

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Набережночелнинский институт (филиал)  
Отделение информационных технологий и энергетических  
систем  
Кафедра физики

*Н.Б.Юнусов И.К.Хафизов*  
*«Оптика»*

## **ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОЭФФЕКТА**

*Методические указания к лабораторной работе по физике*

г. Набережные Челны  
2019 г.

УДК 530 (077)

*Оптика: Изучение явления фотоэффекта:* Методические указания к лабораторной работе по физике. Составители **Юнусов Н.Б. Хафизов И.К.** г. Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2019 г., стр. 8 .

Методические указания предназначены в помощь студентам дневного и заочного отделений НЧИ КФУ. Рассматривается явление внешнего фотоэффекта, изучается работа фотоэлемента. По результатам измерений определяются вольтамперная и спектральная характеристики фотоэлемента.

Ил. - 3 ; Табл.- 2 ; Список лит. - 3 назв.

Рецензент: д.т.н., профессор кафедры ММиТЭ А.К.Розенцвайг.

Печатается по решению Учебно-методической комиссии отделения информационных технологий и энергетических систем Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

- Цель работы:** 1. Изучение законов внешнего фотоэффекта.  
2. Ознакомление с явлением внешнего фотоэффекта.  
3. Получение вольтамперной характеристики фотоэлемента.  
4. Получение спектральной характеристики ФЭ.

**Приборы и принадлежности:** фотоэлемент, вольтметр, микроамперметр, источник света с набором светофильтров, источник питания.

## I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Внешним фотоэлектрическим эффектом или просто фотоэффектом называют испускание электронов веществом под действием света.

Опытным путём были установлены три закона внешнего фотоэффекта:

1. Максимальная начальная скорость  $v_m$  фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, а определяется только его частотой.
2. Для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т.е. такая наименьшая частота  $\nu_0$  при которой ещё возможен фотоэффект («красной» эта граница называется потому, что при частотах  $\nu$ , меньших, чем  $\nu_0$ , фотоэффект не наблюдается).
3. Фототок насыщения прямо пропорционален интенсивности падающего на катод света.

Законы внешнего фотоэффекта были объяснены А.Эйнштейном в 1905 году в его квантовой теории света. Опираясь на квантовую идею М.Планка, А. Эйнштейн пришёл к выводу, что излучение не только испускается и поглощается, но и распространяется в пространстве в виде отдельных порций энергии - квантов электромагнитного поля (фотонов).

В монохроматическом свете с частотой  $\nu$  все фотоны имеют одинаковую энергию, равную  $h\nu$ , где  $h$  - постоянная Планка, равная  $6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Известно, что для выхода из металла электрон должен преодолеть потенциальный барьер на границе металл-вакуум, т.е. совершить работу выхода  $A_0$ . Пусть при падении фотона на электрон его энергия  $h\nu$  целиком передаётся электрону. Если  $h\nu \geq A_0$ , то электрон сможет завершить работу выхода и выйти из металла.

Согласно закону сохранения энергии, энергия поглощённого фотона расходуется на совершение электроном работы выхода  $A_0$  и приобретение им максимальной кинетической энергии

$$\frac{m v_M^2}{2} : \quad h \nu = A_0 + \frac{m v_M^2}{2}. \quad (1)$$

Уравнение (1) называется уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Из него следует, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона (а следовательно, и  $v_M$ ) зависит от частоты света и работы выхода  $A_0$ , но не зависит от интенсивности света. Это и есть 1-й закон фотоэффекта.

Из этого же уравнения следует, что внешний фотоэффект возможен лишь при условии  $h \nu \geq A_0$ . Энергии фотона должно хватить, по меньшей мере, на то, чтобы вырвать электрон из металла, не сообщая ему кинетической энергии ( $v_M=0$ ). С учётом вышеуказанного получаем из (1) для «красной границы»

фотоэффекта: 
$$\nu_0 = \frac{A_0}{h}. \quad (2)$$

Таким образом объясняется второй закон фотоэффекта. «Красная граница» фотоэффекта зависит только от работы выхода, т.е. от химической природы металла и состояния его поверхности. «Красной границей» называют также максимальную длину световой волны  $\lambda_0$  при которой еще возможен фотоэффект:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{hc}{A_0}. \quad (3)$$

Квантовый характер взаимодействия света с веществом проявляется и в безынерционности фотоэффекта: при освещении поверхности светом с частотой  $\nu \geq \nu_0$  фототок возникает практически мгновенно.

Общее число фотоэлектронов  $n$ , покидающих поверхность металла за единицу времени, должно быть пропорционально числу фотонов  $n'$ , падающих за то же время на поверхность, то есть интенсивности света. Если все  $n$  электронов, вылетающих из катода в единицу времени, попадают на анод, то приходим к третьему закону фотоэффекта: ток насыщения  $I_H = n \cdot e$  пропорционален числу фотонов  $n'$ , ежесекундно падающих на катод, т.е. интенсивности света.

Всё сказанное выше относится к случаю, когда электрон металла поглощает только один фотон. При очень больших ин-

тенсивностях света, например, при облучении металла лазерным излучением, электрон может получить энергию при одновременном попадании в него нескольких одинаковых фотонов. В этом случае законы фотоэффекта нарушаются.

Внешний фотоэффект исследуется в схемах с вакуумным или газонаполненным фотоэлементом. Зависимость фототока  $I$  фотоэлемента от приложенного к электродам напряжения  $U$  при постоянном световом потоке  $\Phi$  называется вольтамперной характеристикой (рис. 1).

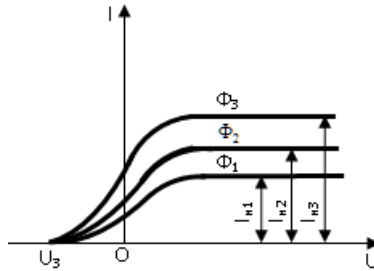


Рис. 1

Особый интерес представляет напряжение  $U_3$ , называемое задерживающим, при котором фототок  $I$  прекращается. По величине  $U_3$  может быть определена максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов  $E_m$ :

$$E_m = \frac{m v_m^2}{2} = e U_3, \quad (4)$$

где  $e$  - заряд электрона;  $m$  - масса электрона.

При увеличении светового потока  $\Phi$ , падающего на катод ( $\Phi_1 < \Phi_2 < \Phi_3$ ), возрастает и ток насыщения:  $I_{n1} < I_{n2} < I_{n3}$  (рис.1).

Зависимость фототока  $I$  от длины волны монохроматического излучения  $\lambda$  называется спектральной характеристикой (рис.2).

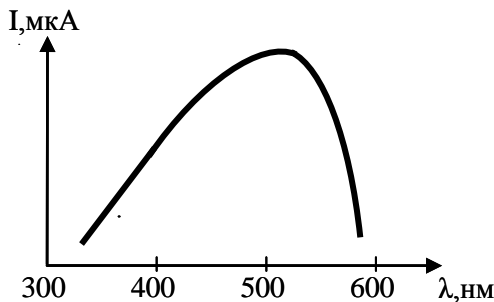


Рис. 2

Характерной особенностью спектральной кривой является наличие «красной границы» – резкого обрыва кривой в области больших длин волн ( $\lambda > 500$  нм). Падение величины фототока в области малых длин волн вызвано поглощением света в стеклянном окошке баллона ФЭ.

## 2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Конструктивно установка состоит из трёх частей:

1. Источника постоянного тока.
2. Источника света с набором светофильтров и фотоэлемента.
3. Измерительного блока, на передней панели которого расположены измерительные приборы, переключатель и потенциометр. На боковой панели блока имеются два гнезда для подключения.

Схема экспериментальной установки для изучения ФЭ приведена на рис.3. В лабораторной установке используется вакуумный фотоэлемент. Он представляет собой стеклянный баллон, половина поверхности которого покрыта слоем металла (фотокатод  $K$ ).

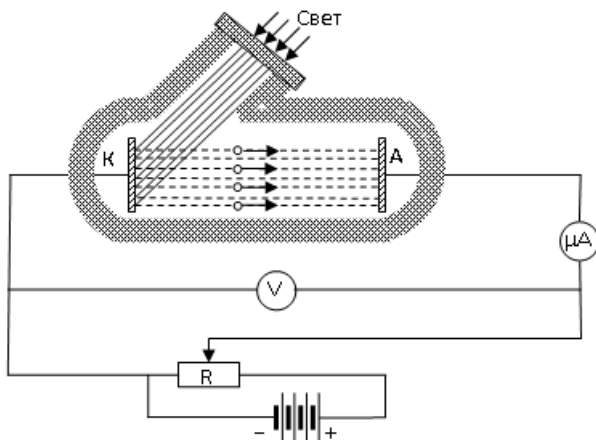


Рис. 3

Выбиваемые светом из катода  $K$  электроны устремляются к аноду  $A$ , на который подан положительный потенциал. Фотоэлемент помещён во фторопластовый корпус, прикреплённый к корпусу диафрагмы окуляра осветителя.

С помощью штекеров фотоэлемент подсоединяется к измерительному блоку. Напряжение между электродами, измеря-

емое вольтметром  $V$ , можно изменять потенциометром  $R$ . Микроамперметр  $\mu A$  служит для регистрации фототока.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подготовка установки к работе:

1. Установите рычажок диафрагмы окуляра осветителя в крайнее правое положение, что соответствует минимальному световому потоку  $\Phi_{\text{мин}}$ .
2. Потенциометр  $R$  на передней панели измерительного блока установите в крайнее правое положение, что соответствует минимальному напряжению  $U$  на  $\Phi\mathcal{E}$ .
3. Переключатель измерительного блока установите в положение 1.
4. Включите в сеть осветитель.
5. Включите источник питания.

**Задание 1. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента и изучение зависимости силы тока насыщения  $I_n$  от величины падающего на катод  $K$  светового потока  $\Phi$ .**

1. Установите максимальное значение светового потока  $\Phi_{\text{мак}}$  поворотом влево рычажка диафрагмы.
2. С помощью потенциометра  $R$  изменяйте напряжение  $U$  и заносите значения  $U$  и силы тока  $I$  в таблицу 1.
3. С помощью рычажка диафрагмы изменяйте световой поток  $\Phi$  и повторите пункт 2 ещё для двух значений светового потока  $\Phi_{\text{сред}}$  и  $\Phi_{\text{мин}}$ .

Таблица 1.

Интенсивность света $\Phi_{\text{мак}}$	$U, \text{В}$												
	$I, \mu\text{А}$												
Интенсивность света $\Phi_{\text{сред}}$	$U, \text{В}$												
	$I, \mu\text{А}$												
Интенсивность света $\Phi_{\text{мин}}$	$U, \text{В}$												
	$I, \mu\text{А}$												

**Задание 2. Снятие спектральной характеристики фотоэлемента.**

1. Выставьте с помощью потенциометра  $R$  значение  $U \approx 100\text{В}$ .
2. С помощью диафрагмы выставьте максимальное значение светового потока  $\Phi_{\text{мак}}$ .
3. По очереди вставляйте в карман фонаря осветителя светофильтры и заносите в таблицу 2 значения фототока  $I$ .

Таблица 2

Светофильтр ( $\lambda$ , нм)	УФС 365	Жёлтый 550	Оранжевый 600	Красный 650
$I$ , $\mu\text{A}$				

#### 4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По данным таблицы 1 постройте вольтамперные характеристики фотоэлемента для различных уровней светового потока, падающего на катод:  $\Phi_{\text{макс}}$ ,  $\Phi_{\text{сред}}$ ,  $\Phi_{\text{мин}}$ .
2. Из значений силы тока насыщения  $I_n$  определите число электронов  $n$ , ежесекундно падающих на анод.
3. По данным таблицы 2 постройте спектральную характеристику фотоэлемента.
4. Письменно прокомментируйте полученные результаты.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение внешнего фотоэффекта.
2. Нарисуйте вольтамперную характеристику фотоэлемента и объясните её.
3. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта.
4. В чём суть гипотезы А.Эйнштейна для объяснения фотоэффекта?
5. Запишите формулу А.Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Объясните с её помощью законы фотоэффекта.
6. Дайте определения «красной границы» фотоэффекта, работы выхода электрона и задерживающей разности потенциалов.
7. Нарисуйте схему для снятия вольтамперной характеристики фотоэффекта.

#### 6. ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики [Электронный ресурс]: учебник в 3 томах / И. В. Савельев. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. - 318 с. - ISBN 978-5-8114-0632-6. - Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=2040](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=2040).
2. Трофимова Т.И. Курс физики [Текст] : учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов /Т.И. Трофимова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Екатеринбург : АТП, 2016. - 560 с. : ил. - (Высшее проф. образование). - Рек. МО. - В пер. - ISBN 5-7695-1870-5.
3. Лабораторный практикум по физике. / Под редакцией А.С.Ахматова.- М.: Высшая школа, 1980.