

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ
«СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛ И ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ХИМИИ»**

Лабораторная работа №1

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОЭФФЕКТА С
ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ
РАБОТЫ**

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОЭФФЕКТА С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Цель: Исследовать закономерности явления внешнего фотоэффекта.

Приборы и материалы: компьютерная лабораторная работа по исследованию внешнего фотоэффекта.

В 1887 году Герц наблюдал уменьшение напряжения зажигания искрового разряда под действием излучения от расположенной рядом дуги. Это явление было названо фотоэлектрическим эффектом и позднее детально исследовано А.Г. Столетовым. Опыты Столетова по изучению фотоэффекта привели к установлению некоторых фактов, необъяснимых с точки зрения классической физики. После открытия электрона стало ясно, что наблюдаемое явление – это вырывание электронов с поверхности металла под действием падающего на него света. А.Г. Столетов сформулировал качественные законы фотоэффекта:

1. Количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1с, прямо пропорционально интенсивности света.
2. Максимальная кинетическая энергия вырываемых светом электронов (фотоэлектронов) линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.
3. Для каждого вещества существует так называемая «красная граница» фотоэффекта, т.е. минимальная частота света ν_0 , при которой ещё возможен фотоэффект. Если $\nu < \nu_0$, то фотоэффект не происходит.

Второй и третий законы не могли быть объяснены на основе представлений классической физики о взаимодействии света с веществом. Согласно волновым представлениям при взаимодействии с электромагнитной световой волной электрон должен постепенно накапливать энергию, и потребовалось бы значительное время, зависящее от интенсивности света, чтобы электрон смог покинуть металл. Однако, опыт показывает, что фотоэлектроны появляются немедленно после начала освещения металла, т.е. явление фотоэффекта безинерционно. В рамках классической физики невозможно было также понять существование красной границы фотоэффекта. Волновая теория света также не могла объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока, пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света. Таким образом, электромагнитная теория света оказалась неспособной объяснить эти закономерности.

Уравнение Эйнштейна

Теоретическое объяснение наблюдаемых закономерностей фотоэффекта было дано Эйнштейном на основе гипотезы М. Планка о том, что свет излучается и поглощается определенными порциями (квантами), причем энергия каждой такой порции определяется формулой $E = h\nu$, где h – постоянная Планка. Эйнштейн сделал следующий шаг в развитии квантовых представлений применительно к явлению внешнего фотоэффекта. С квантовой точки зрения при фотоэффекте каждый фотон целиком передает всю свою энергию $\varepsilon = h\nu$ одному электрону, т.е. имеет место поглощение фотона электроном. Часть этой энергии электрон может израсходовать в столкновениях с атомами вещества. Кроме того, часть энергии электрона затрачивается на преодоление потенциального барьера на границе металл–вакуум. Для этого электрон должен совершить работу выхода A , зависящую от свойств облучаемого металла. Наибольшая кинетическая энергия, которую может иметь вылетевший из металла фотоэлектрон, определяется законом сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A$$

Эту формулу принято называть уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

С помощью уравнения Эйнштейна можно объяснить все эмпирические закономерности внешнего фотоэффекта. Из уравнения Эйнштейна следует линейная зависимость максимальной кинетической энергии от частоты и независимость от интенсивности света, существование «красной границы».

Экспериментальные исследования внешнего фотоэффекта (ФЭ) у металлов показали, что это явление зависит не только от химической природы металла, но и от состояния его поверхности. Даже ничтожные загрязнения поверхности металла существенно влияют на эмиссию электронов под действием света, поэтому-то для изучения фотоэффекта пользуются вакуумной трубкой.

Рассмотрим кривые зависимости силы фототока (I) от напряжения (U), так называемые вольтамперные характеристики (ВАХ) внешнего ФЭ, соответствующие различным энергетическим освещенностям катода. Частота света ν в обоих случаях одинакова (рис.1). Кривые зависимости фототока от напряжения между анодом и катодом (вольтамперные характеристики ФЭ) показывают, что при достаточно больших положительных напряжениях на аноде фототок достигает насыщения, так как все электроны, вырванные светом из катода, достигают анода. Тщательные измерения показали, что ток насыщения I_n прямо пропорционален интенсивности падающего света. Когда потенциал анода отрицателен, электрическое поле между катодом и анодом тормозит электроны.

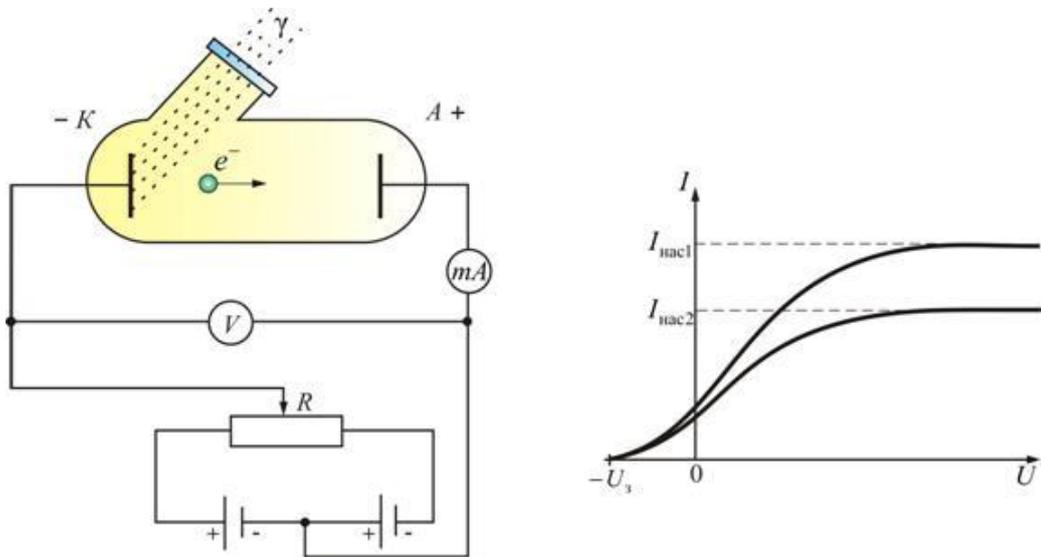


Рис.1-1. Принципиальная схема для исследования фотоэффекта (слева), вольтамперные характеристики (справа).

Анода могут достичь только те электроны, кинетическая энергия которых превышает $|eU_3|$. Если напряжение между анодом и катодом меньше, чем $-U_3$, фототок прекращается. Измеряя U_3 , можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов:

$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\max} = eU_3$$

Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала U_3 от частоты ν падающего света, равен отношению h/e к заряду электрона.

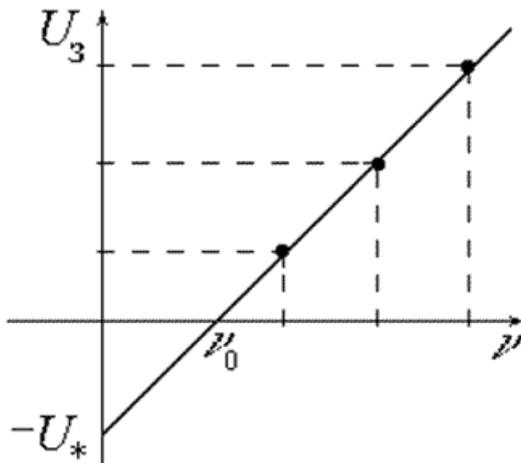


Рис.1-2. Зависимость задерживающего потенциала от частоты падающего света.

Это позволяет экспериментально определить значение постоянной Планка. Такие измерения были выполнены Р. Милликенom (1914 г.) и дали хорошее согласие со значением, найденным Планком. Эти измерения позволили также определить работу выхода A :

$$A = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

где c – скорость света, λ_0 – длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта. У большинства металлов работа выхода A составляет несколько электрон-вольт ($1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). Среди металлов наименьшей работой выхода обладают щелочные металлы. Например, у натрия $A = 1,9 \text{ эВ}$, что соответствует красной границе фотоэффекта $\lambda_0 \approx 680 \text{ нм}$. Поэтому соединения щелочных металлов используют для создания катодов в фотоэлементах, предназначенных для регистрации видимого света. Считая значение постоянной Планка известной, можно определить заряд электрона.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В вашем распоряжении имеется виртуальная установка для изучения фотоэффекта. В левой части экрана размещено изображение экспериментальной установки. Внутри откачанной трубки расположены две пластины, присоединенные к источнику напряжения, в ту же цепь включен прибор для измерения тока. Величина светового потока регулируется диафрагмой. При помощи реостата можно изменить напряжение между анодом и катодом фотоэлемента; частоту и величину потока изменяем соответствующими регуляторами. Справа - окна графиков зависимости $I = f(U)$ и зависимости фототока от величины светового потока $I = f(\Phi)$.

В левой нижней части экрана располагается окно заданий, в правой нижней части - окна для ввода ответа и реакции на них компьютера, а между ними находятся управляющие кнопки "Старт", "Задание" и окно для выбора материала фотокатода.

Задание 1

1. Для нескольких значений длин волн падающего излучения с интервалом, кратным 60 нм и постоянном световом потоке $\Phi = \Phi_{\text{макс}}$, измерить зависимость фототока от напряжения $I_{\Phi}(U)$ для двух из предлагаемых металлов, изменяя напряжение через 1В. Полученные результаты занести в табл.1.

2. Построить графики зависимости:

- фототока от напряжения ($I_{\Phi}(U)$) для разных значений длин волн;
- запирающего потенциала U_z от частоты ν падающего света ($U_z(\nu)$) для двух металлов.

3. Рассчитать:

- максимальную энергию $E_{\text{макс}}$ и частоту «красной границы» ФЭ ν_0 для двух металлов;
- работу выхода фотоэлектронов для каждого металла;
- из зависимости $U_z(\nu)$ методом парных точек определить несколько значений h/e для каждого металла. Зная постоянную Планка h , рассчитать заряд электрона e . Определить погрешности.
- определить максимальную скорость $v_{\text{макс}}$.

Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 1

U, В	Первый металл				Второй металл			
	$\lambda_{1, \text{нм}}$				$\lambda_{2, \text{нм}}$			
	$I_{1\phi, \text{мкА}}$				$I_{2\phi, \text{мкА}}$			
10								
9								
...								
-5								

Таблица 2

Металл	$E_{\text{мах}}, \text{эВ}$	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	$\nu_0, \text{Гц}$	$V_{\text{мах}}, \text{м/с}$	$e, \text{Кл}$	$e_{\text{табл.}}, \text{Кл}$

Задание 2.

1. Исследовать зависимость фототока насыщения $I_{\text{фнас}}$ от отношения $\Phi/\Phi_{\text{мах}}$ для двух металлов для двух значений длин волн падающего излучения. Величина напряжения должна соответствовать току насыщения. Световой поток изменять от 0 до $\Phi_{\text{мах}}$ с одинаковыми интервалами. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

$\Phi/\Phi_{\text{мах}}$	$I_{\text{нас}}, \text{мкА}$		
	$\lambda, \text{нм}$	Первый металл	Второй металл
0			
0,17			
0,34			
...			
1			

2. Построить график зависимости фототока $I_{\text{фнас}}(\Phi)$ для двух значений длин волн и двух металлов.

Сделать выводы по проделанной работе.

Вопросы к допуску

1. Что такое явление внешнего фотоэффекта?
2. Сформулируйте законы Столетова.
3. Объясните, что такое запирающий потенциал.
4. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

Контрольные вопросы

1. Как осуществить экспериментальную проверку уравнения Эйнштейна?
2. Какие характеристики внешнего ФЭ можно определить из вольтамперных зависимостей?
3. Начертите график, показывающий зависимость величины задерживающего потенциала U_0 от частоты ν падающего на некоторый металл излучения. Покажите, как изменится эта зависимость для металла, имеющего большую работу выхода. Как, пользуясь таким графиком, определить постоянную Планка?
4. Как изменится ВАХ (вольтамперная характеристика) фотоэлемента, если не меняя длину волны падающего света, увеличить световой поток?

Литература

1. Корсунский М.И. Оптика. Строение атома. Атомное ядро. М.:Наука, 1964.
2. Матвеев А.Н. Квантовая механика и строение атома. М.: Высш. шк., 1965.
3. Суханов А.Д. Лекции по квантовой физике. М.: Высш. шк., 1991.
4. Яворский Б.В., Детлаф А.А. Курс физики. Т. 3. М.: Высш. шк., 1971.