

Бичина Марина, Карташов Константин Б04-005,
Лабораторная работа №. 5.1.1 «Экспериментальная
проверка уравнения Эйнштейна для фотоэффекта и
определение постоянной Планка»

Цель работы:

1. Исследовать зависимость фототока от
 - (а) величины задерживающего потенциала
 - (б) частоты падающего излучения
2. вычислить постоянную Планка

1 Теоретическая справка

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

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

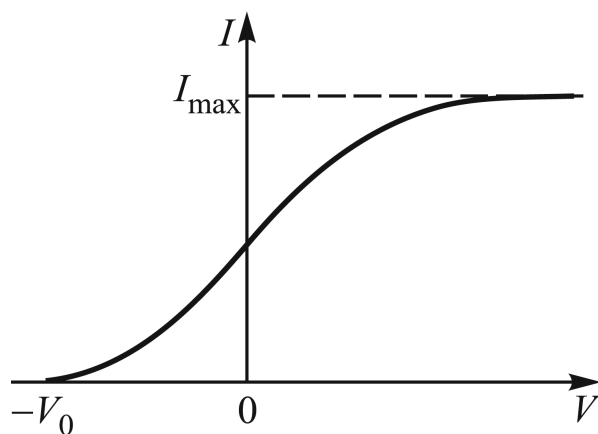


Рис. 1: Зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента

Где 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 анод, на который подается задерживающий ($V < 0$) или ускоряющий

($V > 0$) потенциал. При достаточно больших ускоряющих напряжениях фототок достигает насыщения (рис. ??): 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. Следовательно, максимальная кинетическая энергия E_{max} электронов связана с запирающим потенциалом V_0 соотношением $E_{max} = eV_0$. Тогда (??) примет вид, называемый **уравнением Эйнштейна**:

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

Чтобы определить величину запирающего напряжения, надо правильно экстраполировать получаемую токовую зависимость к нулю, т. е. определить, какова функциональная зависимость $I(V)$. Расчет для плоского катода, освещаемого светом, и параллельному ему аноду приводит к зависимости

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

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

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

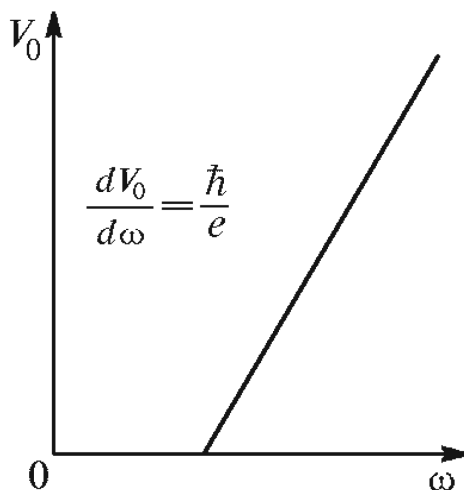


Рис. 2: Зависимость запирающего потенциала от частоты света

Потенциал запираения V_0 для любого катода линейно зависит от частоты света ω . По наклону прямой на графике $V_0(\omega)$ (рис. ??) 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.

Описание установки: Принципиальная схема установки представлена на рисунке 3. Установка состоит из:

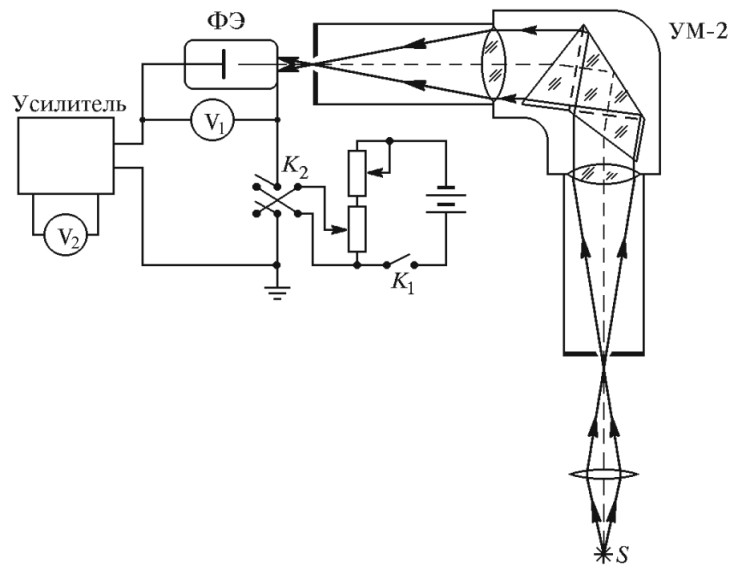


Рис. 3: Принципиальная схема установки

1. Источника света S (лампа накаливания), свет от которого фокусируется входную на щель с помощью конденсора
2. Призмного монохроматора УМ-2, выделяющего узкий спектральный интервал
3. Фотоэлемента ФЭ (конструктивно представляет собой откачанный до высокого вакуума стеклянный баллон диаметром 25 мм и высотой 30 мм, внутри которого расположены фотокатод и анод)
4. Усилителя постоянного тока

2 Ход работы

2.1 Градуировка шкалы монохроматора

Поставим в качестве источника света неоновую лампу. Через окуляр будем наблюдать линии спектра неоновой лампы. Измерим показания шкалы монохроматора θ соответствующие некоторым известным полосам спектра (табл. 1).

По данным из табл. 1 построим калибровочный график, предполагая, что зависимость длины волны λ от показания θ линейная (рис. 4).

| | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| N | 23 | 22 | 20 | 15 | 13 | 8 | 7 | 1 |
| θ | 1880 | 2146 | 2188 | 2266 | 2328 | 2380 | 2428 | 2492 |
| $\lambda, \text{\AA}$ | 5400.56 | 5852.49 | 5944.83 | 6143.06 | 6217.28 | 6402.24 | 6506.53 | 6717.04 |

Таблица 1: Номер полосы и соответствующие показание шкалы и длина волны

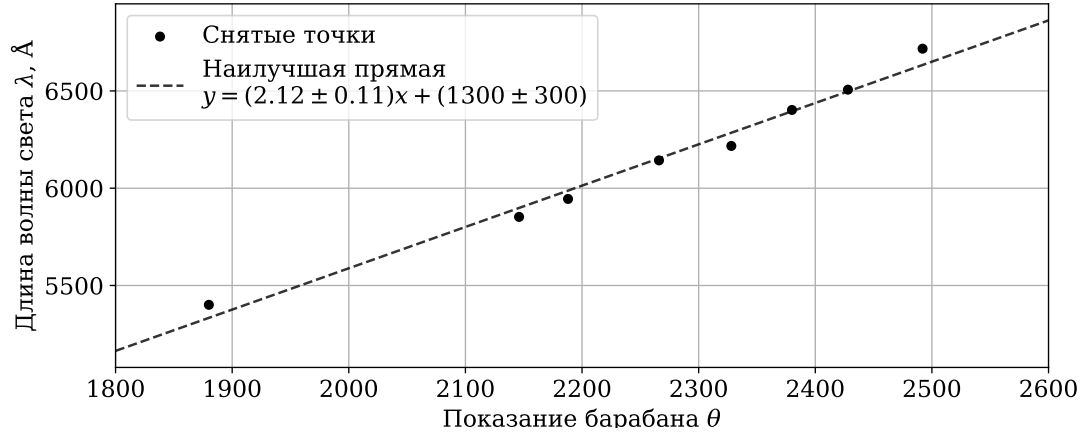


Рис. 4: Калибровочный график $\lambda(\theta)$

2.2 Снятие вольт-амперной характеристики фотоэлемента

Поставим в качестве источника света лампу накаливания. Вместо окуляра поставим фотоэлемент (ФЭ). Для начального измерения выставим монохроматор на зелёный свет ($\theta_1 = 1880$, $\lambda_1 = 5330 \text{ \AA}$). Подберём размеры щелей таким образом, чтобы напряжение на ФЭ не превышало $I \sim 0.6 \text{ В}$. Меняя тормозящий потенциал U и измеряя напряжение на ФЭ I получим вольт-амперную характеристику фотоэлемента для длины волны λ_1 . Построим график измеренной ВАХ (рис. 5).

Далее измерим ВАХ ФЭ для других длин волн. Снимать ВАХ будем в для отрицательных тормозящих напряжений, так как нас интересует запирающее напряжение. Построим график измеренных ВАХ (рис. 6)

Пользуясь формулой (3) определим по измеренным данным запирающее напряжение для различных длин волн. Для этого построим графики зависимости корня напряжения на ФЭ \sqrt{I} от тормозящего напряжения (рис. 7). Графики должны иметь линейный вид. Проведя прямую по методу наименьших квадратов найдём их точки пересечения с осью абсцисс. Точка пересечения прямой $y = ax + b$ с осью абсцисс с погрешностью считается по формуле:

$$x_0 = -\frac{b}{a}, \quad \Delta x_0 = x_0 \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}.$$

Значения для U_0 и ΔU_0 для измеренных длин волн запишем в таблицу 2.

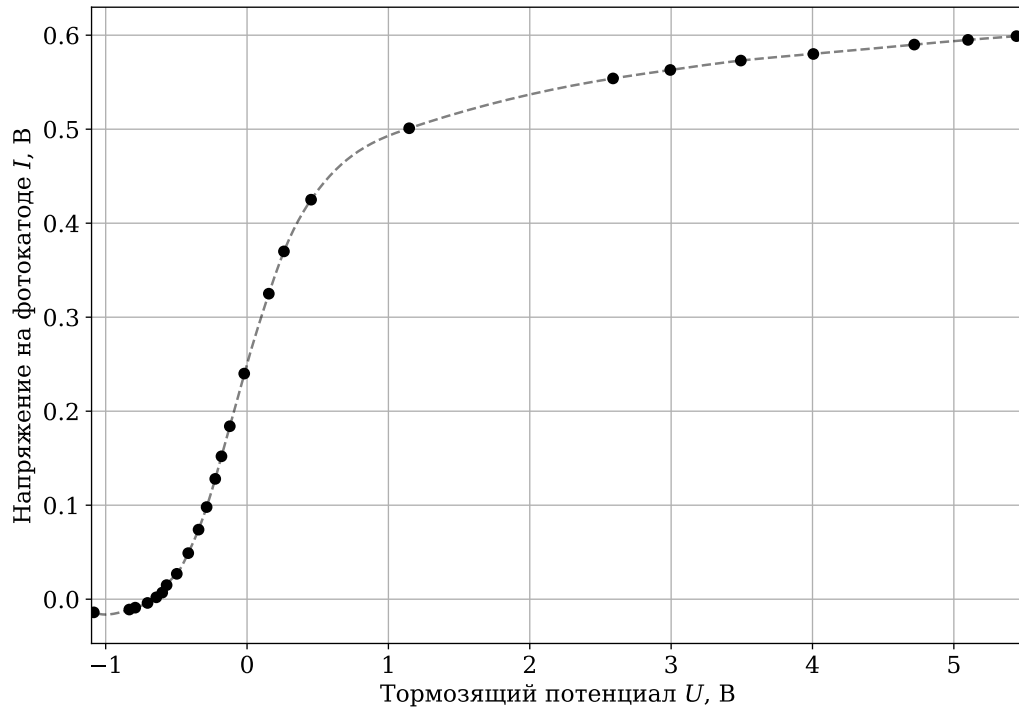


Рис. 5: ВАХ ФЭ для длины волны $\lambda_1 = 5330 \text{ \AA}$

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| $U_0, \text{ В}$ | 0.89 | 0.82 | 0.80 | 0.764 | 0.72 | 0.69 | 0.637 | 0.591 | 0.52 |
| $\Delta U_0, \text{ В}$ | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.008 | 0.01 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.02 |
| $\lambda, \text{ \AA}$ | 4484 | 4696 | 4909 | 5121 | 5334 | 5546 | 5758 | 5971 | 6183 |

Таблица 2: Значения запирающего напряжения для различных длин волн

2.3 Определение постоянной Планка

Построим зависимость измеренных значений запирающего напряжения от круговой частоты света $\omega = 2\pi c/\lambda$, и проведём наилучшую прямую (рис. 8). Определим величину постоянной Планка по формуле (5):

$$\hbar = 3.1 \cdot 10^{-16} \cdot e = 3.1 \cdot 10^{-16} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 5.0 \cdot 10^{-35} \text{ Дж} \cdot \text{с},$$

$$\Delta \hbar = 0.2 \cdot 10^{-16} \cdot e = 0.3 \cdot 10^{-35} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Получили значение $\hbar = (0.50 \pm 0.03) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

3 Выводы

1. Пронаблюдали фотоэффект, и получили вольт-амперную характеристику соответствующую теоретической.
2. Подтвердили уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, показав, что запирающее напряжение пропорционально частоте света.

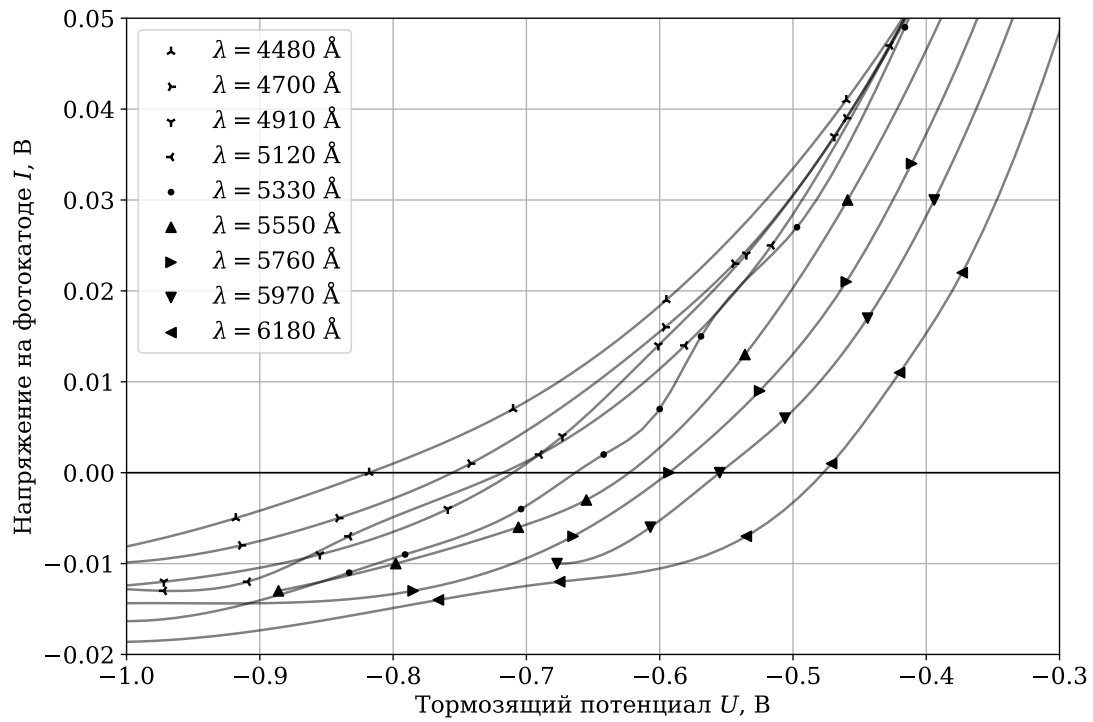


Рис. 6: ВАХ ФЭ для нескольких длин волн

3. Получили оценку постоянной планка $\hbar = (0.50 \pm 0.03) \cdot 10^{-34}$ Дж·с, что примерно в два раза меньше действительного значения $\hbar = 1.0545 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Полученное значение может быть улучшено, если снять более точный калибровочный график, который учитывает нелинейность шкалы монохроматора.

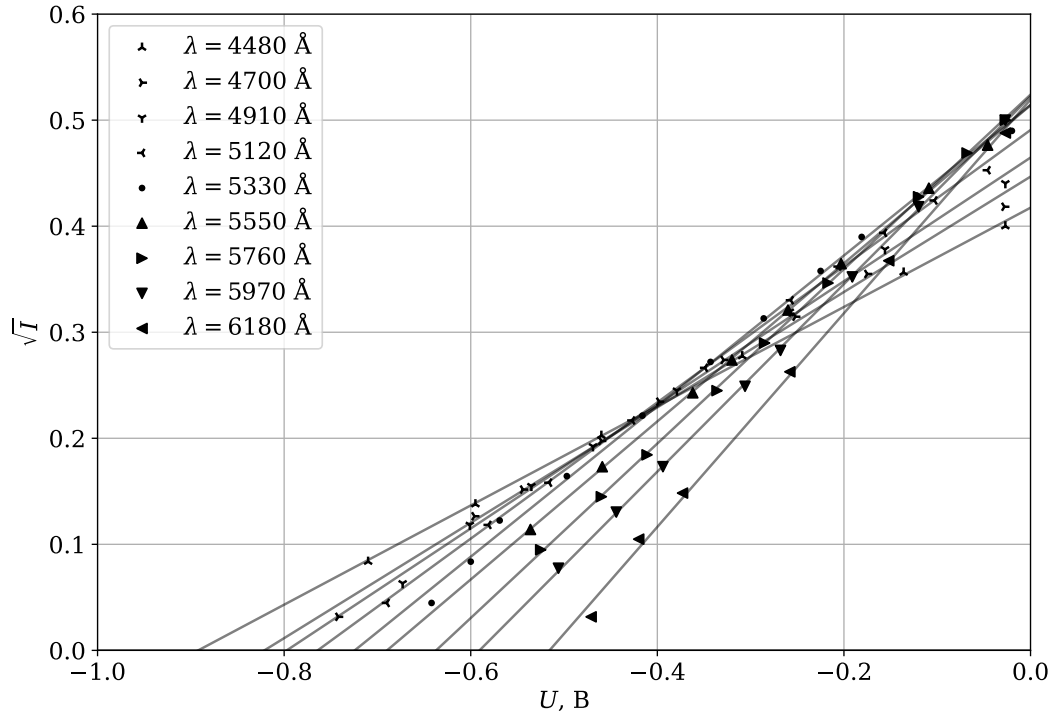


Рис. 7: Зависимость $\sqrt{I}(U)$ и наилучшие прямые

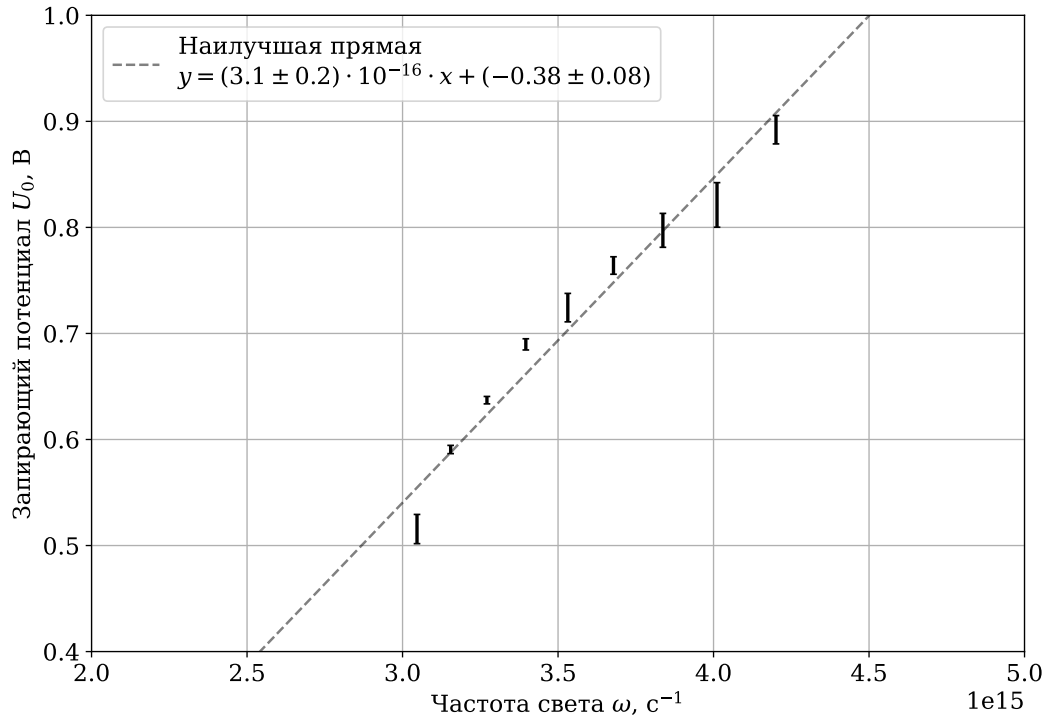


Рис. 8: Зависимость $U_0(\omega)$ и наилучшая прямая