

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации

ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ФОТОЭФФЕКТА
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА**

Методические рекомендации

Иркутск 1999

Печатается по решению научно- методического совета
Иркутского государственного университета

Предназначены для студентов естественных факультетов, изучающих
курс общей физики.

Библиогр. 5 назв. Ил. 5.

Составитель: ст.преп. Айданова О.С.,
Сверчинская С.А.
(кафедра общей и космической физики)
Корректор: ст.преп. к.ф.-м.н. Черных А.А.

Рецензент канд. физ.- мат. наук, доц. Т.Г.Студенникова

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ФОТОЭФФЕКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

Цель работы:

Краткая теория

Фотоэффектом называется освобождение (полное или частичное) электрона от связей с атомами и молекулами вещества под воздействием света (видимого, инфракрасного, ультрафиолетового). Если электроны выходят за пределы освещаемого вещества (полное освобождение), то фотоэффект называется внешним (открыт в 1887 году Герцем и подробно исследован в 1888 году А.Г. Столетовым). Если же электроны не только теряют связь только со «своими» атомами и молекулами, но и остаются внутри освещаемого вещества в качестве «свободных электронов» (частичное освобождение), увеличивая тем самым электропроводность вещества, то фотоэффект называется внутренним (открыт в 1873 году У.Смитом). Внешний фотоэффект наблюдается у металлов. На рис. 1 приведена схема, с помощью которой можно наблюдать внешний фотоэффект.

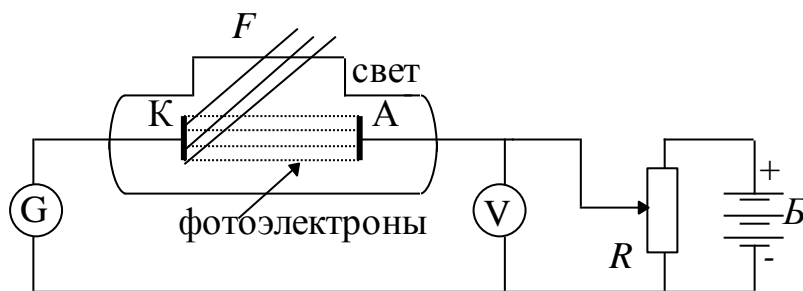


Рис.1

Отрицательный полюс батареи присоединен к металлической пластине К (катод), положительный - к вспомогательному электроду А (анод). Оба электрода помещены в откачанный сосуд, имеющий окно F, прозрачное для оптического излучения.

Поскольку электрическая цепь оказывается разомкнутой, ток в ней отсутствует. При освещении катода К свет вырывает из него электроны (фотоэлектроны), устремляющиеся к аноду, и в цепи появляется ток

(фототок). Зависимость силы тока от приложенного напряжения (вольтамперная характеристика) имеет вид, данный на рис.2.

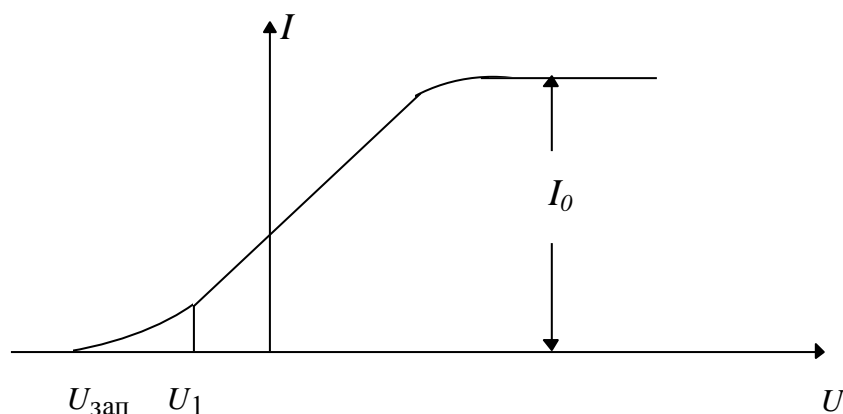


Рис.2

Этот рисунок показывает, что с увеличением разности потенциалов между анодом и катодом фототок вначале растет, а затем достигает максимального значения I_0 , которое называется током насыщения. Очевидно, ток насыщения соответствует максимальному числу электронов, которые могут быть выбиты из катода светом данной интенсивности.

Экспериментальные исследования, выполненные Столетовым, а также другими учеными, привели к установлению следующих основных законов фотоэффекта.

1. Фототок насыщения, т.е. максимальное количество электронов, освобожденных светом за одну секунду, прямо пропорционален световому потоку Φ , падающему на катод:

$$I = K \cdot \Phi,$$

где K - коэффициент пропорциональности, который называется фоточувствительностью освещаемой поверхности и измеряется в микроамперах на люмен (мкА/лм).

Независимо от интенсивности света, фотоэффект начинается только при определенной (для данного вещества минимальной) частоте света ν_{min} , называемой «красной границей» фотоэффекта. Этой минимальной частоте соответствует максимальная длина волны $\lambda_{\text{max}} = c / \nu_{\text{min}}$, которая также называется красной границей фотоэффекта (c - скорость света).

Законы внешнего фотоэффекта получают простое истолкование на основе квантовой теории света. По этой теории величина светового потока определяется числом световых квантов (фотонов), падающих в единицу

времени на поверхность металла. Каждый фотон может взаимодействовать только с одним электроном. Поэтому максимальное число фотоэлектронов, выбитых из катода за единицу времени, должно быть пропорционально световому потоку (первый закон фотоэффекта).

Энергия фотона $h\nu$, поглощенная электроном, частично расходуется на совершение электроном работы выхода A из металла. Оставшаяся часть энергии представляет собой кинетическую энергию фотоэлектрона $\frac{mV^2}{2}$, где m - масса электрона, V - его начальная скорость. Тогда, согласно закону сохранения энергии, можно написать:

$$h\nu = \frac{mV^2}{2} + A. (1)$$

Эта формула, предложенная в 1905 году Эйнштейном, называется уравнением Эйнштейна.

Согласно формуле (1), с уменьшением частоты света кинетическая энергия фотоэлектронов уменьшается (величина A постоянна для данного освещаемого вещества). При некоторой достаточно малой частоте $\nu = \nu_{\min}$, кинетическая энергия фотоэлектрона станет равной нулю, и фотоэффект прекратится (второй закон фотоэффекта). Это будет иметь место при $h\nu_{\min} = A$, т.е. в случае, когда вся энергия фотона расходуется на совершение работы выхода. Тогда

$$\nu_{\min} = \frac{A}{h} \text{ или } \lambda_{\min} = \frac{hc}{A}. (2)$$

Формула (2) определяет «красную границу» фотоэффекта. Из этих формул следует, что она зависит от величины работы выхода, т.е. от материала фотокатода. На самом деле работа выхода A неодинакова для электронов, обладающих различными тепловыми скоростями. Поэтому и начальные скорости различных фотоэлектронов будут различаться между собой. Минимальной работе выхода A_{\min} соответствует максимальная начальная скорость V_{\max} , а максимальная работа выхода A_{\max} соответствует минимальной начальной скорости V_{\min} .

Если подать на катод (+), а на анод (-), то между катодом и анодом создается тормозящее электроны электрическое поле. При прохождении электроном расстояния между катодом и анодом силы поля совершают работу, равную eU (e - заряд электрона, U - разность потенциалов между катодом и анодом), которая идет на затормаживание электрона. В том случае, когда эта работа больше минимальной начальной кинетической энергии электрона, т.е.

$$eU > \frac{mV_{max}^2}{2},$$

все электроны полностью тормозятся прежде, чем достигнут анода, после чего возвращаются обратно на катод. Очевидно, что значение «запирающего» напряжения $U_{зап}$ (см. рис. 2) определится из равенства

$$eU_{зап} > \frac{mV_{max}^2}{2}, \quad (3)$$

Подставляя сюда значение $\frac{mV^2}{2}$ из уравнения (1), получим значение запирающего напряжения в зависимости от частоты света, вызывающего фотоэффект,

$$eU_{зап} = h\nu - A_{min}$$

или (4)

$$h\nu = eU_{зап} + A_{min}.$$

Это соотношение дает возможность использовать явление фотоэффекта для определения постоянной Планка.

Если мы будем облучать фотокатод сначала светом одной частоты ν_1 , а затем другой ν_2 и определим соответствующие значения напряжения $U_{зап1}$ и $U_{зап2}$, то получим следующие равенства:

$$\begin{cases} h\nu_1 = eU_{зап1} + A_{min}, \\ h\nu_2 = eU_{зап2} + A_{min}. \end{cases} \quad (5)$$

Решая их совместно, (вычтя почленно из первого равенства второе) получим:

$$h(\nu_1 - \nu_2) = e(U_{зап1} - U_{зап2}),$$

откуда (6)

$$h = \frac{e(U_{зап1} - U_{зап2})}{\nu_1 - \nu_2}.$$

Если немного увеличить напряжение по сравнению с $U_{зап1}$, т.е. сделать его равным, например, U_1 (см.рис.2), то электроны, обладающие максимальной начальной скоростью, получают возможность достигать анода, т.е. фототок уже не будет равен нулю; при дальнейшем увеличении напряжения все большая часть электронов будет попадать на анод. Таким образом, с ростом напряжения, все выбитые светом из катода электроны будут достигать анода, т.е. фототок достигнет насыщения.

На внешнем фотоэффекте основан важный физико-технический прибор, называемый вакуумным фотоэлементом.

Катодом вакуумного элемента служит слой металла, нанесенный на внутреннюю поверхность откачанного стеклянного баллона (см. рис. 3).

Анод выполнен в виде металлического кольца, помещенного в центральной части баллона. Большинство современных фотоэлементов имеют сурьмяно-цезиевые катоды или кислородно - цезиевые катоды, обладающие высокой фоточувствительностью. Для увеличения чувствительности фотоэлемента его

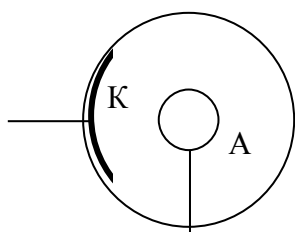


Рис.3.

наполняют аргоном при давлении порядка 10^{-2} мм. рт. столба. Внутренний фотоэффект наблюдается у полупроводников и, в меньшей мере, у диэлектриков. Фотоэлементы, основанные на внутреннем фотоэффекте, называются полупроводниковыми фотоэлементами или фотосопротивлениями. Для их изготовления используют селен, сернистый свинец, сернистый кадмий и некоторые другие полупроводники.

Порядок выполнения работы

1. Снятие вольт- амперной характеристики вакуумного фотоэлемента

Порядок выполнения задания

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 4.
2. Включить осветитель миллиамперметра в сеть 220 В.
3. Проверить, что показание миллиамперметра при закрытом фотоэлементе равно нулю.
4. Снять зависимость $I=f(U)$, меняя U от 0 до 100 В так: 0,2,4,6,8,10,20,40,60,80,100.

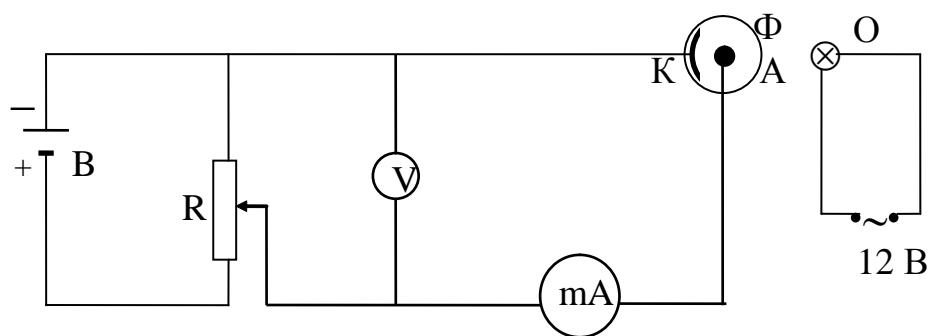


Рис.4.

В - выпрямитель постоянного тока,
V-вольтметр на 150 В,
mA - миллиамперметр многопредельный со световым указателем,
R - потенциометр,
Ф - фотоэлемент ФЭУ-1, установленный на оптической скамье,
О - осветитель- лампочка накаливания, питаемая от понижающего трансформатора и помещенная в кожух с диафрагмой, расположенной на оптической скамье.

5. Измерения сделать для трех расстояний осветителя от фотоэлемента (20 см, 30 см, 40 см).

6. Построить три вольтамперные характеристики на одном графике.

2. Проверка первого закона фотоэффекта

Задание выполняется с той же схемой, что и задание 1 (см.рис.4).

Согласно первому закону фотоэффекта сила фототока насыщения I_0 пропорциональна Φ - световому потоку, падающему на катод. Световой поток $\Phi = E \cdot S$, где E - освещенность, S - площадь катода фотоэлемента. Если взять точечный источник света, то освещенность пропорциональна $1/R^2$, где R - расстояние от источника тока до фотоэлемента. Тогда при освещении фотоэлемента точечным источником света $I_0 \sim 1/R^2$. Если изобразить зависимость I от $1/R^2$ в прямоугольных координатах, то график представляет собой прямую линию. Это надо подтвердить экспериментально.

1. На фотоэлемент подать напряжение 80 В (при этом напряжении достигается ток насыщения).

2. Диафрагму осветителя открыть на минимальный диаметр (имитируя точечный источник света).

3. Открыть фотоэлемент, включить осветитель, расположить его на расстоянии 15 см от фотоэлемента. При этом положении осветителя показание миллиамперметра должно быть близким к верхнему пределу шкалы, но не выходить за пределы шкалы. Если миллиамперметр зашкаливает, то нужно уменьшить интенсивность света, сузив отверстие диафрагмы или убавить ток на лампочку (на блоке питания лампочки 12В есть регулятор).

4. Снять зависимость фототока от расстояния диафрагмы осветителя до катода фотоэлемента, изменяя расстояние через 5 см, занеся данные опыта в таблицу.

5. Построить график зависимости $I = f\left(\frac{1}{R^2}\right)$.

3. Определение постоянной Планка

1. Собрать цепь по схеме, представленной на рис. 5. Обратите внимание, что в данном случае на катод фотоэлемента подается (+), а на анод (-), т.е. прикладывается задерживающее напряжение:

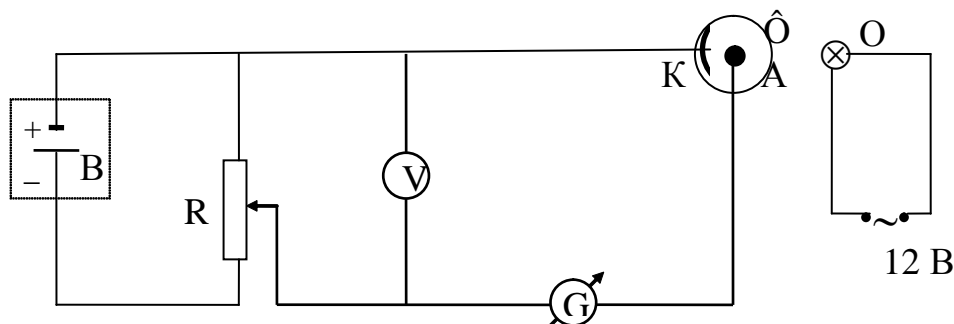


Рис.5.

В - источник питания фотоэлемента,
R - реостат (потенциометр),
V - вольтметр на 1,5 В,
Ф - фотоэлемент ФЭУ-1,
G - гальванометр.

2. Включить осветитель микроамперметра и при закрытом фотоэлементе установить световой указатель на нуль шкалы.

3. Установить движок потенциометра в положение , соответствующее минимуму снимаемого напряжения. Открыть фотоэлемент.

4. Поместить первый светофильтр (желтый, $\lambda_1 = 580$ нм) на подставку перед фотоэлементом, включить осветитель и подать на фотоэлемент задерживающее напряжение (замкнув ключ К). Увеличением задерживающего напряжения добиться ослабления фототока до нуля, взять отсчет по вольтметру (это и будет значение запирающего напряжения $U_{зап1}$).

5. Аналогичные измерения провести со вторым светофильтром (синий, $\lambda_2 = 510$ нм). Определить $U_{зап2}$.

6. Измерения повторить 3 раза, сменяя последовательно светофильтры.

7. Усредненные данные подставить в формулу (6) и вычислить постоянную Планка.

Примечания: при перемене светофильтров фотоэлемент закрывать, так как после длительного освещения светочувствительный слой фотоэлемента «утомляется», и показания вольтметра для одного и того же фильтра будут сильно различаться.

Задания

1. По формуле (3) вычислить максимальную скорость электронов, выбиваемых светом из катода.

2. Вычислить максимальное число электронов n , выбитых светом некоторой интенсивности из катода за 1 сек., учитывая, что

$$n = \frac{q}{e}, \text{ а } q = I_0 \cdot t; e - \text{заряд электрона.}$$

Контрольные вопросы

1. Что называется фотоэффектом?
2. Каково устройство и действие вакуумного фотоэлемента?
3. Что называется вольтамперной характеристикой фотоэлемента?
4. От чего зависит начальная скорость вырываемых светом электронов?
5. Что называется красной границей фотоэффекта?
6. От чего зависит сила фототока?
7. Написать и объяснить формулу Эйнштейна.
8. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла составляет 550 нм (зеленый свет). Какие лучи из видимого спектра будут вызывать фотоэффект, а какие нет?
9. Объясните физический смысл задерживающего потенциала.

Список литературы

1. Воронов В.К., Перциков Б.З. Курс лекций по физике. - Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1991. Ч.2.-с.74-76.
2. Савельев И.В. Курс физики. -М.:Наука, 1982. -т.3.-с.34-38.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.:Высш. шк., 1997. - с.347-381.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. -М.:Наука, 1990. -с.430-432.
5. Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Справочное руководство по физике для поступающих в вузы и для самообразования. -М.:Наука, 1989. -с.410-415.

ВНИМАНИЕ!

1. Без проверки схемы преподавателем или лаборантом не включать источника напряжения!
2. Электрическую схему следует собирать так, чтобы провода не перекрещивались, не натягивались и не скручивались петлями.
3. Не касаться руками оголенной части проводов!
4. Не оставлять включенную установку без присмотра!
5. Не вносить изменений в схему, находящуюся под напряжением!
6. Если при проведении работы возникает какое-либо повреждение (появится специфический запах, накалятся проводники реостата или кто-нибудь попадет под напряжение), следует быстро выключить напряжение. Растерянность и промедление могут усилить повреждение аппаратуры, либо поражение током.
7. После окончания работы полностью отключить установку и только после этого разобрать схему!

*Айданова Ольга Серафимовна,
Сверчинская Светлана Анатольевна*

**Изучение основных законов фотоэффекта и определение постоянной
Планка**

Методические рекомендации

Подписано в печать . Формат 60X90 1/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл.печ.л. 0,7.Уч.-изд. л. 0,6. Тираж 50 экз. План 1999г. Поз.

Редакционно- издательский отдел
Иркутского государственного университета
664003, Иркутск, б. Гагарина,36