

Ярославский государственный педагогический  
университет им. К. Д. Ушинского

**Лабораторная работа № 2**

**Изучение внешнего  
фотоэффекта  
и определение постоянной  
Планка**

Ярославль  
2002

---

## Оглавление

1. Краткая теория . . . . .	3
2. Описание установки . . . . .	6
3. Порядок выполнения работы . . . . .	7
4. Контрольные вопросы . . . . .	9

## Лабораторная работа № 2

### Изучение внешнего фотоэффекта и определение постоянной Планка

**Цель работы:** Знакомство с методом задерживающего потенциала, определение постоянной Планка, красной границы фотоэффекта и работы выхода электрона.

**Приборы:** фотоэлемент СЦВ-4 в кожухе, осветитель ОИ-9М, монохроматор УМ-2, микроамперметр, вольтметр, выпрямитель, реостат.

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М., 1976, гл 32.
2. Матвеев А.Н. Атомная физика. М., 1989, п.1.
3. Савельев И.В. Курс физики. том 3, М., 1989, п.8.

## 1. Краткая теория

Фотоэффект принадлежит к числу явлений, в которых обнаруживаются корпускулярные свойства света. Столкновение фотонов с электронами приводит к выбиванию электронов из фотокатода. Энергетический баланс этого взаимодействия устанавливается уравнениями Эйнштейна.

$$h\nu = E_{max} + A, \quad (1.1)$$

$E_{max}$  — максимальная кинетическая энергия освобожденного электрона.

$A$  — работа выхода электрона из фотокатода,

$h$  — постоянная Планка,

$\nu$  — частота света.

Произведение  $h\nu$  определяет, как известно, энергию фотона для света с частотой  $\nu$ .

Даже при монохроматическом освещении энергия электронов, вылетающих из катода, оказывается неодинаковой. Электроны в веществе обладают разными энергиями, располагаясь по разрешенным энергетическим уровням разрешенных зон. Под работой выхода  $A$  понимают энер-

гию, необходимую для удаления электрона с самых верхних энергетических уровней. Энергия, которую необходимо затратить, чтобы удалить электрон с ниже расположенных уровней, превосходит  $A$ , и кинетическая энергия таких электронов оказывается меньше. Кроме того, электроны могут терять часть своей энергии на пути к поверхности фотокатода. Соотношение (1.1) определяет поэтому кинетическую энергию не всех, а только наиболее быстрых фотоэлектронов.

При измерении энергии фотоэлектронов обычно пользуются методом задерживающего потенциала. Вблизи фотокатода располагается второй электрод (анод), к которому прикладывается отрицательный по отношению к катоду потенциал  $U$ . Как уже было сказано, вылетевшие из фотокатода электроны имеют различные энергии. Те электроны, энергия которых удовлетворяет условию  $< U$  ( $-$  заряд электрона), не могут достичь анода. Поэтому при увеличении  $U$  анодный ток уменьшается. При некотором значении  $U = U_3$  (потенциал запираения) даже наиболее быстрые фотоэлектроны не могут достичь анода, и анодный ток прекращается. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов связана с задерживающим потенциалом соотношением:

$$E_{max} = e \cdot U_3. \quad (1.2)$$

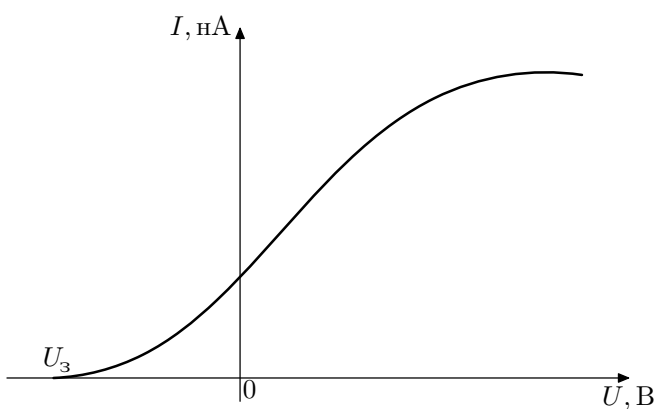


Рис. 1.1

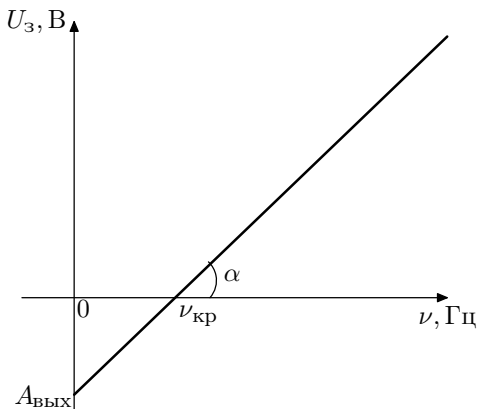


Рис. 1.2

На опыте обычно изучается зависимость электронного тока в фотоэлементе от величины задерживающего потенциала  $U_3$ . Как следует из сказанного, форма кривой зависит от материала и толщины фотослоя. Она зависит, кроме того, от формы электродов и от условий освещения.

Интерес представляет поэтому не сама кривая, а лишь точка пересечения кривой с осью  $J = 0$ , определяющая потенциал запираения (рис. 1.1).

Подставляя (1.2) в (1.1), получаем

$$h\nu = eU_3 + A$$

или окончательно

$$U_3 = \frac{h}{e} \cdot \nu - \frac{A}{e}. \quad (1.3)$$

Из уравнения (1.3) видно, что величина запирающего потенциала  $U_3$  линейно зависит от частоты света (рис. 1.2).

При экспериментальной проверке уравнения Эйнштейна следует убедиться в том, что величина потенциала запираения  $U_3$  зависит только от частоты света и притом линейно (рис. 1.2). По тангенсу угла  $\alpha$  наклона прямой  $U_3(\nu)$  к оси частот можно определить постоянную Планка:

$$\frac{\Delta U_3}{\Delta \nu} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dU_3}{d\nu} = \frac{h}{e}. \quad (1.4)$$

(При этом следует иметь в виду, что  $\operatorname{tg} \alpha$  в этом случае имеет физический смысл, и следовательно, является *размерной* величиной. Таким образом при расчете по графику величины  $\frac{\Delta U_3}{\Delta \nu}$  надо брать их в выбранных на графике единицах измерения.)

Таким образом, в расчетную формулу для определения не входит работа выхода  $A$ , что существенно упрощает проведение эксперимента. Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс можно определить по графику, либо аналитически с помощью метода наименьших квадратов.

Экспериментальная часть задания сводится к определению запирающего потенциала  $U_3$ . Точное определение этого потенциала наталкивается на ряд трудностей. Как показывает опыт, график  $J = f(U_3)$  (рис. 1.1) подходит к оси абсцисс под небольшим углом и даже заходит в область отрицательных значений  $J$ .

Значение запирающего потенциала становится несколько неопределенным. Такой ход кривой связан с наличием обратного фотоэффекта (т.е. фотоэффекта с анода) и с ионными токами в фотоэлементе из-за несовершенства вакуума. Поэтому следует проводить измерения  $U_3$  несколько раз в каждой точке.

## 2. Описание установки

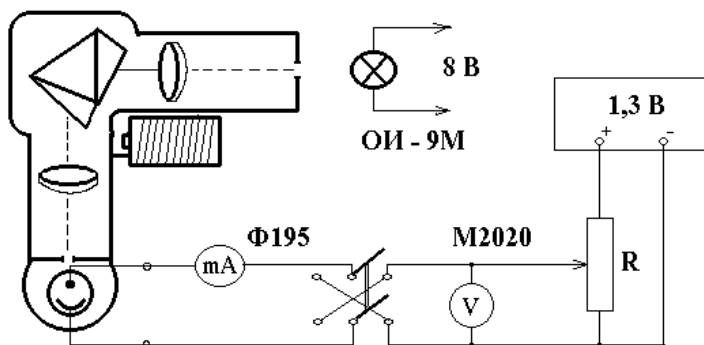


Рис. 2.1

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.1. В качестве источника света используется осветитель от микроскопа ОИ-9М. Свет от источника направляется на входную щель монохроматора УМ-2 и, пройдя через диспергирующую призму внут-

ри монохроматора, которую можно поворачивать при помощи барабана, разлагается в спектр. Выходная щель монохроматора вырезает небольшой участок спектра, который через матовое стекло попадает на фотоэлемент СЦВ-4. Напряжение на фотоэлемент подается от выпрямителя СИМ-1 и регулируется реостатом, полярность подводимого напряжения изменяется с помощью ключа, фототок измеряется микроамперметром Ф195, а напряжение милливольтметром М2020.

Чтобы можно было определить длину волны по углу поворота барабана монохроматора, его предварительно калибруют по известному спектру в котором известны длины волн спектральных линий, например по спектру ртути (подробнее об устройстве монохроматора и о том, как проводится его калибровка см. в лабораторной работе № 5).

Можно подобрать эмпирическую формулу достаточно хорошо согласующуюся с калибровочным графиком:

$$\nu = A_0 + A_1\varphi + A_2\varphi^2 + A_3\varphi^3 + \dots$$

$\nu$  — частота излучения,

$\varphi$  — поворот барабана монохроматора в градусах.

На практике вполне достаточно оказывается ограничиться квадратичным приближением:

$$\nu = A\varphi^2 + B\varphi + C.$$

Коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  определяются исходя из экспериментальных данных по методу наименьших квадратов. Для монохроматора, использу-

### 3. Порядок выполнения работы

---

емого в данной работе калибровка была произведена. Длина волны излучения проходящего через выходную щель монохроматора связана с углом поворота по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{A\varphi^2 + B\varphi + C} \text{ (нм)}, \quad (2.5)$$

$$A = -8,85 \cdot 10^{-11},$$

$$B = -2,17 \cdot 10^{-7},$$

$$C = 2,50 \cdot 10^{-3}.$$

Ширина спектрального интервала, который вырезает щель, а также удвоенная среднеквадратичная погрешность в определении частоты света зависит от ширины щели и задается отношением:

$$\Delta\nu = HcF(2A\varphi + B) \text{ ()}, \quad (2.6)$$

$$F = 75 \text{ град/мм},$$

$$c = \text{скорость света } 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$$

$$H = \text{ширина выходной щели в мм}.$$

## 3. Порядок выполнения работы

### Задание 1. Подготовка установки к измерениям.

Включить источник питания СИМ-1, установить потенциометром  $U = 0$  и установить на милливольтметре предел измерений 1500 мВ, включить микроамперметр Ф195 и установить предел измерений 100 нА при положении кнопки переключателя диапазонов 50-0-50. (При этом микроамперметр регистрирует ток от  $-50$  до  $+50$  нА). Поворотом ручки на источнике питания СИМ-1 включить лампу накаливания и сфокусировать ее свет на входную щель монохроматора. Установить ширину выходной и входной щелей монохроматора 2 мм, напряжение  $U = 0$ .

### Задание 2. Снятие вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента.

Поворотом барабана монохроматора установить угол  $1500^\circ$ .

Для получения вольт-амперной характеристики реостатом меняется напряжение на фотоэлементе от  $+0,5$  до  $0$ , через  $0,05$ , потом переключателем меняется полярность подводимого напряжения и снимается часть

---

вольт-амперной характеристики в области отрицательных напряжений от 0 до прекращения фототока.

Вольт-амперную характеристику построить на графике.

### Задание 3. Определение постоянной Планка по графику зависимости запирающего потенциала от частоты света.

Установить ширину входной щели монохроматора 4 мм, выходной щели монохроматора 2 мм. Поворачивая барабан монохроматора через 100 градусов снять зависимость задерживающего потенциала  $U_3$  от частоты  $\nu$  в интервале поворота барабана монохроматора от 800 до 2000 градусов.

Для этого необходимо для каждого установленного поворота барабана определить соответствующую ему длину волны и по ней частоту света по формуле (2.5), а также ошибку в определении частоты по формуле (2.6).

Для каждого поворота барабана установить реостатом напряжение при котором ток через фотоэлемент равен нулю. При каждом повороте барабана рекомендуется получить не менее 5 значений запирающего потенциала  $U_3$ , каждый раз меняя напряжение реостатом. По полученным значениям  $U_{31}, U_{32}, U_{33}$  и т.д. вычислить среднее значение  $U_3$  и среднеквадратичную ошибку в определении задерживающего потенциала.

Следует отметить, что разумное значение запирающего потенциала можно получить если при  $U = 0$  стрелка микроамперметра отклоняется не менее, чем на 3 – 4 деления.

Полученные данные удобно свести в таблицу:

$\varphi$	$\lambda$ нм	$\nu$ Гц	$\Delta\nu$	$U_{31}$	...	$U_{35}$	$U_3$	$\Delta U_3$
800								
900								
...								
2000								

По полученным данным построить график  $U_3 = f(\nu)$

Обработку результатов провести графически или аналитически (по методу наименьших квадратов). По полученному графику определить постоянную Планка, работу выхода электрона, красную границу фотоэф-



фекта с учетом погрешности. Полученное значение постоянной Планка сравнить с значением, взятым из справочника.

## 4. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Столетова для внешнего фотоэффекта.
2. Какие закономерности фотоэффекта не удастся объяснить с позиции волновой теории света?
3. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
4. Что называется красной границей фотоэффекта и от чего зависит ее значение?
5. Может ли свободный электрон поглотить фотон?
6. В чем заключается метод задерживающего потенциала для определения постоянной Планка?
7. Чем определяется точность полученных результатов в данной работе?