

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. Ломоносова

Физический факультет

кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка

по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 132

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Описание составил доцент Авксентьев Ю.И.

Москва - 2012

ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

В данной работе проверяется выполнение закона фотоэффекта Столетова, определяется красная граница фотоэффекта и рассчитывается работа выхода электрона из покрытия фотокатода фотоэлектронного умножителя ($\Phi ЭУ$).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ¹⁾

Фотоэлектрический эффект

Действие света на вещество

Действие света на вещество состоит в сообщении светом веществу энергии, приносимой световой электромагнитной волной. Эта энергия частично превращается в тепло, повышая температуру поглощающего свет тела, частично же переходит в другие виды энергии, вызывая тем самым целый ряд разнообразных явлений. Действие света на вещество может быть *механическим* – давление света на тело, *химическим* – возбуждение различных химических реакций (примером может служить фотосинтез в листьях растений). Оно может приводить к *рассеянию света* и *люминесценции* – свечению тела, продолжающемуся спустя некоторое время после облучения тела светом. Наконец, под действием света в веществе могут возникать *фотоэлектрические явления*, суть которых состоит в том, что входящие в состав вещества электроны,

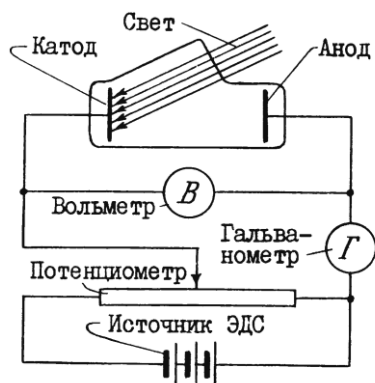


Рис. 1

получив энергию от электромагнитной волны, каким-либо образом изменяют своё местоположение.

Из фотоэлектрических явлений мы здесь подробно остановимся на фотоэлектрическом эффекте (фотоэффекте). Различают внешний и внутренний фотоэффекты. *Внешний фотоэффект (фотоэлектронная эмиссия)* представляет собой испускание с поверхности твёрдых или жидких тел электронов под действием световой волны. Обнаруживается и измеряется внешний фотоэффект по фототоку – току электронов, выходящих из облучаемого светом вещества в другую среду (обычно в вакуум).

Внешний фотоэффект

Изучение внешнего фотоэффекта производится обычно при помощи схемы,

¹⁾ Теоретическое введение к лабораторной работе написано Пустоваловым Г.Е.

изображённой на рис. 1. В запаянном стеклянном сосуде, в котором создан высокий вакуум, находятся два электрода: катод (в этом случае называемый также фотокатодом) и анод. Между катодом и анодом создаётся напряжение, величину которого можно изменять с помощью потенциометра и измерять вольтметром. Меняя местами полюса источника ЭДС, можно изменять знак напряжения между анодом и катодом. Свет падает на катод через кварцевое окно в сосуде. Вылетающие из катода электроны, попадая на анод, создают в цепи ток (этот ток часто называют фототоком). Сила тока i измеряется гальванометром. Типичная зависимость силы тока i от напряжения U при неизменной интенсивности падающего на катод света с данной длиной волны – вольтамперная характеристика - изображена на рис. 2. Если анод имеет положительный знак, а катод отрицательный, то сила фототока растёт от значения i_0 (при $U=0$) до некоторой постоянной величины i_H - тока насыщения. Наличие тока насыщения объясняется тем, что под действием света электроны вылетают с катода по различным направлениям и при малых напряжениях между анодом и катодом все на анод не попадают. При достаточно большом положительном напряжении на анод попадают все электроны, вылетающие из катода, поэтому дальнейшее увеличение напряжения U к росту тока не приводит. При создании между катодом и анодом тормозящего поля (анод отрицательный, а катод положительный) сила фототока спадает до нуля, когда величина напряжения между катодом и анодом достигает некоторого значения U_3 , при котором задерживаются все электроны, вылетающие из катода. Величина U_3 определяется максимальной скоростью $v_{\text{макс}}$, которую могут иметь электроны, покидая катод. Согласно закону сохранения энергии

$$eU_3 = \frac{mv_{\text{макс}}^2}{2}. \quad (1)$$

Здесь e - заряд электрона, m - его масса.

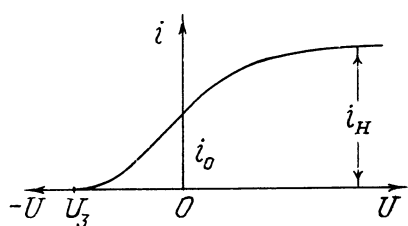


Рис. 2

При исследовании фотоэффекта в зависимости от свойств света, падающего на катод, были установлены следующие закономерности (законы фотоэффекта).

1. Фотоэффект практически безинерционен: промежуток времени от начала освещения до момента возникновения тока определяется временем пролёта электронов от катода к аноду (меньше 10^{-9} с).

2. Ток насыщения i_H и, следовательно, число электронов, вылетающих из катода в единицу времени, пропорциональны интенсивности падающего на катод света (закон Столетова).

3. Величина задерживающего напряжения U_3 и, следовательно, максимальная кинетическая энергия покидающих катод электронов растут

линейно при возрастании частоты ω падающего на катод света, но не зависят от интенсивности света I .

4. Для каждого вещества существует так называемая *красная граница фотоэффекта* – частота $\omega_{\text{мин}}$ (или длина волны $\lambda_{\text{макс}}$) такая, что свет меньшей частоты (или большей длины волны) вызвать фотоэффект не может.

Волновая теория света не в состоянии объяснить законы фотоэффекта. С точки зрения волновой теории энергия, приобретаемая электроном при фотоэффекте, должна определяться интенсивностью света. Интенсивность же пропорциональна квадрату амплитуды световой волны и никак не связана с её частотой. Поэтому волновая теория не может объяснить зависимость задерживающего напряжения от частоты и независимость его от интенсивности света. Чтобы покинуть поверхность какого-либо тела, электрон должен получить некоторое количество энергии, превышающее так называемую работу выхода $A_{\text{вых}}$. Можно подсчитать поток энергии, который приходится на один электрон поверхностного слоя тела, когда на это тело падает световая волна с минимальной интенсивностью, при которой фотоэффект наблюдается на опыте. Оказывается, что в этом случае волна может сообщить электрону энергию, равную $A_{\text{вых}}$, лишь за время порядка десятков минут. Следовательно, ток при фотоэффекте должен бы, вопреки опытным данным, достигать предельной величины не сразу после начала освещения, а с большим запаздыванием, зависящим от интенсивности света. Не находит объяснения также и наличие красной границы фотоэффекта.

Объяснение всех законов фотоэффекта оказалось возможным лишь в рамках квантовой теории. Эйнштейн дополнил гипотезу Планка о том, что свет испускается квантами, предположив, что испущенный источником света квант распространяется со скоростью света как нечто целое и поглощается также целиком. Квант света получил название *фотон*. Его энергия

$$E = \hbar\omega, \quad (2)$$

где $\hbar = 1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка, ω – круговая частота электромагнитного излучения. При поглощении кванта электрон может получить порцию энергии, равную $\hbar\omega$, – ни больше, ни меньше. Из закона сохранения энергии следует, что поглощённая электроном энергия расходуется на совершение работы выхода и на приобретение электроном кинетической энергии:

$$\hbar\omega = \frac{mv_{\text{макс}}^2}{2} + A_{\text{вых}}. \quad (3)$$

Сюда входит максимальная кинетическая энергия вылетевших из поверхности катода электронов, поскольку свет может высвободить электроны не только с самой поверхности, но и из более глубоких слоёв катода. Последние могут растратить часть своей энергии на столкновение с частицами вещества при своём движении к поверхности. Уравнение (3) называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

С точки зрения квантовой теории легко объяснить все законы фотоэффекта. С помощью формулы (1) уравнению (3) можно придать вид

$$\frac{mv_{\text{макс}}^2}{2} = eU_3 = \hbar\omega - A_{\text{вых}}, \quad (4)$$

т.е. величина задерживающего напряжения U_3 действительно является линейной функцией частоты света. Ясно также, что при $\hbar\omega < A_{\text{вых}}$ энергии кванта недостаточно для совершения работы выхода (кинетическая энергия не может быть отрицательной). Поэтому, если частота падающего света меньше величины $\omega_{\text{мин}} = \frac{A_{\text{вых}}}{\hbar}$, а длина волны его больше $\lambda_{\text{макс}} = \frac{2\pi c}{\omega_{\text{мин}}}$, то фотоэффекта не возникает.

Опыт хорошо подтверждает связь между работой выхода и красной границей фотоэффекта. Закон Столетова объясняется следующим образом. Согласно представлению о квантах, интенсивность света равна $I = n_0\hbar\omega$, где n_0 - число квантов, проходящих в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения света. Число же вылетевших с поверхности катода электронов, определяющее силу тока насыщения, пропорционально числу падающих на катод квантов. Объясняется и безинерционность: как только появляются кванты с необходимой энергией, сразу же появляются и выбитые ими электроны.

Применения внешнего фотоэффекта

Фотоэлементы. На практике находят широкое применение фотоэлементы, действие которых основано на внешнем фотоэффекте.

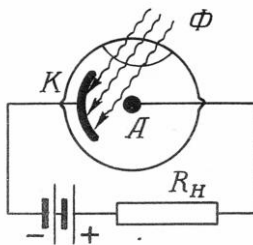


Рис. 3

Фотоэлементы бывают *вакуумные* и *газонаполненные*. Фотоэлемент представляет собой стеклянный баллон с окошком, через которое на катод К падает световой поток Φ , вызывающий фотоэлектронную эмиссию (рис. 3). Для увеличения числа электронов, выходящих из поверхности катода, и уменьшения работы их выхода катод проходит специальную обработку (в частности, его покрывают тонким слоем щёлочноземельного металла).

Фотоэлемент включается в цепь, состоящую из источника ЭДС и сопротивления нагрузки R_H . Источник подключается к катоду отрицательным полюсом. Вылетевшие из катода электроны попадают на анод и создают в цепи фототок. Фотоэлементы работают в режиме насыщения. Сила фототока i_ϕ пропорциональна величине светового потока, падающего на катод, и не зависит от сопротивления нагрузки. На нагрузке возникает разность потенциалов $\Delta U = i_\phi R_H$. При больших сопротивлениях R_H можно получить величину ΔU , достаточную для регистрации фототока. Преимуществами вакуумных фотоэлементов являются линейная зависимость фототока от светового потока, безинерционность и простота устройства, недостатком – очень малая величина фототока, обычно требующая дополнительных устройств (усилителей) для его регистрации.

В баллоне газонаполненного фотоэлемента содержится инертный газ под определённым давлением. Электроны, вылетевшие из катода, приобретают в электрическом поле между катодом и анодом энергию, достаточную для того, чтобы при столкновении с атомами газа, выбить из них электроны (произвести ионизацию атомов). После столкновений появляются новые электроны в добавок к уже имеющимся. Эти электроны также разгоняются электрическим полем и производят ионизацию и т.д. В результате в баллоне возникает самостоятельный газовый разряд, причём на анод приходит гораздо больше электронов, чем их вылетело из катода (коэффициент усиления тока обычно составляет около 10). Давая большой фототок по сравнению с вакуумными, газонаполненные фотоэлементы обладают значительной инерционностью и меньшей стабильностью.

Фотоэлементы применяются в аппаратуре звуковоспроизведения, схемах автоматики, фотометрии, спектроскопии и для ряда других целей.

Фотоэлектронные умножители. Схема устройства фотоэлектронного умножителя (*ФЭУ*) показана на рис. 4. *ФЭУ* представляет собой стеклянную колбу, внутри которой создан высокий вакуум. В колбе находятся *фотокатод*

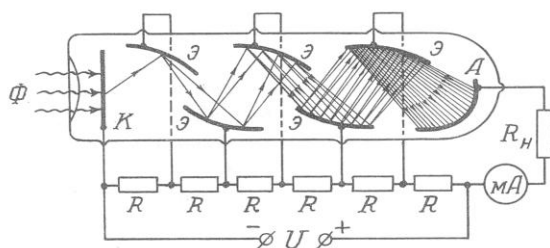


Рис. 4

К (обычно в виде полупрозрачного слоя вещества с малой работой выхода электронов, нанесённого на торцевую поверхность колбы с внутренней стороны), *анод* *A* и

несколько (от одного до 12) *динодов* (*эммиттеров*). Между анодом, динодами и катодом при помощи делителя, состоящего из цепочки *сопротивлений* *R*, создаётся напряжение, возрастающее по направлению от катода к аноду. Падающий на фотокатод свет выбивает из него электроны, которые разгоняются в электрическом поле между катодом и первым динодом. Ударяясь о поверхность

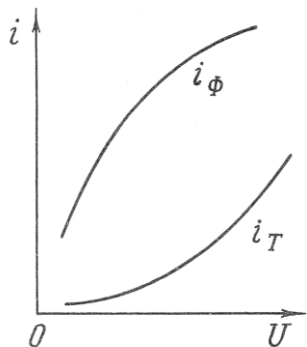


Рис. 5

динода, каждый электрон выбивает из динода несколько электронов (*явление вторичной электронной эмиссии*). Каждый из этих электронов, увлекаясь электрическим полем ко второму диноду, ударяется о его поверхность и выбивает из неё новые электроны, которые направляются к следующему диноду, и т.д. В результате число пришедших к аноду электронов во много раз превышает число электронов, вылетевших из катода. Коэффициент усиления фототока в зависимости от числа динодов и напряжения между ними может быть от 10^5 до 10^{11} . Приходящие на анод электроны создают в цепи,

образованной анодом, сопротивлением нагрузки R_H и последним динодом, фототок, который может быть зарегистрирован по величине напряжения на сопротивлении R_H или при помощи микроамперметра, включённого в эту цепь.

Усиление фототока динодной системой существенно зависит от величины напряжения U между катодом и анодом. На рис. 5 показана качественная зависимость фототока от напряжения – с ростом напряжения фототок заметно увеличивается. Однако на практике не рекомендуется увеличивать напряжение питания выше определённого значения для каждого типа ФЭУ, так как с ростом U возрастает вносящий в измерительные помехи *темновой ток* i_T . *Темновым током называется ток, возникающий в ФЭУ в отсутствие светового потока, падающего на фотокатод.* Зависимость i_T от U приведена на рис.

6. Темновой ток обусловлен *термоэлектронной*² и *автоэлектронной эмиссией*.

Преимуществом ФЭУ является очень высокая чувствительность, позволяющая регистрировать слабые световые потоки – вплоть до отдельных фотонов. К их недостаткам следует отнести требование для питания источников высокого напряжения порядка 1-2 кВ. ФЭУ используются для оптических исследований слабых световых потоков в астрофизике и спектроскопии, а также в соединении с сцинтилляционными счётчиками для регистрации ядерных излучений, космических лучей, элементарных частиц.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В данной установке в качестве фотокатода, испускающего электроны под действием световой волны, используется полупрозрачный сурьмяно-цезиевый (Cs_3Sb) катод *фотоэлектронного умножителя ФЭУ-19М*, нанесённый на торцевую поверхность колбы. Эффект усиления фототока в ФЭУ достигается за счёт вторичной электронной эмиссии с поверхностей промежуточных анодов (в ФЭУ они носят название *динодов*).

Явление *вторичной электронной эмиссии* состоит в испускании электронов с поверхности материала под действием падающего на неё пучка электронов. Количество электронов, выбиваемых с каждого динода, почти на порядок превосходит количество падающих на него электронов. Двенадцать динодов ФЭУ-19М обеспечивают такое усиление фототока, что его можно измерять непосредственно стрелочным прибором.

Схема установки для изучения внешнего фотоэффекта приведена на рис. 6. Она собрана на базе универсального *монохроматора УМ-2*, который представляет собой оптический призмный прибор, позволяющий выделять из

²Термоэлектронная эмиссия – испускание телами электронов, получивших за счёт теплового движения энергию, необходимую для совершения работы выхода. Автоэлектронная эмиссия – испускание электронов под действием электрического поля, созданного у поверхности тела. Хотя обычно для наблюдения термоэлектронной эмиссии требуются температуры гораздо выше комнатной, а для автоэлектронной эмиссии – очень сильные электрические поля, всё же при огромных коэффициентах умножения электронов в ФЭУ эти явления могут создавать заметные помехи.

сплошного спектра узкие монохроматические участки в видимой части спектра.

Помимо монохроматора в состав установки входят:

Лампа накаливания, дающая непрерывный спектр излучения. Максимум

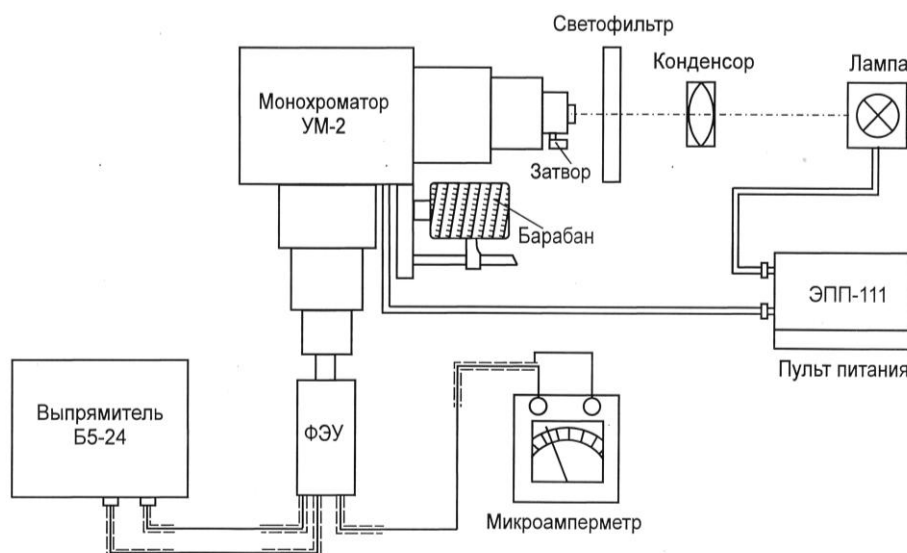


СХЕМА УСТАНОВКИ ЗАДАЧА №132

Рис. 6

испускательной способности лампы приходится на далёкую инфракрасную область. В видимой части спектра излучаемая лампой энергия растёт с увеличением длины волны.

Конденсор – линза, концентрирующая поток излучения от лампы накаливания на входном отверстии коллиматора монохроматора УМ-2³.

Нейтральный светофильтр с регулируемым коэффициентом пропускания, обеспечивающий одинаковое ослабление интенсивности для всех длин волн. Зависимости коэффициентов пропускания «*K*» светофильтров от угла поворота шкалы «*φ*» для установок № 1 и № 2 приведены на рис. 7 и 8, соответственно.

Фотоумножитель ФЭУ-19М для возбуждения и усиления фототока. На катод ФЭУ-19М из выходной щели монохроматора попадает излучение высокой степени монохроматичности ($\Delta\lambda \leq 30 \text{ \AA}$).

Выпрямитель Б5-24, питающий выпрямленным стабилизированным напряжением фотоумножитель ФЭУ-19М.

Микроамперметр – стрелочный прибор для регистрации фототока i_ϕ .

³ Коллиматором называется устройство, которое служит для создания параллельного пучка света.

ЭПП-111 – электрический пульт питания, который во время работы монохроматора обеспечивает необходимым напряжением лампы накаливания, лампы подсветки шкал монохроматора, а также ртутную лампу высокого давления (при проведении градуировки прибора).

Рассмотрим назначение некоторых узлов самого монохроматора, имеющих отношение к проводимым измерениям.

Излучение, имеющее сплошной спектр, после прохождения конденсора и нейтрального светофильтра, попадает на входную щель монохроматора, перед которой находится специальная насадка с линзой. Ширина раскрытия щели устанавливается с помощью барабанчика (на рис. 6 барабанчик не указан, так как при взгляде на монохроматор сверху он не виден). Цена деления барабанчика равна $0,01$ мм. Максимальное раскрытие щели – 4 мм. За входной щелью помещается *затвор*, с помощью которого можно прекратить доступ света в прибор. На рукоятке привода затвора имеются надписи «*ОТКР*» и «*ЗАКР*». Так как работа с монохроматором ведётся в незатемнённой комнате, то для устранения попадания на входную щель рассеянного излучения боковая поверхность насадки с линзой покрыта светоизоляционным материалом (чёрной изолентой). При обращении с нейтральным светофильтром надо работать так, чтобы не повредить эту изоляцию.

Выходная щель монохроматора располагается непосредственно перед *ФЭУ* и имеет такие же характеристики, как и входная (цена деления барабанчика равна $0,01$ мм, максимальное раскрытие щели – 4 мм).

Изменение длины волны излучения, проходящего через выходную щель, осуществляется вращением *барабана* с нанесёнными на нём делениями. Отчёт читается против индекса, скользящего по спиральной канавке. При необходимости шкала и индекс могут освещаться лампочкой, выключатель которой вмонтирован в основание монохроматора. Длина волны излучения (в ангстремах (Å), $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ м}$), попадающего в выходную щель монохроматора и *ФЭУ*, определяется по графику, представленному на рис. 9, по результатам отсчёта на барабане. Место соединения *ФЭУ* и монохроматора так же, как и насадка с линзой на входе, покрыта светоизоляционным материалом. Поэтому при выполнении задачи необходимо быть осторожным и не сдвигать *ФЭУ* с места. При соблюдении указанных мер предосторожностей изменение освещённости помещения не влияет на результаты измерений.

Подготовка установки к измерениям

Подготовка установки к измерениям состоит в подаче электрического напряжения на соответствующие узлы установки: источник излучения – лампы накаливания и *ФЭУ-19М*. Юстировка установки, т.е. такое размещение на оптической скамье отдельных узлов установки – лампы накаливания, конденсора, нейтрального светофильтра и *ФЭУ* – которое обеспечивает при заданных условиях максимальную величину фототока, выполняется лаборантом или

преподавателем. Студент только проверяет юстировку и при необходимости обращается за советом к лаборанту или преподавателю.

Для подготовки установки к измерениям:

1. Включите пульт питания ЭПП-111 с помощью тумблера «СЕТЬ», находящегося на его передней панели. Для получения пучка света подайте напряжение на лампу накаливания. Для этого тумблер «ЛАМПА К-12» на пульте питания поставьте в положение «ВКЛ».
2. Включите выпрямитель Б5-24.

Перед включением убедитесь, что ручки органов управления находятся в следующих исходных позициях

- тумблер «СЕТЬ» выключен;
- тумблер «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ» выключен;
- переключатель «НАПРЯЖЕНИЕ ВХОДА» выключен;
- ручки «КИЛОВОЛЬТ», «ВОЛЬТ» повернуты до упора в направлении против движения часовой стрелки.

Порядок включения выпрямителя Б5-24

- включите тумблер «СЕТЬ»;
- через 5 минут после включения сети включите тумблер «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ»;
- поставьте переключатель «НАПРЯЖЕНИЕ ВЫХОДА» в положение «ВКЛ»;
- установите ручками «КИЛОВОЛЬТ» и «ВОЛЬТ» необходимое для работы напряжение выхода.

При выполнении первой части упражнения №1 на установке №1 установите на выходе напряжение 840 В, на установке №2 – 700 В.

3. Если входное отверстие монохроматора закрыто защитным колпачком, убедитесь в том, что центр светового пятна от лампы совпадает с центром защитного колпачка, т.е. с центром входного отверстия. (Если защитный колпачок отсутствует, то центр светового пятна можно найти с помощью листа белой бумаги). После этого защитный колпачок можно снять.
4. Убедитесь в том, что затвор монохроматора открыт для прохождения пучка света. В открытом положении «флажок» на приводе затвора повернут к наблюдателю надписью «ОТКР».
5. Установите ширину входной и выходной щелей монохроматора равными 0,3 мм. Такая ширина выходной щели обеспечивает достаточно узкий спектральный интервал $\Delta\lambda$ излучения, попадающего на фотокатод ($\Delta\lambda \leq 30 \text{ \AA}$).

Выполнив указанные действия, приступайте к измерениям.

Упражнение 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОТОКА ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Зависимости коэффициентов пропускания светофильтров от угла поворота шкалы « φ » для установок № 1 и № 2 представлены на рис. 7 и рис. 8 соответственно. Как видно из рисунков, максимальный коэффициент пропускания ($K = 1$) достигается путём установки шкалы отсчёта на значение 90° для установки № 1 и 92° для установки № 2. Интенсивность света I , проходящего через светофильтр при максимальном коэффициенте пропускания $K = 1$, принята за единицу. Таким образом, коэффициент пропускания, который для произвольной установки шкалы отсчёта можно найти с помощью графиков на рис. 7 и рис. 8, определяет относительную интенсивность света, падающего на входную щель монохроматора.

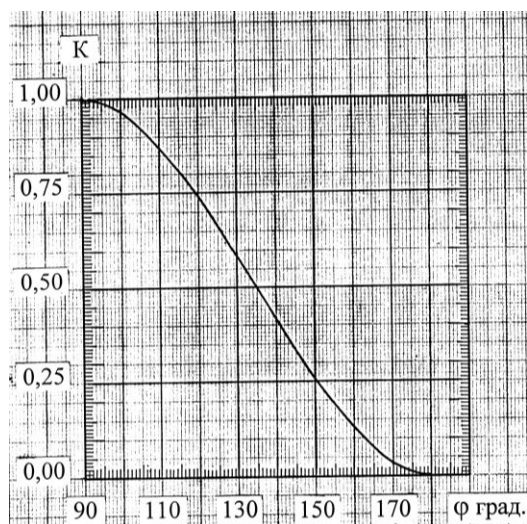


Рис. 7

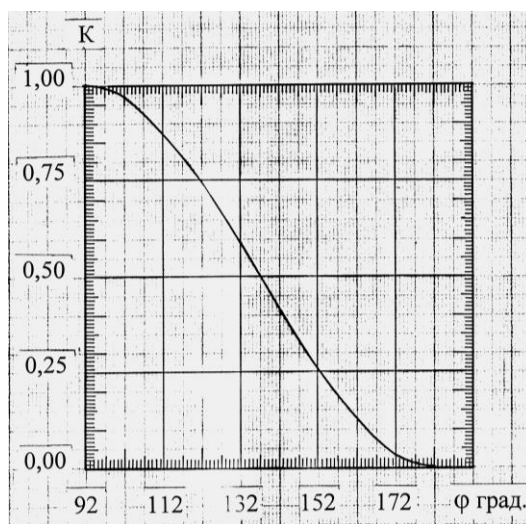


Рис. 8

ВЫПОЛНЕНИЕ УПРАЖНЕНИЯ

1. Убедитесь в том, что на выходе выпрямителя *B5-24* установлено необходимое напряжение: 840 В для установки № 1 и 700 В для установки № 2.
2. Установите шкалу нейтрального светофильтра в положение 90° для установки № 1 и 92° для установки № 2, что соответствует интенсивности света, прошедшего через нейтральный светофильтр, равной I ($I = 1$).
3. Установите вращением барабана длину волны света, при которой значение фототока i_φ , измеряемого стрелочным микроамперметром, максимально. Значение отсчёта « n » по барабану и соответствующую этому отсчёту длину

волны λ в ангстремах занесите в таблицу № 1. Убедитесь в том, что фототок i_ϕ при этом равен ~ 40 мкА.

4. Снимите зависимость фототока i_ϕ от интенсивности света I , изменяя положение шкалы нейтрального светофильтра от измерения к измерению на 10° . Полный угол поворота шкалы должен составить 90° . Результаты измерений занесите в таблицу № 1.
5. Установите на выходе выпрямителя Б5-24 новое значение напряжения 800 В для установки № 1 и 680 В для установки № 2.
6. Снимите зависимость фототока i_ϕ от интенсивности I света для нового значения напряжения на ФЭУ. Результаты измерений занесите в таблицу № 1.
7. Дома при обработке этой части задания по результатам измерений постройте на миллиметровой бумаге графики зависимости фототока i_ϕ от интенсивности света I для двух значений напряжения на ФЭУ.

Таблица 1 $n = \dots$ дел., $\lambda = \dots \overset{\circ}{\text{А}}$. Установка № 1.

Угол поворота и коэффициент пропускания нейтрального светофильтра			$U_{\text{ф.у.}} = 840$ В Прямая 1	$U_{\text{ф.у.}} = 800$ В Прямая 2
№	φ , град	К	$i_{\phi 1}$, мкА	$i_{\phi 2}$, мкА
1	90			
2	100			
3	110			
4	120			
5	130			
6	140			
7	150			
8	160			
9	170			
10	180			
11	90			

Таблица 1 $n = \dots$ дел., $\lambda = \dots \overset{\circ}{\text{А}}$. Установка № 2.

Угол поворота и коэффициент пропускания нейтрального светофильтра			$U_{\text{ф.у.}} = 700 \text{ В}$ Прямая 1	$U_{\text{ф.у.}} = 680 \text{ В}$ Прямая 2
№	φ , град	К	$i_{\phi 1}$, мкА	$i_{\phi 2}$, мкА
1	92			
2	102			
3	112			
4	122			
5	132			
6	142			
7	152			
8	162			
9	172			
10	182			
11	92			

Упражнение 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАСНОЙ ГРАНИЦЫ ФОТОЭФФЕКТА И РАСЧЕТ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА ИЗ ПОКРЫТИЯ ФОТОКАТОДА ФЭУ

1. Установите нейтральный светофильтр на пропускание, соответствующее интенсивности $I_1 = 1$.
2. Установите выходное напряжение выпрямителя Б5-24, равное 840 В, для установки № 1 и 720 В для установки № 2.
3. Изменяя в пределах от $4000 \overset{\circ}{\text{А}}$ до $6850 \overset{\circ}{\text{А}}$ длину волны света, выходящего из монохроматора, через каждые $150 \overset{\circ}{\text{А}}$ измерьте при помощи стрелочного микроамперметра силу фототока i_{ϕ} . Длина волны меняется путём вращения барабана. Для её определения следует использовать график, изображённый на рис. 9. Результаты измерений занесите в таблицу № 2.
4. Снимите зависимость силы фототока i_{ϕ} от длины волны λ для положений нейтрального светофильтра, соответствующих относительным интенсивностям $I_2 = 0,5$ и $I_3 = 0,25$. Результаты измерений занесите в таблицу № 2.

На этом экспериментальная часть работы заканчивается.

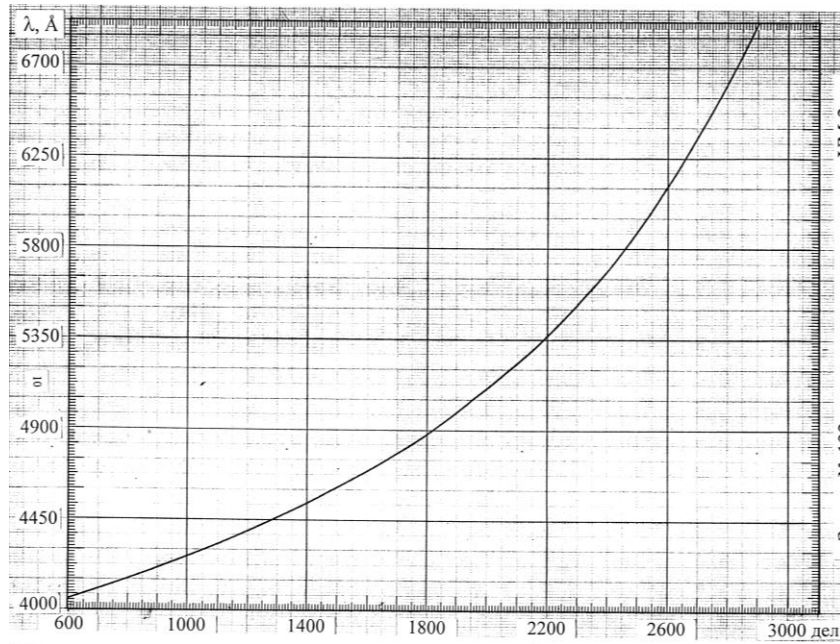


Рис. 9

Таблица № 2.

$U_{\phi.у.} = \dots$ В. Интервал между точками равен $150 \overset{\circ}{\text{А}}$.

Деления барабана, длина волны		К = 1 Кривая 1	К = 0,5 Кривая 2	К = 0,25 Кривая 3
№	дел. бар.	λ , А	i_{ϕ} , мкА	i_{ϕ} , мкА
1	615			
2	890			
3	1070			
4	1290			
5	1480			
6	1660			
7	1820			
8	1950			
9	2070			
10	2190			
11	2247			
12	2380			
13	2460			
14	2530			
15	2600			
16	2660			
17	2720			
18	2780			
19	2830			
20	2880			

ПОРЯДОК ВЫКЛЮЧЕНИЯ УСТАНОВКИ

1. Выключение выпрямителя Б5-24:

- выключите тумблер «**ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ**»;
- через *1 минуту* после выключения тумблера «**ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ**», поставьте переключатель «**НАПРЯЖ. ВЫХОДА**» в положение «**ВЫКЛ**»;
- поверните ручки регулировки «**КИЛОВОЛЬТЫ**», «**ВОЛЬТЫ**» до упора в направлении против движения часовой стрелки;
- выключите тумблер «**СЕТЬ**».

2. Выключение напряжения питания монохроматора:

- на пульте ЭПП-111 монохроматора выключите тумблеры «**ЛАМПА К-12**» и «**СЕТЬ**».

Дома по результатам измерений постройте кривые зависимости i_{ϕ} от λ . Для каждой кривой установите длину волны λ , лежащую на длинноволновом спаде кривой, для которой величина фототока составляет 5% от максимальной. Красная граница фотоэффекта λ_{\max} определяется как средняя арифметическая величина от найденных значений λ_i .

При помощи формулы $A_{\text{вых}} = \frac{2p\hbar c}{\lambda_{\max}}$ рассчитайте работу выхода электрона из покрытия фотокатода ФЭУ.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается явление внешнего фотоэффекта?
2. Запишите уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
3. Какая природа света проявляется во внешнем фотоэффекте?
4. Что называется красной границей фотоэффекта? От чего она зависит?
5. Объясните ход вольтамперной характеристики внешнего фотоэффекта. Как она зависит от интенсивности падающего света?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 5 кн. Кн.5 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Т.3. М.: 4-е изд., перераб. - М.: Наука. Физматлит. 1998. - 368 с.

Часть 1. Квантовая оптика.

Глава 2. Фотоны.

§ 2.2. Фотоэффект.

Часть 3. Физика твердого тела.

Глава 9. Контактные и термоэлектрические явления.

§ 9.1. Работа выхода.