

Лабораторная работа №5.1.1
Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для
фотоэффекта и определение постоянной Планка

Рожков А. В.

28 октября 2025 г.

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

В работе используются: источник света, конденсор, монохроматор УМ-2, фотоэлемент с усилителем постоянного тока.

1 Теоретические сведения

Фотоэффект – явление испускания электронов фотокатодом, облучаемым светом. 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

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

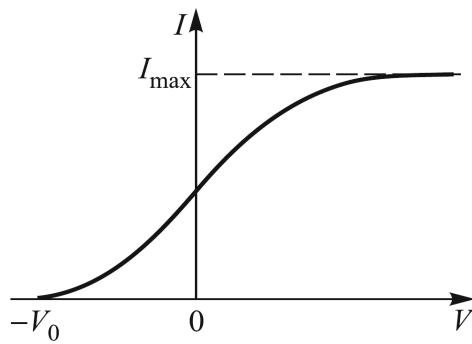


Рис. 1: Зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента

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): 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 запирания) 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.

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

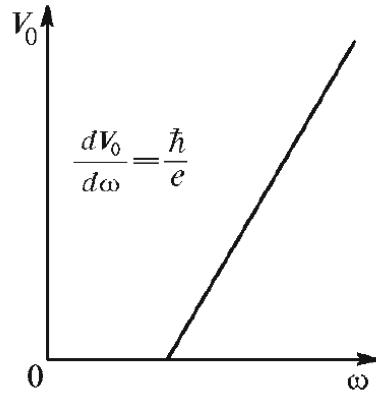


Рис. 2: Зависимость запирающего потенциала от частоты света

Потенциал запирания V_0 для любого катода линейно зависит от частоты света ω . По наклону прямой на графике $V_0(\omega)$ (рис. 2) можно определить постоянную Планка:

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

Как показывает формула (4), 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.

2 Экспериментальная установка

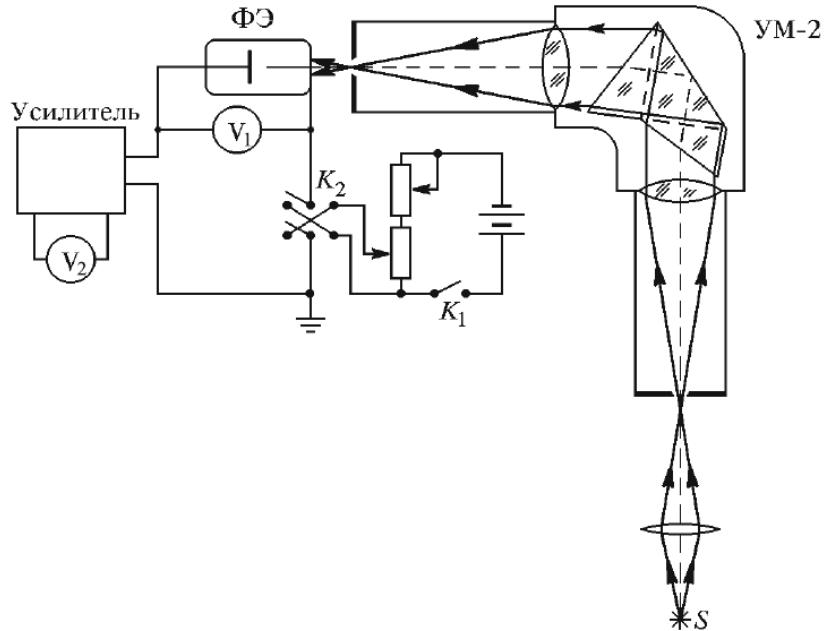


Рис. 3: Принципиальная схема экспериментальной установки

Свет от источника S (обычная электрическая лампа накаливания) с помощью конденсора фокусируется на входную щель призменного монохроматора УМ-2, выделяющего узкий спектральный интервал, и попадает на катод фотоэлемента $\Phi\mathcal{E}$.

Фотоэлемент конструктивно представляет собой откачанный до высокого вакуума стеклянный баллон диаметром 25 мм и высотой 30 мм. Внутри баллона расположены два электрода: фотокатод и анод. Фотокатод представляет собой тонкую пленку металла, легированного элементами Na , K , Sb и Cs и расположенного на массивной металлической пластине. Анод фотоэлемента выполнен в виде пояска тонкой пленки, осажденной на внутренней части боковой поверхности вверху баллона. Такое расположение фотокатода и анода обеспечивает наиболее полный сбор на аноде электронов, эмитированных фотокатодом. Такой фотоэлемент обладает спектральной чувствительностью в области длин волн от 300 до 850 нм.

Фототок, протекающий в фотоэлементе, мал, особенно при потенциалах V , близких к V_0 , и не может быть измерен непосредственно. Для его измерения используется усилитель постоянного тока. Абсолютные значения фототока нам не нужны, поэтому он измеряется в относительных единицах цифровым вольтметром V_2 , подключенным к выходу усилителя. Эти показания пропорциональны величине измеряемого тока. Измерение тормозящего потенциала осуществляется с помощью цифрового вольтметра V_1 .

Контактная разность потенциалов между катодом и анодом мешает точному определению величины V_0 , но не оказывает влияния на определение постоянной Планка, которая выражается через производную $dV_0/d\omega$.

3 Ход работы