

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Московский энергетический институт  
(технический университет)  
Волжский филиал

Кафедра Механики и материаловедения

**А.Н. Бебяков, В.П. Мельников**

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы № 7 по курсу “Физика”

ВОЛЖСКИЙ 2002

Рецензент:

*Петухов И.М.*, канд. техн. наук, доцент кафедры ТЭС

**Бебяков А.Н., Мельников В.П.**

**Изучение явления внешнего фотоэффекта.** Методические указания к выполнению лабораторной работы № 7. – Волжский: ВФ МЭИ, 2002. – 12 стр.

Описание лабораторной работы составлено впервые на основе установки, разработанной ВФ МЭИ.

При выполнении лабораторной работы студенты изучают основные законы внешнего фотоэффекта, определяют параметры фотодиода с использованием графических построений.

Работа предназначена для студентов 2 курса дневной и вечерней форм обучения всех специальностей.

УДК 535.217  
Л 125

© 2002, Бебяков А.Н.  
Мельников В.П.  
© ВФ МЭИ, 2002

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение зависимости фототока от напряжения и светового потока. Определение фототока насыщения. Определение задерживающего напряжения и его зависимость от частоты света. Определение работы выхода электрона.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Явление вырывания электронов из твердых и жидких веществ под действием света называется явлением внешнего фотоэффекта. Приборы, действие которых основано на использовании фотоэффекта, называются фотоэлементами.

В лабораторной работе для исследования явления фотоэффекта используется электрическая схема (рис. 1) с применением фотоэлемента  $\Phi$ , источника питания  $U$  и измерительных приборов: гальванометра  $G$  и вольтметра  $V$ . При освещении фотоэлемента энергия фотонов света передается частицам вещества катода, в результате чего из катода вырываются электроны и создают в цепи электрический ток, который называется фототоком.

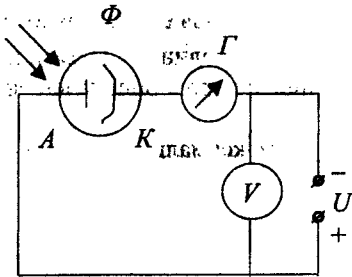


Рис. 1

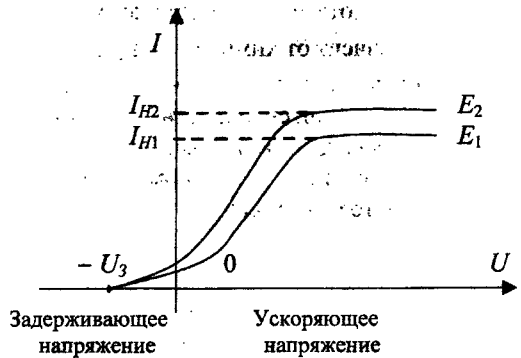


Рис.2

Явление фотоэффекта зависит от химической природы металла, а также от состояния его поверхности. Наличие загрязнения поверхности металла существенно влияет на эмиссию электронов под действием света. Поэтому катод  $K$  и анод  $A$  помещены в вакуумный стеклянный баллон.

На рис. 2 показаны кривые зависимости силы фототока  $I$  от напряжения  $U$ , соответствующие двум различным освещенностям катода:  $E_1$  и  $E_2 > E_1$ . Частота света в обоих случаях одинакова. При увеличении напряжения  $U$  между анодом и катодом фототок  $I$  также увеличивается, так как все большее число электронов, вырвавшихся из катода, достигают анода. Максимальное значение тока  $I_H$ , называемое фототоком насыщения, соответствует таким значениям напряжения  $U$ , при которых все электроны, выбиваемые из катода, достигают анода.

Фототок прекращается, когда между анодом и катодом устанавливается отрицательное задерживающее напряжение  $-U_3$ . Существование фототока в области отрицательных напряжений от 0 до  $-U_3$  объясняется тем, что электроны, выбитые светом из катода, обладают отличной от нуля начальной кинетической энергией. За счет этой энергии электроны могут совершать работу против сил задерживающего электрического поля и достигать анода. Максимальная начальная скорость  $v_{\max}$  фотоэлектронов связана с  $U_3$  соотношением

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3, \quad (1)$$

где  $e$  и  $m$  – заряд и масса электрона. При  $U \leq U_3$  фототок  $I = 0$ .

Опытным путем установлены следующие основные законы внешнего фотоэффекта:

1. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности.

2. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. минимальная частота  $\nu_0$  света, при которой еще возможен внешний фотоэффект. Величина  $\nu_0$  зависит от химической природы вещества и состояния его поверхности.

3. Число фотоэлектронов  $n$ , вырываемых из катода за единицу времени, пропорционально интенсивности света (фототок насыщения пропорционален энергетической освещенности  $E$  катода).

В соответствии с законом сохранения энергии максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона:

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

где  $h\nu$  – энергия, приобретенная электроном в результате поглощения фотона;

$A$  – работа, которую должен совершить электрон для выхода из металла;

$\nu$  – частота монохроматического излучения;

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка.

Это уравнение называется уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Уравнение позволяет легко объяснить все основные законы внешнего фотоэффекта для металлов. В самом деле, из (2) следует, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона зависит не от интенсивности, а от частоты света и работы выхода  $A$ . Внутренний фотоэффект возможен только в том случае, если энергия фотона  $h\nu$  больше или, в крайнем случае, равна  $A$ . Следовательно, соответствующая красной границе фотоэффекта частота  $\nu_0 = \frac{A}{h}$ . Она зависит только от работы выхода электрона, т.е. от химической природы металла и состояния его поверхности.

Общее число электронов  $n$ , вылетающих за единицу времени, пропорционально числу фотонов  $n'$ , падающих за то же время на поверхность катода.

Для плоского катода, равномерно освещаемого монохроматическим светом с частотой  $\nu$ ,  $n' = \frac{E}{h\nu}$ , где  $E$  – освещенность, пропорциональная интенсивности света. Таким образом, в соответствии с третьим законом фотоэффекта число фотоэлектронов, вылетающих из катода за единицу времени, пропорционально интенсивности света.

Исходя из формул (1), (2) можно определить работу выхода электрона:

$$A = h\nu - eU_3 \quad (3)$$

Фотоэффект широко используется в науке и технике для регистрации и измерения световых потоков, для непосредственного преобразования энергии света в энергию электрического тока, для преобразования световых сигналов в электрические.

### 3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка (рис. 3) включает в себя вакуумный фотоэлемент 1 в пластмассовом корпусе, осветитель 2, источник питания фотоэлемента 3, оптическую скамью 4, блок питания осветителя 12 (БП-I).

Вакуумный фотоэлемент 1 представляет собой стеклянный баллон, из которого выкачан воздух. Часть внутренней поверхности баллона покрыта слоем металла, играющего роль фотокатода. В качестве анода используется металлическое кольцо или редкая сетка. При освещении катода из него, вследствие внешнего фотоэффекта, выбиваются электроны. В результате, под действием внешнего напряжения, в цепи возникает электрический ток.

Пластмассовый корпус фотоэлемента имеет отверстие для вставки светофильтров. Вращением корпуса можно закрывать фотоэлемент от источника света.

Для выполнения лабораторной работы используются осветители двух типов. При выполнении первой части работы (определение токов насыщения) в качестве осветителя 2 применяется лампа накаливания (8 вольт) с конденсором. Осветитель подключается к сети 220 В через блок питания 12 (БП-I). На блоке имеется ручка 13 для плавной регулировки яркости и выключатель 14. Вторая часть работы (определение задерживающего напряжения) выполняется с ультрафиолетовым осветителем “Фотон”, который устанавливается вместо первого осветителя и работает непосредственно от сети 220 В.

Источник питания 3 состоит из корпуса, на лицевой панели которого имеются гнезда 10 для подключения анода и катода фотоэлемента, вольтметр 5 для измерения подающего напряжения, микроамперметр 6 для измерения фототока. В зависимости от вида определяемых параметров, с помощью переключателя 11 величина подаваемого напряжения может изменяться:

- от 0 до 200 В – при определении тока насыщения;
- от 0 до 2 В – при определении задерживающего напряжения.

ма 0,5 – 1 мА при напряжении 5 В и 5 мА при напряжении 10 В.

Плавная регулировка напряжения производится ручкой 9. Включение источника питания производится тумблером 8, при этом загорается индикатор 7.

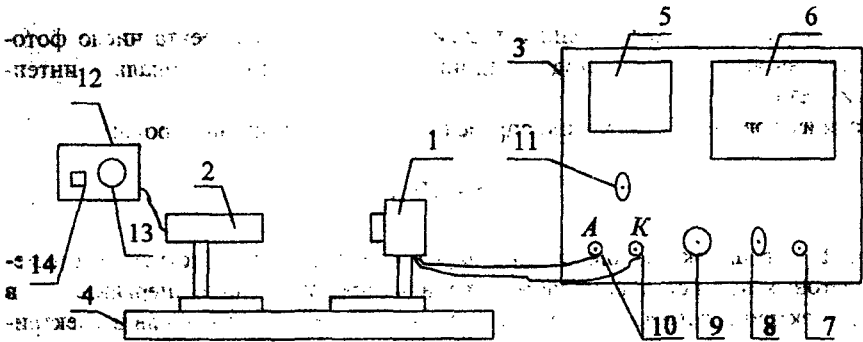


Рис. 3

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

##### 4.1 Определение зависимости фототока от напряжения и светового потока.

##### Определение фототока насыщения.

- 4.1.1 Установить на оптической скамье осветитель 2 и фотоэлемент 1 на уровне осветителя. Расстояние между ними — 20 см.
- 4.1.2 Подсоединить осветитель 2 к бляку питания 12 (БП-1). Подсоединить анод и катод фотоэлемента к источнику питания 3 (гнезда А и К).
- 4.1.3 Подключить БП-1 и источник питания 3 к сети 220 В. Включить БП-1 и источник питания 3, используя выключатели 8, 14. Поворотом ручки 13 на БП-1 установить максимальную яркость света.
- 4.1.4 Переключатель 11 на источнике питания установить в положение 200 В.
- 4.1.5 Вращением ручки 9 установить по вольтметру 5 напряжение  $U$  между анодом и катодом, начиная с нуля и далее через каждые 10 В, измеряя при этом величину фототока  $I_1$  по микроамперметру 6. Результаты замеров занести в таблицу 1. Напряжение увеличивать до тех пор, пока фототок не достигнет максимального значения (фототок насыщения).
- 4.1.6 Установить фотоэлемент на расстоянии 23 см от осветителя.
- 4.1.7 Произвести замеры фототока  $I_2$ , аналогично  $I_1$  — п. 4.1.5.
- 4.1.8 Установить фотоэлемент на расстоянии 25 см от осветителя.
- 4.1.9 Произвести замеры фототока  $I_3$ , аналогично  $I_1$  — п. 4.1.5.
- 4.1.10 Установить ручку 9 в исходное положение. Выключить осветитель.

##### 4.2 Определение величины задерживающего напряжения $U_3$ . Его зависимость от частоты света (рис. 3, 4).

- 4.2.1 Заменить на оптической скамье обычный осветитель на ультрафиолетовый "Фотон". Установить расстояние между осветителем 2 и фотоэлементом 1 — 20 см.

При работе с ультрафиолетовым осветителем необходимо избегать прямого попадания лучей в глаза. Во избежание перегрева прибора, он может оставаться включенным не более 5 минут. Затем его необходимо выключить не менее, чем на 10 минут для охлаждения.

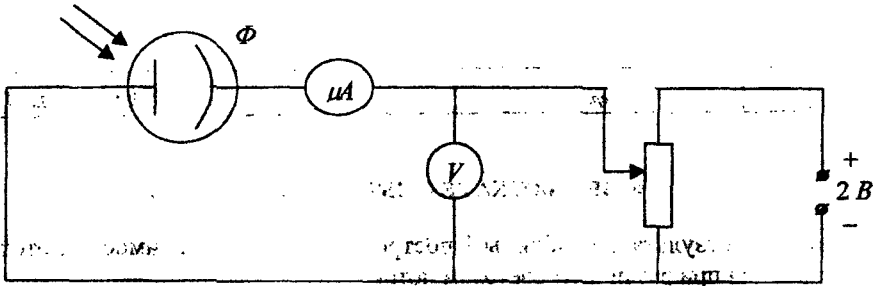


Рис. 4.

4.2.2 Установить переключатель 11 в положение  $-2\text{ В}$ .

4.2.3 Вращая ручку 9 установить по вольтметру 5 напряжение между анодом и катодом  $U = -2\text{ В}$ .

4.2.4 Подключить осветитель "Фотон" к сети 220 В.

4.2.5 Медленно вращая ручку 9 по часовой стрелке наблюдать за показанием микроамперметра 6. В тот момент, когда стрелка микроамперметра начнет отклоняться от исходного положения, вольтметр 5 покажет величину задерживающего напряжения  $U_3$ . Замеры выполнить 3 раза (п. 4.2.3; 4.2.5) и найти среднее значение  $U_3$ . Результаты занести в таблицу 2.

4.2.6 Меняя расстояние между осветителем и фотоэлементом убедиться, что величина  $U_3$  не меняется, т.е. не зависит от светового потока.

4.2.7 Выключить все приборы.

## 5. ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА И ТАБЛИЦА ЗАМЕРОВ

5.1 Данные для расчета.

$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$  — постоянная Планка;

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$  — заряд электрона;

$\nu_c = 12 \times 10^{14} \text{ Гц}$  — частота ультрафиолетового света.

5.2 Таблица замеров.

Таблица 1

$U, \text{ В}$	$I_1, \text{ мкА}$	$I_2, \text{ мкА}$	$I_3, \text{ мкА}$
0			
10			
20			

№	$U_3, В$	$U_3 - U_{3,сп.}$	$(U_3 - U_{3,сп.})^2$
1			
2			
3			
	$U_{3,сп.} =$		$\sum (U_3 - U_{3,сп.})^2 =$

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1 По результатам таблицы 1 построить графики зависимости фототока от напряжения при различном световом потоке:

$$I_1 = f(U); \quad I_2 = f(U); \quad I_3 = f(U).$$

6.2 По графикам определить токи насыщения  $I_{н1}, I_{н2}, I_{н3}$ .

6.3 Заполнить таблицу 2.

6.4 Определить работу выхода электрона:

$$A_{0,сп} = h\nu_c - e|U_{3,сп.}|$$

6.5 Зная работу выхода, определить материал, из которого изготовлен катод – по табл. 3. Предварительно работу выхода перевести в эВ ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$ ).

Таблица 3

Вещество	Работа выхода, эВ	Вещество	Работа выхода, эВ	Вещество	Работа выхода, эВ
Алюминий	4,25	Магний	3,64	Торий	3,30
Барий	2,49	Медь	4,40	Углерод	4,7
Бериллий	3,92	Молибден	4,3	Уран	3,3
Бор	4,5	Натрий	2,35	Цезий	1,81
Ванадий	4,58	Никель	4,50	Цинк	4,24
Висмут	4,4	Нюбий	3,99	Цирконий	3,9
Вольфрам	4,54	Олово	4,38	Сульфид свинца	3,55
Германий	4,76	Осмий	4,7	Бромид серебра	3,9
Железо	4,31	Платина	5,32	Карбид тантала	3,0 – 4,4
Золото	4,30	Ртуть	4,52	“ циркония	2,1 – 4,0
Индий	3,8	Рубидий	2,16	Оксид тория (IV)	3,2
Иридий	4,7	Свинец	4,0	Вода	6,1
Кадмий	3,8	Селен	4,72	Хлорид серебра	4,6
Калий	2,22	Серебро	4,3	Оксид бария (II)	1,0 – 1,6
Кальций	2,80	Сурьма	4,8	“ меди (II)	4,35 – 5,34
Кобальт	4,41	Таллий	3,7	“ кальция (II)	1,8 – 2,4
Кремний	4,8	Тантал	4,12	Хлорид натрия	4,2
Литий	2,38				



6.6 Рассчитать погрешность, используя таблицу 2:

– рассчитать случайную погрешность:

$$\Delta U_{3,сл.} = t_{p,n} \sqrt{\frac{\sum (U_3 - U_{3,сп.})^2}{n(n-1)}}$$

где  $t_{p,n} = 4,303$  – коэффициент Стьюдента,

$n = 3$  – число замеров;

– определить погрешность измерительного прибора (вольтметра):

$$\Delta U_{3,изм.} = \frac{\gamma}{100} \cdot U_n$$

где  $\gamma$  – класс точности прибора (указывается на шкале),

$U_n$  – предел измерения прибора (определяется на шкале);

– определить результирующую погрешность:

$$\Delta U_3 = \sqrt{\Delta U_{3,сл.}^2 + \Delta U_{3,изм.}^2};$$

– определить погрешность вычисления работы выхода:

$$\Delta A = A \frac{\Delta U_3}{U_{3,сп.}}$$

6.7 Записать окончательный результат с учетом погрешности.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется внешним, внутренним, вентильным фотоэффектом?
2. Что называется фототоком насыщения? От чего зависит его величина?
3. Что называется задерживающим напряжением? От чего зависит его величина?
4. Что называется красной границей фотоэффекта? Как ее определить?
5. Написать уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
6. Назвать основные законы внешнего фотоэффекта.
7. Что называется работой выхода электрона? Как ее определить? От чего она зависит?
8. От чего зависит скорость электронов, вырываемых из катода?
9. От чего зависит количество электронов, вырываемых из катода?

## ЛИТЕРАТУРА

Детлаф А.А. Курс физики. Т.3. – М.: “Высшая школа”, 1973. – с.216-225.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Теоретические основы работы.....	3
3. Описание установки.....	5
4. Порядок выполнения работы.....	6
5. Данные для расчета и таблица замеров.....	7
6. Обработка результатов измерений.....	8
Контрольные вопросы.....	9
Литература.....	10

**А.Н. Бебяков, В.П. Мельников**

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы № 7 по курсу “Физика”

Редактор *Халдеева Г.П.*  
Компьютерная верстка *Юриной В.В.*

Изд. лиц. № 03542 от 19.12.2000.

Подписано в печать 15.03.2002. Формат 60×90<sub>1/16</sub>.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,8. Тираж 50 экз. Заказ № 83.

Издатель ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.  
Отпечатано ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.