

1.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА УРАВНЕНИЯ ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ФОТОЭФФЕКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

Севериков Павел, 674

Теория

Явление внешнего фотоэлектрического эффекта заключается в испускании электронов фотокадом. При столкновении фотона с энергией $\hbar\omega$ и импульсом $\frac{\hbar\omega}{c}$ с электроном фотокада энергия фотона полностью передается электрону и фотон прекращает свое существование. Соотношение энергий при столкновении описывается следующим соотношением:

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

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

Для измерения энергии вылетевших фотоэлектронов устанавливают второй электрод с задерживающим ($V < 0$) или ускоряющим потенциалом ($V > 0$).

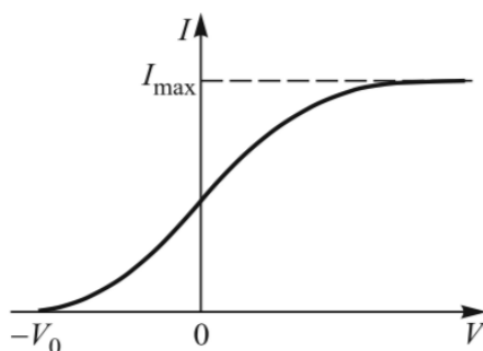


Рис. 1. Зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента

Максимальная кинетическая энергия E_{max} электрона связана с запирающим потенциалом соотношением $E_{max} = eV_0$. И отсюда следует формула Эйнштейна для фотоэффекта:

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

Рассмотрим проблему нахождения максимальной кинетической энергии электронов E_0 . Согласно квантовой механике, энергия частицы, находящиеся в потенциальной яме может принимать только дискретный набор значений. Для электронов говорят не об уровнях энергии, но об образовании зоны разрешенных значений энергии электронов в металле. Спин(угловой момент) электрона равен $1/2$, такие частицы называют фермионами, они подчиняются **принципу Паули: в одном квантовом состоянии находятся не более двух электронов**. Отсюда следует, что электроны проводимости не будут находиться на дне ямы, но заполнят все разрешенные уровни энергии от 0 до E_F – энергии Ферми, которая определяется концентрацией электронов.

При переходе электрона из металла в металл образуется «симметричный» заряд внутри металла, который притягивает электрон с силой $\frac{e^2}{4x^2}$. Суммируя работу получаем энергию W нужную для вылета электрона на величину порядка межатомных состояний.

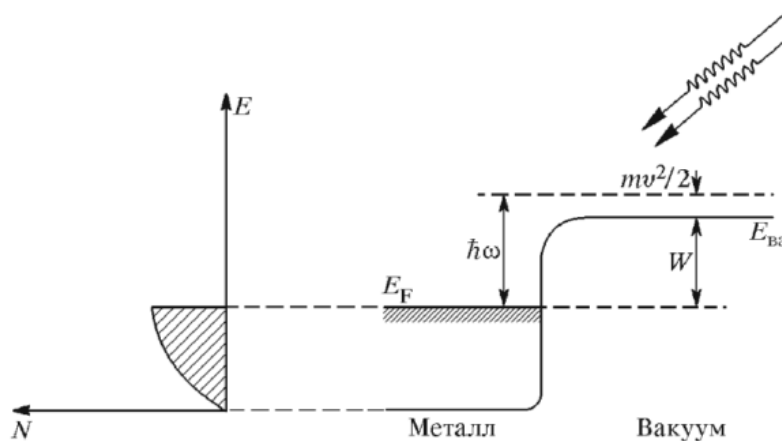


Рис. 2. Представление твердого тела в виде потенциальной ямы, в которой электронный газ. Для простоты считается, что в металле есть только проводимости. Слева показана функция распределения электронов по энергиям (число электронов с заданными значениями энергии) при $T=0$ (заштрихованы), $E_{\text{вак}}$ — уровень энергии электрона, в вакууме, E_F — энергия Ферми, W — работа выхода

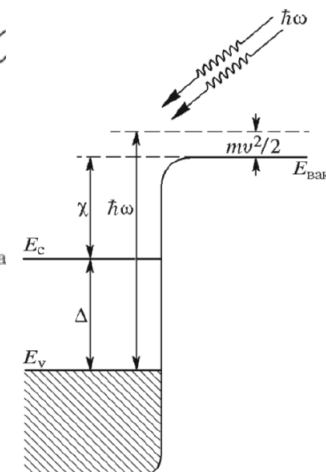


Рис. 3. Энергетические характеристики границы полупроводник-вакуум: E_c — дно зоны проводимости, E_v — потолок валентной зоны, Δ — ширина запрещенной зоны, χ — электронное средство; занятые электронные состояния заштрихованы

Распределение электронов в полупроводниках сильно отличается от распределения электронов в металлах: при нуле температур в полупроводниках внешние валентные электроны полностью заполняют зону разрешенных значений энергии, а в зоне проводимости их нет.

Основные характеристики фотоэмиссии:

1. Ширина запрещенной зоны Δ — разность энергий между потолком валентной зоны E_v и дном зоны проводимости E_c .
2. Электронное средство χ — разность между краем зоны проводимости E_c и уровнем энергии $E_{\text{вак}}$.
3. Квантовый выход — число эмитированных поверхностью вещества электронов, делённое на число падающих на поверхность фотонов.

Для того чтобы свет мог выбить электрон из полупроводника минимальная энергия кванта должна превысить пороговое значение:

$$W = \hbar\omega_{\min} = \Delta + \chi \quad (3)$$

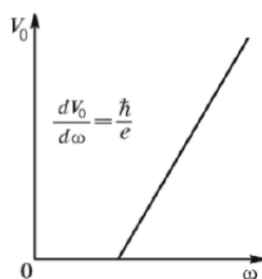


Рис. 4. Зависимость запирающего потенциала от частоты света

Для того, чтобы определить величину запирающего напряжения нам надо правильно экстраполировать получаемую токовую зависимость к нулю нам надо узнать функциональную зависимость $I(V)$. Расчет для плоского катода дает зависимость

$$\sqrt{I} \propto (V_0 - V). \quad (4)$$

В работе изучается зависимость фототока из фотоэлемента от величины потенциала V для разных частот света ω . Для этого строится зависимость $V_0(\omega)$:

$$V_0(\omega) = \frac{\hbar\omega - W}{e}. \quad (5)$$

Потенциал записания линейно зависит от частоты света ω , поэтому по наклону прямой можно найти постоянную Планка:

$$\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e}. \quad (6)$$

Экспериментальная установка

Чувствительность ФЭ лежит в области от 300 до 800 нм.

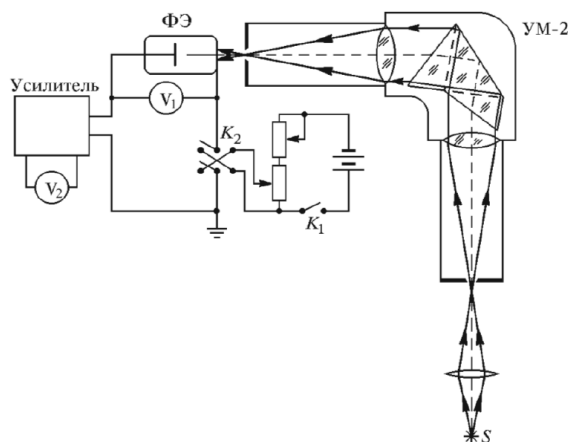
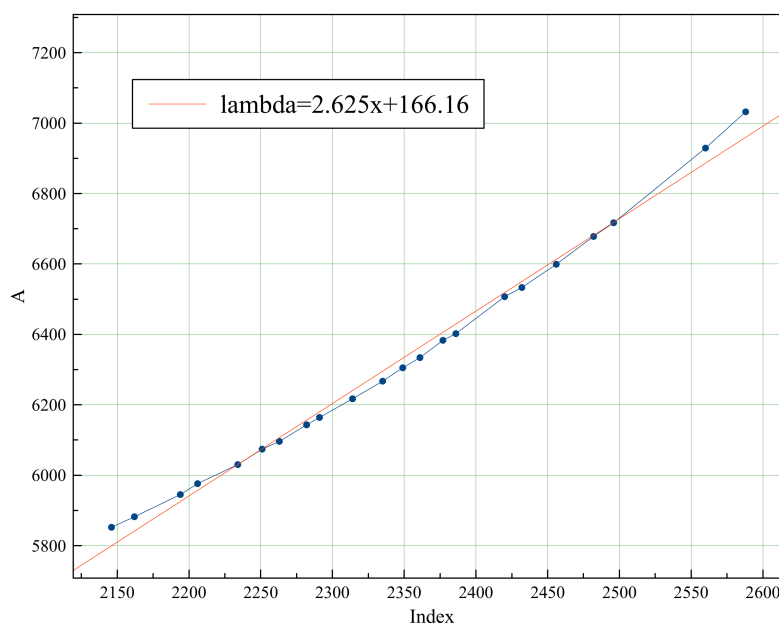


Рис. 5. Принципиальная схема экспериментальной установки

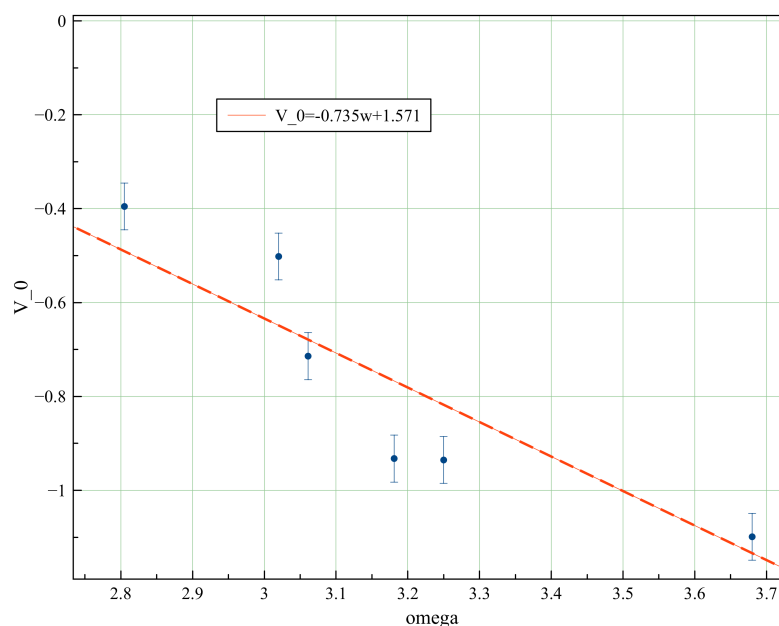
Результаты работы

Проведем все необходимые для проведения эксперимента мероприятия: включим блок питания, произведем градуировку монохроматора, заменим окуляр. Добьемся яркого света на входной щели монохроматора, её ширина примерно 0.3 мм. С помощью потенциометров «Грубо» и «Плавно» исследуем **зависимость показаний тока от величины тормозящего потенциала**. При градуировке запишем некоторые точки, получим прямую градуировки:



Теперь непосредственно снимем зависимости в координатах (\sqrt{I}, V) и, экстраполируя данные, найдем запирающие напряжения из сделанных графиков

Для каждого графика мы знаем точку пересечения с прямой $I = 0$, то есть запирающее напряжение, построим график V_0 от w и найдем постоянную Планка. ($w = 2\pi c/\lambda$, λ находим из калибровочного графика, подставляя значение x , полученное в работе)



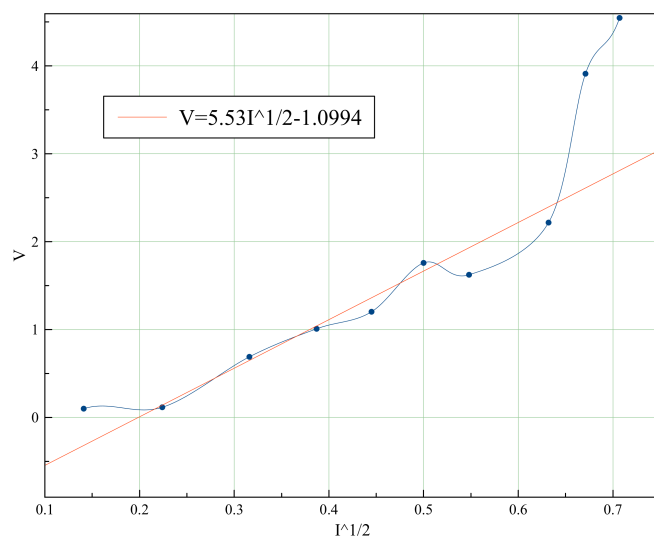


Рис. 1: 511,69 нм

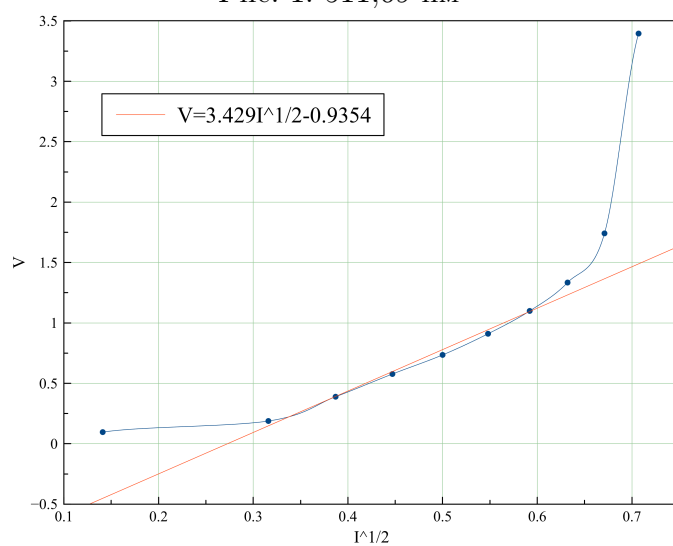


Рис. 2: 579,94 нм

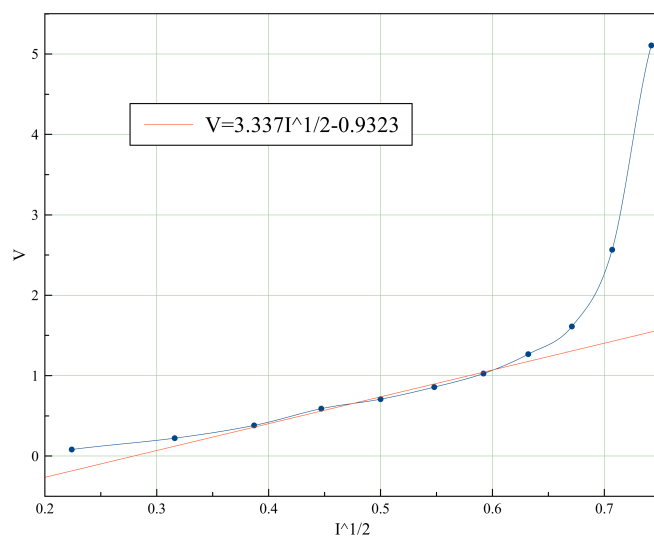


Рис. 3: 592,54 нм

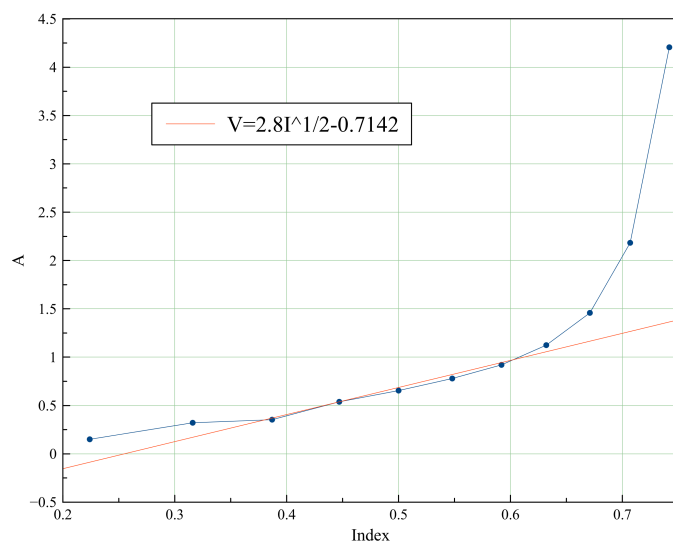


Рис. 4: 615,64 нм

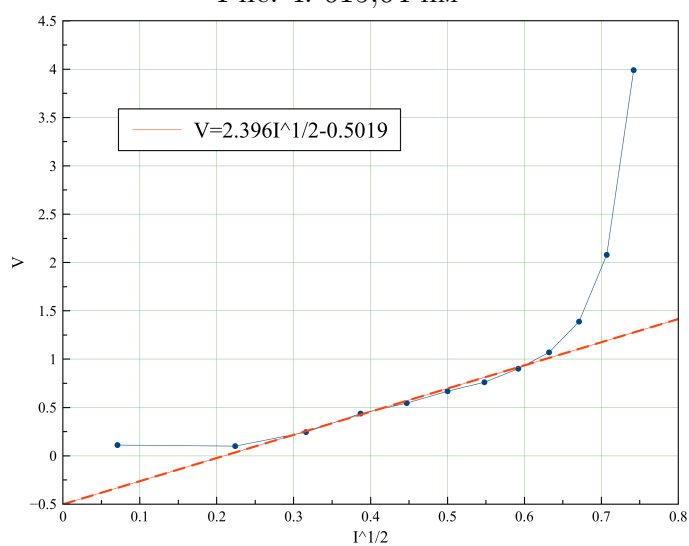


Рис. 5: 624,04 нм

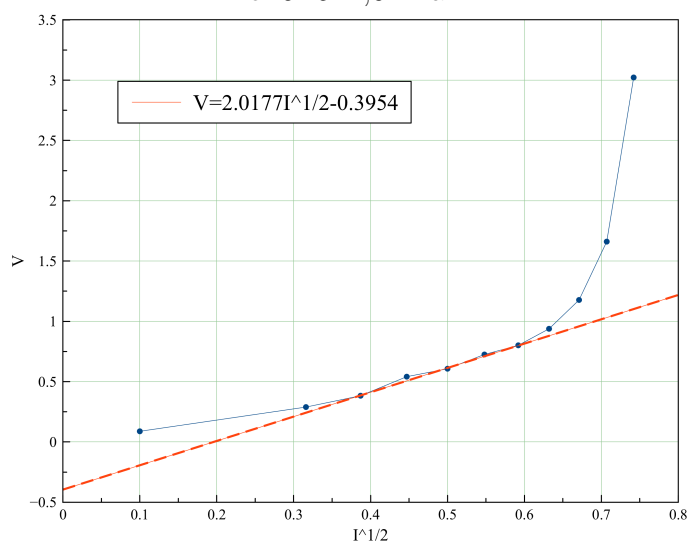


Рис. 6: 671,8 нм

Методом наименьших квадратов найдем угловой коэффициент:

$$b = \frac{dV_0}{d\omega} = 0.735 * 10^{-15} \text{В} * \text{сек}$$

Получаем по формуле $\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e}$, что постоянная планка равна:

$$\hbar = 1.17 * 10^{-34} \text{Дж} * \text{сек}.$$

Мы получили довольно точную оценку, так как табличное значение равно $1.054 * 10^{-34} \text{Дж} * \text{сек}$.

Вывод

В данной работе провели исследование зависимости фототока от величины задерживающего потенциала и частоты падающего излучения. По ним вычислили величину постоянной Планка. Итоговый результат очень близкий к табличному значению. Таким образом, экспериментально проверили уравнение Эйнштейна для фотоэффекта