

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА МЕТОДОМ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА

Цель работы: определение красной границы фотоэффекта и постоянной Планка.

Приборы и принадлежности: вакуумный фотоэлемент, монохроматор УМ-2, лампа накаливания, вольтметр, чувствительный микроамперметр (Ф-195), набор светофильтров, выпрямитель.

ВВЕДЕНИЕ

При взаимодействии фотона с электроном, находящимся в веществе, выполняется закон сохранения энергии. В результате поглощения света энергия электрона возрастает на величину, равную энергии фотона. Если это изменение энергии превышает работу выхода электрона из вещества, то электрон может покинуть вещество и стать свободным. Такой электрон называется фотоэлектроном. Для фотоэлектрона можно записать закон сохранения энергии в виде

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = h\nu - A_{вых}, \quad (1)$$

где v_{max} — максимальная скорость вылетевшего электрона; $A_{вых}$ — работа выхода; ν — частота поглощенного света.

Это соотношение называется *уравнением Эйнштейна*. Если фотоэлектрон отдает часть своей энергии атомам вещества, то его скорость после вылета будет меньше, чем v_{max} . Из уравнения (1) видно, что вылет электрона возможен, если энергия фотона будет больше, чем работа выхода. Минимальную частоту света $\nu_{гр}$, при которой возможен фотоэффект,

называют красной границей фотоэффекта. Величина ν_{cp} находится из условия

$$h\nu_{cp} = A_{вых} . \quad (2)$$

Так как при частоте света, превышающей красную границу, фотоэлектроны обладают некоторой скоростью, то через фотоэлемент будет протекать фототок и при напряжениях, при которых анод будет иметь отрицательный потенциал относительно фотокатода. Такое напряжение называют *задерживающим*, потому что электрон отталкивается от анода и, если его скорость невелика, то может вернуться на фотокатод.

Общий вид вольтамперной характеристики вакуумного фотоэлемента изображен на рис. 2.1.

Задерживающие напряжения представляют область отрицательных напряжений. При некотором напряжении фототок обращается в нуль.

Значение этого напряжения определяется соотношением

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = eU_3 , \quad (3)$$

и уравнение Эйнштейна для этого случая принимает вид

$$U_3 = \frac{h\nu}{e} - \frac{A_{вых}}{e} . \quad (4)$$

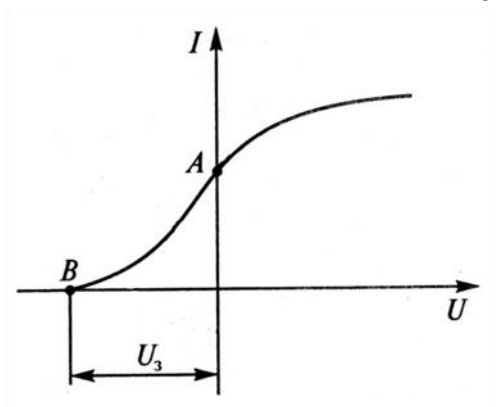


Рис. 2.1

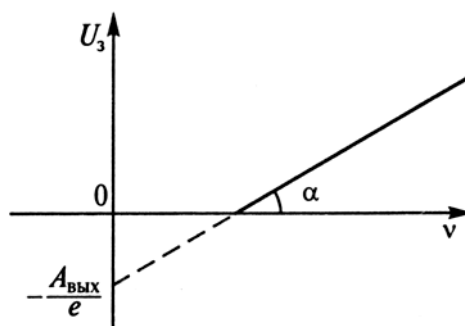


Рис. 2.2

График зависимости U_3 от частоты падающего на фотокатод света представлен на рис. 2.2. Из этого графика можно определить постоянную Планка

$$h = e \frac{U_2 - U_1}{\nu_2 - \nu_1} \quad (5)$$

и работу выхода

$$A_{\text{вых}} = e \frac{U_2 \nu_1 - U_1 \nu_2}{\nu_2 - \nu_1}, \quad (6)$$

где U_1 и U_2 — задерживающие напряжения, когда фототок обращается в нуль при частотах света ν_1 и ν_2 соответственно.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В работе используется вакуумный фотоэлемент $\Phi Э$, катод которого сделан из сурьмяно-цезиевого сплава. Электрическая схема установки изображена на рис. 2.3, общий вид установки – на рис. 2.4а и 2.4б.

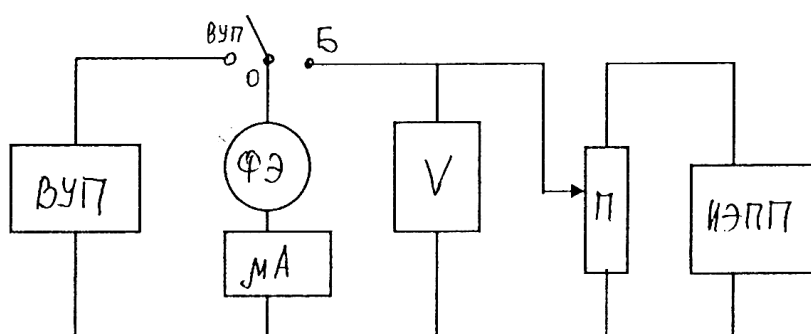


Рис. 2.3



Рис. 2.4а

Для определения красной границы фотоэффекта фотоэлемент закрепляется в патроне (с учетом полярности) и вставляется в специальный кожух на выходе монохроматора (рис.2.4а).

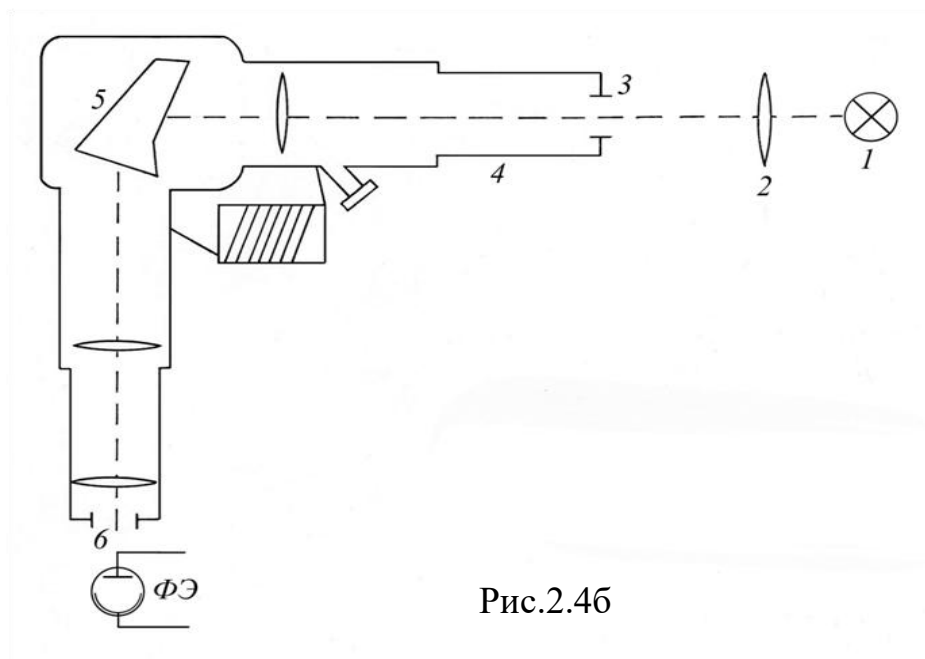


Рис.2.4б

Белый свет от лампы накаливания *1* (рис.2.4б) направляется через конденсор *2* на входную щель *3* монохроматора *4*.

В результате разложения белого света в спектр с помощью системы призм *5* на выходную щель *6* монохроматора, которая пропускает свет к фотоэлементу *ФЭ*, попадает излучение сравнительно узкого спектрального диапазона: ширина этого диапазона определяется шириной выходной щели, которая может регулироваться специальным винтом.

Вращая призму с помощью барабана, находящегося в средней части монохроматора, можно направить на выходную щель и фотоэлемент свет различных длин волн. На барабан нанесены деления в градусах. Градусы могут быть переведены в длины волн с помощью калибровочного графика, который прилагается к монохроматору.

Для оценки величины постоянной Планка необходимо снять



вольтамперную характеристику фотоэлемента в области тормозящего поля при двух значениях частоты падающего света.

Для этого фотоэлемент закрепляется на панели напротив лампы накаливания (рис.2.5.), перед которой поочередно устанавливаются фильтры, определяющие частоту света. Фильтры (фиолетовый, $\lambda_{\text{ф}}=0,42$ мкм; зеленый, $\lambda_{\text{зел}}=0,48$ мкм; оранжевый, $\lambda_{\text{ор}}=0,62$ мкм) пропускают сравнительно широкий

интервал длин волн $\Delta\lambda/\lambda \approx 15\%$, так что значения длины волны, указанные на фильтрах, являются лишь ориентировочными.

Для измерения токов используется стрелочный микроамперметр $\Phi-195$, для измерения запирающего напряжения – цифровой вольтметр В7-35 с индикацией результата измерения в цифровой форме и с автоматическим выбором предела измерения. Задерживающее напряжение на фотоэлемент подается от источника постоянного напряжения ИЭПП (вольтметр и источник ИЭПП расположены на рис.2.4а под барабаном монохроматора). Величина задерживающего напряжения регулируется ручкой P потенциометра (указана стрелкой на рис.2.5).

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Задание 1. Определение красной границы фотоэффекта и вычисление работы выхода.

1. Закрепите фотоэлемент в патроне (с учетом полярности) и опустите в кожух монохроматора (согласно рис.2.4а).

2. Проверьте правильность начального положения ручек на приборах (чтобы не сжечь приборы) и элементах установки:

- а) *выпрямитель ВУП*: начальное положение ручки регулировки напряжения 0-100 - крайнее левое, что соответствует 0 В;
- б) *микроамперметр Ф-195*: кнопка ШКАЛА в положении 0-100; переключатель диапазонов измерений в положении 100 нА;
- в) барабан монохроматора установите на деление 1300^0 , что соответствует фиолетовой области спектра;
- г) переключатель регулировки света в монохроматоре (указан черной стрелкой на рис.2.4а): в положении "ЗАКРЫТО";
- д) переключатель «ВУП-0-Б» (указан белой стрелкой на рис.2.4а): в положении «0».

3. Включите микроамперметр Ф-195, нажав кнопку СЕТЬ, при этом над кнопкой должна загореться красная лампочка. Дайте прогреться прибору 10-15 минут.

4. Переведите переключатель «ВУП-0-Б» в положение «ВУП».

5. Включите выпрямитель ВУП и установите рабочее напряжение 100 В.

6. Измерьте при помощи Ф-195 *темновой ток фотоэлемента* (при этом измерении можно перевести переключатель диапазонов измерений в положении 50 нА; после окончания измерения не забудьте вернуть переключатель диапазонов в положение 100 нА).

7. Включите осветительную лампу К-12, расположенную перед входной щелью монохроматора, тумблерами «СЕТЬ» и "Лампа К-12" на блоке питания. Убедитесь, что световой пучок сфокусирован на входную щель монохроматора.

8. Поставьте переключатель регулировки света в положение «ОТКРЫТО». Снимите защитный колпачок с входной щели монохроматора. При этом микроамперметр Ф-195 покажет ток, текущий через фотоэлемент (5-15 дел). При значениях тока, существенно меньших указанной величины, необходимо отрегулировать световой поток, падающий на входную щель, и ширину

входной щели монохроматора (операции по регулировке проводятся дежурным инженером или преподавателем).

9. Вращайте барабан монохроматора в сторону увеличения делений φ , через каждые 50° фиксируя в таблице 1 значения тока i , текущего через фотоэлемент. (Вращение барабана в сторону увеличения делений соответствует увеличению длины волны падающего света). Измерения проводите до тех пор, пока стрелка микроамперметра не остановится на значении *темнового тока*. Измерения около конечной точки повторите несколько раз. (Для более точного определения "точки остановки" стрелки прибора, после достижения темнового тока, необходимо начать вращение барабана монохроматора в сторону уменьшения делений, до тех пор, пока стрелка микроамперметра снова не начнет двигаться). Отметьте в таблице 1 положение барабана $\varphi_{гр}^0$, соответствующее $i=i_{темн.}$. Оцените погрешность измерения.

ТАБЛИЦА 1

φ^0	1300	1350	1400	1450	1500				
$\lambda, \text{\AA}$									
i, nA									

По значению $\varphi_{гр}^0$ определите красную границу фотоэффекта $\lambda_{гр}$ (используя калибровочную кривую, прилагаемую к установке).

10. После проведения измерений переключатель «ВУП-О-Б» поставьте в положение "0", **выключите выпрямитель ВУП**, переключатель диапазонов микроамперметра Ф-195 переведите в положение «1 мкА», выключите лампу накаливания К-12, переключатель регулировки света поставьте в положение "ЗАКРЫТО", наденьте защитный колпачок на входную щель монохроматора.

11. Постройте график зависимости фототока i от длины волны - спектральную характеристику фотоэлемента (используя калибровочную кривую монохроматора).

12. Вычислите в электрон-вольтах работу выхода электронов из катода сурьмяно-цезиевого фотоэлемента: $A_{вых} = h \nu_{зр}$. Оцените погрешность результата.

Задание 2. Снятие вольт-амперной характеристики фотоэлемента и оценка постоянной Планка.

1. Выньте фотоэлемент из насадки к монохроматору и установите его в штативе (с учетом полярности) на панели напротив осветительной лампы (рис.2.5.).
2. В держатель перед осветительной лампой поставьте оранжевый светофильтр ($\lambda_{ор} = 0,62$ мкм).
3. Подготовьте к работе микроамперметр Ф-195:
 - а) кнопка «ШКАЛА» в положении 0 – 100;
 - б) переключатель диапазонов измерений – 500 нА;
4. Проверьте готовность к работе вольтметра В7-35. Он должен быть установлен в режим измерения постоянного напряжения (переключатели рода работ в положениях *—* и *V*). Включите прибор в сеть переключателем «СЕТЬ» на задней панели.
5. Включите источник задерживающего напряжения ИЭПП тумблером «СЕТЬ», при этом должна загореться сигнальная лампочка на панели прибора.
6. Ручку потенциометра П (отмечен стрелкой на рис.2.5) поставьте в крайнее левое положение, что соответствует задерживающему напряжению, равному нулю.
7. Переключатель «ВУП-0-Б» переведите в положение "Б".
8. Включите осветитель (рис.2.5). Вращая ручку трансформатора, регулирующего силу света, добейтесь, чтобы стрелка микроамперметра отклонилась на 80 – 90 делений шкалы.
9. Снимите вольт-амперную характеристику фотоэлемента в области тормозящего поля (см. рис. 2.1). Для этого, плавно поворачивая ручку П

потенциометра, увеличивайте величину задерживающего напряжения до тех пор, пока ток не станет равным нулю.

10. Повторите такие же измерения для фиолетового светофильтра ($\lambda_{\text{ф}}=0,42$ мкм).

ВНИМАНИЕ!!! При замене светофильтров необходимо размыкать электрическую цепь, поставив переключатель «ВУП-0-Б» в положение «0», во избежание зашкаливания стрелки микроамперметра и его поломки.

11. Показания вольтметра и микроамперметра занесите в таблицу 2 (она должна содержать 12-15 значений напряжения при каждой из частот). Особенно тщательно определите величину напряжения, соответствующего прекращению фототока при каждой из частот (точка *B* на рис. 2.1).

ТАБЛИЦА 2

$\lambda=0,42$ мкм

U, В											
I, мкА											

$\lambda=0,62$ мкм

U, В											
I, мкА											

12. По окончании измерений переключатель «ВУП-0-Б» поставьте в положение «0». Выключите осветитель. Ручку регулировки диапазонов измерения микроамперметра Ф-195 переведите в положение «5 мкА». Выключите источник задерживающего напряжения ИЭПП. Ручку *П* регулировки напряжения поверните в крайнее левое положение. Выключите микроамперметр и вольтметр тумблерами «СЕТЬ».

Задание 3. Обработка результатов измерений.

1. По данным таблицы 2 постройте вольт-амперные характеристики $I(U)$, соответствующие двум частотам падающего света.

2. Определите задерживающие напряжения для указанных частот.
3. Оцените величину постоянной Планка двумя способами:
 - 1) по формуле (5);
 - 2) используя граничное значение частоты света, полученное в задании №1 и одно из известных значений задерживающего напряжения.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. В чем заключается явление фотоэффекта?
2. Как определяется постоянная Планка по методу задерживающего потенциала? Как при этом используется уравнение Эйнштейна?
3. Рассчитайте энергии фотонов видимого диапазона в электрон-вольтах. По таблице «Работа выхода электронов из металла» определите, для каких металлов может наблюдаться фотоэффект при облучении видимым светом.
4. Постройте теоретические графики зависимости кинетической энергии вылетевших фотоэлектронов от частоты падающего света для двух разных металлов. Можно ли проверить эти зависимости экспериментально?
5. Можете ли вы указать явление, обратное фотоэффекту?
5. Что такое внутренний фотоэффект? Где он наблюдается? В какой области спектра лежит красная граница внутреннего фотоэффекта?
6. Как связан импульс фотона с волновым вектором?
7. См. также вопросы к лабораторной работе №1.