



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

## **Практикум**

Лабораторная работа № 019 (а,б)  
«Изучение внешнего фотоэффекта»  
по дисциплине

**«Физика»**

Авторы

Вернигоров Ю. М.,

Жданова Т. П.,

Лемешко Г. Ф.,

Пруцакова Н. В.,

Холодова О. М.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Методические указания содержат краткую теорию по явлению внешнего фотоэффекта и порядок выполнения лабораторной работы.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы студентами всех форм обучения в лабораторном практикуме по физике (раздел «Оптика»).

## Авторы

д.т.н., профессор	кафедры	«Физика»
Вернигоров Ю.М.,		
к.ф.-м.н., доцент	кафедры	«Физика»
Жданова Т.П.,		
к.ф.-м.н., профессор	кафедры	«Физика»
Лемешко Г.Ф.,		
к.ф.-м.н., доцент	кафедры	«Физика»
Пруцакова Н.В.,		
доцент кафедры «Физика»	Холодова О.М.	



## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Краткая теория .....</b>	<b>4</b>
Основы фотометрии .....	4
Внешний фотоэффект.....	5
<b>Описание установки .....</b>	<b>8</b>
<b>Порядок выполнения работы №19(а) в лаборатории «ОПТИКА» к.433 .....</b>	<b>9</b>
<b>Порядок выполнения работы №19(б) в лаборатории «ОПТИКА» к. 436 .....</b>	<b>11</b>
<b>Контрольные вопросы .....</b>	<b>13</b>
<b>Рекомендуемая литература.....</b>	<b>14</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Цель работы:** изучение явления внешнего фотоэффекта на примере вакуумного фотоэлемента; вычисление интегральной чувствительности фотоэлемента.

**Приборы и принадлежности:** вакуумный сурьмяно-цезиевый вакуумный фотоэлемент (Cs<sub>2</sub>Sb) СЦВ-4, источник питания в цепи фотоэлемента, вольтметр, микроамперметр, потенциометр для изменения напряжения в цепи фотоэлемента, источник света (лампа накаливания), источник питания в цепи источника света, амперметр в цепи накала лампы, реостат, изменяющий ток накала осветителя.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

### Основы фотометрии

**Световой поток**  $\Phi$  – это физическая величина, определяемая оптической мощностью излучения по вызываемому им световому ощущению; измеряется в люменах (лм).

**Освещенность**  $E$  – это физическая величина, определяемая отношением светового потока, падающего на поверхность, к величине этой поверхности  $S$ :  $E = \frac{\Phi}{S}$ ; измеряется в люксах (лк).

Прибор для измерения освещенности называется *люксметром*.

**Сила света**  $I_{cv}$  – это физическая величина, определяемая отношением светового потока  $\Phi$  к телесному углу  $\Omega$ , в пределах которого распространяется излучение:  $I_{cv} = \frac{\Phi}{\Omega}$ ; измеряется в канделах (кд). Связь между освещенностью и силой света при нормальном падении света на площадку  $S$  при заданном расстоянии  $r$  от источника света:  $E = \frac{I_{cv}}{r^2}$ .

**Интегральная чувствительность** фотоэлемента  $k_\phi$  – отношение силы фототока насыщения  $I_{\phi, \text{нас}}$  к световому потоку  $\Phi$  при постоянном напряжении на фотоэлементе, соответствующему данному значению тока насыщения  $k_\phi = \frac{I_{\phi, \text{нас}}}{\Phi}$ . Обычно выражается в мкА/лм.

### Внешний фотоэффект

**Внешний фотоэффект (фотоэффект)** – это испускание электронов веществом под действием света.

Фотоэффект был обнаружен немецким физиком Г. Герцем в 1887 г. и фундаментально исследован русским учёным Ф.Г. Столетовым в 1888-1889 гг.

Электроны, вылетающие из вещества при внешнем фотоэффекте, называются **фотоэлектронами**; электрический ток, возникающий при упорядоченном движении фотоэлектронов, называется **фототоком**.

Принципиальная схема установки для изучения внешнего фотоэффекта показана на рис. 1. **Вакуумный фотоэлемент** представляет собой прибор, внутри которого находятся два электрода – анод  $A$  и катод  $K$ . Свет попадает на катод через кварцевое окошко и вырывает с его поверхности электроны. Фотоэлектроны под действием электрического поля перемещаются к аноду и создают ток в цепи, измеряемый гальванометром  $G$ . Напряжение  $U$  между катодом и анодом можно изменять с помощью потенциометра  $П$ .

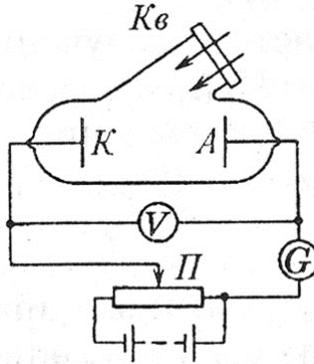


Рис.1.

Схема опытов по наблюдению фотоэффекта.

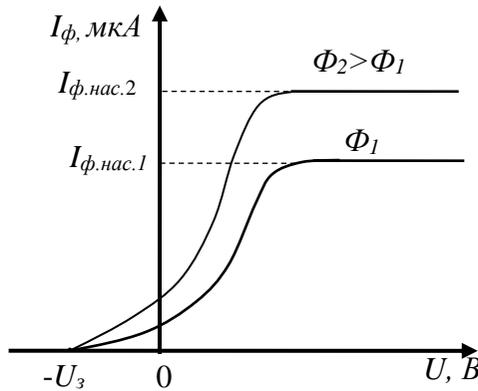


Рис.2

Вольт-амперные характеристики фотоэлемента, снятые при различных световых потоках  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$

На рис.2 приведены вольт-амперные характеристики фотоэлемента – зависимости фототока  $I_\phi$  от напряжения между катодом и анодом, снятые при различных световых потоках  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  (при одинаковой частоте света).

Для всех этих зависимостей характерно наличие участка **тока насыщения**  $I_{ф.нас}$ , когда все электроны, вырванные светом из катода  $K$ , попадают на анод  $A$ .

При  $U = 0$  фототок не исчезает, т.е. некоторые электроны достигают анода без внешнего поля, за счет своей кинетической энергии. Чтобы фототок стал равным нулю, необходимо приложить **задерживающее напряжение**  $U_з$ , при котором ни один электрон не сможет преодолеть задерживающее поле и достигнуть анода. Следовательно,

$$\frac{m v_{max}^2}{2} = e U_з, \quad (1)$$

где  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  – масса и заряд электрона соответственно.

Опытным путем были установлены **законы внешнего фотоэффекта**:

1. **Закон Столетова**: Сила тока насыщения прямо пропорциональна мощности светового излучения, падающего на поверхность тела.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от мощности светового излучения.
3. Если частота света меньше некоторой определённой для данного вещества минимальной частоты, то фотоэффект не происходит (красная граница фотоэффекта).

Согласно квантовой теории свет частотой  $\nu$  испускается и распространяется в пространстве и поглощается веществом отдельными порциями (квантами). Квант электромагнитного излучения получил название **фотона**.

Энергия падающего фотона  $\varepsilon = h \nu = h \frac{c}{\lambda}$  (формула

Планка) расходуется на совершение электроном работы выхода

$A_{\text{вых}}$  из металла и на сообщение фотоэлектрону кинетической энергии  $\frac{mV_{\text{max}}^2}{2}$ .

По закону сохранения энергии:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mV_{\text{max}}^2}{2} \quad \text{или} \quad h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3, \quad (2)$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  - постоянная Планка,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  - скорость света в вакууме,  $\lambda$  - длина волны,  $U_3$  - задерживающее напряжение.

Выражение (2) называется **уравнением Эйнштейна** для внешнего фотоэффекта.

**Красная граница фотоэффекта** – минимальная частота  $\nu_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$  или максимальная длина волны

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}, \quad \text{при которой начинается фотоэффект.}$$

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке, принципиальная схема которой представлена на рис.3. На оптической скамье в специальных держателях установлены источник света - лампа накаливания (Л) и вакуумный фотоэлемент (ФЭ). Расстояние между лампой и фотоэлементом можно изменять перемещением вдоль оптической скамьи. От лампы накаливания свет попадает в окошко фотоэлемента (О) и в цепи фотоэлемента начинает протекать фототок. Величина фототока измеряется микроамперметром ( $\mu\text{А}$ ), а приложенное к электродам фотоэлемента напряжение – вольтметром ( $V$ ). Величина подаваемого напряжения может регулироваться потенциометром ( $\Pi$ ). С помощью реостата ( $R$ ) можно изменять ток в цепи накала лампы и измерять его величину амперметром ( $A$ ). Вакуумный фотоэлемент (ФЭ) СЦВ-4 представляет собой

сферический стеклянный вакуумный баллон с нанесенным на него изнутри слоем цезия (выполняет роль катода  $K$ ). Собирающий электрод (анод  $A$ ) выполнен в виде металлического кольца, расположенного в центре баллона.

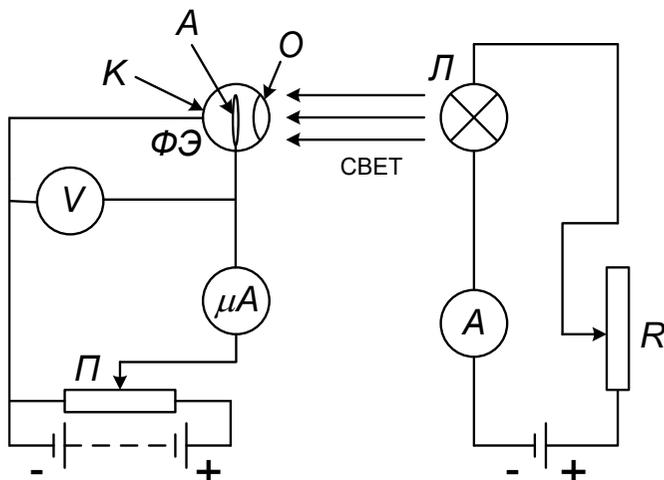


Рис. 3

Блок – схема измерительной установки

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ №19(А) В ЛАБОРАТОРИИ «ОПТИКА» K.433

1. На рабочем месте представлен график зависимости силы света источника  $I_{св}$  от протекающего через лампу тока  $I_{нак}$ . Преподавателем задаются три значения силы тока, а студент должен самостоятельно по графику определить соответствующие им значения силы света источника  $I_{св1}$ ,  $I_{св2}$ ,  $I_{св3}$ .

2. Установить между источником света и фотоэлементом предложенное преподавателем фиксированное расстояние

$r$  ( $\approx 10\text{см}$ ), остающееся неизменным при дальнейших измерениях.

3. По формуле  $\Phi = \frac{I_{\text{св}}}{r^2} \cdot S$  ( $S = 11,3 \cdot 10^{-4} \text{м}^2$  - площадь фотокатода) вычислить 3 значения светового потока  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$ , соответствующие различным значениям тока накала.

Значения токов накала  $I_{\text{нак}}$ , силы света  $I_{\text{св}}$ , расстояния  $r$  и световых потоков  $\Phi$  занести в таблицу 1.

4. Установить реостатом  $R$  ток накала лампы, соответствующий значению силы света источника  $I_{\text{св}1}$  и световому потоку  $\Phi_1$ , снять зависимость фототока  $I_{\phi 1}$  от напряжения  $U$  на фотоэлементе  $I_{\phi 1}(U)$ . Для этого с помощью потенциометра  $\Pi$  напряжение на фотоэлементе изменяют с шагом 5 – 10 В от 0 до такого его значения, при котором фототок примет свое максимальное значение  $I_{\phi}$  и при дальнейшем увеличении напряжения  $U$  изменяться не будет (фототок насыщения  $I_{\phi.\text{нас}}$ ).

5. Аналогичным образом снять зависимости  $I_{\phi 2}(U)$  и  $I_{\phi 3}(U)$  для двух других значений светового потока  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ . Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

6. По данным таблицы 1 построить три графика вольт-амперных характеристик на одной координатной плоскости и из них определить токи насыщения  $I_{\phi.\text{нас}1}$ ,  $I_{\phi.\text{нас}2}$ ,  $I_{\phi.\text{нас}3}$ , соответствующие световым потокам  $\Phi_1, \Phi_2$  и  $\Phi_3$ .

7. Вычислить три значения интегральной чувствительности фотоэлемента по формуле  $k_{\phi} = \frac{I_{\phi.\text{нас}}}{\Phi}$  и результаты вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1

$r =$											
$I_{\text{нак}},$ А	$I_{\text{св}},$ кД	$\Phi,$ лм		1	2	3	4	5	6	7	$k_{\phi}, \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$
			$U, B$								
			$I_{\phi 1}, \text{мкА}$								
			$U, B$								
			$I_{\phi 2}, \text{мкА}$								
			$U, B$								
			$I_{\phi 3}, \text{мкА}$								

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ №19(Б) В ЛАБОРАТОРИИ «ОПТИКА» К. 436

1. Установить на оптической скамье в передвижной каретке приемник люксметра. Изменяя трижды расстояние  $d$  от нити лампы осветителя до приемника люксметра, измерить соответствующие значения освещенности  $E_1, E_2, E_3$ .

**ВНИМАНИЕ:** при измерениях освещенности  $E$  следить за тем, чтобы вся поверхность приемника люксметра была освещена.

По формуле  $I_{\text{св}} = E \cdot d^2$  вычислить значения силы света для каждого  $d$  и найти среднее значение силы света  $\langle I_{\text{св}} \rangle$ , которое в дальнейшем и будем принимать как силу света источника.

2. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу

Таблица 2

№ пп	$d, м$	$E, лк$	$I_{св}, кД$	$\langle I_{св} \rangle, кД$
1				
2				
3				

3. Снять приемник люксметра и каретку с оптической скамьи и на его место установить фотоэлемент.

4. Установить между источником света и фотоэлементом одно из 3-х предложенных преподавателем расстояний  $r_1$ .

5. По формуле  $\Phi = \frac{\langle I_{св} \rangle}{r^2} \cdot S$  ( $S = 11,3 \cdot 10^{-4} м^2$  - площадь фотокатода) вычислить световой поток  $\Phi$ , соответствующий этому расстоянию  $r$ . Результат занести в таблицу 3.

6. Снять зависимость фототока  $I_{\phi 1}$  от напряжения  $U$  на фотоэлементе  $I_{\phi 1}(U)$ . Для этого, не меняя установленного расстояния  $r$ , с помощью потенциометра  $\Pi$  изменять напряжение на фотоэлементе с шагом 5 – 10 В от 0 до такого его значения, при котором фототок примет свое максимальное значение  $I_{\phi 1}$  и при дальнейшем увеличении  $U$  изменяться не будет (фототок насыщения  $I_{\phi.нас}$ ).

7. Аналогичным образом снять зависимости  $I_{\phi 2}(U)$  и  $I_{\phi 3}(U)$  для двух других значений светового потока  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ . Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 3.

8. По данным таблицы 3 построить три графика вольт-амперных характеристик на одной координатной плоскости и из них определить токи насыщения  $I_{\phi.нас 1}$ ,  $I_{\phi.нас 2}$ ,  $I_{\phi.нас 3}$ , и соответствующие световым потокам  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ .

9. Вычислить три значения интегральной чувствительности фотоэлемента по формуле  $k_{\phi} = \frac{I_{\phi, \text{нас}}}{\Phi}$  и результаты вычислений занести в таблицу 3.

Таблица 3

$r, \text{м}$	$\Phi, \text{лм}$		1	2	3	4	5	6	7	$k_{\phi}, \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$
		$U, \text{В}$								
		$I_{\phi 1}, \text{мкА}$								
		$U, \text{В}$								
		$I_{\phi 2}, \text{мкА}$								
		$U, \text{В}$								
		$I_{\phi 3}, \text{мкА}$								

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется световым потоком? Единица измерения.
2. Что называется освещенностью? Как она измеряется? В каких единицах?
3. Что называется силой света? Единица измерения.
4. Что называется интегральной чувствительностью фотоэлемента?
5. Какое явление называется внешним фотоэффектом?
6. Сформулируйте три закона внешнего фотоэффекта.
7. Запишите формулу Планка, связывающую энергию фотона с частотой света  $\nu$  (длиной волны  $\lambda$ ).

8. Запишите формулу Эйнштейна для фотоэффекта и объясните её физический смысл.
9. Что такое красная граница фотоэффекта?
10. Что такое задерживающее напряжение и как его определить экспериментально?
11. Объясните, что такое «ток насыщения» и как его измерить?

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 2016
2. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике.- М.:Наука, 2006