



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Методические указания
к практическим заданиям
по дисциплине
«Физика»

**«Изучение внешнего
фотоэлектрического
эффекта»**

(раздел «Атомная и ядерная физика»)

Авторы
Снежков В.И.,
Брылева М.А.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта: метод. указания к лабораторной работе № 63 по физике.

Указания содержат краткую теорию по теме «Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта».

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса общей физики.

Авторы

д.ф.-м.н., проф. В.И. Снежков,
к.ф.-м.н., асс. М.А. Брылева



Оглавление

Лабораторная работа № 73 «ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА».....	4
Порядок выполнения работы.....	8
Контрольные вопросы	10
Литература.....	10

Лабораторная работа № 73 «ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА»

Цель работы: изучение явления фотоэффекта и определение постоянной Планка.

Приборы и принадлежности: установка ФПК – 10.

Теория

Фотоэффект - вырывание электронов из вещества под действием света. В металле электрон движется свободно, но при вылете его с поверхности сам металл из-за этого заряжается положительным зарядом и препятствует вылету. Поэтому для того, чтобы покинуть металл, электрон должен обладать дополнительной энергией, зависящей от вещества. Эта энергия называется работой выхода.

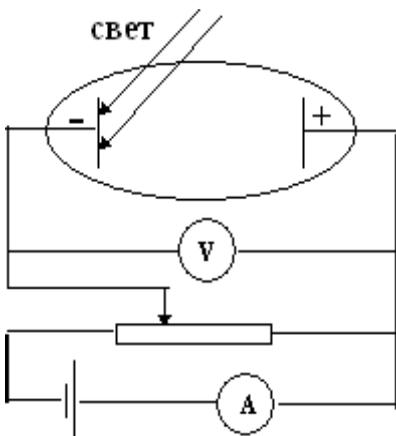


Рис. 1

Для исследования фотоэффекта можно собрать установку, изображенную на рис. 1. Она состоит из стеклянного баллона, из которого выкачан воздух. Окно, через которое падает свет, сделано из кварцевого стекла, пропускающего видимые и ультрафиолетовые лучи. Внутри баллона впаяны два электрода: один из которых - катод - освещается через окно. Между электродами источник создает элек-

трическое поле, которое заставляет двигаться фотоэлектроны от катода к аноду. Движущиеся электроны образуют электрический ток (фототок). При изменении напряжения меняется сила тока. График зависимости I от U - вольтамперная характеристика - приведен на рис. 2. При малых напряжениях не все вырванные из катода электроны достигают анода, при увеличении напряжения их число возрастает. При некотором напряжении все вырванные светом электроны достигают анода, тогда устанавливается ток насыщения $I_{нас}$, при дальнейшем увеличении напряжения ток не изменяется.

При увеличении интенсивности падающего излучения наблюдается возрастание тока насыщения, пропорционального

Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта

числу вырванных электронов (рис. 2). Первый закон фотоэффекта утверждает, что количество электронов, вырванных светом с поверхности металла, пропорционально поглощенной энергии световой волны.

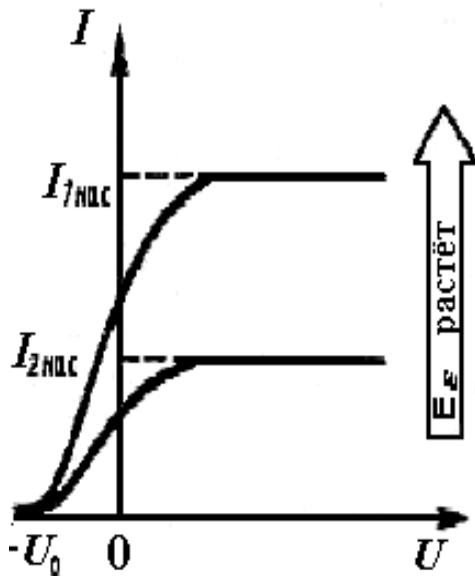


Рис. 2

Для измерения кинетической энергии электронов нужно поменять полярность источника тока. На графике этому случаю соответствует участок при $U < 0$, на котором фототок падает до нуля. Теперь поле не разгоняет, а тормозит фотоэлектроны.

При напряжении, названном задерживающим $U_{ззд}$, фототок исчезает. При этом все электроны будут остановлены полем, затем поле вернет их в катод.

Работа сил электрического поля $A = qU_{ззд}$, затраченная на торможение электрона, равна изменению кинетической энергии электрона:

$$mv^2/2 = qU_{ззд} \quad (1)$$

где m - масса электрона, v - его скорость, q - заряд. Измеряя задерживающее напряжение $U_{ззд}$, мы определяем максимальную кинетическую энергию. Оказалось, что максимальная кинетическая энергия электронов зависит не от интенсивности света, а только от частоты. Это утверждение называют вторым законом фотоэффекта.

При некоторой граничной частоте света, которая зависит от конкретного вещества, и при более низких частотах фотоэффект не наблюдается. Эта граничная частота носит название "красной" границы фотоэффекта.

Объяснил законы фотоэффекта А. Эйнштейн в 1905 г. Энергия одного кванта света $E = h\nu = hc/\lambda$, где c - скорость света.

Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта

Если предположить, что один квант света вырывает один электрон, то энергия кванта E идет на совершение работы выхода электрона A и на сообщение ему кинетической энергии $mv^2/2$:

$$hc/\lambda = A + mv^2/2. \quad (2)$$

Это уравнение носит название уравнения Эйнштейна для фотоэффекта.

Объясним с позиций идеи Эйнштейна первый закон фотоэффекта. Если один квант энергии вырывает один электрон, то чем больше квантов поглощает вещество (чем больше интенсивность света), тем больше электронов вылетит из вещества.

Работа выхода A зависит от рода вещества и не зависит от частоты света. Кинетическая энергия электрона, вырванного из вещества, равна $mv^2/2 = h\nu - A$ и зависит от частоты света ν : чем больше частота, тем большую кинетическую энергию получит электрон. Интенсивность света не влияет на кинетическую энергию электрона, потому что уравнение Эйнштейна описывает энергетику одного электрона.

Формула Эйнштейна объясняет и тот факт, что свет данной частоты из одного вещества может вырвать электрон, а из другого - не может. Для каждого вещества фотоэффект наблюдается в том случае, если энергия кванта света больше или, в крайнем случае, равна работе выхода ($h\nu \geq A$). Предельная частота, при которой еще возможен фотоэффект, $\nu_{min} = A/h$. Это частота, при которой совершается вырывание электронов без сообщения им кинетической энергии, - частота "красной границы" фотоэффекта.

Запишем уравнение Эйнштейна запишем для случая, когда кинетическая энергия электрона равна по величине работе сил электрического поля, то есть при задерживающем напряжении: $h\nu = A + qU_{зад}$. Отсюда

$$U_{зад} = \frac{h\nu - A}{q} \quad (3)$$

Построим график зависимости задерживающего напряжения от частоты (рис. 3). Из формулы видно, что зависимость $U_{зад}$ от ν является линейной. Тангенс угла наклона графика: $\text{tg } \alpha = U_{зад}/\Delta\nu = h/q$

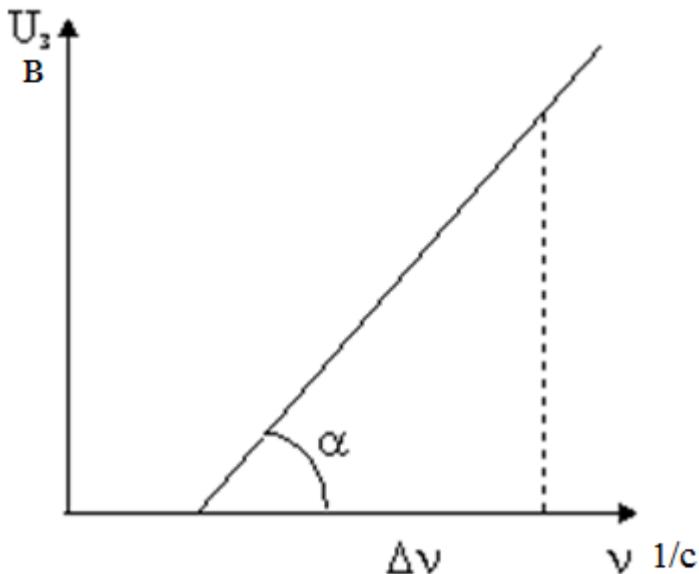


Рис. 3

Отсюда постоянная Планка: $h = q \cdot \operatorname{tg} \alpha = q \cdot U_{\text{зад}} / \Delta \nu$
 ($\Delta \nu = \nu_2 - \nu_1$) (4) Эта формула служит для определения постоянной Планка.

В таблице 1 приведены работы выхода для ряда металлов.
 Таблица 1

	Cs	K	Li	Ca	Zn	Ag	W	Au	Ge	Pt
A, эВ	1,8	2,2	2,4	2,8	4,2	4,3	4,5	4,6	4,8	5,3

Используя соотношения (1) и (2), получаем выражение для определения работы выхода A:

$$A = \frac{hc}{\lambda} - q \cdot U_{\text{зад}} \quad (5)$$

Зная величину λ и экспериментально определив значение $U_{\text{зад}}$, можно вычислить величину работы выхода A.

Порядок выполнения работы

1. Включите установку тумблером «СЕТЬ» на ее задней панели. При этом должны загореться индикаторы «ОБРАТНАЯ», «В» и «мкА». На индикаторе «В» должны установиться нули (допускается индикация до значения второго младшего разряда).

2. Дайте установке прогреться в течение 5 мин.

3. Ручками «УСТАНОВКА 0» установите нулевое значение на индикаторе «мкА» при нулевом значении напряжения.

4. Включите лампу осветителя тумблером «СЕТЬ» на передней панели. При этом должен загореться индикатор «СЕТЬ» лампы осветителя.

5. Дайте лампе осветителя прогреться в течение 15 мин.

6. Установите светофильтр № 1 путем поворота кольца с цифрами 1, 2, 3, 4.

7. Нажатием кнопки «ПРЯМАЯ» установите прямой режим измерения фототока.

8. Получите данные для построения прямого участка вольт-амперной характеристики, изменяя значения напряжения с помощью кнопок "+" и "-" и считывая при этом показания фототока с индикатора "мкА".

9. Данные занесите в таблицу 2.

10. Нажатием кнопки «ОБРАТНАЯ» установите обратный режим измерения фототока.

11. Получите данные для построения обратного участка вольт-амперной характеристики, изменяя значение напряжения с помощью кнопок "+" и "-" и считывая при этом показания фототока с индикатора "мкА".

Примечание 1. Момент исчезновения фототока определите, плавно увеличивая тормозящее напряжение. Запирающим является напряжение U_0 , при котором фототок прекращается.

12. С помощью кнопки «СБРОС» установите нулевое значение напряжения в цепи фотоэлемента.

13. Установите следующий по номеру светофильтр.

14. Повторите действия по предыдущим пунктам 8-12 для всех светофильтров.

Примечание 2. При определении запирающего напряжения фотоэлемента нулевое значение тока считывайте при уменьшении напряжения от нулевого значения до значения запирающего напряжения, а не наоборот. Не рекомендуется также устанавливать значение напряжения ниже запирающего.

15. По окончании работы отключите питание установки

Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта

выключателями «СЕТЬ» на передней и задней панели установки.

Примечание 3. Во избежание перегрева установку выключайте на 15-20 минут через каждые 45 минут работы.

Таблица 2

λ, нм	407	U, В	+20	+15	+10	+5	0	-0,2	-0,4	-0,5	-	-
		I, мкА										0
	435	U, В	+20	+15	+10	+5	0	-0,2	-0,4	-	-	-
		I, мкА										0
	546	U, В	+20	+15	+10	+5	0	-0,2	-0,4	-	-	-
		I, мкА										0
	578	U, В	+20	+15	+10	+5	0	-0,2	-0,4	-	-	-
		I, мкА										0

18. Постройте график вольт-амперной характеристики внешнего фотоэффекта для светофильтров №1-4.

19. Вычислите значения работы выхода A , используя формулу (5) и данные измерений для светофильтров №1-4, а полученные результаты занесите в таблицу 3.

Таблица 3

A_1 , эВ	A_2 , эВ	A_3 , эВ	A_4 , эВ	$\langle A \rangle$, эВ	ΔA , эВ	δA

20. Найдите среднее значение $\langle A \rangle$.

21. Определите абсолютную ошибку ΔA по формуле, определяющей стандартную погрешность

$$\Delta A = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (A_i - \langle A \rangle)^2}$$

22. Определите относительную ошибку δA измерения работы выхода

$$\delta A = A \cdot \delta A$$

23. Запишите окончательный результат в виде

$$A = (\langle A \rangle \pm \Delta A) \text{ эВ} \quad (6)$$

24. Используя таблицу (1), определите из какого металла изготовлен фотокатод.

25. Постройте график зависимости $U = f(\nu)$ (рис. 3).

26. Вычислите значение постоянной Планка по формуле

$$h = q \cdot \text{tg } \alpha = q \cdot U_{\text{зад}} / (\nu_1 - \nu_2)$$

Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта

27. Оцените относительную погрешность в определении постоянной Планка по формуле

$$\delta h = \Delta q/q + \Delta U_{\text{зад}}/U_{\text{зад}} + \Delta v/(v_1 - v_2) \quad (\Delta q = 0,05\text{Кл})$$

28. Вычислить абсолютную погрешность постоянной Планка: $\Delta h = h \cdot \delta h$.

29. Записать ответ в виде: $h = h \pm \Delta h$.

Контрольные вопросы

1. Что происходит с фотоном, вызвавшим фотоэффект?
2. Как зависит фототок от частоты и интенсивности падающего тока?
3. Чем состоит отличие фотоэффекта от эффекта Комптона?
4. Влияет ли глубина проникновения света в фотокатод на распределение фотоэлектронов по энергиям?
5. Уединенный медный шарик облучается светом с длиной волны $\lambda = 200\text{нм}$. До какого максимального потенциала зарядится шарик, если работа выхода электрона из меди $A = 4,47\text{эВ}$? При каких длинах волн шарик заряжаться не будет?

Литература

Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 5, М.: «Наука», 1998.