на то, чтобы электрон мог покинуть металл, остаток энергии равен максимальной кинетической энергии вылетевшего электрона. Отсюда согласно закону сохранения энергии

$$h\nu = A + \frac{m\nu_{\max}^2}{2}, \quad (1)$$

Это равенство носит название уравнения Эйнштейна. Из уравнения Эйнштейна вытекает, что если $h\nu \geq A$, то фотоэффект будет иметь место, если же $h\nu < A$, то фотоэффекта не будет. Частота ν_0 , для которой выполняется равенство, $h\nu_0 = A$ называется "красной" границей фотоэффекта; "красной" границе соответствует длина волны $\lambda_0 = c/\nu_0$, при которой $hc/\lambda_0 = A$.

Очевидно, что фотоэффект для данного металла наблюдается, если $\nu > \nu_0$ или $\lambda < \lambda_0$. Например, работа выхода электронов из вольфрама равна 4,50 эВ, “красная” граница $\lambda_0 = 2,8 \cdot 10^{-7}$ м = 0,28 мкм. Для вольфрама λ_0 лежит, в ультрафиолетовой области спектра. Фотоэффект можно наблюдать только при $\lambda \leq 0,28$ мкм. Для цезия $A = 1,89$ эВ, а $\lambda_0 = 6,6 \cdot 10^{-7}$ м = 0,66 мкм, то есть практически вся видимая; область световых волн может вызывать фотоэффект с поверхности цезия.

Из уравнения (1) видно, что для данного металла скорость вылетающих электронов зависит только от частоты падающего света. Изменение интенсивности света данной частоты ν ($\nu > \nu_0$) влияет только на количество вылетающих электронов, но не на их энергию (скорость).

Пропорциональность силы фототока насыщения световому потоку Φ (закон Столетова) легко объяснить. Величина светового потока Φ определяется числом фотонов, число вылетевших с поверхности металла электронов пропорционально числу падающих фотонов, а величина фототока определяется числом вырванных фотоэлектронов.

Для изучения закономерностей внешнего фотоэффекта в работе используется вакуумный фотоэлемент с сурьмяно-цезиевым катодом. Фотоэлемент представляет собой стеклянный сферический баллон, в центре которого расположен анод (рисунок 1). На одну половину внутренней поверхности баллона нанесен тонкий слой сурьмы, а затем тонкий слой цезия путем последовательной конденсации паров этих металлов в вакууме. Образующееся соединение Cs_3Sb служит катодом фотоэлемента. “Красная” граница для этого фотокатода находится в видимой области спектра.

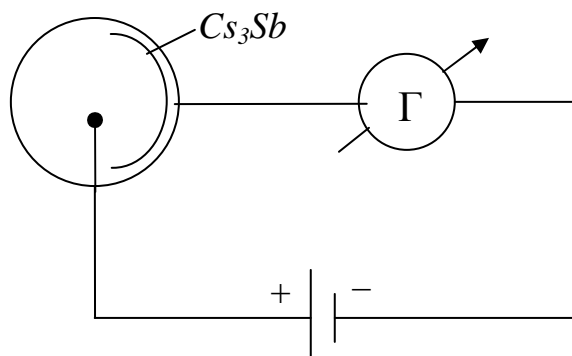


Рисунок 1

Если между катодом и анодом создать разность потенциалов и направить на катод свет, то электроны под действием электрического поля начнут двигаться в сторону анода, и в замкнутой цепи появится электрический ток, регистрируемый гальванометром (рисунок 1). Сила фототока зависит от светового потока Φ и от напряжения U . При неиз-

менном световом потоке Φ с увеличением напряжения фототок сначала увеличивается, затем достигает насыщения, то есть все электроны, испущенные катодом, попадают на анод. Чтобы уменьшить ток до нуля, надо создать задерживающее поле («минус» на аноде, «плюс» на катоде). При некотором значении разности потенциалов U_3 фототок прекратится. В этом случае работа сил электрического поля будет равна кинетической энергии вылетающих электронов:

$$eU_3 = \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (2)$$

Учитывая уравнение (1), можно получить

$$h\nu = A + eU_3. \quad (3)$$

На рисунке 2 приведены типичные вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента для двух значений светового потока ($\Phi_1 > \Phi_2$). Каждому значению светового потока соответствует свое значение тока насыщения i_n . Между i_n и Φ (при неизменном спектральном составе потока) существует соотношение, называемое законом Столетова:

$$i_n = C\Phi. \quad (4)$$

где C – чувствительность фотоэлемента, А/Лм (мкА/Лм).

Для монохроматического (белого) света C называют интегральной чувствительностью. Чувствительность является одной из важнейших характеристик фотоэлементов, у современных фотоэлементов она достигает 100...150 мкА/Лм.

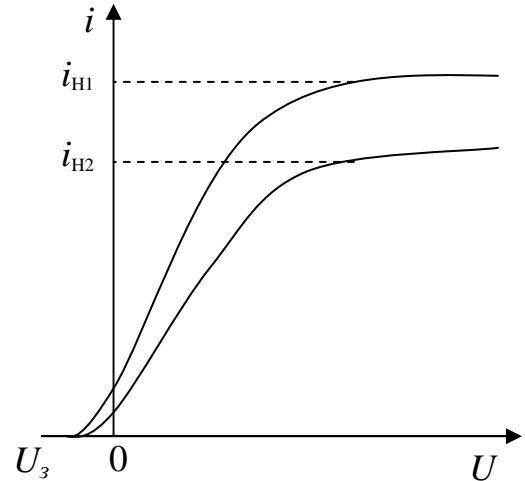


Рисунок 2. – Вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента при разных световых потоках

Экспериментальная установка

Схема установки изображена на рисунке 3. Через выпрямитель В на сурьмяно-цезиевый фотоэлемент СЦВ-4 (F) подается напряжение, регулируемое реостатом R, включенным в режиме потенциометра. Вольтметр и микроамперметр μA измеряют напряжение на фотоэлементе и фототок. Фотоэлемент освещается лампой накаливания L, сила света I которой не изменяется в процессе работы. Изменение светового потока осуществляется с помощью диафрагмы с переменным диаметром.

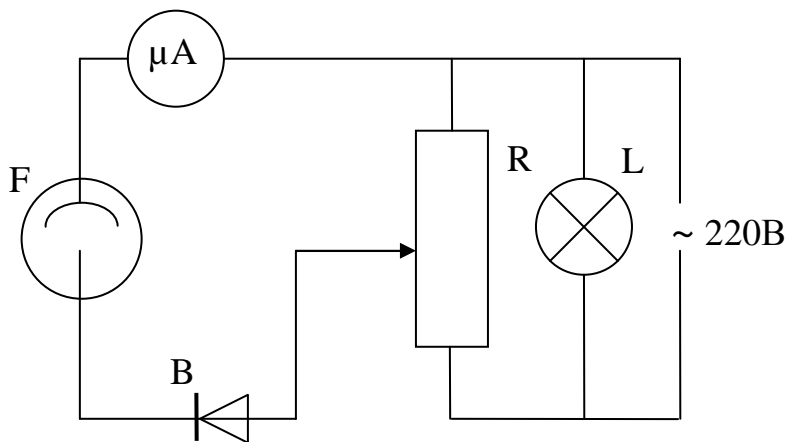


Рисунок 3. – Принципиальная схема экспериментальной установки

Вольтметр и микроамперметр μA измеряют напряжение на фотоэлементе и фототок. Фотоэлемент освещается лампой накаливания L, сила света I которой не изменяется в процессе работы. Изменение светового потока осуществляется с помощью диафрагмы с переменным диаметром. Вольтамперная характеристика сни-

мается четыре раза для различных световых потоков с помощью четырех диафрагм, диаметры которых указаны на установке.

Для определения интегральной чувствительности по уравнению (4) необходимо знать силу фототока насыщения i_n и световой поток Φ . При условии равномерного распределения светового потока по освещаемой поверхности S освещенность ее определяется по формуле:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (5)$$

Освещенность, созданная точечным источником, при нормальном падении лучей на освещаемую поверхность определяется законом освещенности:

$$E = \frac{IS}{r^2}, \quad (6)$$

где r – расстояние от точечного источника до освещаемой поверхности, м.

Совокупность уравнений (5) и (6) позволяет выразить световой поток следующим образом:

$$\Phi = \frac{IS}{r^2}. \quad (7)$$

Фотоэлемент, лампа накаливания, линза и диафрагма закрыты светозащитным кожухом и расположены определенным образом (рис. 4).

Источник света L расположен в фокусе линзы L , то есть за линзой в сторону фотоэлемента распространяется параллельный пучок лучей.

Площадь освещаемой поверхности фотоэлемента равна площади диафрагмы диаметра d :

$$S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Так как освещенность поверхности фотоэлемента равна освещенности линзы (без учета малых потерь на поглощение), то в законе освещенности под r подразумевается расстояние от линзы до источника.

Таким образом, если известны величины r , I , S , то можно определить световой поток по уравнению (7). Ток насыщения определяют по вольтамперной характеристике для каждого светового потока. Интегральная чувствительность, с учетом уравнений (4) и (7), определяется выражением:

$$C = \frac{i_n}{\Phi} = \frac{i_n \cdot r^2}{I \cdot S} = \frac{i_n \cdot r^2}{I \pi d^2 / 4} = \frac{4i_n \cdot r^2}{\pi d^2 I}. \quad (8)$$

Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

1. Ознакомиться с установкой и включить ее при выведенном реостате (минимальное напряжение на реостате).

2. Установить диафрагму с наибольшим диаметром d_1 и, повышая напряжение, определить соответствующие значения фототока в микроамперах. Измерения до 40 В проводить через каждые 10 В, от 40 до 200 В - через 20 В. Результаты оформить в табличном виде.

Таблица 1 – Результаты измерений

V, В	L, мкА			
	d_1	d_2	d_3	d_4
10				
20				
⋮				
⋮				
	$i_{н1} =$	$i_{н2} =$	$i_{н3} =$	$i_{н4} =$
	$C_1 =$	$C_2 =$	$C_3 =$	$C_4 =$

3. Провести аналогичные измерения с остальными диафрагмами d_2, d_3, d_4 и занести результаты в таблицу.

4. Построить в координатах ток – напряжение вольтамперные характеристики для всех четырех световых потоков (на одном графике).

5. По полученным кривым определить значения токов насыщения.

6. Используя постоянные установки I, r, d (эти параметры указаны на установке), рассчитать по формуле (8) величину интегральной чувствительности (все величины, кроме i_n , берутся в системе СИ). Из четырех полученных значений интегральной чувствительности найти среднее значение:

$$C = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{4}.$$

7. Рассчитать погрешность величины C .

Контрольные вопросы

1. Какие явления называются фотоэлектрическими? Виды фотоэффекта.
2. Сформулировать основные опытные законы внешнего фотоэффекта.
3. Уравнение Эйнштейна и объяснение его на основе опытных законов фотоэффекта.
4. Что называется “красной” границей фотоэффекта?
5. Что такое работа выхода и от чего она зависит?
6. Как зависит величина задерживающего потенциала от длины волны (частоты) падающего излучения?