

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

Отчёт о выполнении лабораторной работы 1.1

Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для
фотоэффекта и определение постоянной Планка

Авторы:

Тихонов Дмитрий Романович,
студент группы Б01-206а

Павловский Кирилл Михайлович,
студент группы Б01-206а

Долгопрудный, 2024

1 Введение

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

В работе используются: фотоэлемент Ф-25, призмный монохроматор УМ-2, неоновая лампа, лампа накаливания К-12, вольтметры GDM-8145, блок питания.

2 Теоретические сведения

3 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 (рис. 1), и все испущенные электроны попадают на анод.

Рис. 1: Зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента

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 (1) 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.

4 Методика измерений и экспериментальная установка

4.1 Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 2.

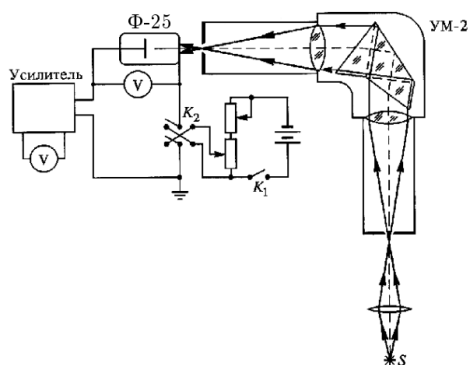


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

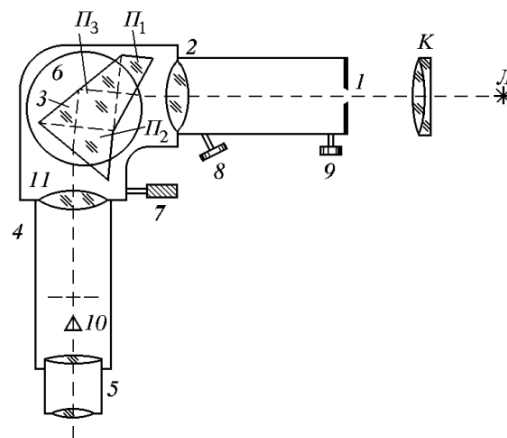


Рис. 3: Схема монохроматора.

Излучения источника S фокусируется на входную щель призменного монохроматора УМ-2, выделяющего узкий спектральный интервал, и попадает на катод фотоэлемента Ф-25.

Рассмотрим схему монохроматора рисунок 3. Входная щель 1 снабжена микрометрическим винтом 9 для регулировки нужной ширины щели. Коллиматорный объектив 2 имеет микрометрический винт 8, который позволяет смещать объектив относительно щели при фокусировке различных спектральных линий. Спектральная призма 3 выделяет узкую линию спектра падающего излучения. Поворотный столик 6 и барабан 7 с делениями позволяют наводиться на нужную спектральную линию. Зрительная труба, состоящая из объектива 4 и окуляра 5, позволяет проградуировать барабан на спектральные линии. При измерениях зрительная трубка заменяется блоком фотодетектора.

Фототок на фотоэлемента усиливается усилителем и напряжение, пропорциональное току измеряется вольтметром. Величина задерживающего напряжение фотоэлемента измеряется вторым вольтметром. Величину задерживающего напряжения можно регулировать с помощью блока питания.

4.2 Оборудование и приборы

- Цифровые мультиметры GDM-8145. В режиме измерения постоянного напряжения погрешность измерения оценивается по формуле

$$\pm(0.03\% \cdot \langle \text{измеренное значение} \rangle + 4 \text{ единицы младшего разряда}).$$

В режиме измерения постоянной силы тока на пределе 20 А допустимое отклонение измеренных значений от реальных составляет

$$\pm(0.3\% \cdot \langle \text{измеренное значение} \rangle + 2 \text{ единицы младшего разряда}).$$

- Фотоэлемент Ф-25.
- Призменный монохроматор УМ-2. Рабочий диапазон от 0.38 мкм до 1.00 мкм.
- Неоновая лампа.
- Лампа накаливания К-12.
- Блок питания.

4.3 Методика эксперимента

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, как это следует из (2), должна иметь вид

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

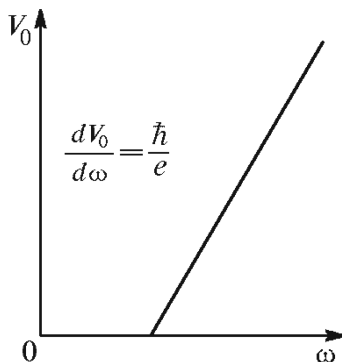


Рис. 4: Зависимость запирающего потенциала от частоты света

Потенциал запираения V_0 для любого катода линейно зависит от частоты света ω . По наклону прямой на графике $V_0(\omega)$ (рис. 4) можно определить постоянную Планка:

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

Как показывает формула (5), 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 $I(V)$ (рис. 1). Все это определяет выбор пригодных для опыта катодов.

5 Результаты измерений и обработка данных

Сначала выполним градуировку монохроматора. Проведём серию измерений для линий спектра неона, снимая зависимость длины волны света от параметра N барабана монохроматора. Построим график градуировочной кривой призмического монохроматора (рис. 5).

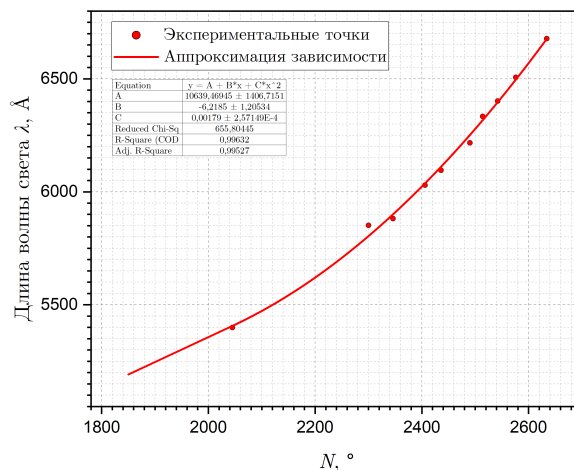


Рис. 5: Градуировочная кривая монохроматора

Погрешность измерения угла $\sigma_N = 2^\circ$. Длина спектральной линии является табличным значением, погрешностью её определения пренебрегаем.

Видно, что график не является прямой и поэтому необходимо было провести градуировку: поставить в соответствие каждой спектральной линии угол, измеренный по отсчётному барабану.

Построим графики зависимостей корня из напряжения, пропорционального току, от задерживающего напряжения $\sqrt{U_I}(V)$ (рис. 6).

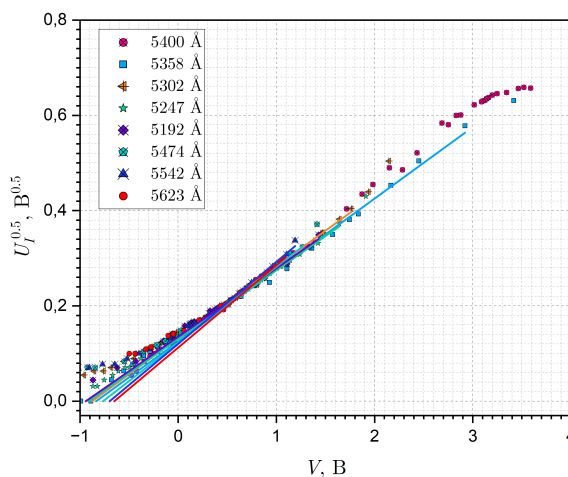


Рис. 6: График зависимости $\sqrt{U_I}(V)$

Согласно теории $\sqrt{U_I} \propto V$. Методом наименьших квадратов построим аппроксимирующие кривые и определим величину задерживающего напряжения:

$$\begin{aligned}
\lambda = 5623 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.65 \pm 0.02) \text{ В}, \\
\lambda = 5542 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.71 \pm 0.02) \text{ В}, \\
\lambda = 5474 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.77 \pm 0.02) \text{ В}, \\
\lambda = 5400 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.80 \pm 0.02) \text{ В}, \\
\lambda = 5358 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.84 \pm 0.03) \text{ В}, \\
\lambda = 5302 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.87 \pm 0.03) \text{ В}, \\
\lambda = 5247 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.90 \pm 0.03) \text{ В}, \\
\lambda = 5192 \text{ \AA}, V_0 &= -(0.95 \pm 0.04) \text{ В}.
\end{aligned}$$

Построим графики зависимостей $U_I(V)$ (рис. 7).

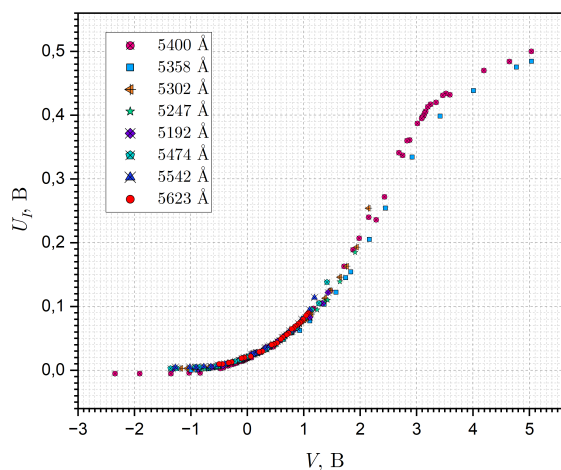


Рис. 7: График зависимости $U_I(V)$

Видно, что с увеличением длины волны значение тока насыщения увеличивается, а величина запирающего потенциала уменьшается.

6 Заключение

- В работе была экспериментально подтверждена линейная зависимость корня из фототока от величины запирающего потенциала:

$$\sqrt{I} \propto V_{\text{зап}}.$$

- Была подтверждена линейная зависимость запирающего потенциала от частоты падающего на фотоэлемент излучения:

$$V_{\text{зап}} \propto \omega.$$