

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА
ТЕМА: РАСЧЁТ КРАСНОЙ ГРАНИЦЫ ФОТОЭФФЕКТА И
РАБОТЫ ВЫХОДА

Цель работы: изучение явления внешнего фотоэффекта, нахождение его красной границы и работы выхода электрона из металла.

1. Введение

Внешним фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием света. Энергетический баланс при фотоэффекте выражается уравнением Эйнштейна

$$p = \frac{h\nu}{c} \quad h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}, \quad (1)$$

где $h\nu$ – энергия светового кванта, переданная электрону; A – работа выхода электрона за пределы вещества; $\frac{mv_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия освобожденного электрона. Уравнение (1) получено в предположении, что электромагнитное излучение представляет собой поток частиц, называемых фотонами. Фотон несет энергию $\varepsilon = h\nu$, при этом он неделим и при взаимодействии отдает свою энергию полностью. Фотон обладает также импульсом. Фотоэффект можно рассматривать как процесс соударения фотона с электроном.

Уравнение (1) дает теоретическое обоснование законов фотоэффекта, экспериментально установленных Столетовым:

- 1) фототок насыщения пропорционален световому потоку;
- 2) максимальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света ν и не зависит от его интенсивности;
- 3) для каждой поверхности существует минимальная частота ν_0 (красная граница фотоэффекта), ниже которой фотоэффект не возможен:

$$\nu_0 = \frac{A}{h}. \quad (2)$$

Определив ν_0 экспериментально, из формулы (2) можно найти работу выхода электронов A для данного вещества.

Простейшим прибором для наблюдения фотоэффекта является вакуумный фотоэлемент (рис.1). Это откачанный стеклянный баллон, одна половина которого покрыта изнутри металлом, играющим роль фотокатода K . Анод A обычно выполняется в форме кольца или шарика. Между катодом и анодом с помощью батареи B создается ускоряющая разность потенциалов. При освещении катода он испускает электроны, которые подхватываются полем и попадают на анод. Цепь замыкается, и в ней течет ток. В данной установке использован фотоэлемент с катодом, красная граница которого лежит в видимой области спектра. Это позволяет использовать в качестве источника света лампу накаливания.

Один из способов определения работы выхода и красной границы фотоэффекта состоит в следующем. Поменяв полярность батареи B (рис. 1), можно создать тормозящее поле, препятствующее попаданию электронов на анод A . При некоторой

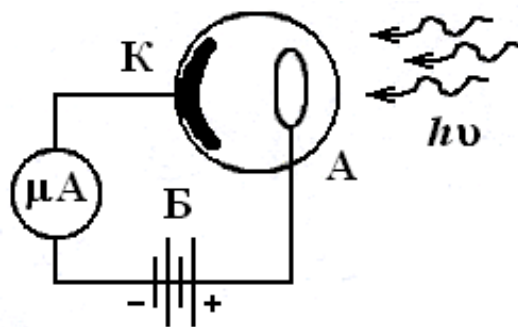


Рис. 1

разности потенциалов $U_{\text{задер.}}$ ни одному из электронов, даже обладающему при вылете из катода K наибольшим значением скорости v_{max} , не удастся достигнуть анода A . Фототок прекращается. Это условие можно записать:

$$\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = eU_{\text{задер.}} \quad (3)$$

Измерив задерживающее напряжение $U_{\text{задер.}}$ и, зная частоту излучения ν , из формулы (1) можно найти работу выхода A , затем по формуле (2) определить красную границу фотоэффекта ν_0 .

В данной работе для определения красной границы при неизменной ускоряющей разности потенциалов будем изменять частоту падающего излучения ν . При некоторой частоте ν_0 фототок должен прекратиться. Однако этот метод требу-

ет более тщательного, хотя бы качественного анализа причин, определяющих величину фототока. Очевидно, что фототок при данной частоте излучения ν определяется числом фотонов $N_{\text{фот}}(\nu)$, падающих на фотокатод в единицу времени, и вероятностью взаимодействия фотона с электроном $P(\nu)$, приводящего к выходу электрона из вещества:

$$i_{\text{ф}} \sim N_{\text{фот}}(\nu) \cdot P(\nu). \quad (4)$$

Число фотонов в световом потоке $N_{\text{фот}}(\nu)$ определяется излучательной способностью источника света $R_{\nu,T}$. Если предположить, что лампа накаливания излучает как чёрное тело (см. введение к работе 14), то её излучательная способность может быть представлена графиком, приведенным на рис. 2.

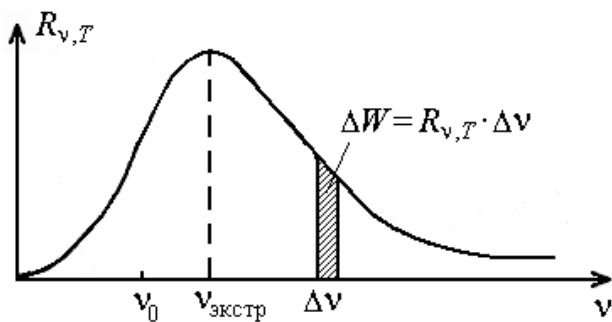


Рис. 2

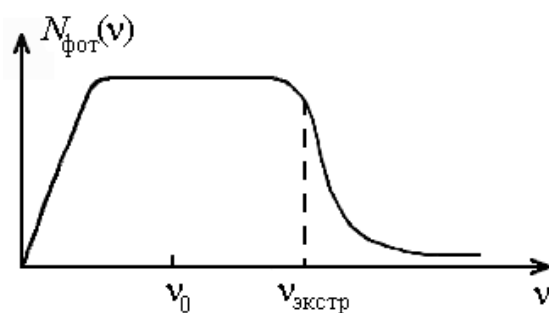


Рис. 3

Количество энергии, излучаемой лампой в области частот от ν до $\nu + \Delta\nu$, определяется площадью, заштрихованной на графике рис. 2: $\Delta W = R_{\nu,T} \cdot \Delta\nu$. Тогда число фотонов, излучаемых в интервале частот $\Delta\nu$ будет равно:

$$N_{\text{фот}}(\nu) = \frac{\Delta W}{h\nu} = \frac{R_{\nu,T} \Delta\nu}{h\nu}.$$

В области низких частот справедлив закон Релея-Джинса, согласно которому $R_{\nu,T} \sim \nu^2$. Следовательно, в этой области отношение $\frac{R_{\nu,T} \Delta\nu}{h\nu}$, равное $N_{\text{фот}}(\nu)$, будет пропорционально ν (рис. 3). В области ожидаемого значения красной границы, $R_{\nu,T}$ растет линейно (в районе точки перегиба $R_{\nu,T} \sim \nu$) и, следовательно, отношение $\frac{R_{\nu,T} \Delta\nu}{h\nu}$ остается величиной постоянной для разных частот. При больших частотах ($\nu > \nu_{\text{экстр}}$) излучательная способность тела уменьшается и одновре-

В итоге, в формуле (4) число фотонов, испускаемых лампой накаливания в единицу времени в области частот, лежащих вблизи красной границы, остается величиной постоянной на разных частотах, а вероятность взаимодействия фотона с электроном пропорциональна разности частот $(\nu - \nu_0)$. Следовательно, в области красной границы фототок пропорционален разности $(\nu - \nu_0)$. При больших частотах фототок должен уменьшаться с ростом ν за счет уменьшения числа фотонов, излучаемых источником света в этой спектральной области. Таким образом, ожидаемая зависимость фототока от частоты должна

иметь вид представленный на рис. 5. Так как при температуре $T > 0$ К распределение электронов вблизи уровня Ферми размывается (электроны переходят на уровни, лежащие выше уровня Ферми), то и зависимость i_ϕ от ν вблизи красной границы ν_0 будет размыта (пунктирная линия на рис. 5).

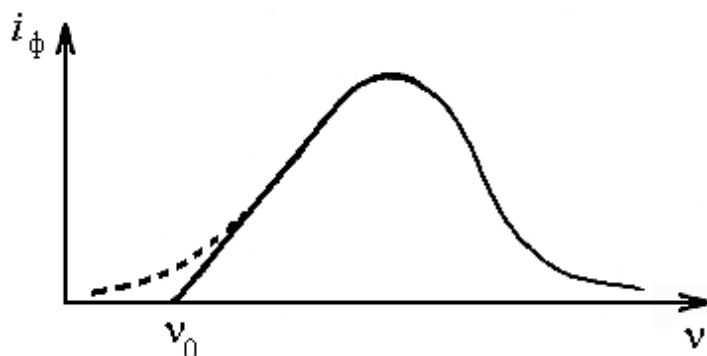


Рис. 5

Итак, для экспериментального определения красной границы фотоэффекта и работы выхода необходимо снять зависимость фототока от частоты излучения и, аппроксимируя линейный участок графика в области низких частот до пересечения с осью частот, определить ν_0 . По формуле (2) можно определить работу выхода электронов из металла.

2. Описание установки и метода измерений

Схема установки приведена на рис. 6.

Белый свет от лампы накаливания ЛН направляется на входную щель Щ₁ монохроматора УМ-2. Свет разлагается в спектр призмой монохроматора П и попадает на его выходную щель Щ₂. В зависимости от положения призмы на выходную щель попадает та или иная часть спектра испускания лампы накаливания.

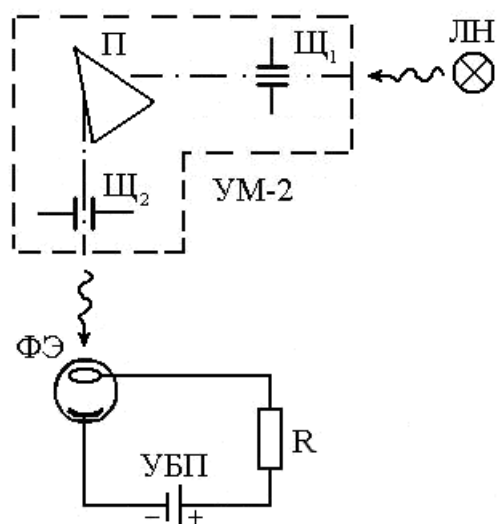


Рис. 6

Поворот призмы П осуществляется с помощью барабана. На барабан нанесены оцифрованные деления, каждое из которых соответствует определённому угловому положению приз-

мы. Они могут быть переведены в длины волн с помощью градуировочного графика, прилагаемого к работе.

Пройдя выходную щель, свет попадает на фотоэлемент ФЭ. Этот свет можно считать монохроматическим. Свет, попавший на катод фотоэлемента, выбивает из него электроны, которые собираются на аноде. Соответствующий ток измеряется прибором в цепи фотоэлемента.

В работе величина фототока находится следующим образом. Измеряется падение напряжения на входном сопротивлении R вольтметра при прохождении по нему фототока. Входное сопротивление вольтметра велико, и даже небольшой ток создает заметное падение напряжения. Величина фототока определяется по формуле $I = \frac{U}{R}$, где U – показание вольтметра. Питание цепи фотоэлемента осуществляется от универсального блока питания УБП.

3. Порядок выполнения работы

1. Просмотрите видео on-line выполнения лабораторной работы по ссылке:

https://www.youtube.com/watch?v=fNbUJr04_NA

2. Ознакомьтесь с установкой и заполните таблицу спецификации измерительных приборов.

Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность

3. Результат измерений запишите в таблицу 1.

Таблица 1

R =

№ п/п	φ, °	Длина волны λ, нм	Частота ν, Гц	Напряжение U, В			I, мкА
				1 изм	2 изм	Среднее	

4. Обработка результатов измерений

1. С помощью градуировочного графика, имеющегося на установке, переведите углы φ в соответствующие длины волн λ.

2. По формуле $\nu = \frac{c}{\lambda}$, где c – скорость света, определите частоту излучения

ν.

3. Найдите величину фототока $I = \frac{\overline{U}}{R}$, соответствующего определённому значению λ.

4. Постройте график $I = f(\nu)$. Убедитесь, что в низкочастотной области имеется линейная зависимость фототока от частоты ν.

5. Найдите по графику значение ν_0 , соответствующее нулевому значению тока. Для этого продолжите прямолинейный участок графика в области низких частот до пересечения с осью абсцисс.

6. По графику $I = f(\nu)$ найдите погрешность $\Delta\nu_0$ и представьте результат измерений в виде $\nu_0 = \bar{\nu}_0 \pm \Delta\nu_0$.

7. Определите длину волны λ_0 , соответствующую красной границе фотоэффекта.

8. По найденному значению ν_0 вычислите работу выхода электрона из металла $A = h\nu_0$. Выразите работу выхода в (Дж) и электрон-вольтах (эВ).

9. Найдите погрешность ΔA работы выхода и представьте результат измерений в виде $A = \bar{A} \pm \Delta A$.

Контрольные вопросы

1. Что такое внешний фотоэффект?
2. Запишите уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
3. Сформулируйте законы фотоэффекта.
4. Как с помощью уравнения Эйнштейна можно обосновать законы фотоэффекта?
5. Как можно найти максимальную скорость вылета фотоэлектронов?
6. Каким образом в данной работе определяется красная граница фотоэффекта?
7. Какой вид имеет график излучательной способности чёрного тела от частоты?
8. Что такое уровень Ферми?
9. Как найти работу выхода электрона, зная уровень Ферми и глубину потенциальной ямы?
10. Какой вид должен иметь график зависимости фототока от частоты падающего излучения?