Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественных и математических наук»

ФИЗИКА

Методические указания к
выполнению лабораторной работы
“ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА”
для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

очной и заочной формы обучения

Энгельс 2026

Изучение внешнего фотоэффекта

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить внешний фотоэффект;
2. Построить вольтамперную характеристику фотоэлемента;
3. Экспериментально определить значение задерживающего потенциала;
4. Определить красную границу фотоэффекта

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Устройство измерительное, объект исследования ФПК10.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Внешним фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом) называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

Сущность этого явления объясняется квантовой теорией излучения. Согласно Эйнштейну, свет не только излучается, но и распространяется в пространстве и поглощается веществом в виде отдельных порций энергии – квантов электромагнитного излучения – **фотонов**. Для монохроматического излучения с частотой ν все фотоны обладают одинаковой энергией:

$$\varepsilon = h\nu$$

где h – постоянная Планка.

С квантовой точки зрения при падении света на поверхность металла происходит столкновение фотона с электроном металла. Энергия фотона передается электрону и фотон прекращает существование. Эта энергия идет на то, чтобы вырвать электрон из металла и сообщить электрону кинетическую энергию. Энергетический баланс этого взаимодействия для фотоэлектронов (в соответствии с законом сохранения энергии) описывается **уравнением Эйнштейна** для внешнего фотоэффекта:

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

где

А – работа выхода электрона из металла – минимальное значение энергии, для выбивания электрона из металла;

$\frac{mv_{max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия электрона после выхода из металла;
m – масса электрона.

Уравнение (1) позволяет объяснить все основные законы внешнего фотоэффекта:

1. *Закон Столетова:* Число фотоэлектронов, вылетающих в единицу времени с поверхности при фиксированной частоте света, пропорционально интенсивности света (сила фототока насыщения пропорциональна освещенности катода).
2. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности.
3. Для каждого вещества существует **красная граница фотоэффекта**, т.е. минимальная частота света, при которой еще возможен внешний фотоэффект (ν_0 зависит от химической природы вещества и состояния поверхности).

Для изучения фотоэффекта обычно используют устройство, принципиальная схема которого представлена на **рис. 1**.

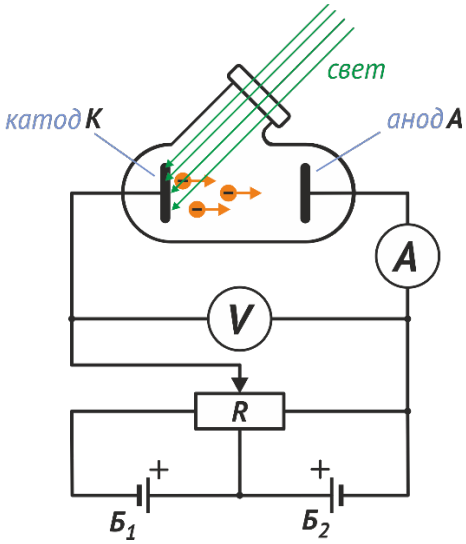

Рис. 1. Опыт Столетова

Вакуумная трубка содержит катод К из исследуемого металла и анод А. Напряжение между К и А регулируется потенциометром R и измеряется вольтметром V. Две батареи Б1 и Б2, включенные «навстречу друг другу», позволяют изменять с помощью R не только абсолютную величину, но и знак U (ускоряющее и задерживающее напряжения). Фототок измеряется микроамперметром и возникает при освещении катода монохроматическим светом через кварцевое окошко трубки.

На **рис.2** приведены кривые зависимости силы фототока I от напряжения U (вольтамперные характеристики фотоэффекта), соответствующие двум различным освещенностям катода E_1 и E_2. Частота света в обоих случаях одинакова.

Существование фототока в области отрицательных напряжений от 0 до $-U_0$ свидетельствует о том, что фотоэлектроны, выбитые из катода, обладают начальной кинетической энергией. За счет уменьшения этой энергии электроны могут совершать работу против сил задерживающего электрического поля и достигать анода.

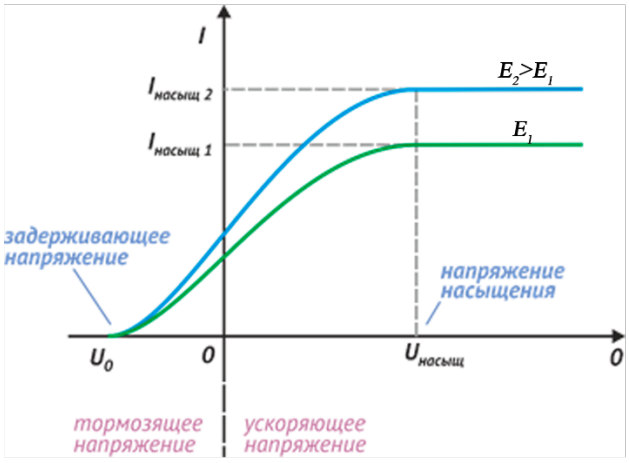

Рис. 2. Вольтамперная характеристика фотоэффекта

Для того чтобы *I стало равно 0*, необходимо приложить задерживающее напряжение U_0 (задерживающий потенциал). На графике задерживающее напряжение откладывается со знаком “минус”. При $U= U_0$ ни один электрон не может преодолеть задерживающее поле и достичь анода. Очевидно, что

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = eU_0 \quad (2),$$

где e и m – заряд и масса электрона.

И так, при задерживающем напряжении U_0 (или менее) фототок I=0 . Измерив экспериментально U_0, можно определить максимальные значения скорости и энергии фотоэлектронов.

При возрастании U фототок постепенно растет и достигает насыщения $I_{насыщ}$, т.е. все электроны, выбитые из катода, достигают анода.

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения лабораторной работы используется установка ФПК-10 (рис. 3). Установка позволяет исследовать вольтамперные характеристики в широком интервале освещенностей. Пределы измерения анодного напряжения в прямом режиме 0 - 5 В, в обратном – 0- 2,5 В. Пределы измерения фототока от 0 до 9,99 мкА.

Установка состоит из объекта исследования и измерительного устройства, выполненных в виде конструктивно законченных изделий, устанавливаемых на лабораторном столе и соединенных между собой кабелем.

Объект исследования конструктивно выполнен в виде сборного корпуса, в котором установлены осветитель (ртутная лампа) с источником питания, блок интерференционных светофильтров 1-4 и устройства регулировки освещенности. Положение «0» блока светофильтров соответствует положению света без светофильтров, а положение «5» – перекрывает лампу и используется для установки нуля. К корпусу с помощью кронштейна прикреплен усилитель фототока, на верхнюю крышку которого устанавливаются сменные фотоприемники с фотоэлементами Ф-8 и Ф-25. При установке фотоприемников их приемное окно совмещают с выходным окном осветителя и закрывают при помощи бленды.

На передней панели объекта исследования находится сетевой выключатель с индикатором включения сети. На задней панели объекта исследования расположены клемма заземления, держатели предохранителей и сетевой шнур с вилкой. На боковой стенке расположено выходное окно осветителя и устройства для смены интерференционных светофильтров регулировки освещенности. На боковых поверхностях усилителя фототока расположены соединительный шнур с разъемом для подключения объекта исследования к измерительному устройству и регуляторы баланса усилителя ГРУБО и ТОЧНО.

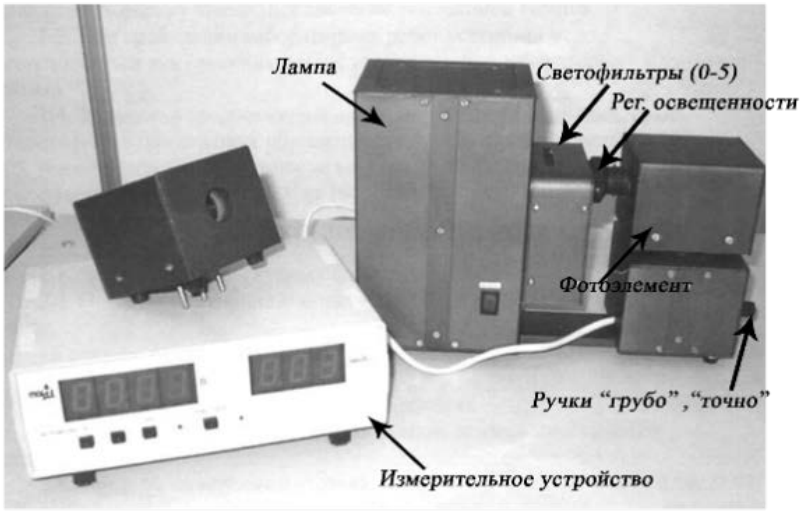

рис. 3 Установка ФПК-10

Устройство измерительное выполнено в виде конструктивно законченного изделия. В нем применена однокристальная микро-ЭВМ с соответствующими дополнительными устройствами, позволяющими производить измерения тока фотоэлемента, установленного в объекте исследования, устанавливать и измерять питающее напряжение на фотоэлементе, а также осуществлять функции управления установкой (установка режимов прямого или обратного измерения и т. п.).

На передней панели измерительного устройства размещены следующие органы управления и индикации: кнопка ПРЯМАЯ-ОБРАТНАЯ с соответствующими индикаторами – предназначена для включения прямого и обратного режимов измерения; кнопки «+», «-» и СБРОС – предназначены для регулировки напряжения на фотоэлементе и его сброса в ноль; индикаторы В и мкА – предназначены для индикации значений величин напряжения на фотоэлементе и фототока в процессе работы.

На задней панели измерительного устройства расположены выключатель СЕТЬ, клемма заземления, держатели предохранителей (закрыты предохранительной скобой), сетевой шнур с вилкой и разъем для подключения объекта исследования.

Измерительное устройство при помощи сетевого шнура подключается к сети 220 В, 50 Гц.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1.1. Включить приборы в сеть.

1.2. Установить в положение «5» блок светофильтров и регуляторами баланса усилителя «грубо» и «точно» отрегулировать показания вольтметра и микроамперметра до нуля.

1.3. Дать лампе осветителя прогреться в течение 5 минут.

1.4. Установить светофильтр 1 (λ= 407 нм).

1.5. Снять вольтамперную характеристику при максимальной освещенности (крайнее положение кольца устройства регулировки освещенности при его повороте по часовой стрелке) для прямого напряжения, данные занести в таб. 1.

Таблица 1

u, В	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I, мкА											

1.6. Нажать кнопку «сброс» и установить обратное напряжение.

1.7. Определить запирающее напряжение U_0 (когда ток станет равным нулю).

1.8. Снять вольтамперную характеристику при максимальной освещенности для обратного напряжения, данные занести в табл. 2.

Таблица 2

u, В	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
I, мкА									

1.9. Проделать пункты 1.5–1.8 для минимальной освещенности (крайнее положение кольца устройства регулировки освещенности при его повороте против часовой стрелки).

1.10. Построить графики зависимости **I=f(U)** для максимальной и минимальной освещенностей.

1.11. Установить светофильтр 4.

1.12. Проделать пункты 1.5–1.7 и 1.9–1.10 для светофильтра 4 (λ= 578 нм).

1.13. Сравнить для светофильтров 1 и 4 токи насыщения при U = 5 В.

1.14. Определить кинетическую энергию фотоэлектрона для 1 светофильтра по формуле $\mathbf{T=eU_0}$, где e – заряд электрона, U_0 – запирающее напряжение.

1.15. Определить максимальную скорость фотоэлектрона для 1 светофильтра по формуле $\boldsymbol{v_{max}} = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$, где m – масса электрона.

1.16. Определить работу выхода фотоэлектрона из металла для 1 светофильтра по формуле $\boldsymbol{A = \frac{hc}{\lambda} - eU_0}$, где h – постоянная Планка, C-скорость света в вакууме, λ – длина волны.

1.17. Определить красную границу фотоэффекта по формуле $\boldsymbol{\nu_0 = \frac{A}{h}}$.

Примечания:

1. Длины волн пропускания интерференционных светофильтров: 407 нм (1), 435 нм (2), 546 нм (3), 578 нм (4). В скобках указаны номера светофильтров, указанные на установке.

2. Знак «минус» при обратном режиме измерения не индицируется.

3. Режим работы установки прерывистый – через каждые 45 минут работы делается перерыв на 15-20 минут.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой фотоэффект называется внешним? Основные законы внешнего фотоэффекта.

2. Объяснить законы фотоэффекта с точки зрения квантовой теории.

3. Можно ли объяснить фотоэффект с точки зрения классической электродинамики?

4. Назвать типы фотоэлементов.

5. Дать определения светового потока, освещенности, силы света. Сформулировать законы освещенности.

6. Что такое вторичная электронная эмиссия? Конструкция фотоэлектронных умножителей.

ЛИТЕРАТУРА

И.А. Коростелева Т.К. Толкунова “ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА” Хабаровск Издательство ДВГУПС 2009.