

5227

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАКОНА ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Методические указания
к лабораторной работе

Рязань 2018

УДК 539

Изучение первого закона внешнего фотоэффекта: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Б.С.Бобров, А.П.Соколов. Рязань, 2018. 8 с.

Изложены элементы теории и метод проверки первого закона внешнего фотоэффекта по световой характеристике фотоэлемента, даны порядок выполнения работы, а также указания по обработке экспериментальных результатов.

Предназначены для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения, изучающих курс физики.

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Фотоэффект, фотоэлектрон, ток насыщения, электрическое поле

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ
(зав. кафедрой доц. М.В. Дубков)

Изучение первого закона внешнего фотоэффекта

Составители: Б о б р о в Борис Сергеевич
С о к о л о в Александр Павлович

Редактор Р.К. Мангутова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 12.03.18. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,5.

Тираж 200 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Цель работы: изучение законов внешнего фотоэффекта.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, фотоэлемент в кожухе, блок питания фотоэлемента, источник света с блоком питания, микроампервольтметр.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТА

При взаимодействии электромагнитного излучения с веществом наблюдаются явления, свидетельствующие о дискретном характере взаимодействия, когда обмен энергией и импульсом между полем излучения и веществом осуществляется порциями излучения, называемыми квантами или фотонами. Одно из таких явлений получило название внешнего фотоэлектрического эффекта, под которым понимается испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

Первые фундаментальные исследования фотоэффекта были выполнены русским ученым А.Г.Столетовым, который установил следующие закономерности, получившие впоследствии название законов внешнего фотоэффекта.

- 1. Фототок насыщения пропорционален световому потоку.*
- 2. Максимальная скорость фотоэлектронов определяется длиной волны (частотой) света и не зависит от его интенсивности.*
- 3. Для каждого материала существует минимальная частота (максимальная длина волны), при которой еще возможен внешний фотоэффект. Другими словами, существует «красная граница фотоэффекта».*

Законы фотоэффекта находились в резком противоречии с классическими представлениями о волновой природе света. Для объяснения

фотоэффекта Эйнштейн предположил, что поток энергии световой волны не является непрерывным, а представляет собой поток дискретных порций энергии, называемых квантами или фотонами.

По Эйнштейну каждый квант поглощается только одним электроном. Энергия падающего фотона расходуется на совершение электроном работы выхода A из металла и на сообщение вылетевшему фотоэлектрону кинетической энергии:

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

Эта формула впервые была получена Эйнштейном и носит его имя. Как обычно, электрон получает кинетическую энергию при столкновении только с одним фотоном. Многофотонные процессы возможны, но при слабых интенсивностях света маловероятны.

Фотоэффект изучают с помощью вакуумных фотоэлементов типа СВЦ или ФЭ, спектральная чувствительность которых находится в видимой части спектра. Схема включения фотоэлемента представлена на рис. 1. Фотоэлемент состоит из стеклянной вакуумированной колбы, на

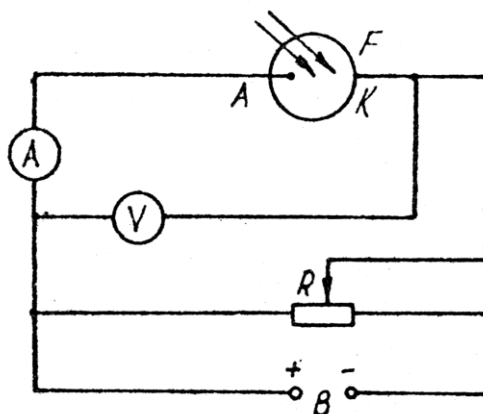


Рис. 1

внутреннюю поверхность которой нанесен тонкий слой металла (фотокатод К). Собирающий электрод (анод А) в виде металлического кольца впаян в баллон и помещён в его центре.

При облучении светом фотокатода возникает эмиссия фотоэлектронов, которые в отсутствие внешнего электрического поля собираются вблизи катода, образуя облако пространственного заряда фотоэлектронов. При этом часть фотоэлектронов, испускаемых катодом, возвращается обратно. Другая же часть, обладающая большими скоростями, проходит на анод. Создавая электрическое поле между катодом и анодом, имеющим положительный потенциал по отношению к катоду, можно влиять на электронное облако. Под действием электрического поля фотоэлектроны увлекаются к аноду и электрический ток возрастает. Величина этого тока зависит от количества испускаемых электронов и от приложенной разности потенциалов между катодом и анодом.

Типичные зависимости тока фотоэлемента от приложенного к его электродам напряжения – вольт-амперные характеристики (ВАХ) для различных световых потоков – показаны на рис. 2, из которого следует, что при увеличении напряжения все большее число электронов, вылетающих с катода в единицу времени, попадает на анод и фототок i_ϕ растет. При $U > U_{нас}$ все фотоэлектроны попадают на анод и рост тока

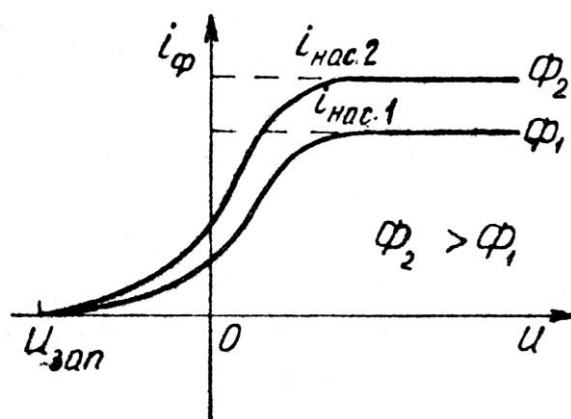


Рис. 2

прекращается. Наступает режим насыщения. Величина фототока насыщения зависит от падающего на фотоэлемент светового потока Φ . Изменять световой поток можно, например, путём изменения

расстояния r между точечным источником света и фотоэлементом.

Так как для точечного источника света освещенность

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

где I – интенсивность света, падающего на поверхность фотоэлемента площадью S , то

$$\Phi = \left(\frac{I}{r^2} \right) S . \quad (3)$$

Величина фототока насыщения $i_{нас}$ согласно первому закону фотоэффекта пропорциональна световому потоку:

$$i_{нас} = k\Phi . \quad (4)$$

Из последних двух соотношений следует, что ток насыщения обратно пропорционален квадрату расстояния r между точечным источником света и фотоэлементом:

$$i_{нас} = k \left(\frac{I}{r^2} \right) S . \quad (5)$$

Если учесть, что I , k и S – постоянные величины, то, введя обозначение $C = kIS$, окончательно можно записать для фототока насыщения следующее выражение:

$$i_{нас} = \frac{C}{r^2} . \quad (6)$$

Полагая масштаб по оси абсцисс равным $\frac{1}{r^2}$, можно последнюю функциональную зависимость изобразить прямой линией. Постоянная C представляет собой не что иное, как тангенс угла наклона этой прямой. Такое изображение экспериментальных данных позволяет проверить выполнимость закономерности (6), а следовательно, и первый закон фотоэффекта (4).

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для проверки первого закона фотоэффекта применяется экспериментальная установка, включающая в себя оптическую скамью, на которой располагаются источник света (лампа накаливания 12 В) и подвижный фотоэлемент СЦВ-4, а также электрическую схему, изображённую на рис. 1. Фотоэлемент находится в светонепроницаемом кожухе с отверстием напротив светочувствительного слоя. Для предохранения фотоэлемента от попадания на него рассеянного света в кожухе предусмотрена защитная труба.

Питание фотоэлемента осуществляется от источника питания Б5-49. Установка напряжения на аноде фотоэлемента от нулевого до максимального значения осуществляется ручкой потенциометра, расположенной на панели Б5-49. Измерение напряжения между катодом и анодом производится микровольтметром V , величина силы фототока определяется микроамперметром A , R – регулировочное сопротивление (см. рис. 1).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Произведите подготовку установки к измерениям.
 - 1.1. Убедитесь, что все тумблеры выключены.
 - 1.2. Ознакомившись с оптической и электрической схемами установки, включите штепсельные вилки шнуров питания в розетки 220 В.
 - 1.3. Фотоэлемент с закрытым входным отверстием расположите на расстоянии 25 см от источника света. Подайте на фотоэлемент напряжение около 100 В и произведите отсчёт по микроампервольтметру A при закрытом входном отверстии защитной трубы фотоэлемента. Затем откройте отверстие и вновь произведите отсчёт по микроампер-

вольтметру A . Разность этих отсчетов при открытой и закрытой защите фотоэлемента, создаваемая светом, рассеянным в рабочей комнате, не должна превышать 1-2 делений шкалы микроампервольтметра A . Установите размер отверстия ирисовой диафрагмы источника света, расположенного на оптической скамье, равным 0,5 см. Включите тумблер блока питания источника света. Откройте отверстие в защитном кожухе фотоэлемента.

Изменяя размер отверстия ирисовой диафрагмы источника света, добейтесь, чтобы световой зайчик микроампервольтметра A отклонился примерно на всю шкалу, но не выходил за ее пределы.

2. Приступите к выполнению заданий.

2.1. Задание 1. Целью этого задания является определение интервала напряжений, подаваемых на фотоэлемент, при котором наблюдается фототок насыщения. Для этого выполните следующие операции.

2.1.1. Поместите фотоэлемент на расстоянии $r_1=25$ см от источника света.

2.1.2. Увеличивая напряжение на фотоэлементе от 0 В до 15 В, снимите показания микроампервольтметров A и V через каждые 2 В.

При более высоких напряжениях измерения производите через каждые 5 В до $U_{нас}$, при котором ток перестает расти.

2.1.3. Произведите измерения в обратном порядке, уменьшая напряжение до 0 В.

2.1.4. Результаты измерений занесите в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	U , В	$i_{\phi 1}$, мкА	$i_{\phi 2}$, мкА	$i_{\phi ср}$, мкА
	$r_1=25$ см			
1				
2				
3				

Здесь i_{ϕ} – отсчет по шкале микроамперметра; r_1 – расстояние от фотоэлемента до источника света, см.

2.1.5. Произведите измерения по п. 2.1.2 для двух других расстояний между источником света и фотоэлементом.

2.1.6. Для этих расстояний составьте подобные таблицы.

2.1.7. Полученные три вольт-амперные характеристики для различных световых потоков изобразите в виде графиков зависимости силы фототока от величины приложенного к фотоэлементу напряжения и сравните их.

2.1.8. Анализируя полученные графики, определите напряжение $U_{нас}$, при котором наблюдается фототок насыщения $i_{нас}$, и запишите полученный результат. Используя это значение напряжения, приступите к выполнению следующего задания.

2.2. Задание 2. Проверка первого закона фотоэффекта.

2.2.1. Подайте на фотоэлемент напряжение $U_{нас}$, значение которого найдено при выполнении первого задания.

2.2.2. Расположите фотоэлемент на расстоянии 25 см от источника света. Запишите показания микроампервольтметра A .

2.2.3. Изменяйте световой поток, падающий на фотоэлемент, удаляя его от источника света, и через каждые 2 см записывайте показания микроампервольтметра A $i_{\phi 1}$.

2.2.4. Повторите те же отсчёты, возвращая фотоэлемент в исходное положение, через те же интервалы $i_{\phi 2}$.

2.2.5. Выключите тумблеры приборов, отключите их от сети, отсоедините шнуры от питающих розеток.

2.2.6. Результаты измерений занесите в табл. 2.

2.2.7. Определите постоянную C по формуле (6), используя значение $i_{нас}$ для $r=50$ см.

2.2.8. Для каждого установленного расстояния r по формуле (6) подсчитайте значение $i_{нас}$, используя постоянную C , найденную по п.2.2.7, и результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	r , см	$i_{\phi 1}$, мкА	$i_{\phi 2}$, мкА	$i_{\phi ср}$, мкА	$i_{нас}$, мкА

2.2.9. На одном рисунке представьте результаты эксперимента и расчета в виде зависимости $i_{ni} = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$, а также $i_{нас}$ от $\frac{1}{r^2}$.

2.2.10. По экспериментальной кривой определите постоянную C как тангенс угла наклона прямолинейного участка кривой $i_{нас}$ от $\frac{1}{r^2}$ и сравните с полученной по п. 2.2.7.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чём заключается сущность явления внешнего фотоэффекта?
2. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта и объясните их.
3. Изобразите и объясните причину различия вольт-амперных характеристик фотоэлемента для разных световых потоков.
4. При каких условиях возникает ток насыщения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 3. М.: Наука, 1976. С. 34-38.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. С. 633-652.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1990. С. 324-329.