

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра общей физики

Лабораторная работа 5.1.1

**Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для
фотоэффекта и определение постоянной Планка**

Преподаватель: к.ф.-м.н. Юрьев Ю.В.

Обучающийся: Готов А.А

Долгопрудный
2023

1 Введение

1.1 Аннотация

Испусканием электронов фотокатодом, облучаемым светом называется фототок. Фотоэффект может быть объяснён с помощью фотонной теории света. Фотон с энергией $\hbar\omega$ выбивает из металла электрон и сообщает ему определённую кинетическую энергию.

Данная работа посвящена исследованию данного явления, направленное на определение постоянной Планка

Цель работы: экспериментально проверить уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и определить значение постоянной Планка

1.2 Теоретические сведения

При столкновении фотона с электроном фотокатода энергия фотона полностью передается электрону, и фотон прекращает свое существование. Энергетический баланс этого взаимодействия для вылетающих электронов описывается уравнением

$$\hbar\omega = E_{max} + W \quad (1)$$

Здесь E_{max} - максимальная кинетическая энергия электрона после выхода из фотокатода, W - работа выхода электрона из катода. Реально энергетический спектр вылетевших из фотокатода электронов непрерывен - он простирается от нуля до E_{max} .

Для измерения энергии вылетевших фотоэлектронов вблизи фотокатода обычно располагается второй электрод (анод), на который подается задерживающий ($V < 0$) или ускоряющий ($V > 0$) потенциал. Качественный график зависимости фототока от напряжения представлен (рис. 1)

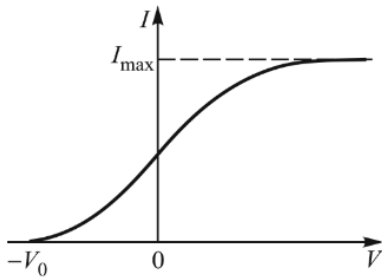


Рис. 1: Зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента

Максимальная кинетическая энергия E_{max} электронов связана с запирающим потенциалом V_0 очевидным соотношением $E_{max} = eV_0$. Тогда (1) примет вид, называемый уравнением Эйнштейна:

$$eV_0 = \hbar\omega - W \quad (2)$$

Простейшая оценка зависимости тока от напряжения на наклонном участке приводит к следующему выражению

$$\sqrt{I} \propto V_0 - V \quad (3)$$

Из (2) получим зависимость

$$V_0(\omega) = \frac{\hbar\omega - W}{e} \quad (4)$$

Или, выписав ее в дифференциальной форме:

$$\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e} \quad (5)$$

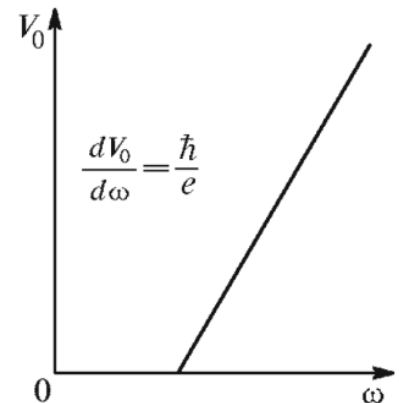


Рис. 2: Зависимость запирающего потенциала от частоты света

2 Результаты измерений и обработка данных

1. По спектральным линиям неона построим калибровочную зависимость угла монохроматора от длины волны

$\phi, ^\circ$	2536	2506	2442	2430	2400	2380	2370	2332	2326	2308	2296	2280	
$\lambda, \text{нм}$	703,2	692,9	671,7	667,8	659,9	653,3	650,7	640,2	638,3	633,4	630,5	626,7	
$\phi, ^\circ$	2260	2238	2230	2208	2198	2178	2150	2138	2106	2092	1830	1792	1780
$\lambda, \text{нм}$	621,7	616,4	614,3	609,6	607,4	603,0	597,6	594,5	588,2	585,2	540,1	534,1	533,1

Здесь $\Delta\phi = 2^\circ$, длины волн берем без погрешности, считая табличные данные значительно точнее погрешности шкалы монохроматора

Калибровочный график по этим данным:

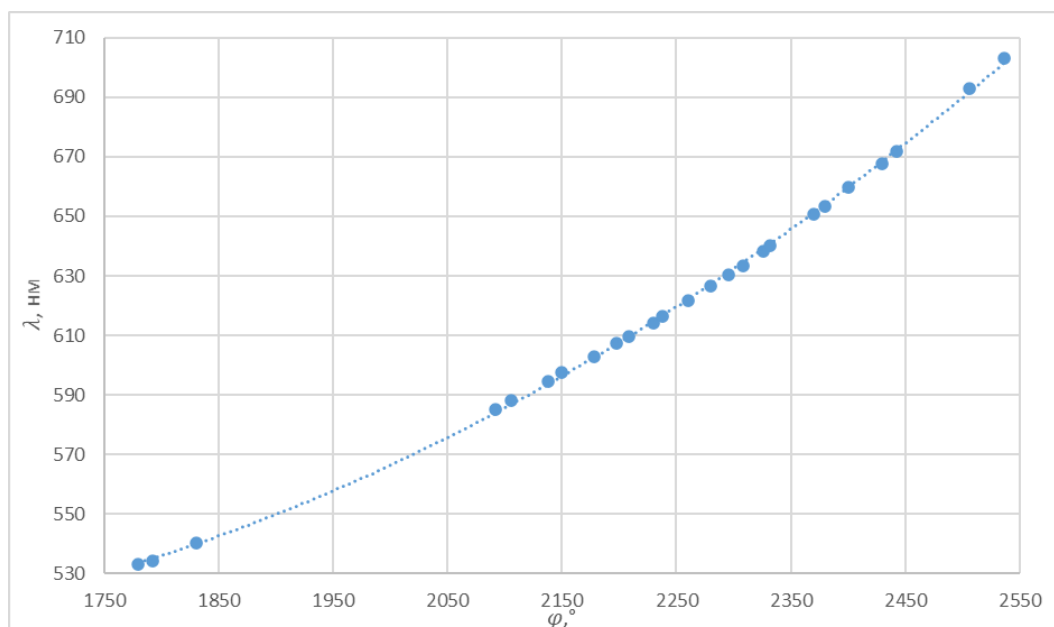
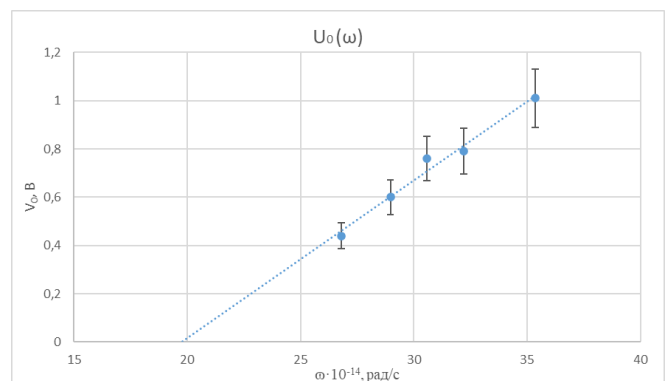
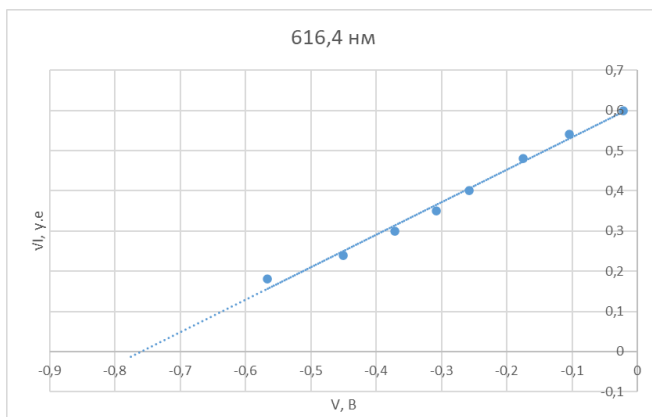
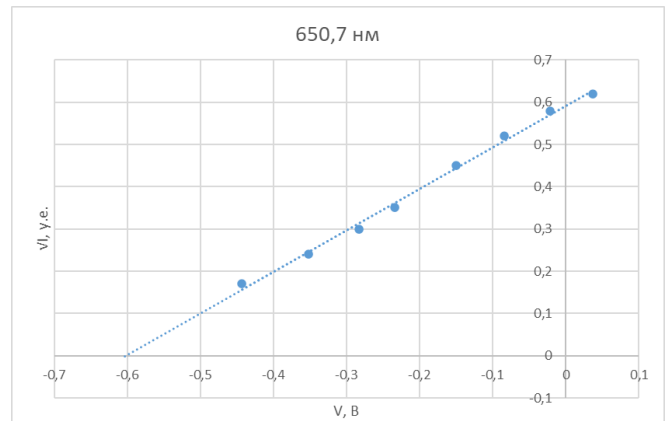
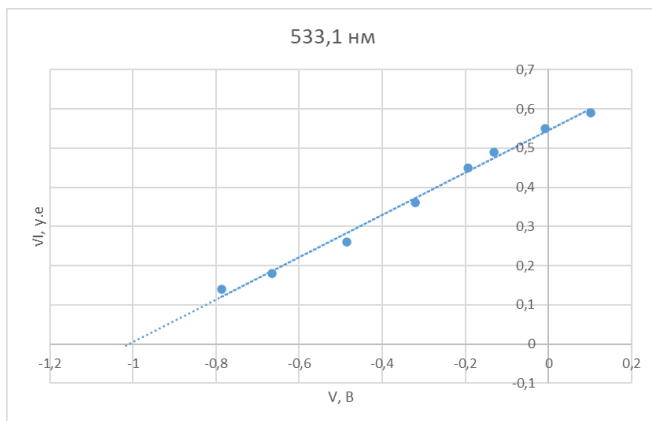
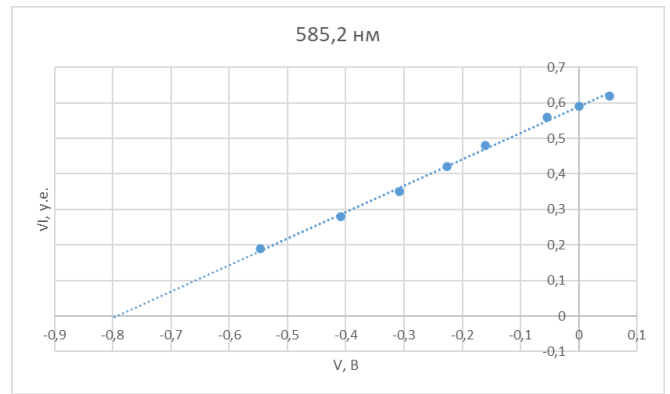
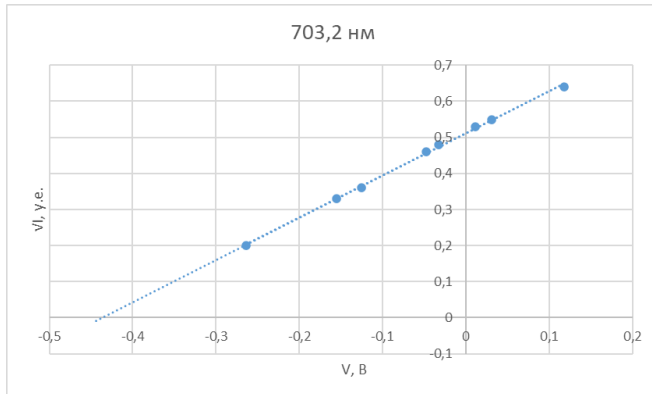


Рис. 3: Калибровочный график

Проведем 5 серий измерений для различных длин волн. Для упрощения перевода будем использовать длины волн спектра неона.

703,2 нм		585,2 нм		533,1 нм		650,7 нм		616,4 нм	
V, В	I, у.е.	V, В	I, у.е.	V, В	I, у.е.	V, В	I, у.е.	V, В	I, у.е.
-0,264	-0,20	-0,547	0,19	-0,787	0,14	-0,443	0,17	-0,566	0,18
-0,155	0,33	-0,408	0,28	-0,666	0,18	-0,352	0,24	-0,451	0,24
-0,125	0,36	-0,308	0,35	-0,485	0,26	-0,283	0,30	-0,371	0,30
-0,048	0,46	-0,226	0,42	-0,320	0,36	-0,234	0,35	-0,308	0,35
-0,033	0,48	-0,160	0,48	-0,194	0,45	-0,150	0,45	-0,258	0,40
0,011	0,53	-0,055	0,56	-0,131	0,49	-0,084	0,52	-0,175	0,48
0,031	0,55	0,000	0,59	-0,008	0,55	-0,021	0,58	-0,104	0,54
0,118	0,64	0,053	0,62	0,102	0,59	0,037	0,62	-0,022	0,60

По этим зависимостям построим графики:



По МНК найдем запирающее напряжение для наших длин волн

λ , нм	703,2	650,7	616,4	585,2	533,1
$\omega \cdot 10^{-14}$, рад/с	26.8	29.0	30.5	32.2	35.4
U_0 , В	$0,44 \pm 0,06$	$0,60 \pm 0,08$	$0,76 \pm 0,10$	$0,79 \pm 0,11$	$1,01 \pm 0,14$

Отсюда имеем:

$$h = 2\pi e k = (6,53 \pm 0,98) \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Красная граница фотоэффекта соответствует частоте, при которой $U_0 = 0$:

$$\omega_{\text{кр}} = (2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{15} \text{ рад/с}$$

Отсюда:

$$\lambda_{\text{кр}} = 2\pi/\omega_{\text{кр}} = 940 \pm 130 \text{ нм}$$

Работа выхода:

$$A_{\text{вых}} = \hbar\omega_{\text{кр}} = (1,3 \pm 0,2)\text{эВ}$$

3 Обсуждение результатов и выводы

В ходе работы мы экспериментально проверили уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, а также определили значение постоянной Планка:

$$h = 2\pi\epsilon k = (6,53 \pm 0,98)\text{Дж} \cdot \text{с}$$

Полученное значение оказалось достаточно близким к табличному
Красная граница фотоэффекта:

$$\lambda_{\text{кр}} = 2\pi/\omega_{\text{кр}} = 940 \pm 130 \text{ нм}$$

Работа выхода для используемого фотокатода:

$$A_{\text{вых}} = \hbar\omega_{\text{кр}} = (1,3 \pm 0,2)\text{эВ}$$