

Лабораторная работа № 5.1.1
Фотоэффект

Илья Прамский

Сентябрь 2024

1 Теоретическая справка

Фотоэффект - испускание электронов фотокатодом, облучаемым светом - хорошо объясняется фотонной теорией света: фотон с энергией $\hbar\omega$ выбивает электрон из поверхности металла и сообщает электрону кинетическую энергию

Энергетический баланс этого взаимодействия описывается уравнением:

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

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

Для измерения энергии вылетевших фотоэлектронов вблизи фотокатода располагают второй электрод(анод), на который подаётся потенциал. При достаточно большом ускоряющем напряжении($V > 0$) фототок достигает насыщения: все испущенные электроны попадают на анод. При некотором значении $V = -V_0$ (потенциал запираания) даже наиболее быстрые фотоэлектроны не могут достичь анода. Данная зависимость изображена на рисунке 1.

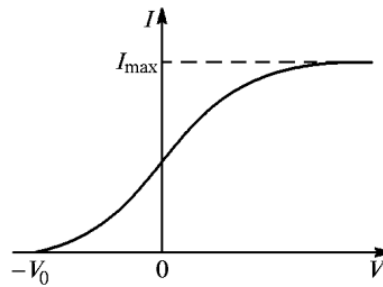


Рис. 1. Зависимость фототока от напряжения на аноде

Подставляя в 1 уравнение $E_{max} = eV_0$, получаем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

В самом простом случае, зависимость силы тока от напряжения $\sqrt{I} = f(V_0 - V)$.

Для экспериментальной проверки уравнения Эйнштейна, по графикам данной зависимости определяются потенциалы запираания при разных частотах света и строится зависимость $V_0(\omega)$, которая должна иметь вид:

$$V_0(\omega) = \frac{\hbar\omega - W}{e} \quad (3)$$

Получается, по наклону прямой можно найти постоянную Планка

$$\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e} \quad (4)$$

2 Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рисунке 2. Свет от источника S с помощью конденсора фокусируется на входную щель призменного монохроматора УМ-2, выделяющего узкий спектральный интервал, и попадает на катод фотоэлемента Ф-25

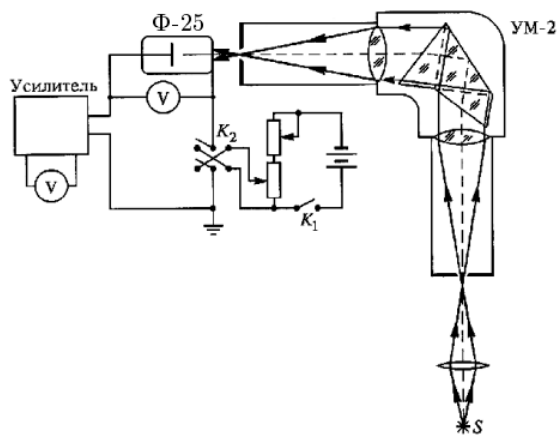


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

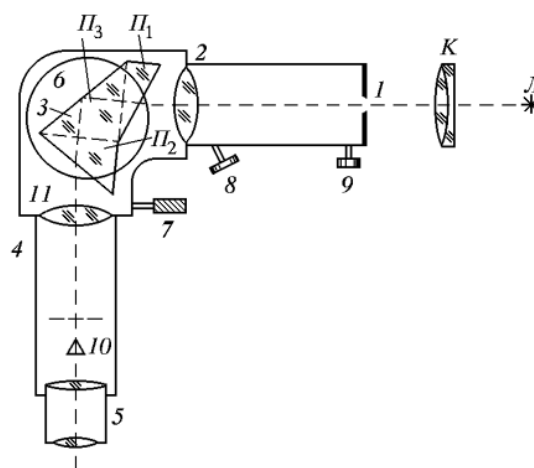


Рис. 3. Схема монохроматора

Основные элементы монохроматора представлены на рисунке 3.

Входная щель 1 с микрометрическим винтом 9 для её открытия на нужную ширину (0,01 - 4 мм).

Коллиматорный объектив 2 с микрометрическим винтом 8, что позволяет смещать объектив относительно щели

Система призм 3, предназначенная для выделения частоты и поворота лучей на 90 градусов

Поворотный столик 6 с винтом 7 для вращения барабана с целью поворота призмы, чтобы в поле зрения были другие участки спектра

Зрительная труба с объективом 4, окуляром 5, острием указателя 10.

Корпус 10, оптическая скамья для расположения линзы и источника, пульт управления.

3 Ход работы

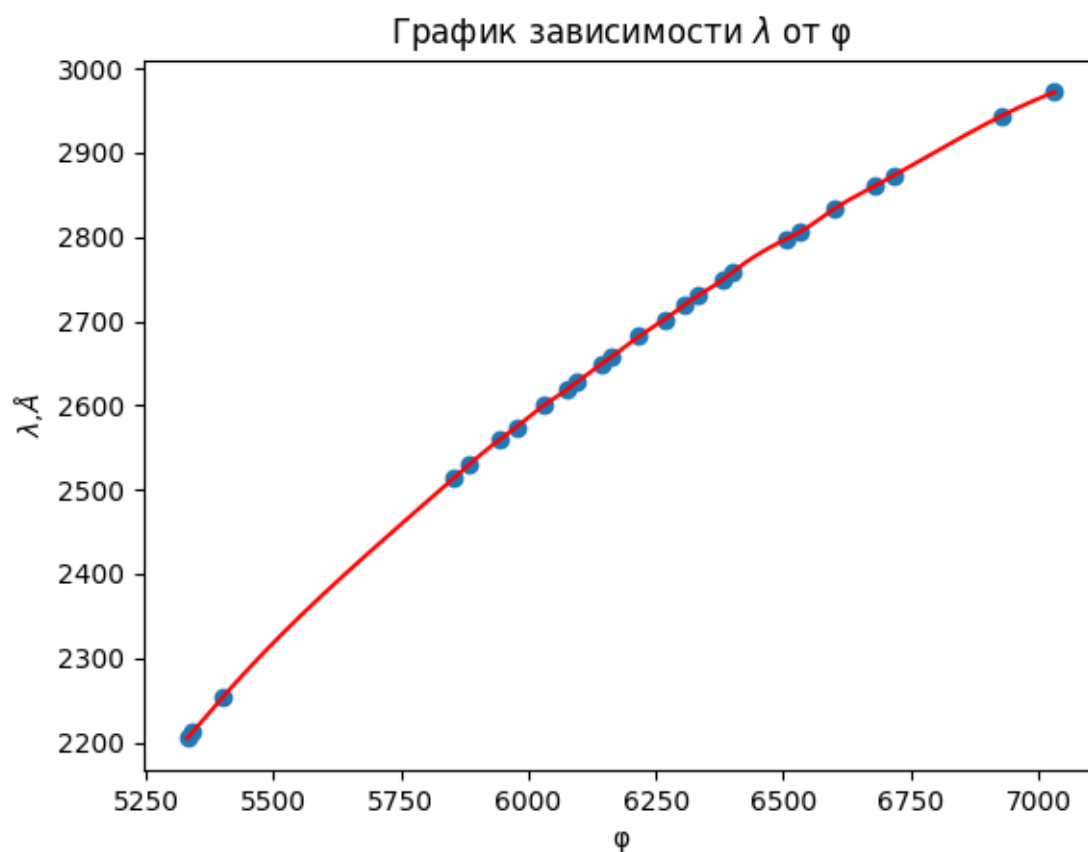
Для начала подготовим установку к работе. Для этого расположим неоновую лампу и линзу на оптическую скамью, настроим их так, чтобы свет попадал на входную щель. Далее откроем входную щель, включим подсветку окуляра и настроимся на чёткое изображение кончика указателя. Далее, для улучшения точности, вращая винт 8, настроим изображение спектра света так, чтобы избежать параллакса света и кончика указателя. Установка подготовлена к работе.

Градуировка монохроматора

Пользуясь таблицей из методических материалов, проградуируем барабан монохроматора по спектру неоновой лампы. Для этого построим (по известным из таблицы данным и полученной информации об углах из эксперимента) график зависимости длины волны света от угла на барабане.

λ , Å	5331	5341	5401	5852	5882	5945	5976	6030	6074	6096	6143	6164	6217
φ	2205	2212	2254	2513	2529	2560	2574	2600	2618	2628	2649	2658	2682
λ , Å	6267	6305	6334	6383	6402	6507	6533	6599	6678	6717	6929	7032	
φ	2702	2719	2731	2750	2759	2798	2806	2833	2860	2873	2944	2972	

Таблица 1 – Таблица с длинами волн полос спектра и соответствующими им углами на барабане



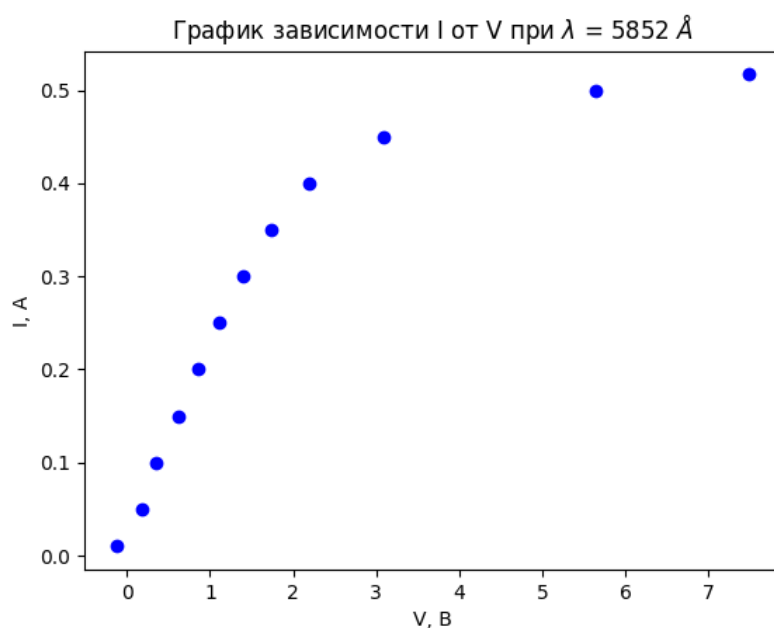
Исследование зависимости фототока от величины запирающего потенциала

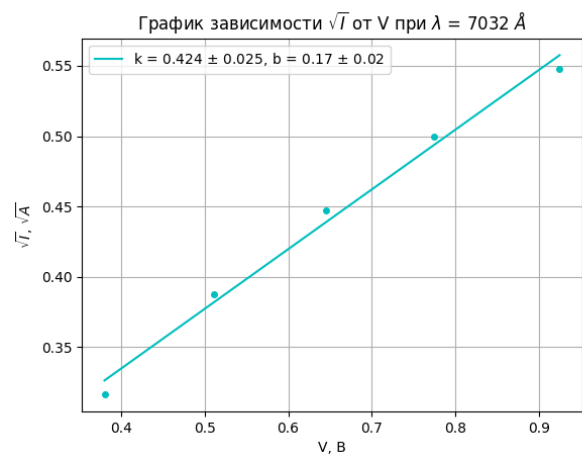
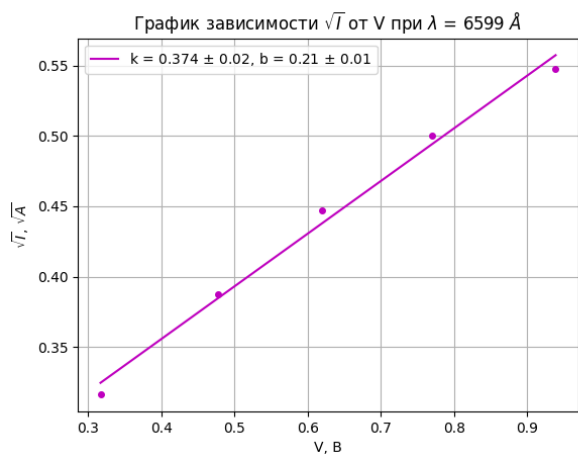
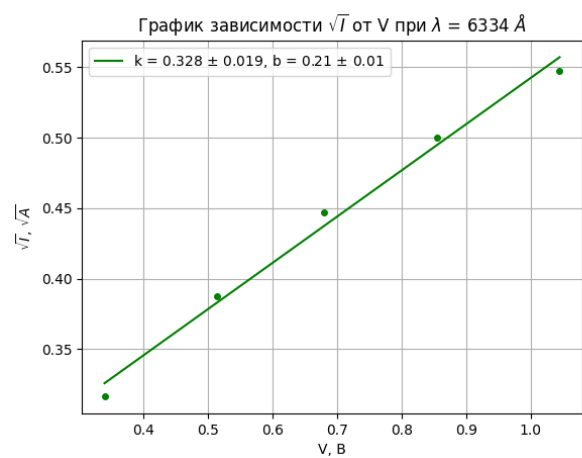
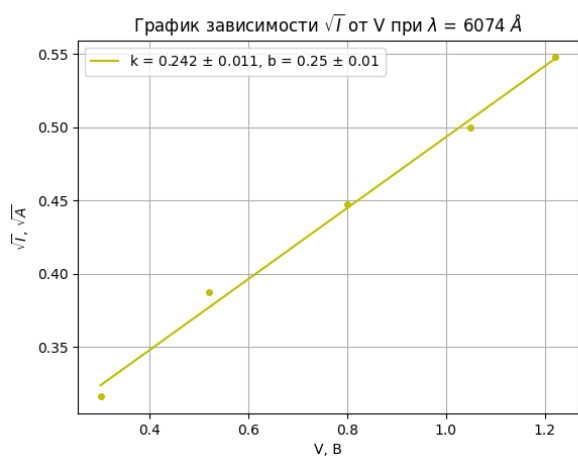
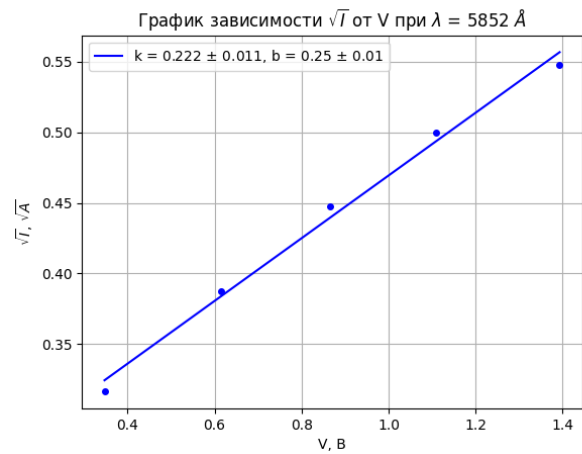
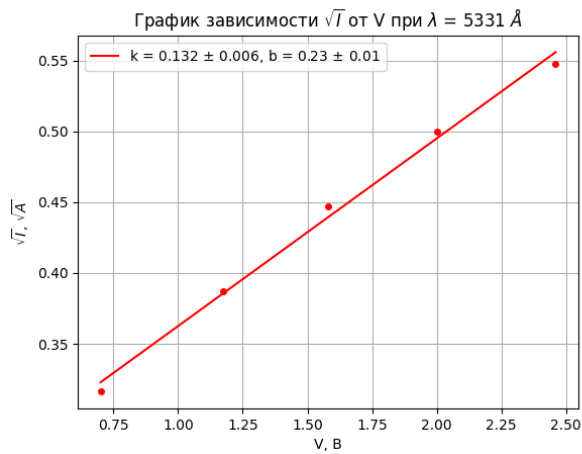
Установим вместо неоновой лампы электрическую, настроим её на резкое изображение на входной щели, затем установим показания вольтметра близким к нулю при закрытом входе монохроматора. После этого откроем входную щель.

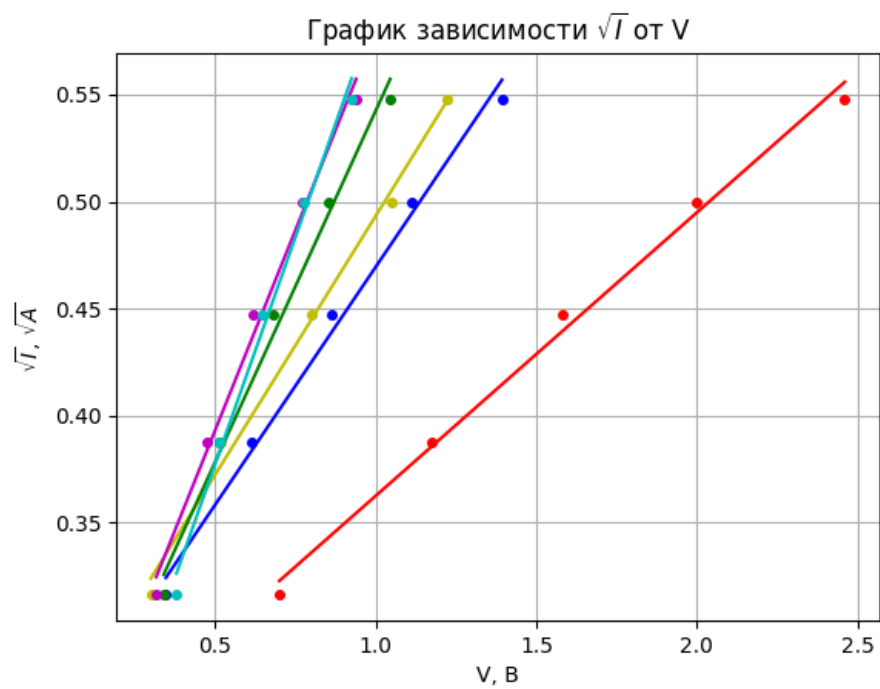
Теперь же измерим зависимость фототока от напряжения. В моём случае установка была неисправна, из-за чего при выставлении какого-то фиксированного значения напряжения V , фототок со временем стремительно увеличивался. В связи с этим реальная зависимость стала больше похожей на линейную

По указанию преподавателя, я рассмотрел зависимость, как линейную ($I = f(V)$), но получил различие со справочными данными на несколько порядков, из-за чего я решил взять данные по данному пункту у одногруппник. Рассмотрев как изменяется фототок в зависимости от напряжения, построим графики зависимости $\sqrt{I} = f(V)$ для 5 разных частот и для каждой из них найдём значение запирающего потенциала.

$\lambda, \text{\AA}$											
5331		5852		6074		6334		6599		7032	
$\sqrt{I}, A^{\frac{1}{2}}$	$V, \text{В}$	$\sqrt{I}, A^{\frac{1}{2}}$	$V, \text{В}$	$\sqrt{I}, A^{\frac{1}{2}}$	$V, \text{В}$	$\sqrt{I}, A^{\frac{1}{2}}$	$V, \text{В}$	$\sqrt{I}, A^{\frac{1}{2}}$	$V, \text{В}$	$\sqrt{I}, A^{\frac{1}{2}}$	$V, \text{В}$
0,32	0,70	0,32	0,35	0,32	0,30	0,32	0,34	0,32	0,32	0,32	0,38
0,39	1,17	0,39	0,62	0,39	0,52	0,39	0,52	0,39	0,48	0,39	0,51
0,45	1,58	0,45	0,87	0,45	0,80	0,45	0,68	0,45	0,62	0,45	0,65
0,50	2,00	0,50	1,11	0,50	1,05	0,50	0,86	0,50	0,77	0,50	0,78
0,55	2,46	0,55	1,39	0,55	1,22	0,55	1,05	0,55	0,94	0,55	0,93



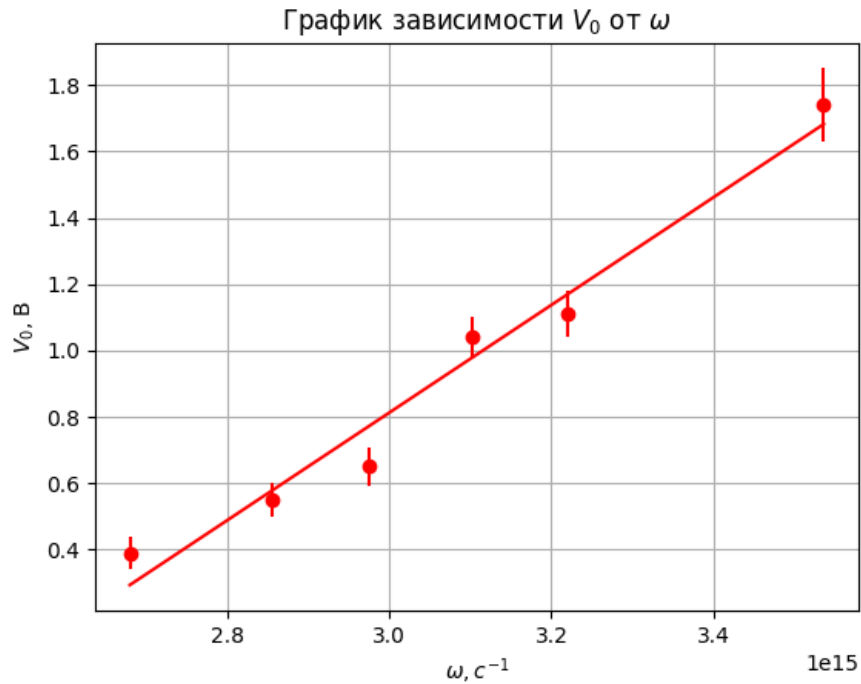




Найдём коэффициенты k и b для полученных линейных зависимостей, а затем, приравняв фототок к нулю, найдём потенциал насыщения.

$\lambda, \text{\AA}$	$k, \frac{A^{\frac{1}{2}}}{B}$	$\sigma_k, \frac{A^{\frac{1}{2}}}{B}$	$b, A^{\frac{1}{2}}$	$\sigma_b, A^{\frac{1}{2}}$	V_0, B	σ_{V_0}, B
5331	0,132	0,006	0,23	0,01	1,74	0,11
5852	0,222	0,011	0,25	0,01	1,11	0,07
6074	0,242	0,011	0,25	0,01	1,04	0,06
6334	0,328	0,019	0,21	0,01	0,65	0,06
6559	0,370	0,020	0,21	0,01	0,55	0,05
7032	0,420	0,020	0,17	0,02	0,39	0,05

Далее построим график зависимости $V_0 = f(\omega)$. Получилось



Получается, $k = \frac{h}{e} = 1,62 \pm 0,15 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{Кл}}$. $h = 2,6 \pm 0,2 \cdot 10^{-34} \text{Дж} \cdot \text{с}$.

4 Вывод

В ходе данной работы было исследовано явление фотоэффекта, проверена справедливость уравнения Эйнштейна для фотоэффекта при помощи рассмотрения зависимостей, которые она задаёт между величинами. Получившееся значение $\frac{h}{e} = 1,62 \pm 0,15 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{Кл}}$, теоретическое же равно $6,57 \cdot 10^{-16} \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{Кл}}$.