

Группа М3304 К работе допущен \_\_\_\_\_  
Студент Васильков Д.А, Лавренов Д.А. Работа выполнена \_\_\_\_\_  
Преподаватель Шоев В.И. Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №5.02 “Внешний фотоэффект. Исследование характеристик фотоэлемента с внешним фотоэффектом”

### 1) Цель работы

1. Исследование характеристик фотоэлемента с внешним фотоэффектом

### 2) Задачи, решаемые при выполнении работы

1. Проверка опытным путем справедливости законов фотоэффекта
2. Определение порога фотоэффекта по вольт-амперной и спектральной характеристикам

### 3) Объект исследования

Вырывающиеся из вещества электроны

### 4) Метод экспериментального исследования

Наблюдение фотоэффекта

### 5) Рабочие формулы и исходные данные

1. Длина волны света:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

2. Частота волны:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

3. Формула Эйнштейна:

$$h\nu = A_{\text{в}} + E_{\text{к.макс}} = A_{\text{в}} + \frac{m_e V^2}{2}$$

4. Формула Эйнштейна для полупроводников:

$$h\nu = E_i + E_{\text{к.макс}}$$

5. Определение максимальной кинетической энергии электронов при фотоэффекте:

$$\frac{m_e V_{\text{max}}^2}{2} = -e(V_A + V_C) = e(V_B - V_A)$$

## 6) Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Амперметр	Электронный	0 – 20 мкА	0,005 А
2	Вольтметр	Электронный	0 - 20 В	0,05 В

## 7) Схема установки.

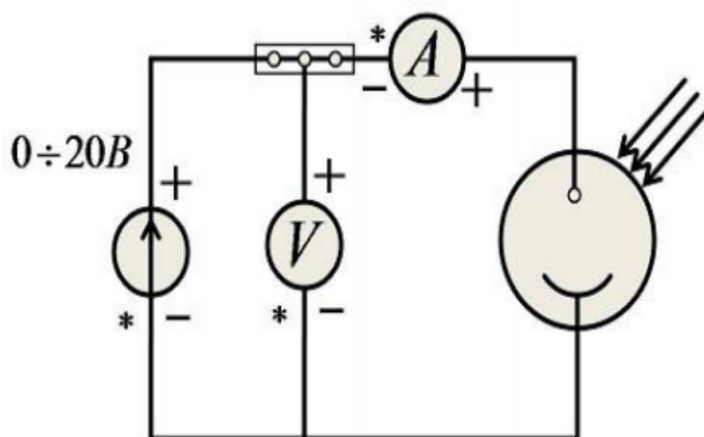


Рис. 1. Схема рабочей установки

В качестве источников света в лабораторной установке используется набор светодиодов (кластер), излучающих в различных узких диапазонах длин волн. Эти диапазоны лежат в видимой и инфракрасной частях спектра. В качестве фотоэмиттера используется катод фотоэлемента (или полупрозрачный катод фотоэлектронного умножителя), изготовленный из полупроводника. Роль анода у фотоэлектронного умножителя играют соединенные между собой диноды. Фотоэлектроны, выбитые из фотокатода ускоряются электрическим полем и бомбардируют первый динод. Так как они обладают большой кинетической энергией, то один электрон может выбить из динода несколько электронов.

## 8) Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

### 1. Пункт 1

$$\frac{J}{J_{0 \text{ светл}}} = 1.115; \frac{J}{J_{0 \text{ темн}}} = 0.11;$$

$$\lambda_2 = 520 \text{ нм}$$

U прямое, В	I <sub>свет</sub> , мкА	I <sub>темн</sub> , мкА	I <sub>фото</sub> , мкА	U обратное, В	I <sub>свет</sub> , мкА	I <sub>темн</sub> , мкА	I <sub>фото</sub> , мкА
0	0,48	0,05	0,43	0,0	0,50	0,08	0,42
1	1,60	0,21	1,39	0,5	0,07	0,08	-0,01
2	2,22	0,25	1,97	1,0	0,04	0,06	-0,02
3	2,68	0,40	2,28	1,5	0,04	0,04	0,00
4	2,99	0,46	2,53	2,0	0,01	0,00	0,01
5	3,22	0,60	2,62	2,5	-0,05	-0,02	-0,03
6	3,45	0,66	2,79	3,0	-0,07	-0,05	-0,02
7	3,60	0,77	2,83				
8	3,76	0,85	2,91				

9	3,90	0,92	2,98
10	4,06	1,05	3,01
11	4,18	1,16	3,02
12	4,28	1,25	3,03

$$\frac{J}{J_{0 \text{ светл}}} = 1.115; \frac{J}{J_{0 \text{ темн}}} = 0.11;$$

$$\lambda_3 = 565 \text{ нм}$$

U прямое, В	I <sub>свет</sub> , мкА	I <sub>темн</sub> , мкА	I <sub>фото</sub> , мкА	U обратное, В	I <sub>свет</sub> , мкА	I <sub>темн</sub> , мкА	I <sub>фото</sub> , мкА
0	0,38	0,05	0,33	0,0	0,39	0,08	0,31
1	1,30	0,17	1,13	0,5	0,06	0,08	-0,02
2	1,90	0,28	1,62	1,0	0,05	0,06	-0,01
3	2,24	0,39	1,85	1,5	0,04	0,04	0,00
4	2,48	0,49	1,99	2,0	0,01	0,00	0,01
5	2,69	0,59	2,10	2,5	-0,05	-0,02	-0,03
6	2,87	0,62	2,25	3,0	-0,07	-0,05	-0,02
7	3,00	0,73	2,27				
8	3,18	0,85	2,33				
9	3,30	0,95	2,35				
10	3,46	1,05	2,41				
11	3,57	1,15	2,42				
12	3,64	1,20	2,44				

$$\frac{J}{J_{0 \text{ светл}}} = 1.115; \frac{J}{J_{0 \text{ темн}}} = 0.11;$$

$$\lambda_4 = 590 \text{ нм}$$

U прямое, В	I <sub>свет</sub> , мкА	I <sub>темн</sub> , мкА	I <sub>фото</sub> , мкА	U обратное, В	I <sub>свет</sub> , мкА	I <sub>темн</sub> , мкА	I <sub>фото</sub> , мкА
0	0,38	0,08	0,30	0,0	0,38	0,08	0,3
1	1,35	0,20	1,15	0,5	0,06	0,08	-0,02
2	1,90	0,28	1,62	1,0	0,07	0,06	0,01
3	2,28	0,39	1,89	1,5	0,04	0,04	0
4	2,52	0,49	2,03	2,0	0,01	0,00	0,01
5	2,74	0,56	2,18	2,5	-0,05	-0,02	-0,03
6	2,87	0,65	2,22	3,0	-0,07	-0,05	-0,02
7	2,99	0,72	2,27				
8	3,09	0,85	2,24				
9	3,28	0,95	2,33				
10	3,39	0,99	2,40				
11	3,48	1,15	2,33				
12	3,58	1,20	2,38				

$$E_{\max k} = e(U_B - U_A)$$

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

$$v_0 = v - \frac{E_{k \max}}{h}$$

$$E_{\max 1} = 2,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$U_{A1} = 2,5 \text{ В}$$

$$U_{B1} = 4 \text{ В}$$

$$v_1 = 5,76 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$v_{01} = 2,14 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$E_{\max 2} = 9,6 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U_{A2} = 2,4 \text{ В}$$

$$U_{B2} = 3 \text{ В}$$

$$v_2 = 5,3 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$v_{02} = 3,85 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$E_{\max 3} = 2,72 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$U_{A3} = 2,3 \text{ В}$$

$$U_{B3} = 4 \text{ В}$$

$$v_3 = 5,08 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$v_{03} = 9,75 \cdot 10^{13} \text{ Гц}$$

## 2. Пункт 2

$$U = 18 \text{ В}$$

$$I_{\text{темн}} = 1,88 \text{ мкА}$$

$$\lambda_2 = 520 \text{ нм}$$

$I/I_0$	$I_{\text{свет}}, \text{ мкА}$	$I_{\text{фото}}, \text{ мкА}$
0,1	2,00	0,12
0,2	2,28	0,40
0,3	2,58	0,70
0,4	2,83	0,95
0,5	3,09	1,21
0,6	3,44	1,56
0,7	3,62	1,74
0,8	3,94	2,06
0,9	4,23	2,35
1,0	4,52	2,64
1,1	4,75	2,87
1,2	5,05	3,17

$$\lambda_3 = 565 \text{ нм}$$

$I/I_0$	$I_{\text{свет}}, \text{ мкА}$	$I_{\text{фото}}, \text{ мкА}$
0,1	1,95	0,07
0,2	2,12	0,24
0,3	2,32	0,44
0,4	2,60	0,72
0,5	2,82	0,94
0,6	3,04	1,16
0,7	3,20	1,32
0,8	3,46	1,58
0,9	3,68	1,80
1,0	3,90	2,02
1,1	4,15	2,27
1,2	4,35	2,47

### 3. Пункт 3

$$I/I_{0 \text{ светл}} = 1.15$$

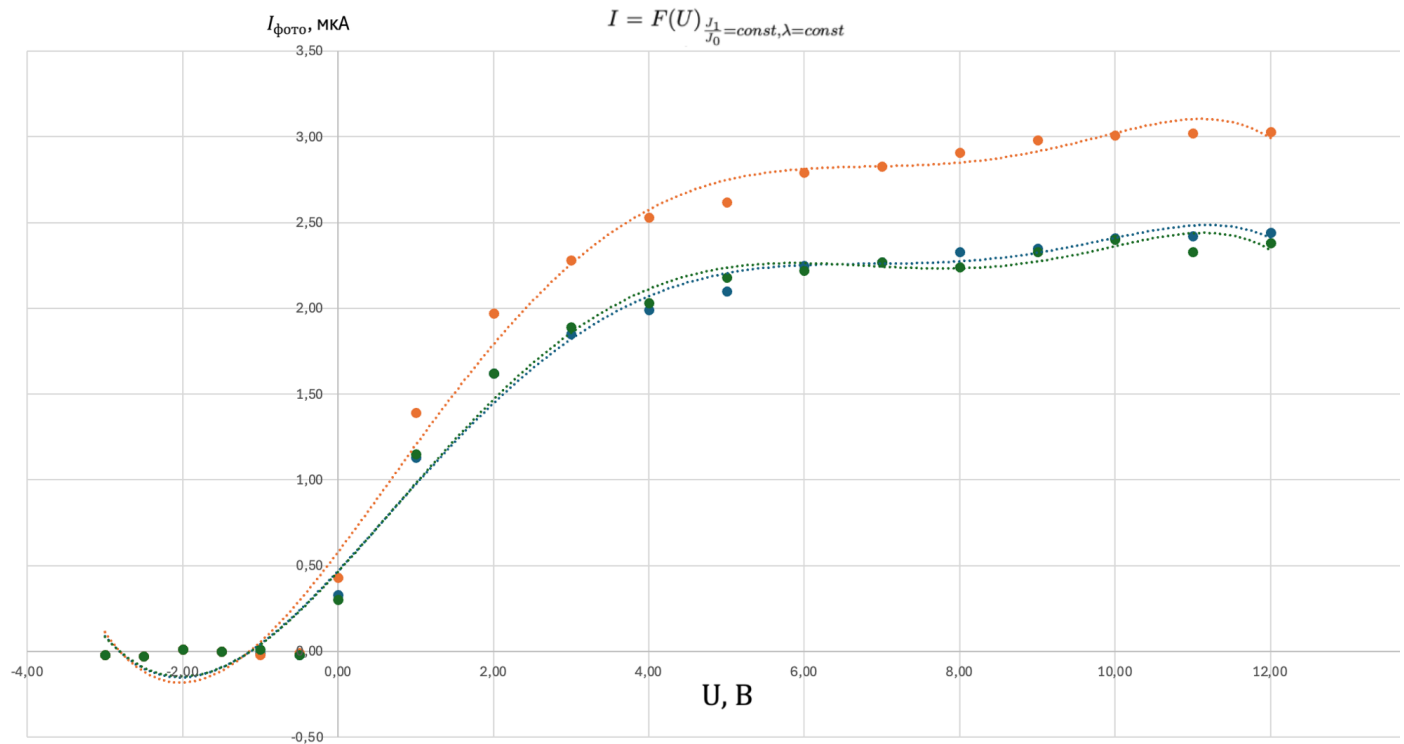
$$I/I_{0 \text{ темн}} = 0.01$$

$$U = 18 \text{ В}$$

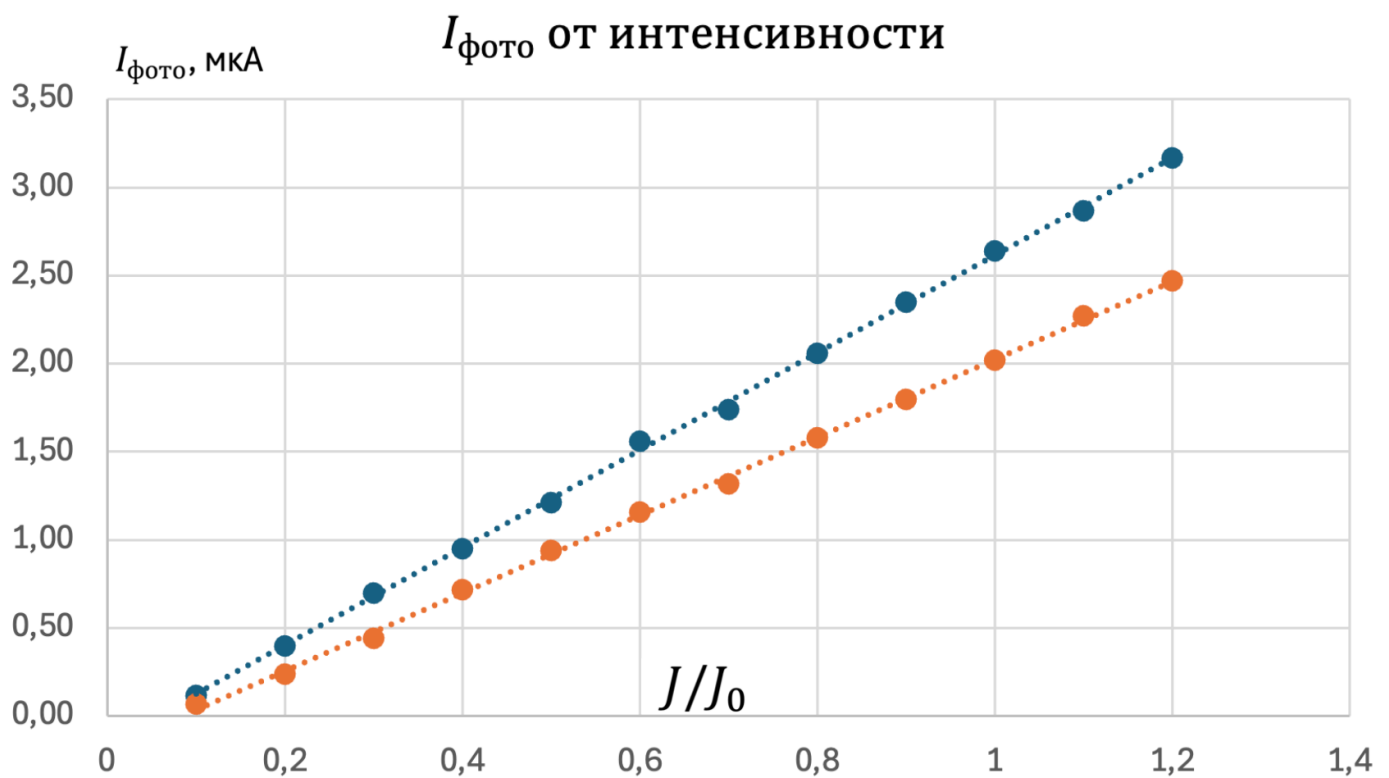
$\lambda, \text{ нм}$	430	470	520	565	590	660	700	860
$I_{\text{свет}}, \text{ мкА}$	5,53	6,35	4,9	4,28	4,18	3,25	2,45	1,85
$I_{\text{темн}}, \text{ мкА}$	1,78	1,74	1,79	1,79	1,73	1,76	1,78	1,74
$\nu, \text{ с}^{-1}$	$6,98 \cdot 10^{14}$	$6,38 \cdot 10^{14}$	$5,77 \cdot 10^{14}$	$5,31 \cdot 10^{14}$	$5,08 \cdot 10^{14}$	$4,55 \cdot 10^{14}$	$4,29 \cdot 10^{14}$	$3,49 \cdot 10^{14}$
$I_{\text{фото}}, \text{ мкА}$	3,75	4,61	3,11	2,49	2,45	1,49	0,67	0,11

## 9) Графики.

### 1. Пункт 1



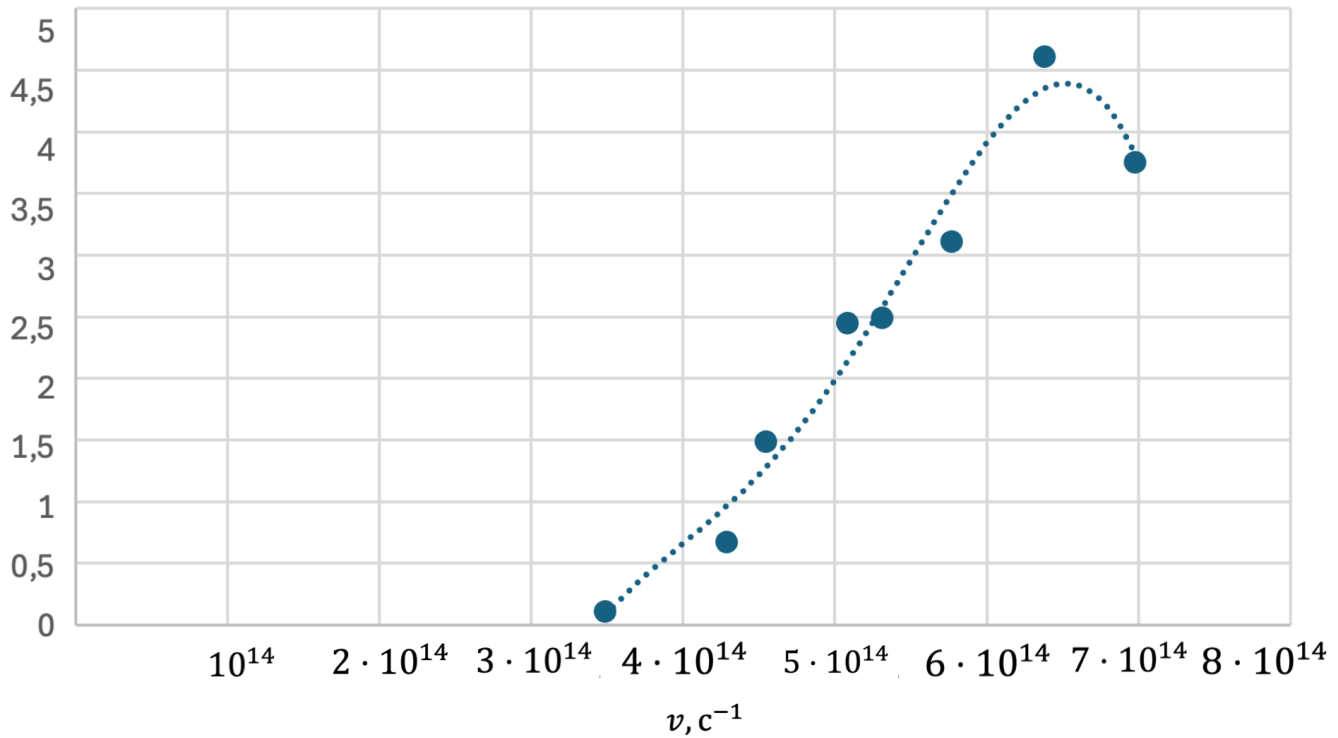
### 2. Пункт 2



Зависимость  $I_{\text{фото}}$  от интенсивности - линейная

### 3. Пункт 3

## $I_{\text{фото}}$ от частоты



$$\nu_{\text{пороговая}} = 3,49 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$A_{\text{в}} = h \cdot \nu_0 = 2,31 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,44 \text{ Эв} \Rightarrow \text{материал фотокатода - цезий}$$

### 10) Расчет погрешностей

$$\Delta E_{\text{max } k} = \sqrt{(e \cdot \Delta U)^2 + (e \cdot \Delta U)^2} = 2.32 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$$\Delta \nu_0 = \sqrt{\left(\frac{-E_{\text{max } k}}{h}\right)^2} = 4.1 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

### 11) Окончательные результаты

При измерениях:

$$\nu_{01} = 2,14 \cdot 10^{14} \pm 4.1 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

$$\nu_{02} = 3,85 \cdot 10^{14} \pm 4.1 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

$$\nu_{03} = 9,75 \cdot 10^{13} \pm 4.1 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

По графику:

$$\nu_{\text{пороговая}} = 3,49 \cdot 10^{14} \pm 4.1 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

$$A_{\text{в}} = h \cdot \nu_0 = 2,31 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,44 \text{ Эв} \Rightarrow \text{материал фотокатода - цезий}$$

## 12) Выводы и анализ результатов работы.

В первом пункте работы были получены вольтамперные характеристики фотоэлемента для разных источников света. Установлена зависимость тока насыщения от интенсивности источника, которая оказалась прямо пропорциональной. По зависимости  $I_{\text{фото}}$  от длины волны определена красная граница фотоэффекта —  $\lambda \sim 859 \text{ нм}$ .