

## Лабораторная работа № 6.3

### ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

#### 6.3.1. Цель работы

Целью работы является изучение явления внешнего фотоэффекта, экспериментальное подтверждение его закономерностей и определение красной границы фотоэффекта, работы выхода электронов из фотокатода и постоянной Планка.

#### 6.3.2. Краткая теория

Согласно квантовой теории фотоэффекта Эйнштейна, свет с частотой  $\nu$  испускается, поглощается и распространяется дискретными (отдельными) порциями (квантами электромагнитного излучения – ЭМИ), названными фотонами.

*Фотоном* также называют элементарную частицу, которая всегда (в любой среде) движется со скоростью света и имеет массу покоя, равную нулю.

*Энергия фотона*

$$E_{\text{ф}} = h\nu, \quad (6.3.1)$$

где  $\nu$  – частота излучения;

$h$  – постоянная Планка, равная  $6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Энергия часто измеряется во внесистемных единицах *электрон-вольтах*.  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж.

*Масса фотона* связана с его энергией соотношением Эйнштейна

$$E_{\text{ф}} = m_{\text{ф}} \cdot c^2, \quad (6.3.2)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме, равная  $3 \cdot 10^8$  м/с.

Отсюда

$$m_{\phi} = \frac{E_{\phi}}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (6.3.3)$$

*Импульс фотона*

$$p = m_{\phi}c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{E_{\phi}}{c}, \quad (6.3.4)$$

где  $\lambda$  – длина волны электромагнитного излучения.

*Внешний фотоэффект* – это явление испускания электронов с поверхности вещества (металла, фотокатода) под действием света. Вылетевшие электроны называются фотоэлектронами.

По Эйнштейну каждый квант поглощается только одним электроном. Поэтому число вырванных электронов должно быть пропорционально интенсивности света, а передача энергии при столкновении фотона с электроном происходит почти мгновенно. По закону сохранения энергии энергия кванта расходуется на работу выхода электрона из вещества и сообщение ему кинетической энергии.

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m\nu_{\text{max}}^2}{2}. \quad (6.3.5)$$

Уравнение (6.3.5) выражает закон Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона линейно возрастает с увеличением частоты падающего излучения и не зависит от его интенсивности (числа фотонов). Фотоэффект начинается при некоторой минимальной частоте электромагнитного излучения, называемой *красной границей* фотоэффекта.

*Красная граница* фотоэффекта – это минимальная частота или максимальная длина волны, при которой фотоэффект еще наблюдается, т. е. для которой энергия фотона равна работе выхода электрона.

$$h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}} \quad (6.3.6)$$

или

$$h \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} = A_{\text{ВЫХ}}. \quad (6.3.7)$$

На явлении внешнего фотоэффекта основано действие *фотоэлементов* – приборов, в которых в результате поглощения энергии падающего излучения возникает электрический ток. Простейшим фотоэлементом является вакуумный фотоэлемент.

Два электрода (катод из исследуемого металла и анод в вакуумной трубке) подключены к источнику напряжения. Через кварцевое окошко катод освещается (облучается) светом различных длин волн. Под действием света вещество теряет только отрицательные заряды, т. е. вырываются электроны. Если приложить задерживающее (запирающее) напряжение  $U_{\text{зап}}$ , то электроны при вылете из катода не смогут достигнуть анода.

При таком напряжении отсутствует ток в цепи этой лампы ( $I = 0$ ).

Поэтому

$$U_{\text{зап}} = \frac{E_{\text{к}}^{\text{max}}}{|e|} = \frac{h\nu - A_{\text{ВЫХ}}}{|e|}, \quad (6.3.8)$$

где  $|e|$  – модуль заряда электрона ( $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл).

### 6.3.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите раздел «Квантовая физика» и модель «Фотоэффект». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Внимательно рассмотрите рис. 6.3.1 и зарисуйте модель установки для наблюдения фотоэффекта в свой отчет лабораторной работы. Найдите регуляторы с движками, задающими длину волны  $\lambda$ , мощность излучения  $P$  и задерживающее напряжение  $U$  и запишите их в соответствующую таблицу в отчете.

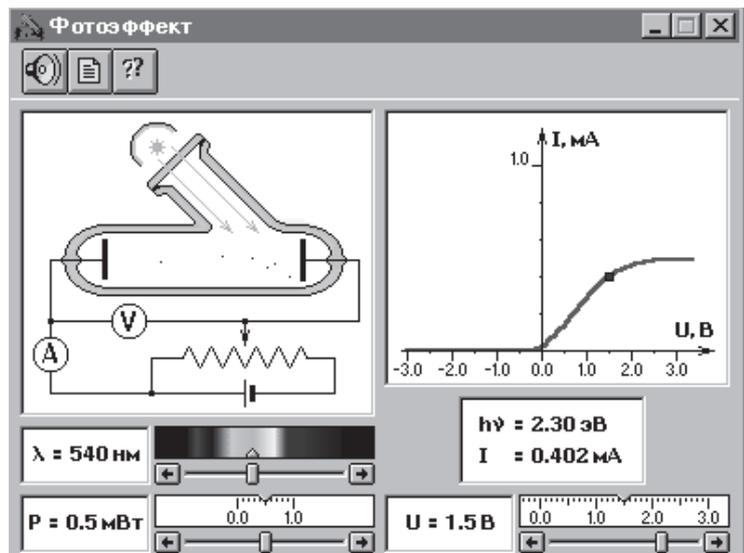


Рис. 6.3.1. Внешний фотоэффект

Зацепите мышью движок регулятора мощности (интенсивности) облучения фотокатода и установите его на максимум ( $P = 1$  мВт).

Аналогичным образом установите нулевое запирающее напряжение между анодом и фотокатодом и минимальную длину волны ЭММИ (в компьютерной модели  $U_{\text{зап}}$  обозначено, как  $U$ ). Наблюдайте движение электронов в фотоэлементе, изменяя напряжение до запираения фототока.

1. Зацепив мышью, перемещайте регулятор длины волны падающего излучения и постепенно увеличивайте ее. Добейтесь полного отсутствия фототока ( $I = 0$ ). Значения фототока смотрите в окошке опыта под графиком. Установите самую большую длину волны (она будет равна  $\lambda_{\text{кр}}$ ), при которой фототок еще присутствует ( $I = 0,001$  мА). Запишите под заголовком табл. 6.3.2 значение длины волны красной границы фотоэффекта ( $\lambda_{\text{кр}}$ ).

2. Для определения связи запирающего напряжения с длиной волны падающего излучения установите первое значение запирающего напряжения в соответствии с табл. 6.3.1 для вашей бригады.

Перемещая мышью регулятор длины волны, установите такое максимальное значение длины волны, при котором прекращается фототок (при визуальном наблюдении электронов вы видите, что практически все

электроны долетают до анода и после этого движутся обратно к катоду). При этом  $I = 0$ . Значения  $\lambda$  и  $U_{\text{зап}}$  занесите в табл. 6.3.2.

3. Повторите измерения еще для трех значений запирающего напряжения (см. табл. 6.3.1).

Таблица 6.3.1

**Исходные данные**

Номер бригады	$U_{\text{зап1}}$	$U_{\text{зап2}}$	$U_{\text{зап3}}$	$U_{\text{зап4}}$
1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,9
3	-0,3	-0,5	-0,7	-1,0
4	-0,4	-0,7	-0,8	-1,1
5	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0
6	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9
7	-0,3	-0,6	-0,9	-1,2
8	-0,4	-0,6	-0,9	-1,1

Таблица 6.3.2

**Результаты измерений**

$$\lambda_{\text{кр}} = \text{_____ нм}$$

$i$	1	2	3	4
$U_{\text{зап}i}, \text{ В}$				
$\lambda_i, \text{ нм}$				
$1/\lambda_i, 10^6 \text{ м}^{-1}$				

**6.3.4. Обработка результатов измерений**

1. Вычислите и запишите в табл. 6.3.2 необходимые величины.
2. Постройте графики зависимости напряжения запираения ( $U_{\text{зап}}$ ) от обратной длины волны ( $1/\lambda_i$ ).
3. По наклону графиков определите постоянную Планка (см. с. 7–8).

$$h = \frac{|e| \Delta(U_{\text{зап}})}{c \Delta\left(\frac{1}{\lambda}\right)}. \tag{6.3.9}$$

4. Используя длину волны красной границы фотоэффекта, вычислите по формуле (6.3.6) значение работы выхода материала фотокатода. Используя данные табл. 6.3.3, определите материал, из которого изготовлен катод.

5. Оцените относительную и среднюю абсолютную погрешности определения постоянной Планка (см. с. 7).

6. Запишите окончательный результат и сделайте вывод.

Таблица 6.3.3

#### Значения работы выхода для некоторых материалов

Материал	калий	литий	платина	рубидий	серебро	цезий	цинк
$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	2,2	2,3	6,3	2,1	4,7	2,0	4,0

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется фотоном?
2. Запишите формулы энергии, массы и импульса фотона.
3. Что называется внешним фотоэффектом?
4. Напишите и поясните формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
5. Что называется работой выхода электрона?
6. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
7. Что называется фотоэлементом?
8. Что такое задерживающее напряжение?