

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5.1.1

## Фотоэффект

группа Б05-007

Статкевич Екатерина

Долгопрудный, 2022 г.

## Цель работы

Исследовать зависимость фототока от величины задерживающего потенциала и частоты падающего излучения, что позволяет вычислить величину постоянной Планка.

## Теоретическое введение

Фотоэффект — явление испускания электронов фотокатодом, облучаемым светом. Это явление хорошо объясняется фотонной теорией света. Взаимодействие монохроматического света с веществом можно описывать как взаимодействие с веществом частиц, называемых фотонами, которые обладают энергией  $\hbar\omega$  и импульсом  $\hbar\omega/c$ . 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. 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  $V_0$  очевидным соотношением  $E_{max} = eV_0$ . Тогда примет вид, называемый уравнением Эйнштейна:

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

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

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

т. е. корень квадратный из фототока линейно зависит от запирающего напряжения. Эта зависимость хорошо описывает экспериментальные данные.

В работе изучается зависимость фототока из фотоэлемента от величины задерживающего потенциала  $V$  для различных частот света  $\omega$ , лежащих в видимой области спектра.

С целью экспериментальной проверки уравнения Эйнштейна определяются потенциалы записания  $V_0$  при разных частотах света и строится зависимость  $V_0(\omega)$ , которая, как это следует из , должна иметь вид

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

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

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

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

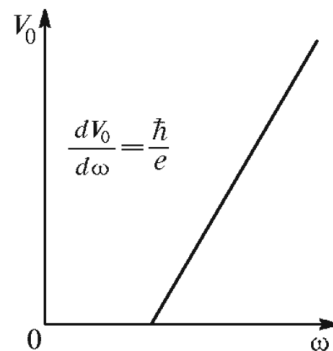


Рис. 2: Зависимость запирающего потенциала от частоты света

## Ход работы

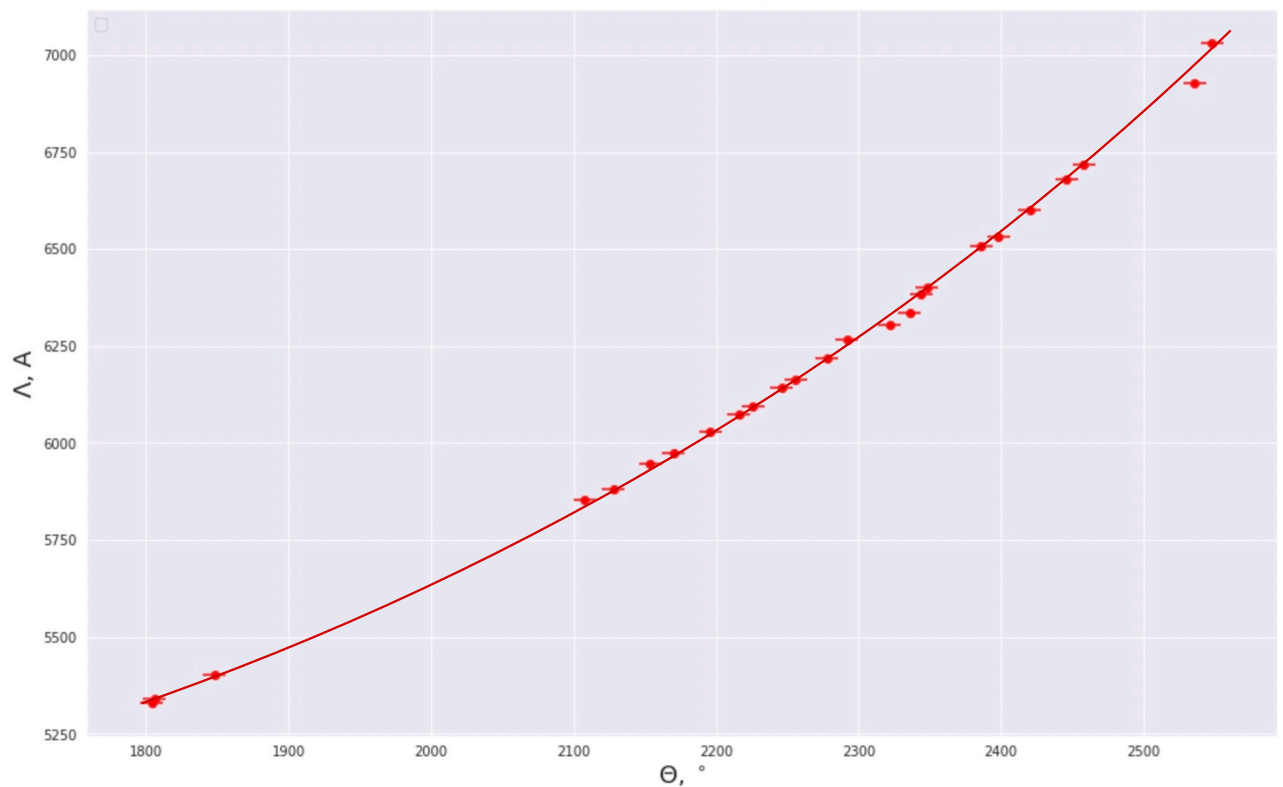
### Подготовка

### Градуировка монохроматора

Сначала выполним градуировку монохроматора. Проведем серию измерений для линий спектра неона, снимая зависимость длины волны света от параметра  $\theta$  барабана монохроматора. Результаты занесем в Таблицу и построим График зависимости, профитировав функцию  $\lambda(\theta)$  многочленом второй степени в силу нелинейности.

$\lambda$ ,	5331	5341	5401	5852	5882	5945	5975	6030
$\theta$ , °	1804	1806	1848	2108	2128	2154	2170	2196
$\lambda$ ,	6074	6096	6143	6164	6217	6267	6305	6334
$\theta$ , °	2216	2226	2246	2256	2278	2292	2322	2336
$\lambda$ ,	6383	6402	6507	6533	6599	6678	6717	6929
$\theta$ , °	2344	2348	2386	2398	2420	2446	2458	2536
$\lambda$ ,	7032							
$\theta$ , °	2548							

Таблица 1: Измерения для градуировки монохроматора



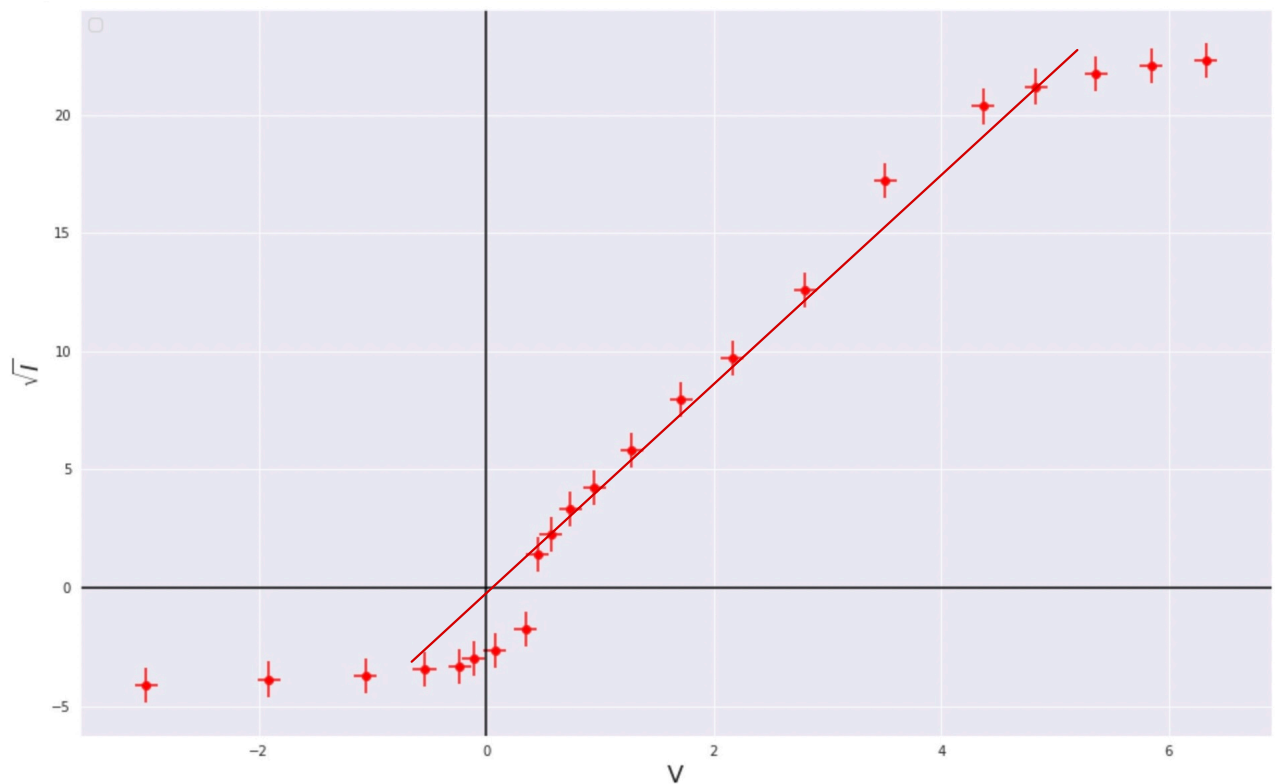
## Исследование зависимости фототока от величины запирающего потенциала

Для первой выбранной длины волны ( $\theta = 2464^\circ$ ) проведем измерения во всем спектре возможных напряжений, а для остальных — лишь при достаточно малых значениях тока и напряжения (т.е. вблизи потенциала запираения, где искомая зависимость описывается формулой. Согласно этой формуле, построим графики зависимости в координатах  $\sqrt{I}(V)$  и аппроксимируем линейные участки прямой.

Щель на фотоэлементе: 0,65 мм  $\Theta = 2464^\circ$

$V, V$	6.327	5.846	5.357	4.830	4.368	3.504	2.805	2.165
$I * 10^3$	497	487	473	449	414	297	158	94
$V, V$	1.715	1.276	0.952	0.738	0.571	0.449	0.346	0.078
$I * 10^3$	63	34	18	11	5	2	-3	-7
$V, V$	-0.113	-0.234	-0.542	-1.059	-1.910	-2.990		
$I * 10^3$	-9	-11	-12	-14	-15	-17		

Таблица 2: Измерения для градуировки монохроматора



Теперь проведем 5 серий измерений зависимости фототока от напряжения для разных длин волн падающего света, изменяя на монохроматоре параметр  $\theta$  и переводя его в длину волны с помощью градуировки. Ток приведен в безразмерных единицах в силу работы установки.

$V * 10^3, V * 10^3$	-688	-227	-90	256	447	744	1169	1483
$I * 10^3$	-10	-9	3	18	35	71	134	198

Таблица 3:  $\Theta = 2548^\circ$

$V * 10^3, V * 10^3$	1485	1070	687	366	23	-183	-421
$I * 10^3$	174	98	49	24	3	-6	-10

Таблица 4:  $\Theta = 2348^\circ$

$V * 10^3, V * 10^3$	-407	-180	18	201	507	985	1490
$I * 10^3$	-8	-2	12	23	50	105	167

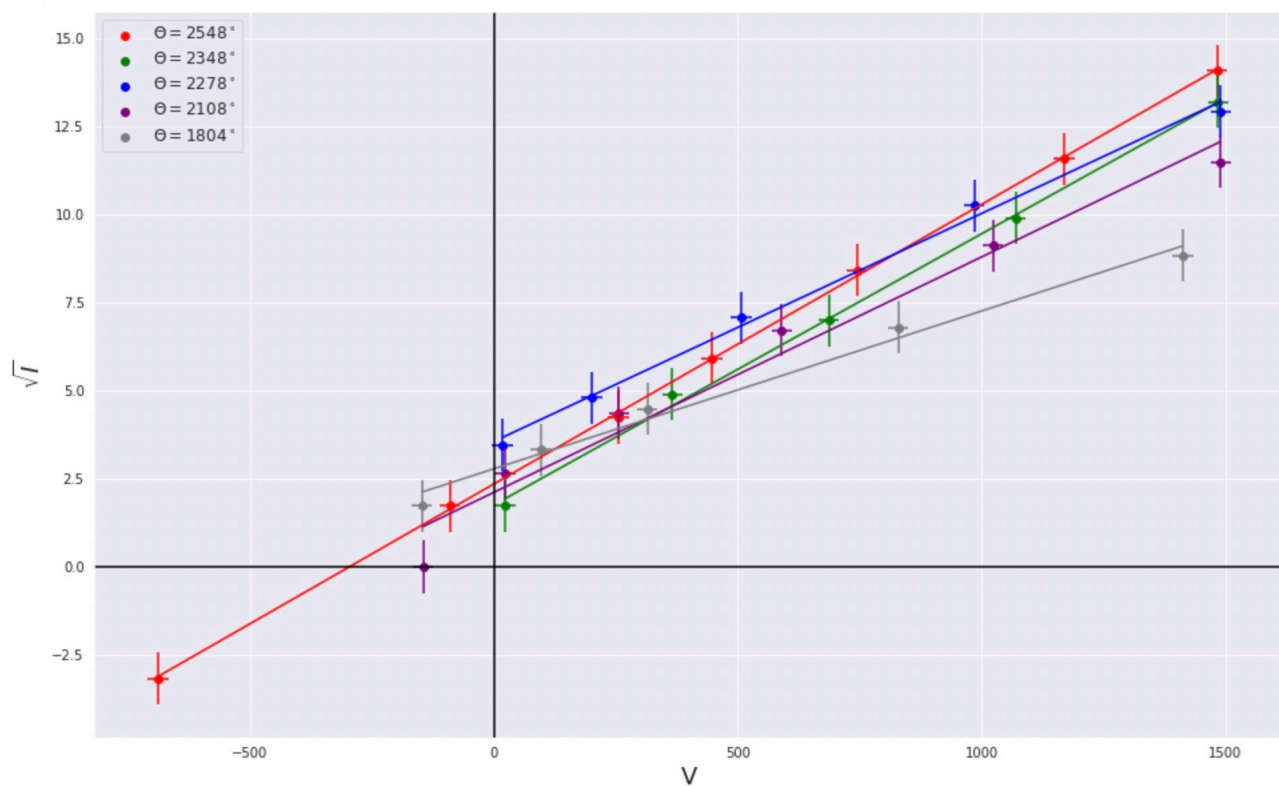
Таблица 5:  $\Theta = 2278^\circ$

$V * 10^3, V * 10^3$	1490	1023	590	257	23	-145	-422
$I * 10^3$	132	83	45	19	7	0	-10

Таблица 6:  $\Theta = 2108^\circ$

$V * 10^3, V * 10^3$	-422	-147	97	315	829	1413
$I * 10^3$	-8	3	11	20	46	78

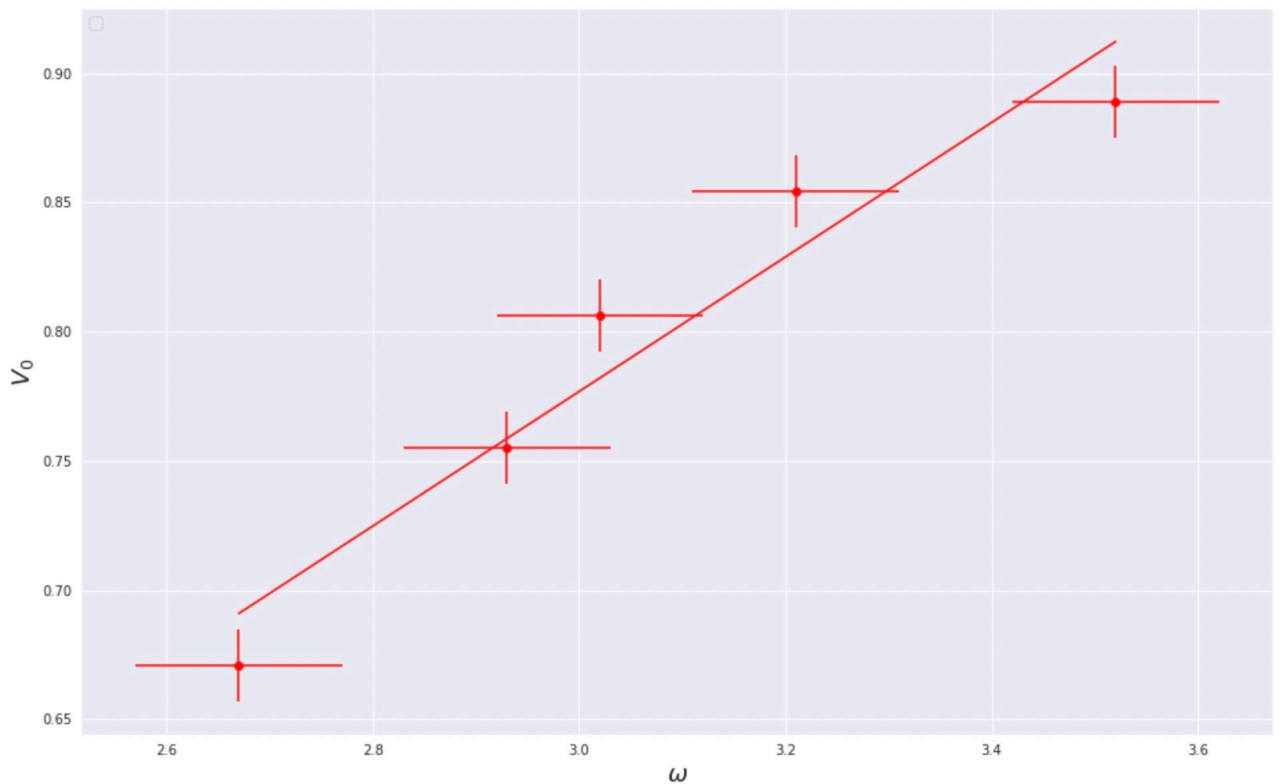
Таблица 7:  $\Theta = 1804^\circ$



Экстраполируя прямую к нулю, получим значения потенциала записания для каждой серии измерения (длины волны). Результаты сведем в Таблицу.

Таблица 8: Зависимость запирающего напряжения от частоты

$\lambda, \text{\AA}$	7032	6402	6217	5852	5331
$\omega,$	2.67	2.93	3.02	3.21	3.52
$V_0, \text{V}$	0.45	0.67	0.65	0.77	0.79



Из наклона прямой согласно получаем значение постоянной Планка:

$$\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e} \approx (0,99 \pm 0,21)10^{-34} \quad (6)$$

В пределах погрешности это согласуется с табличным значением  $\hbar = 1,05410^{-34}$ .

Нетрудно также оценить красную границу спектра:

$$\Lambda_k = \frac{2\pi c}{\omega} = (9,9 \pm 3,4) * 10^3 \text{ \AA}$$

И найти работу выхода

$$W = \hbar\omega = 1,03 \pm 0,34$$

## Вывод

Таким образом, в ходе выполнения работы мы убедились в явлении фотоэффекта и с помощью уравнения Эйнштейна измерили постоянную Планка, а также оценили красную границу спектра и работу выхода для нашей установки. Результаты вполне согласуются с табличными.