

Работа 5.1.1

Экспериментальная проверка уравнений Эйнштейна для фотоэффекта и определение постоянной Планка

Богданов Александр
Б05-003

27 октября 2022 г.

Цель работы: исследовать зависимость фототока от величины задерживающего потенциала и частоты падающего излучения, вычислить величину постоянной Планка.

В работе используются: лампа накаливания, конденсор, монохроматор, фотоэлемент.

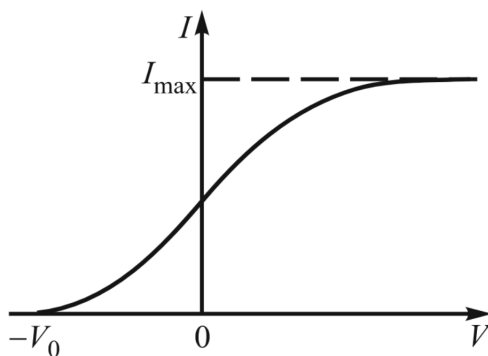
Теоретические положения:

Фотоэффект — явление испускания электронов фотокатодом, облучаемым светом. Взаимодействие монохроматического света с веществом можно описывать как взаимодействие фотонов с веществом. 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:

$$\hbar\omega = E_{max} + W,$$

где E_{max} — максимальная кинетическая энергия электрона после выхода из фотокатода, W — работа выхода электрона из катода.

Для измерения энергии вылетевших фотоэлектронов вблизи фотокатода обычно располагается второй электрод(анод), на который подается задерживающий ($V < 0$) или ускоряющий ($V > 0$) потенциал. При достаточно больших ускоряющих напряжениях фототок достигает насыщения: все испущенные электроны попадают на анод.



При задерживающих потенциалах на анод попадают лишь электроны, обладающие достаточно большой кинетической энергией, в то время как медленно движущиеся электроны заворачиваются полем и возвращаются на катод. При некотором значении $V = -V_0$ (потенциал запираения) даже наиболее быстрые фотоэлектроны не могут достичь анода.

Максимальная кинетическая энергия E_{max} электронов связана с запирающим потенциалом V_0 соотношением $E_{max} = eV_0$. Получается уравнение Эйнштейна:

$$eV_0 = \hbar\omega - W$$

Чтобы определить величину запирающего напряжения, нам надо правильно экстраполировать получаемую токовую зависимость к нулю, т. е. определить какова функциональная зависимость $I(V)$. Расчет для простейшей геометрии — плоский катод, освещаемый светом, и параллельный ему анод — приводит к зависимости:

$$\sqrt{I} \propto V_0 - V,$$

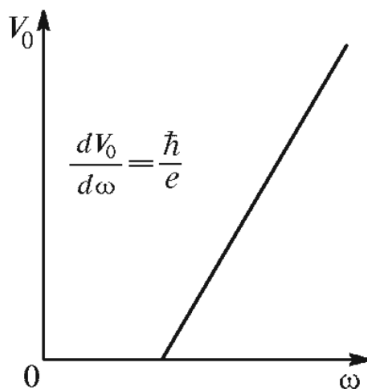
т. е. корень квадратный из фототока линейно зависит от запирающего напряжения.

В работе изучается зависимость фототока из фотоэлемента от величины задерживающего потенциала V для различных частот света ω , лежащих в видимой области спектра. С целью экспериментальной проверки уравнения Эйнштейна определяются потенциалы запираения V_0 при разных частотах света и строится зависимость $V_0(\omega)$, которая должна иметь вид:

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

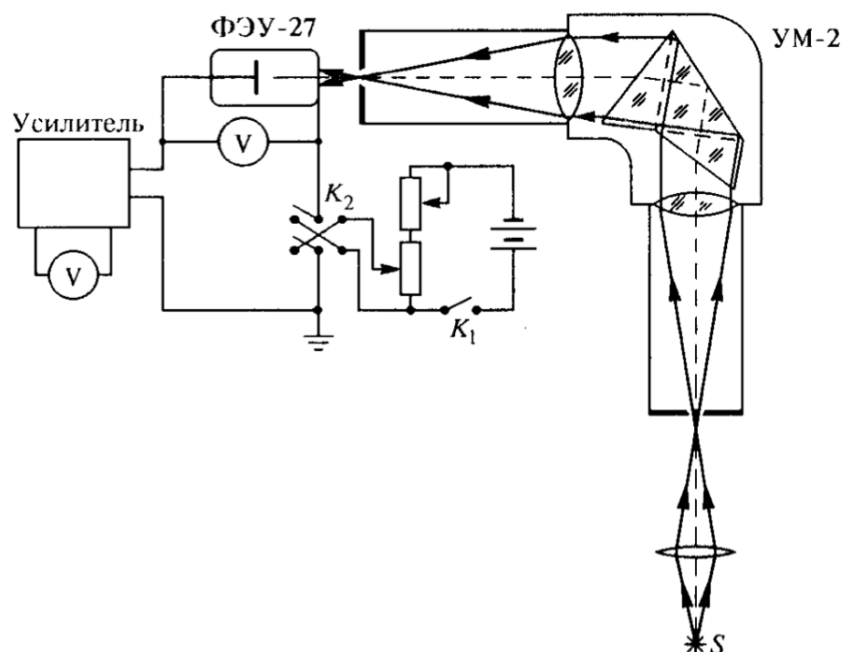
Потенциал запираения V_0 для любого катода линейно зависит от частоты света ω . По наклону прямой на графике $V_0(\omega)$ можно определить постоянную Планка:

$$\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e}$$



Угол наклона прямой $V_0(\omega)$ не зависит от рода вещества, из которого изготовлен фотокатод. От рода вещества зависит величина фототока, работа выхода W и форма кривой $I(V)$. Все это определяет выбор пригодных для опыта катодов.

Экспериментальная установка:



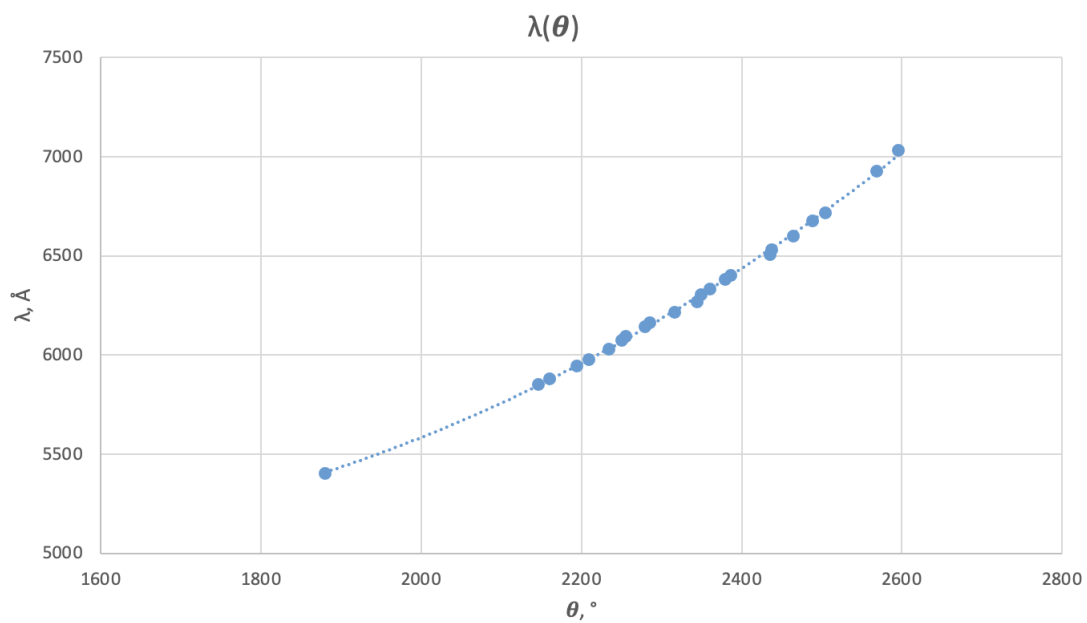
Свет от источника S с помощью конденсатора фокусируется на входную щель призматического монохроматора УМ-2, выделяющего узкий спектральный интервал, и попадает на катод фотоэлемента ФЭ.

Ход работы:

1. Настроим установку.
2. Проведем градуировку барабана по спектру неоновой лампы, то есть снимем зависимость λ от θ :

N	$\lambda, \text{\AA}$	$\theta, ^\circ$
1	7032	2596
2	6929	2569
3	6717	2505
4	6678	2489
5	6599	2465
6	6533	2438
7	6507	2435
8	6402	2386
9	6383	2379
10	6334	2360
11	6305	2349
12	6267	2344
13	6217	2316
14	6164	2285
15	6143	2279
16	6096	2255
17	6074	2250
18	6030	2234
19	5976	2209
20	5945	2194
21	5882	2160
22	5852	2146
23	5401	1880

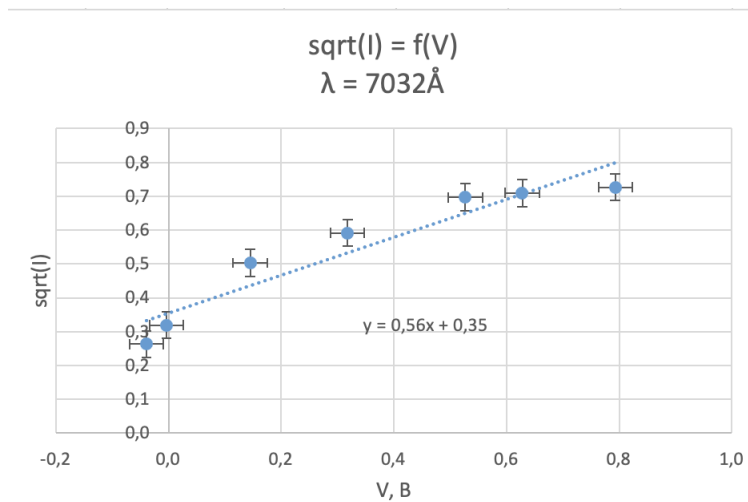
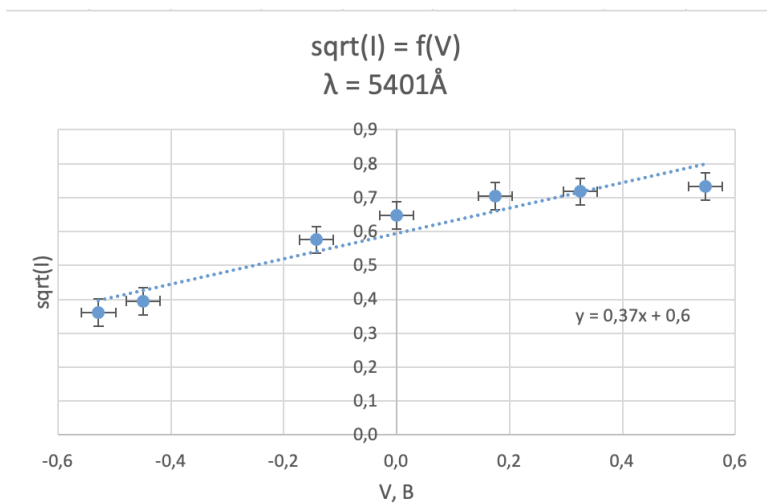
Построим график:

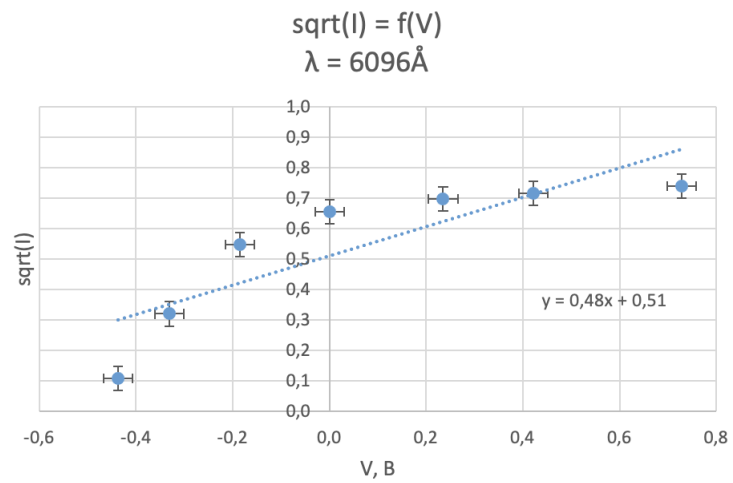
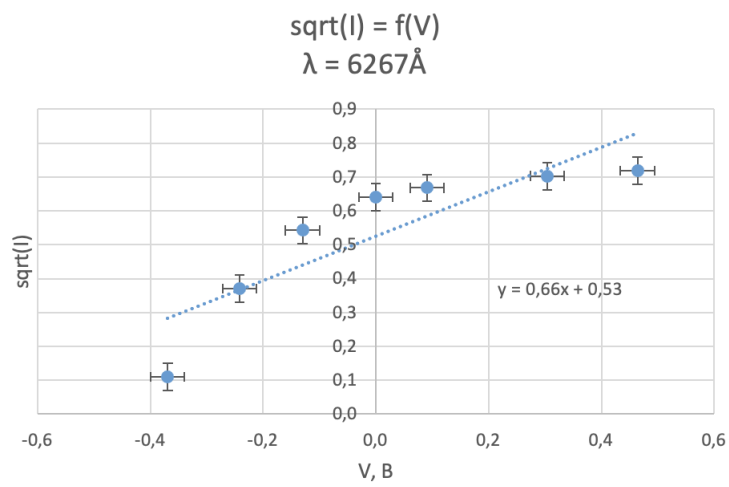
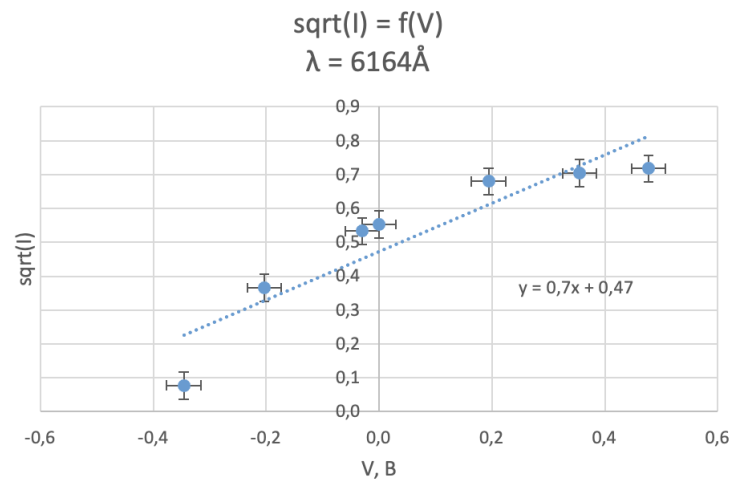


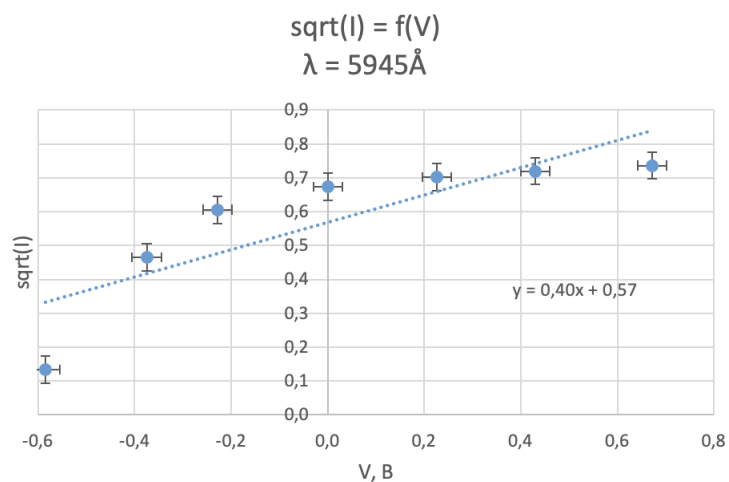
3. Снимем зависимости фототока от напряжения для 6 значений длин волн в интервале 540-700 нм (выставляя соответствующие значения, полученные при градуировке).

$\theta = 1880^\circ$ $\lambda = 5401\text{\AA}$		$\theta = 2596^\circ$ $\lambda = 7032\text{\AA}$		$\theta = 2385^\circ$ $\lambda = 6164\text{\AA}$		$\theta = 2344^\circ$ $\lambda = 6267\text{\AA}$		$\theta = 2255^\circ$ $\lambda = 6096\text{\AA}$		$\theta = 2194^\circ$ $\lambda = 5945\text{\AA}$	
V, B	I	V, B	I	V, B	I	V, B	I	V, B	I	V, B	I
-0,528	0,130	-0,039	0,069	-0,346	0,006	-0,369	0,012	-0,437	0,012	-0,585	0,018
-0,449	0,156	-0,004	0,102	-0,203	0,134	-0,242	0,137	-0,331	0,103	-0,375	0,217
-0,142	0,331	0,145	0,253	-0,030	0,284	-0,130	0,294	-0,185	0,301	-0,228	0,367
0,000	0,420	0,318	0,350	0,000	0,305	0,000	0,411	0,000	0,430	0,000	0,454
0,175	0,496	0,527	0,485	0,194	0,462	0,091	0,446	0,235	0,487	0,226	0,493
0,325	0,515	0,628	0,504	0,355	0,495	0,304	0,494	0,422	0,515	0,430	0,518
0,547	0,538	0,793	0,528	0,477	0,515	0,464	0,517	0,728	0,549	0,672	0,542

Построим серию графиков $\sqrt{I} = f(V)$. Для каждой длины волны определим величину запирающего потенциала, экстраполируя полученные прямые к оси абсцисс.

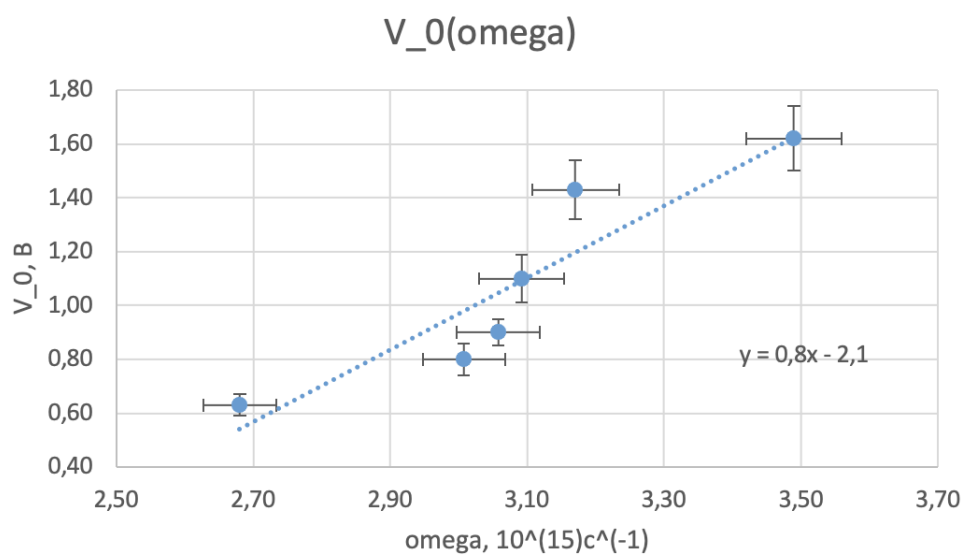






$\lambda, \text{ \AA}$	5401	7032	6164	6267	6096	5945
$V_0, \text{ B}$	1,62	0,63	0,90	0,80	1,10	1,43
$\sigma V_0, \text{ B}$	0,12	0,04	0,05	0,06	0,09	0,11

4. Построим график зависимости $V_0(\omega)$:



Из графика получили значение коэффициента наклона:

$$k = (0,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-15} \text{ В} \cdot \text{с}$$

Тогда постоянная Планка:

$$\hbar = (1,28 \pm 0,16) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Определим значение красной границы фотоэффекта:

$$\omega_k = (2,6 \pm 0,4) \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$$

Длина волны тогда:

$$\lambda_k = (7246 \pm 1115) \text{ \AA}$$

Работа выхода:

$$W = (3,3 \pm 0,5) \text{ эВ}$$

Вывод:

В результате выполнения лабораторной работы нами была исследована зависимость фототока от величины задерживающего напряжения: экспериментально проверено, что квадратный корень из фототока линейно зависит от задерживающего напряжения.

Определена величина постоянной Планка:

$$\hbar_{\text{эксп}} = (1,28 \pm 0,16) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\hbar_{\text{теор}} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Вычислена красная граница фотоэффекта:

$$\lambda_k = (7246 \pm 1115) \text{ \AA}$$

И вычислена работа выхода материала катода:

$$W = (3,3 \pm 0,5) \text{ эВ}$$