

Министерство образования и науки Российской Федерации.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный строительный университет»

Кафедра Физики

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ФОТОЭФФЕКТА

**Методические указания к выполнению лабораторной работы № 47 для студентов
специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62**

Нижегород,
ННГАСУ,
2012

УДК 535.215

Изучение законов фотоэффекта. Методические указания к выполнению лабораторной работы № 47 для студентов специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62 / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; сост. О.Е.Кондраченко, О.М.Бархатова - Н.Новгород, ННГАСУ, 2012. – 11с.

Представлены основные закономерности фотоэффекта и изложена экспериментальная методика проверки закона Столетова.

Таблиц 1, рис. 6, библиографич. назв. 2.

Составители: Кондраченко О.Е., к.ф.-м.н., доцент Бархатова О.М.
Редактор: д.ф.-м.н., профессор Бархатов Н.А.

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2012

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучение основных закономерностей фотоэффекта и экспериментальная проверка закона Столетова для фотоэффекта.

ОБЩИЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И СДАЧИ ОТЧЁТА

При выполнении заданий по данной работе Вы на практике изучаете основные закономерности фотоэффекта. Для эффективного усвоения материала порядок работы должен быть следующий:

1. До выполнения лабораторной работы необходимо прочитать данные методические указания и повторить основные теоретические понятия, которые используются в работе.

2. Перед выполнением работы необходимо сдать теоретический допуск. Для удовлетворения минимальным требованиям надо уметь отвечать на вопросы разделов 1, 2, 3 методических указаний. Эти методические указания имеются в библиотеке ННГАСУ, их можно также получить на кафедре или взять на сайте кафедры физики в электронном виде.

3. После сдачи допуска, проводятся необходимые измерения и оформление протокола. Протокол измерений может быть один на бригаду студентов. Он должен быть показан преподавателю, который зафиксирует выполнение работы. Преподаватель назначает Вам дату сдачи работы, к которой Вам следует оформить отчёт (обычно это следующее лабораторное занятие). Отчёт оформляется индивидуально и студент обязан объяснить все этапы выполнения лабораторной работы и расчетов, которые в отчете содержатся. Студенту перед сдачей отчета рекомендуется добиться полной ясности в понимании использованных физических законов и каким образом получаются применяемые формулы.

4. Защита лабораторной работы состоит в ответе на вопросы по отчёту, связанные с практическими измерениями, а также с демонстрацией студентом умения решать задачи по соответствующей теме. При подготовке рекомендуем, во-первых, убедиться, что Вы умеете решать простейшие задачи, а кроме того проанализировать задания в конце данной брошюры. В случае успешной защиты, преподаватель делает в журнале пометку о сдаче лабораторной работы студентом с указанием рейтингового балла.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Основные понятия квантовой теории света. В 1900 г. Макс Планк сделал предположение, совершенно чуждое классическим представлениям физики – он допустил, что электромагнитное излучение может испускаться в

виде отдельных порций энергии (**квантов**), величина которых пропорциональна частоте излучения:

$$E = h\nu$$

Коэффициент пропорциональности h между энергией кванта и частотой электромагнитного излучения был назван **постоянной Планка**. Из опыта определено ее значение: $h = 6.626176 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Согласно гипотезе Планка, свет можно представить как поток квантов, которые во многих физических эффектах проявляют свойства электромагнитных волн. Квант света называют **фотоном**. Фотон представляет собой частицу с нулевой массой, способную существовать только при движении со скоростью света. Электрический заряд фотона также равен нулю.

Фотоэлектрический эффект. Одним из наиболее заметных проявлений квантовой природы света можно считать явление фотоэлектрического эффекта (фотоэффекта). **Внешним фотоэлектрическим эффектом или фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием света.** Это явление было открыто в 1887 г. Г. Герцем, а затем экспериментально исследовано А.Г. Столетовым (1888 – 1889 г.) и другими физиками. Кратко рассмотрим схему современной установки для исследования фотоэффекта (рис. 1).

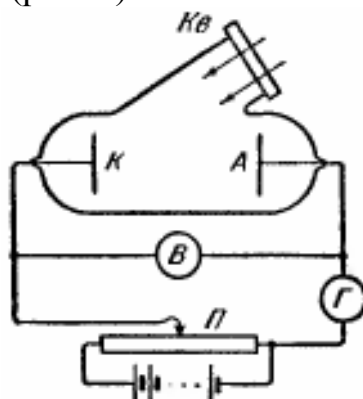


Рис. 1

Свет проникает через кварцевое окошко Кв в evacuated баллон и освещает катод К, изготовленный из исследуемого материала. Электроны, испущенные вследствие фотоэффекта, перемещаются под действием электрического поля к аноду А. В результате в цепи прибора течет фототок, измеряемый гальванометром Г. Напряжение между анодом и катодом (а значит и величину управляющего электрического поля) можно изменять с помощью потенциометра П.

Эксперимент показывает, что при неизменном световом потоке Φ усиление или ослабление управляющего электрического поля с помощью потенциометра, меняет величину фототока, отмечаемую гальванометром. На рис. 2 представлена кривая зависимости силы фототока i от приложенного к электродам напряжения U . Из этой кривой видно, что при некотором, не очень большом напряжении фототок достигает насыщения – все электроны, испущенные катодом, попадают на анод. Следовательно, **сила тока**

насыщения i_H определяется количеством электронов, испускаемых катодом в единицу времени под действием света.

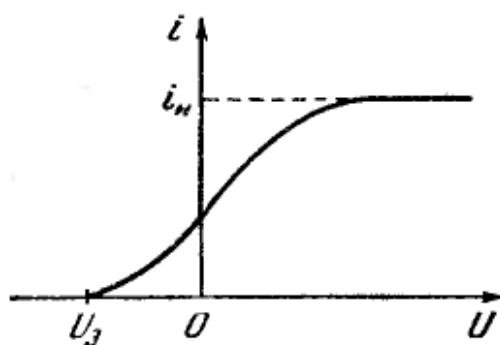


Рис. 2

При $U = 0$ фототок не исчезает. Это служит свидетельством того, что электроны покидают катод со скоростью, отличной от нуля. Для того чтобы фототок стал равным нулю, нужно приложить **задерживающее напряжение** U_3 (его называют также задерживающим потенциалом). При таком напряжении ни одному из электронов, даже обладающему при вылете из катода наибольшим значением скорости, не удастся преодолеть задерживающее поле и достигнуть анода.

При неизменном спектральном составе падающего на катод света сила тока насыщения (т.е. количество испускаемых электронов) строго пропорциональна световому потоку Φ :

$$i_H \sim \Phi$$

Это утверждение носит название **закона Столетова**.

Также на основании проведенных экспериментов было обнаружено, что задерживающее напряжение U_3 от интенсивности света не зависит, а определяется его частотой. Согласно закону сохранения энергии, максимальная кинетическая энергия вырванного электрона определяется работой сил электростатического поля:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3$$

Следовательно, максимальная кинетическая энергия вырванного электрона зависит от частоты падающего света.

Эйнштейн в 1905 г. показал, что все закономерности фотоэффекта легко объясняются, если предположить, что свет поглощается такими же порциями $h\nu$ (квантами), какими он, по предположению Планка, испускается. По мысли Эйнштейна энергия, полученная электроном, доставляется ему в виде кванта $h\nu$, который усваивается электроном целиком. Часть этой энергии, равная работе выхода, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть тело. **Работой выхода A в теории внешнего фотоэффекта называют минимальную энергию, необходимую для удаления электрона из вещества под действием света. Остаток энергии**

фотона переходит в кинетическую энергию $W = \frac{mv^2}{2}$ электрона, покинувшего вещество. Закон сохранения энергии для фотоэффекта носит название **уравнения Эйнштейна**.

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

Если энергия фотона меньше работы выхода $h\nu < A$, то электрон не сможет покинуть металл, т.е. для существования фотоэффекта необходимо условие $h\nu \geq A$. Это означает, что фотоэффект возможен при частоте света, превышающей некоторую граничную частоту

$$\nu_0 = \frac{A}{h},$$

которая носит название **красной границы фотоэффекта**. Соответственно, для длины волны $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (c – скорость света в вакууме) получается условие

$$\lambda_0 = \frac{ch}{A}.$$

Отметим, что теория Эйнштейна объясняет также пропорциональность силы тока насыщения i_H падающему световому потоку Φ (закон Столетова). Действительно, величина светового потока определяется числом квантов света, падающих на поверхность в единицу времени. Вместе с тем число освобожденных электронов (a , значит, и сила тока насыщения) должно быть пропорционально числу падающих квантов.

Итак, сформулируем основные закономерности внешнего фотоэффекта:

1. Число электронов, испускаемых в единицу времени под действием света, пропорционально падающему световому потоку.
2. Максимальная кинетическая энергия вылетающих фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, а зависит от его частоты.
3. Явление фотоэффекта вызывается только светом, частота ν которого больше некоторой частоты ν_0 , определенной для каждого вещества.

Внутренний фотоэффект. Внутренний фотоэффект, наблюдается в диэлектриках и полупроводниках и заключается в увеличении их электропроводности при облучении светом. Поглощаемые в объеме тел кванты света освобождают электроны, на месте которых остаются положительные дырки. Появление дополнительной пары носителей тока – электрона и дырки, то есть увеличение числа носителей тока, ведет к росту электропроводности полупроводника.

Вентильный фотоэффект. На границе металла и полупроводника или на границе двух полупроводников с разным типом проводимости может наблюдаться вентильный фотоэффект. Он заключается в возникновении под

действием света электродвижущей силы (фото - Э.Д.С.). На рис. 3 показан ход потенциальной энергии электронов (сплошная кривая) и дырок (пунктирная кривая) в области р-п-перехода. Неосновные для данной области носители (электроны в р-области и дырки в п-области), возникшие под действием света, проходят через переход. В результате в р-области накапливается избыточный положительный заряд, в п-области – избыточный отрицательный заряд. Это приводит к возникновению приложенного к переходу напряжения, которое и представляет собой фотоэлектродвижущую силу.

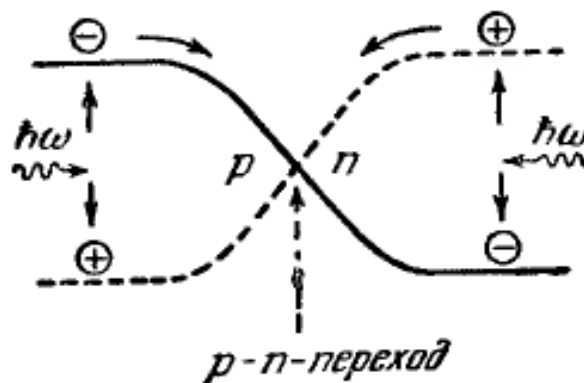


Рис. 3

Рассмотрим возникновение фото - Э.Д.С. в селеновом фотоэлементе (рис. 4).

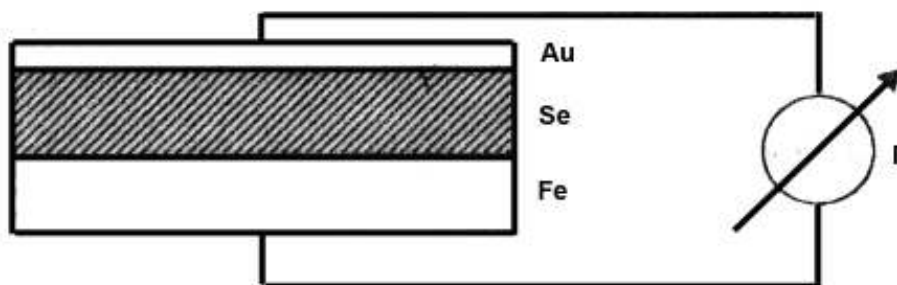


Рис. 4

На пластинку железа (Fe), служащего одним из электродов, наносится слой селена (Se). На слой селена наносится тонкий прозрачный слой золота (Au), являющийся вторым электродом. Под действием света в селене возникают электроны проводимости. Пограничный слой между селеном и золотом обладает односторонней проводимостью: он позволяет электронам переходить только от селена к золоту. Благодаря этому между слоями железа и золота возникает разность потенциалов, которая и обуславливает фотоэлектродвижущую силу – фото-Э.Д.С. Если подключить фотоэлемент к внешней нагрузке, в ней потечет фототок.

При небольших освещенностях сила фототока I_ϕ пропорциональна падающему на фотоэлемент световому потоку Φ :

$$I_\phi = k\Phi,$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от характеристик фотоэлемента.

Явление вентильного фотоэффекта используется в солнечных батареях, где происходит непосредственное преобразование энергии света в электрическую энергию.

II. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Приборы и принадлежности: 1 – лампочка накаливания, 2 – амперметр, 3 – вольтметр, 4 – автотрансформатор, 5 – селеновый фотоэлемент, 6 – микроамперметр, 7 – кожух, 8 – выключатель.

Схема установки приведена на рис. 5.

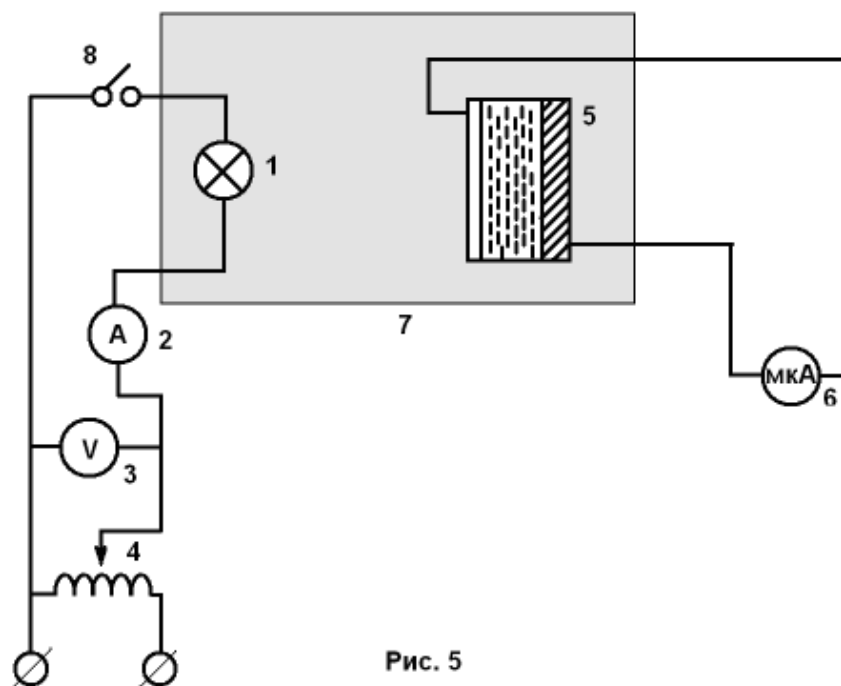


Рис. 5

Селеновый фотоэлемент 5 и лампа накаливания 1 вмонтированы в светонепроницаемый кожух 7. На передней стенке кожуха находится микроамперметр 6 и выключатель 8.

Данная установка используется для проверки линейной зависимости $I_\phi = k\Phi$ силы фототока I_ϕ от величины светового потока Φ . Свет от лампочки вызывает в цепи фотоэлемента ток I_ϕ , измеряемый микроамперметром 6. Для нахождения светового потока Φ_λ , даваемого лампочкой, амперметром 2 и вольтметром 3 измеряются, соответственно, ток лампочки I_λ и напряжение на лампочке U_λ . Величину светового потока, даваемого лампочкой, можно вычислить по ее потребляемой мощности. Мощность лампочки рассчитывается по формуле:

$$P_\lambda = I_\lambda U_\lambda.$$

Величину светового потока можно найти из графика зависимости светового потока Φ , создаваемого лампочкой накаливания, от мощности $P_{\text{л}}$, потребляемой лампочкой (см. рис. 6).

Во время опыта относительное положение лампы и фотоэлемента не меняется, поэтому можно записать:

$$I_{\phi} = k\Phi_{\text{л}}.$$

При этом сила фототока определяется количеством вырванных электронов:

$$I_{\phi} = |e|n,$$

где e – заряд электрона, n – число фотоэлектронов, высвобождаемых вследствие фотоэффекта в единицу времени. Следовательно, количество фотоэлектронов может быть вычислено как

$$n = \frac{k}{|e|}\Phi_{\text{л}}.$$

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с установкой (см. раздел II).
2. Подготовить таблицу для записи результатов измерения.

Таблица 1.

N, п/п	$U_{\text{л}}$, В	m , дел	$I_{\text{л}} = C \cdot m$, А	I_{ϕ} , А	$P_{\text{л}}$, Вт	$\Phi_{\text{л}}$, лм

3. Ручку автотрансформатора 4 поставить в положение, соответствующее нулевому напряжению на вольтметре 3, вращая ее против часовой стрелки до упора.
4. Включить автотрансформатор в сеть.
5. Поворотом ручки автотрансформатора по часовой стрелке установить напряжение на вольтметре 80 В и занести это показание в графу $U_{\text{л}}$ таблицы 1.
6. Определить соответствующее число делений m по шкале амперметра 2 и занести показание в таблицу.
7. Определить силу фототока I_{ϕ} по показаниям микроамперметра 6 и занести результат в соответствующую графу таблицы.
8. Увеличить напряжение на 20 В вращением ручки автотрансформатора по часовой стрелке и занести новое показание $U_{\text{л}}$ в таблицу. Далее производить действия по пунктам 6, 7, 8 до тех пор, пока напряжение на лампе не достигнет 200 В.
9. Закончив измерения, вывести автотрансформатор в нулевое положение и выключить его из сети.
10. Для всех опытов произвести вычисление тока лампы по формуле $I_{\text{л}} = C \cdot m$, где C – цена деления амперметра. Занести результаты вычислений в таблицу.

11. Для всех опытов вычислить потребляемую лампой мощность по формуле $P_{л} = I_{л}U_{л}$ и занести результаты в таблицу.

12. По графику на рис. 6 для всех опытов определить величину светового потока $\Phi_{л}$, соответствующего мощности $P_{л}$, вычисленной согласно п.11.

13. По результатам расчетов построить график зависимости силы фототока от величины светового потока $I_{\phi} = f(\Phi_{л})$.

14. Из графика $I_{\phi} = f(\Phi_{л})$ (см. рис. 6) по какой-либо точке графика найти значение коэффициента $k = \frac{I_{\phi}}{\Phi_{л}}$.

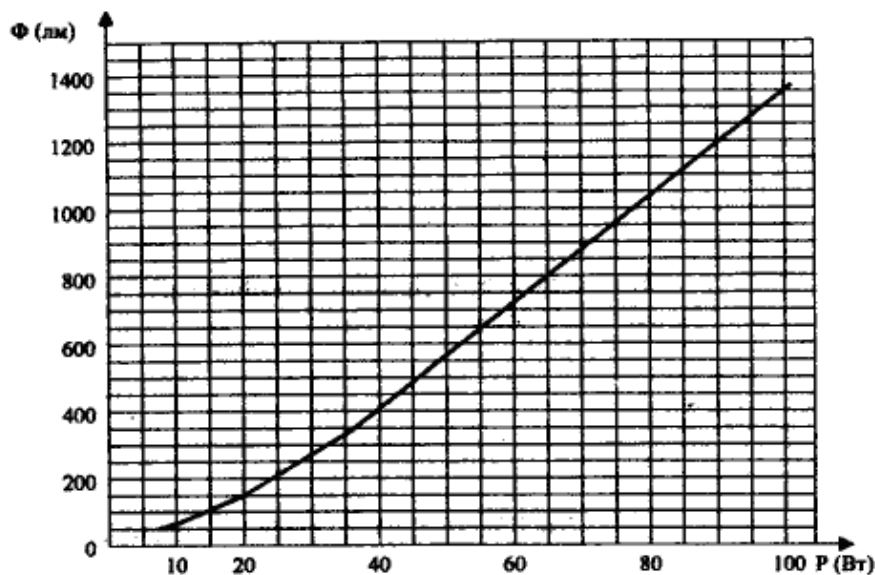


Рис. 6

Контрольные вопросы.

1. Виды фотоэффекта и их характеристика.
2. Законы фотоэффекта.
3. Фотон, энергия фотона.
4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Объяснение закономерностей фотоэффекта с квантовой точки зрения.
5. Схема установки для исследования фотоэффекта
6. Вольтамперная характеристика фотоэффекта.
7. Красная граница фотоэффекта
8. Принцип действия селенового фотоэлемента.
9. Цель работы и методика измерения.

Задачи

1. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 275 нм. Найти: 1. работу выхода электронов из металла; 2. максимальную скорости

электронов, вырываемых из металла светом с длиной волны 180 нм; 3. максимальную кинетическую энергию электронов.

2. Найти частоту света, вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающиеся обратным потенциалом 3 В. Фотоэффект для данного металла начинается при частоте падающего света $6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Найти работу выхода электронов из металла.

3. Определить постоянную Планка h , если известно, что фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла светом с частотой $2,2 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$, полностью задерживаются обратным потенциалом 0,6 В, а вырываемые светом с частотой $4,6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – потенциалом 16,5 В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3. Изд. «Лань». СПб. 2005
2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. «Книжный мир». СПб. 2003

О.Е.Кондраченко
Оксана Михайловна Бархатова

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ФОТОЭФФЕКТА

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 47 для студентов специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62

Подписано в печать _____. Формат 60 x 90. 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л. _____. Усл. печ. л. _____. Тираж 150 экз. Заказ № _____

Федеральное агентство по образованию.
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный строительный университет»
603950, Н. Новгород, Ильинская, 65.
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950 Н.Новгород, Ильинская, 65.