

5228

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

О П Р Е Д Е Л Е Н И Е
«КРАСНОЙ ГРАНИЦЫ» ФОТОЭФФЕКТА
И РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ

Методические указания
к лабораторной работе

Рязань 2018

УДК 539

Определение «красной границы» фотоэффекта и работы выхода электронов: 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 определения «красной границы» фотоэффекта и работы выхода электронов из материала катода фотоумножителя, 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. 1. Ил. 4. Библиогр.: 4 назв.

Фототок, фотоэлектрон, фотокатод, квант, «красная граница»

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

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

Определение «красной границы» фотоэффекта
и работы выхода электронов

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 60х84 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.

Цели работы: 1) изучение законов фотоэффекта; 2) ознакомление со спектральной характеристикой фотокатода; 3) определение длины волны света, освещающего фотокатод, при которой прекращается эмиссия фотоэлектронов; 4) определение работы выхода электронов из материала катода.

Приборы и принадлежности: источник света – лампа накаливания, конденсорная линза, призмный монохроматор УМ-2, фотоэлектронный умножитель ФЭУ-18А, стабилизированный выпрямитель, микроамперметр.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Фотоэлектрический эффект – это явление взаимодействия фотонов света с электронами вещества. Если электроны, вырываемые из атомов в результате взаимодействия с квантами света, остаются в веществе, то происходит *внутренний* фотоэффект. При *внешнем* фотоэффекте электроны в результате взаимодействия с квантами излучения покидают вещество. При этом возникает эмиссия электронов с поверхности этого вещества.

Явление фотоэлектрического эффекта впервые было обнаружено Г. Герцем в 1887 г., а первые исследования принадлежат Хальваку, Риги и в особенности А. Г. Столетову.

Законы фотоэффекта гласят:

1) фототок насыщения ($I_{нас}$) пропорционален световому потоку;
2) максимальная скорость фотоэлектронов определяется длиной волны света и не зависит от его интенсивности;

3) для каждого вещества существует минимальная частота света ν_0 (максимальная длина волны λ_0), при которой еще возможен внешний фотоэффект.

Рассмотрим в общих чертах механизм взаимодействия электронов с фотонами падающего на вещество излучения. При столкновении с электроном фотокатода энергия фотона полностью передается электрону и фотон прекращает своё существование. Закон сохранения энергии для этого процесса отражен в уравнении А. Эйнштейна:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} \quad \text{или} \quad \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}}, \quad (1)$$

где $h\nu$ – энергия падающего фотона; $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, вылетевшего из катода в вакуум; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода (работа, которую должен совершить электрон для того, чтобы выйти из вещества в вакуум).

Соответствующая энергетическая схема приведена на рис. 1.

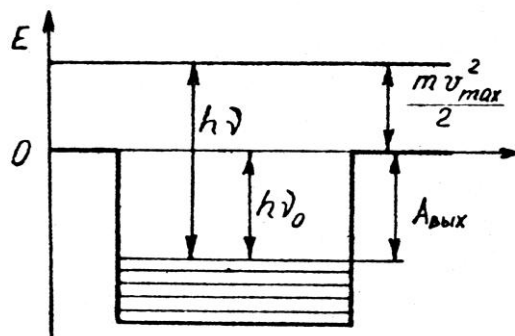


Рис. 1. Энергетическая схема процесса

Формулируется **уравнение Эйнштейна** следующим образом:
максимально возможная кинетическая энергия фотоэлектронов равна разности между энергией кванта и работой (энергией), затраченной фотоэлектроном на вылет в вакуум.

Из уравнения (1) можно определить «красную границу» фотоэффекта через работу выхода. Действительно, если уменьшать энергию квантов $h\nu$, то должна уменьшаться и максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, т. к. работа выхода $A_{\text{вых}}$ – постоянная величина. Условию $v_{\text{max}} = 0$ соответствует предельное значение энергии кванта $h\nu_0$, а

уравнение (1) переходит в следующее:

$$h\nu_0 = A_{\text{вых}}. \quad (2)$$

Тогда «красная граница» фотоэффекта определится как

$$\nu_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{h}.$$

Из последнего выражения следует, что при $\nu < \nu_0$ фототок отсутствует и фотоэффект наблюдаться не будет.

Используя связь частоты с длиной волны $\lambda = \frac{c}{\nu}$, можно из формулы (2) определить длину волны света, соответствующую порогу фотоэффекта:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}, \quad (3)$$

где $c=3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Для каждого вещества в зависимости от работы выхода электронов существуют своя определённая пороговая минимальная частота ν_0 и соответствующая ей длина волны света λ_0 .

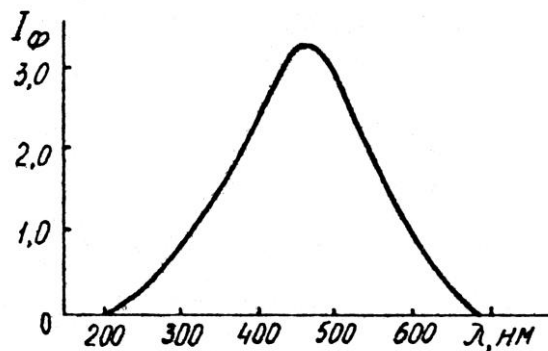


Рис. 2. Спектральная характеристика катода фотоумножителя

«Красная граница» фотоэффекта соответствует длинноволновой границе спектральной чувствительности материала катода. Однако экспериментально обычно определяется спектральная характеристика катода фотоэлемента или фотоумножителя, представляющая собой

зависимость фототока от длины волны λ или от частоты ν падающего на катод светового потока. Эта характеристика зависит от чувствительности фотокатода и от спектральной характеристики лампы накаливания. Последняя изменяет общий вид спектра, в связи с этим для определения «красной границы» фотоэффекта вполне может быть использована спектральная характеристика катода, аналогичная представленной на рис. 2.

В основе методики определения «красной границы» фотоэффекта и работы выхода электронов лежат получение и исследование спектральной характеристики катода фотоэлектронного умножителя.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка собрана на базе призмного монохроматора УМ-2. Монохроматор (рис. 3) представляет собой спектроскоп, у которого окуляр зрительной трубы заменен щелью 4, расположенной в фокальной плоскости объектива. Призма 5 осуществляет спектральное разложение света лампы накаливания. Поворачивая призму монохроматора путём вращения барабана 6, можно направить на выходную щель 4 отдельные спектральные интервалы излучения лампы накаливания и тем самым изменить частоту освещающего фотокатод света.

Длина волны, а следовательно, и частота света определяются по положению отсчётного барабана 6 монохроматора. Пересчёт делений барабана в длины волн производится по графику калибровки барабана, приложенному к работе.

Ширина выходной 4 и входной 3 щелей регулируется барабанчиками 1 и 2 соответственно. Вращение призмы 5 осуществляется за счёт поворота столика 7, на котором она укреплена. Значения входной 3 и выходной 4 щелей даны на экспериментальной установке.

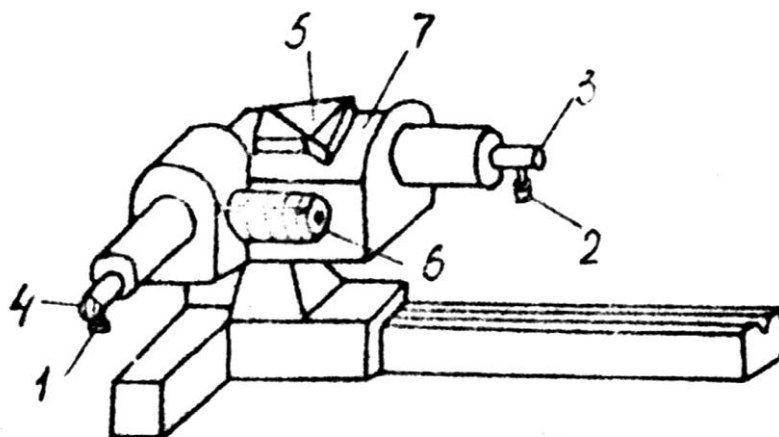


Рис. 3. Монохроматор УМ-2

Оптическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 4. Свет от источника 1 (лампа накаливания 12 В, питающаяся от понижающего трансформатора) с помощью однолинзового конденсора 2 фокусируется на входную щель 3 монохроматора УМ-2, выделяющего узкий спектральный интервал, и далее — через выходную щель 4

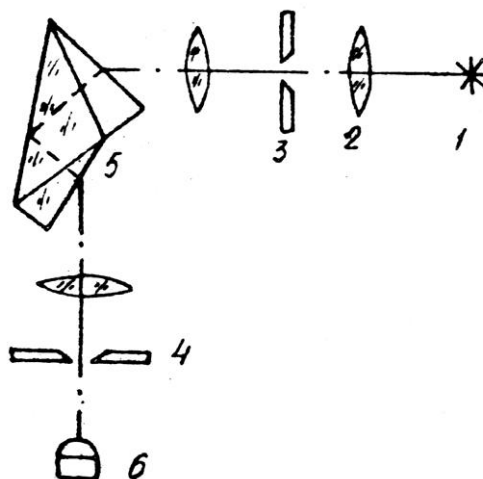


Рис. 4. Оптическая система установки

попадает на катод фотоумножителя 6. С помощью переменной входной щели 3 можно менять величину светового потока. Регулировка выходной щели 4 позволяет выделять узкий спектральный интервал пучка света, прошедшего через призму 5 монохроматора.

Приемником светового потока служит фотоэлектронный умножитель ФЭУ-18А. В отличие от фотоэлемента, содержащего катод и анод, фотоумножитель между катодом и анодом содержит диноды, которые имеют металлическую поверхность, чувствительную к электронной бомбардировке, и благодаря вторичной электронной эмиссии усиливают поток электронов в миллионы раз. Питание ФЭУ осуществляется от стабилизированного источника питания.

Выходное напряжение источника питания ФЭУ составляет от 800 до 2500 В при токе 4 мкА. Необходимо отметить, что «плюс» выходного напряжения соединен с корпусом источника. Нестабильность выходного напряжения источника питания после прогрева в течение 1 часа не более 0,5 %. Минимальное рабочее напряжение для данного фотоумножителя 750 В, максимальное – 1500 В. Катод фотоумножителя сурьмяно-цезиевый, обладающий малой работой выхода и, следовательно, «красной границей» фотоэффекта, находящейся в видимой области спектра.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На фотоумножитель подайте напряжение от высоковольтного стабилизатора напряжения, величина которого указана на установке. Для этого необходимо выполнить следующие действия.

1.1. Поставьте у стабилизатора напряжения выключатель выходного напряжения в положение **ВЫКЛЮЧЕНО**.

1.2. Поставьте ручку ступенчатой регулировки напряжения в положение 1000 В.

1.3. Включите штепсельную вилку шнура питания стабилизатора в розетку 220 В, 50 Гц.

1.4. Включите тумблер **СЕТЬ 220 В**. При этом загорится

сигнальная лампочка, указывающая полярность соединенного с корпусом полюса прибора, и через 20 - 30 с киловольтметр должен показать величину выходного напряжения.

1.5. Через 2 - 3 минуты после включения сети тумблером НАПРЯЖЕНИЕ ВЫХОДА включите стабилизатор на нагрузку. При этом должна загореться сигнальная лампочка выходного напряжения красного цвета.

2. Включите штепсельную вилку шнура питания источника света в розетку 220 В, 50 Гц.

3. Перед регулировкой щелей монохроматора необходимо ознакомиться с инструкцией, прилагаемой к работе.

Установите ширину выходной щели 4 монохроматора (рис. 3) с помощью регулировочного барабанчика 1 порядка 0,1 мм. Цена деления 0,01 мм, поэтому показания на барабанчике должны превышать деление с цифрой 10.

4. Ширину входной щели 3 подберите с помощью барабанчика 2 так, чтобы при максимальном сигнале, снимаемом с фотоумножителя, отклонение стрелки не выходило бы за пределы шкалы микроамперметра. Для этого сначала необходимо открыть входную щель и поворачивать барабан 6 микрометрического винта поворотного механизма призменного столика 7 до тех пор, пока фототок не достигнет максимального значения. После этого следует скорректировать входную щель, наблюдая за стрелкой микроамперметра, которая не должна выходить за пределы шкалы.

5. Длину волны света, освещающего фотокатод, изменяйте вращением барабана 6 призменного столика монохроматора. При этом отмечайте деления шкалы барабана и показания микроамперметра.

Для пересчёта делений барабана в длины волн необходимо использовать прилагаемый к работе график калибровки барабана.

Результаты измерений занесите в таблицу.

№ деления барабана	Длина волны λ , нм	Сила тока I , мкА

6. Постройте кривую спектральной характеристики катода фотоумножителя и проанализируйте её.

7. Экстраполируя длинноволновый край полученной кривой к нулевому значению I , найдите λ_0 .

8. Вычислите работу выхода электронов в электронвольтах, используя соотношение $A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda_0}$.

9. Оцените систематическую погрешность измерения длины волны λ_0 и работы выхода $A_{\text{вых}}$.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чем заключается явление фотоэффекта?
2. Сформулируйте основные законы фотоэффекта.
3. Как объясняются законы фотоэффекта квантовой теорией света?
4. Запишите и объясните формулу Эйнштейна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. М.: Наука, 1987. С. 34-38.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. С. 633-652.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985. С. 299-302.
4. Соколов А.П. Внешний фотоэлектрический эффект: методические указания /Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2011. С. 1-16.