

КВАНТОВАЯ ОПТИКА. АТОМНАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3_1. ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником [1,2]. Запустите программу. Выберите модель «5.1. Фотоэффект». Прочитайте краткие теоретические сведения. Оформите конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Знакомство с квантовой моделью внешнего фотоэффекта.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей внешнего фотоэффекта.
- Экспериментальное определение красной границы фотоэффекта, работы выхода фотокатода и постоянной Планка.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

ФОТОНЫ – это частицы (кванты), поток которых является одной из моделей электромагнитного излучения (ЭМИ).

ЭНЕРГИЯ ФОТОНА: $E_{\phi} = h\nu$,

ν – частота излучения, h – постоянная Планка, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

ЭНЕРГИЯ часто измеряется во внесистемной единице «электрон-вольт».

1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

МАССА ФОТОНА связана с его энергией соотношением Эйнштейна

$$E_{\phi} = m_{\phi}c^2, \text{ отсюда } m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} .$$

$$\text{ИМПУЛЬС ФОТОНА } p = m_{\phi}c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{E_{\phi}}{c} ,$$

где λ – длина волны ЭМИ.

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ есть явление вылета электронов из вещества (металла, фотокатода) при его облучении электромагнитным излучением (ЭМИ), например, светом. Вылетевшие электроны называются ФОТОЭЛЕКТРОНАМИ. Далее для краткости указанное явление будем называть просто фотоэффектом.

Кинетическая энергия электрона внутри вещества увеличивается на $h\nu$, но при вылете фотоэлектрона из вещества им совершается работа $A_{\text{ВЫХ}}$ (работа выхода) против сил электростатического притяжения к металлу. У фото-

электрона сообщенная ему фотоном порция энергии $h\nu$ уменьшается на величину, равную работе выхода из металла (фотокатода), а оставшаяся часть имеет вид кинетической энергии фотоэлектрона вне металла (фотокатода):

$$E_{\text{КИН}}^{\text{ВНЕ}} = h\nu - A_{\text{ВЫХ}} .$$

Это соотношение называют формулой (законом) ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ФОТОЭФФЕКТА.

КРАСНАЯ ГРАНИЦА фотоэффекта есть минимальная частота ЭМИ, при которой еще наблюдается фотоэффект, то есть для которой энергия фотона равна работе выхода $h\nu_{\text{КР}} = A_{\text{ВЫХ}}$.

ФОТОЭЛЕМЕНТОМ называют устройство, в котором используется внешний фотоэффект. Это устройство как правило включает в себя два металлических электрода, впаянных в стеклянную колбу. Один из электродов называют анодом, а второй – фотокатодом, поскольку он облучается светом (электромагнитным излучением определенного диапазона длин волн) и на нем наблюдается фотоэффект.

Второй электрод называют анодом. Он обеспечивает поглощение фотоэлектронов и протекание тока во всей цепи.

Колба вакуумируется (из нее откачивается воздух до очень низких давлений, порядка 10^{-7} мм.рт.ст.) с тем, чтобы фотоэлектроны могли без столкновений двигаться от катода до анода.

Если напряжение на аноде положительное по отношению к фотокатоду, то фотоэлектроны ускоряются и попадают на анод. Если напряжение анод – катод отрицательное, то фотоэлектроны тормозятся электрическим полем и могут не долетать до анода.

ЗАПИРАЮЩИМ (ЗАДЕРЖИВАЮЩИМ) НАПРЯЖЕНИЕМ называется минимальное тормозящее напряжение между анодом вакуумной лампы (фотоэлемента) и фотокатодом, при котором отсутствует ток в цепи этой лампы, то есть фотоэлектроны не долетают до анода. При таком напряжении кинетическая энергия электронов у катода равна потенциальной энергии электронов у анода, откуда следует выражение:

$$U_{\text{ЗАП}} = \frac{E_{\text{КИН}}^{\text{ВНЕ}}}{e} = \frac{h\nu - A_{\text{ВЫХ}}}{e} = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{e} ,$$

где e – заряд электрона.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рис.1 и зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

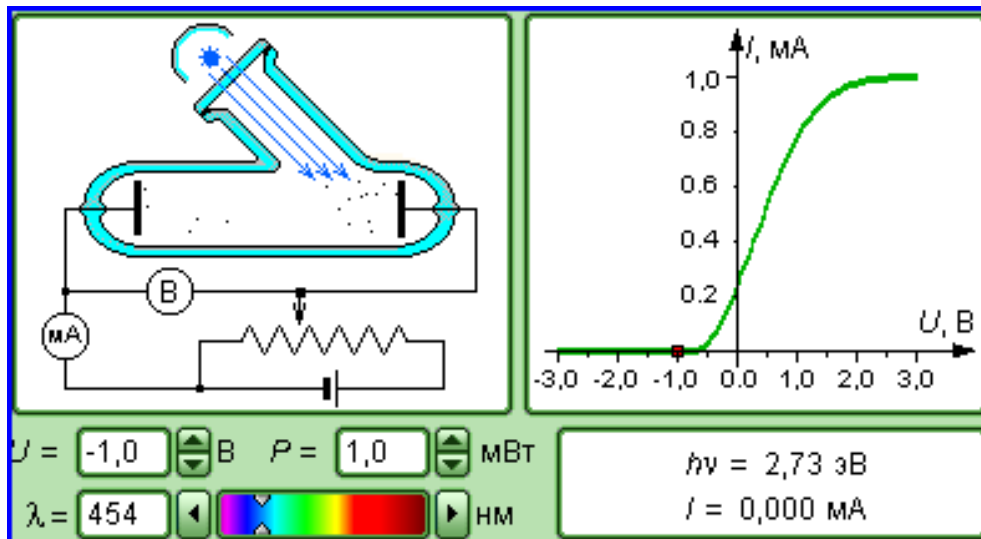


Рис.1. Компьютерная модель для исследования внешнего фотоэффекта.

Нажмите мышью кнопку регулятора интенсивности (мощности P) облучения фотокатода и установите максимум интенсивности.

Зацепив мышью, перемещайте метку на спектре, постепенно уменьшая длину волны облучения фотокатода, установите минимальную длину волны ЭМИ (λ). Изменяя напряжение до запирающего фототока, наблюдайте движение электронов в фотоэлементе.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Снова установите нулевое напряжение (U) между анодом и фотокатодом. Зацепив мышью, перемещайте метку на спектре, постепенно увеличивая длину волны облучения фотокатода (или щелкайте кнопки регулятора длины волны). Добейтесь полного отсутствия фототока. Зафиксируйте самую большую длину волны (она будет равна $\lambda_{кр}$), при которой фототок еще присутствует. Запишите в тетрадь значение длины волны красной границы фотоэффекта ($\lambda_{кр}$).
2. Для более точного определения связи запирающего напряжения с длиной волны падающего излучения:
 - Сначала установите значение запирающего напряжения в соответствии с табл. 1.
 - Перемещая мышью вертикальную метку на спектре и щелкая кнопки регулятора длины волны, установите такое максимальное значение длины волны, при котором прекращается фототок (при визуальном наблюдении электронов вы видите, что электроны долетают практически до поверхности анода и после этого движутся обратно к катоду). При

этом напряжение между анодом и фотокатодом равно напряжению запирающего напряжения $U_{\text{зап}}$.

- Значения λ и $U_{\text{зап}}$ занесите в табл. 2.

ТАБЛИЦА 1 (не перерисовывать). Значения запирающего напряжения

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

ТАБЛИЦА 2. Результаты измерений и расчетов

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

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите и запишите в таблицу обратные длины волн.
2. Постройте график зависимости напряжения запирающего ($U_{\text{зап}}$) от обратной длины волны ($1/\lambda$).
3. Определите постоянную Планка, используя график и формулу

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

4. Определите длину волны красной границы фотоэффекта, вычислите значение работы выхода материала фотокатода.
5. Запишите ответы и проанализируйте ответы и график.

ТАБЛИЦА 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

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое фотоны?
2. Назовите все модели электромагнитного излучения.
3. Какую модель надо применять для электромагнитного излучения, падающего на фотоэлемент?
4. Какую модель надо применять для электромагнитного излучения, проникшего в фотокатод и взаимодействующего со свободными электронами металла?
5. Какова модель металла, взаимодействующего с электромагнитным излучением при описании фотоэффекта?
6. Напишите формулу энергии фотона.
7. Какова скорость движения фотона в металле?
8. Напишите формулу, связывающую энергию фотона и его массу.
9. Напишите выражение энергии фотона через его импульс.
10. Дайте формулировку явления внешнего фотоэффекта.
11. Опишите по шагам, что происходит с фотоном, падающим на границу металла.
12. Опишите по шагам, что происходит со свободным электроном металла после его взаимодействия с фотоном.
13. Опишите, что происходит с электроном, входящим в состав атома металла после его взаимодействия с фотоном.
14. Что такое работа выхода? Чья это характеристика?
15. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
16. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
17. Как устроен фотоэлемент?
18. Зачем в фотоэлементе применяют вакуумированный корпус?
19. Почему катод фотоэлемента называют фотокатодом?
20. Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода?
21. Какие законы сохранения выполняются при движении электрона от фотокатода к аноду?
22. Как движется фотоэлектрон в фотоэлементе при потенциале анода ниже потенциала фотокатода?
23. Как движется фотоэлектрон в фотоэлементе при потенциале анода выше потенциала фотокатода?
24. Как связана кинетическая энергия электрона у катода с его потенциальной энергией у анода и почему?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.26, §§ 202-204.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высшая школа, 2000. Гл. 36, §§ 36.1, 36.2.