

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА МЕТОДОМ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА

Цель работы: определение красной границы фотоэффекта и постоянной Планка.

Приборы и принадлежности: вакуумный фотоэлемент СЦВ-4, монохроматор, лампа накаливания, вольтметр, чувствительный микроамперметр (Ф-195), набор светофильтров, выпрямитель.

Литература: [7, § 9.1, 9.2]; [34, гл. II]; [39, ч. 1, гл. 1, § 2].

#### 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 в виде

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

где  $v_{\max}$  — максимальная скорость вылетевшего электрона;  $A_{\text{ВЫХ}}$  — работа выхода;  $\nu$  — 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  $\nu_{\text{зп}}$ , при которой возможен фотоэффект, называют красной границей фотоэффекта. Величина  $\nu_{\text{зп}}$  находится из условия

$$h\nu_{\text{зп}} = A_{\text{ВЫХ}} \quad (2)$$

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. 4.2.1. Отрицательные напряжения представляет область задерживающих напряжений. При некотором напряжении фототок обращается в нуль. Значение этого напряжения определяется соотношением

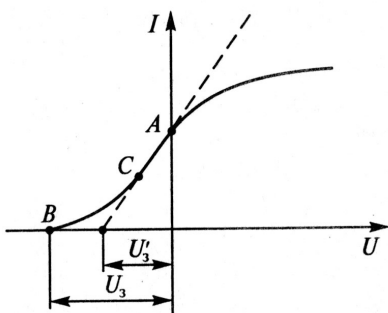


Рис. 4.2.1

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3 \quad (3)$$

и уравнение Эйнштейна для этого случая принимает вид

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

График зависимости  $U_3$  от частоты падающего на фотокатод света представлен на рис. 4.2.2. 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  $\nu_1$  и  $\nu_2$  соответственно.

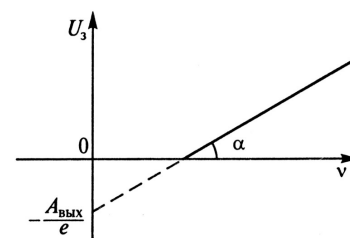


Рис. 4.2.2

## Описание экспериментальной установки

В работе используется вакуумный фотоэлемент  $\Phi Э$ , катод которого сделан из сурьмяно-цезиевого сплава. Электрическая схема установки изображена на рис. 4.2.3, общий вид установки – на фото 1.

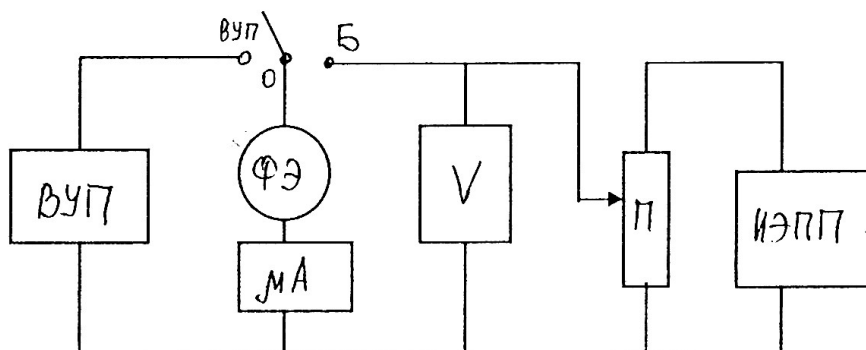
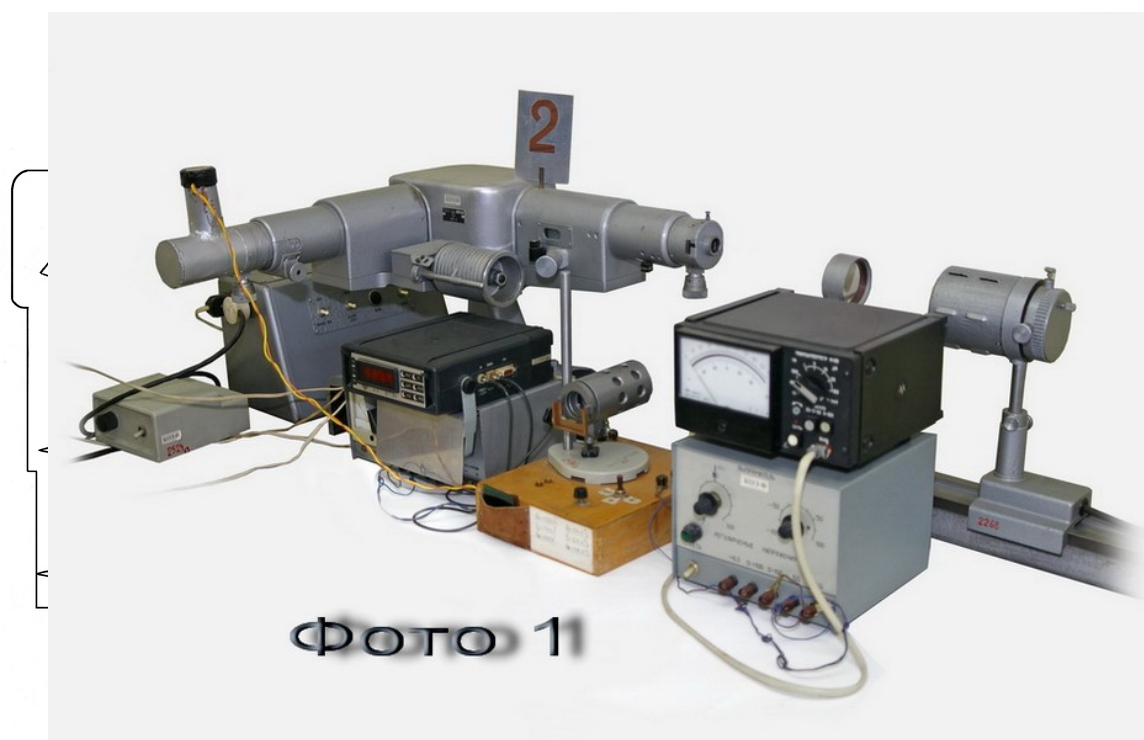


Рис. 4.2.3



Для определения красной границы фотоэффекта фотоэлемент закрепляется в патроне (С УЧЕТОМ ПОЛЯРНОСТИ), как показано на фото 2, и вставляется в специальный кожух на выходе монохроматора (см. фото 3). Белый свет от лампы накаливания 1 (рис. 4.2.4) направляется через конденсор 2 на входную щель 3 монохроматора и проходит призму 4. В результате разложения белого света в спектр на выходную щель 6 монохроматора, которая пропускает свет к фотоэлементу  $\Phi Э$ , попадает излучение сравнительно узкого спектрального диапазона: ширина этого диапазона определяется шириной выходной щели, которая может регулироваться специальным винтом.



Фото 2



Фото 3

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 и дан в Приложении 1 к данной работе.

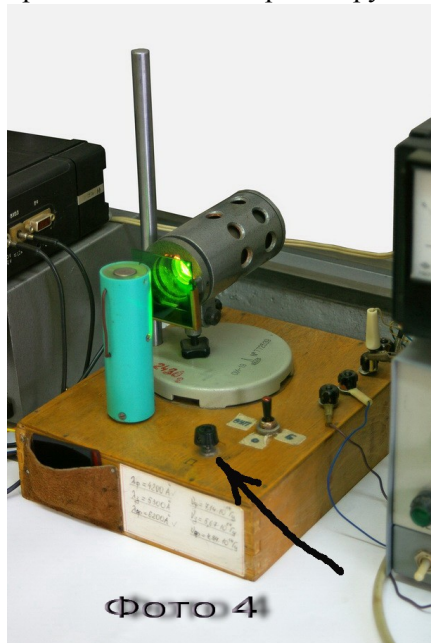


Фото 4

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 (фото 4), 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 Ф-195 (фото 5), для измерения запирающего напряжения – цифровой вольтметр В7-35 с индикацией результата измерения в цифровой форме и с автоматическим выбором предела измерения. Источником задерживающего напряжения является ИЭПП (вольтметр и источник постоянного напряжения ИЭПП вы видите на фото 1 под барабаном монохроматора). Величина задерживающего напряжения регулируется ручкой П потенциометра (указана стрелкой на фото 4).

## Измерения и обработка результатов

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

Закрепите фотоэлемент в патроне (фото 2) и установите в кожухе монохроматора (фото 3).

1. Проверьте правильность начального положения ручек на приборах, чтобы не сжечь приборы:

а) выпрямитель ВУП: начальное положение ручки регулировки напряжения 0-100 (левая ручка на фото 5) - 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, что соответствует фиолетовой области спектра;  
 г) переключатель регулировки света в монохроматоре (указан стрелкой на фото 6) поставьте в положение "ЗАКРЫТО".

2. Поставьте переключатель ВУП-0-Б в положение «0». Включите микроамперметр Ф-195, нажав кнопку СЕТЬ, при этом над кнопкой должна загореться красная лампочка. Дайте прогреться прибору 10-15 минут.

3. Закрепите фотоэлемент в патроне и опустите в кожух монохроматора. Включите выпрямитель ВУП. Поставить переключатель ВУП-0-Б в положение ВУП.

4. Включите осветительную лампу К-12, расположенную перед входной щелью монохроматора, тумблерами СЕТЬ и "ЛАМПА К-12" на блоке питания.

5. Выставьте на выпрямителе ВУП 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. Поставьте ручку 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).

8. Вращайте барабан монохроматора в сторону увеличения делений  $\varphi$ , 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  $\varphi_{сп}^0$ , соответствующее  $i=i_{темн}$ . Оцените погрешность измерения.

**ТАБЛИЦА 1**

$\varphi^0$	1300	1350	1400	1450	1500				
$\lambda$ (А)									
$i$ (нА)									

По значению  $\varphi_{сп}^0$  определите красную границу фотоэффекта  $\lambda_{сп}$  (используя калибровочную кривую, Приложение 1).

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

10. Постройте график зависимости фототока  $i$  от длины волны - **спектральную характеристику фотоэлемента** (используя калибровочную кривую монохроматора, Приложение 1).

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

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

1. Выньте фотоэлемент из насадки к монохроматору и укрепите его в штативе (с учетом полярности) на панели напротив осветительной лампы (фото 4).

2. Установите перед осветительной лампой в держателе зеленый светофильтр.

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. Включите осветитель (фото 4).

7. Переключатель ВУП-0-Б переведите в положение "Б" что соответствует запирающему напряжению, равному нулю. Вращая ручку трансформатора, регулирующего силу света, добейтесь, чтобы стрелка микроамперметра отклонилась на 80 – 90 делений шкалы.

8. Плавно поворачивая ручку  $П$  потенциометра, увеличивайте величину задерживающего напряжения. Напряжение меняйте до тех пор, пока ток не станет равным нулю. Снимите вольт-

амперную характеристику фотоэлемента в области тормозящего поля (см. рис. 4.2.1) для двух значений частоты падающего света. Частота падающего света определяется светофильтром. В работе используются оранжевый ( $\lambda_{ор} = 0,62$  мкм) и фиолетовый ( $\lambda_{ф} = 0,42$  мкм) светофильтры. Их спектральные характеристики указаны на установке.

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

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. 4.2.1).

**ТАБЛИЦА 2**

$\lambda = 0,42$  мкм

<b>U (В)</b>											
<b>I (мкА)</b>											

$\lambda = 0,62$  мкм

<b>U (В)</b>											
<b>I (мкА)</b>											

9. 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 запирающего напряжения ИЭПП. Ручку  $I$  регулировки запирающего 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 потенциалы для указанных частот падающего света.
3. Оцените величину постоянной Планка двумя способами:
  - 1) по формуле (6);
  - 2) используя граничное значение частоты света, полученное в задании №1 и одно из известных значений запирающего напряжения.

### **ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ**

1. Как определяется постоянная Планка по методу задерживающего потенциала? Как при этом используется уравнение Эйнштейна?
2. Можете ли вы указать явление, обратное фотоэффекту?
3. Что такое внутренний фотоэффект? Где он наблюдается? В какой области спектра лежит красная граница внутреннего фотоэффекта?
4. Как связан импульс фотона с волновым вектором? См. также вопросы к лабораторной работе 4.1.