

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Е. Б. ШЕРШНЕВ, С. И. СОКОЛОВ

ФИЗИКА

Электричество и магнетизм

Оптика

Атомная физика

Практическое пособие

для студентов специальности

1-39 03 02 «Программируемые мобильные системы»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2020

УДК 37:535:539.1(076)
ББК 22.33я73+22.34я73+22.38я73
Ш507

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук О. М. Дерюжкина;
кандидат физико-математических наук А. А. Бабич

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Шершневу, Е. Б.

Ш507 Физика : Электричество и магнетизм. Оптика. Атомная
физика : практическое пособие / Е. Б. Шершневу, С. И. Соко-
лов ; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ
им. Ф. Скорины, 2020. – 44 с.
ISBN 978-985-577-638-4

Практическое пособие включает описание и методику проведения ла-
бораторных работ при изучении курса «Физика» по разделам: «Электриче-
ство и магнетизм», «Оптика», «Атомная физика».

Издание предназначено для студентов специальности 1-39 03 02 «Про-
граммируемые мобильные системы».

УДК 537:535:539.1(076)
ББК 22.33я73+22.34я73+22.38я73

ISBN 978-985-577-638-4

© Шершневу Е. Б., Соколов С. И., 2020
© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины», 2020

Оглавление

Предисловие.....	4
Тема 1. Постоянный электрический ток	5
Лабораторная работа 1. Градуировка шкалы гальва- нометра	7
Тема 2. Методы расчета электрических цепей постоянного тока	8
Лабораторная работа 2.1. Измерение сопротивления проводников мостиком Уитстона	12
Лабораторная работа 2.2. Изучение работы двухэлек- тронной лампы	14
Тема 3. Магнитное поле и его свойства	16
Лабораторная работа 3. Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли тангенс–гальванометром	19
Тема 4. Фотометрия	20
Лабораторная работа 4. Изучение основных законов фотометрии	22
Тема 5. Интерференция волн	24
Лабораторная работа 5. Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона	26
Тема 6. Дифракция волн	27
Лабораторная работа 6. Изучение дифракции света при помощи газового лазера	28
Тема 7. Поляризация волн	30
Лабораторная работа 7. Изучение вращения плоско- сти поляризации оптически активными растворами	34
Тема 8. Тепловое излучение	36
Лабораторная работа 8. Изучение основных характе- ристик вакуумного фотоэлемента	38
Тема 9. Атом и атомное ядро	40
Лабораторная работа 9. Изучение спектральных за- кономерностей в атоме водорода и определение по- стоянной Ридберга	41
Литература	44

Предисловие

В соответствии с учебным планом специальности 11-39 03 02 «Программируемые мобильные системы» изучение курса «Физика» сопровождается лабораторными работами. Для проведения работ в практикуме используется типовое оборудование, а также оборудование, разработанное в лабораториях университета.

Описание и методика проведения этих работ даны в настоящем практическом пособии. Каждая работа содержит краткое изложение сущности изучаемых явлений, сведения об экспериментальной методике, положенной в основу лабораторной работы, подробное описание проведения измерений, дается описание используемых приборов.

Выполнение каждой лабораторной работы связано с необходимостью предварительного изучения определенной теоретической части курса. Необходимо помимо данного пособия ознакомиться с соответствующим разделом учебника и конспектом лекций, т. е. разобраться в том, какое явление изучается, какие величины измеряются.

Работа в лаборатории является одним из основных элементов процесса изучения физики, поскольку учит самостоятельно воспроизводить и анализировать важнейшие физические явления, получать правильные числовые значения измеряемых величин, сопоставлять их с имеющимися теоретическими соотношениями.

Каждая лабораторная работа рассчитана на одно занятие продолжительностью два академических часа.

Данное практическое пособие написано авторами на основе многолетнего опыта проведения лабораторных работ по курсу «Физика».

Тема 1

Постоянный электрический ток

1. Устройство и принцип работы магнитоэлектрического гальванометра.
2. Градуировка гальванометра.
3. Законы Кирхгофа.

Основные понятия по теме

Магнитоэлектрический гальванометр представляет собой проводящую рамку (обычно намотана тонким проводом), закреплённую на оси в магнитном поле постоянного магнита. При отсутствии тока в рамке она удерживается пружиной в некотором нулевом положении. Если же по рамке протекает ток, то рамка отклоняется на угол, пропорциональный силе тока, зависящий от жёсткости пружины и индукции магнитного поля. Стрелка, закреплённая на рамке, показывает значение тока в тех единицах, в которых отградуирована шкала гальванометра. От прочих конструкций магнитоэлектрическая система отличается наибольшей линейностью градуировки шкалы прибора (в единицах силы тока или напряжения) и наибольшей чувствительностью (минимальным значением тока полного отклонения стрелки).

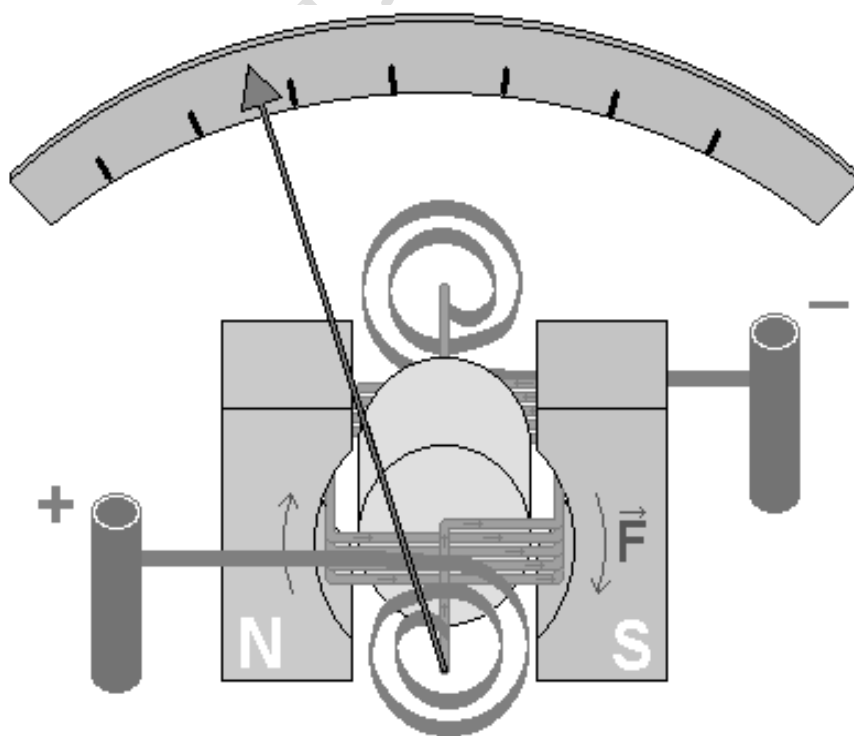


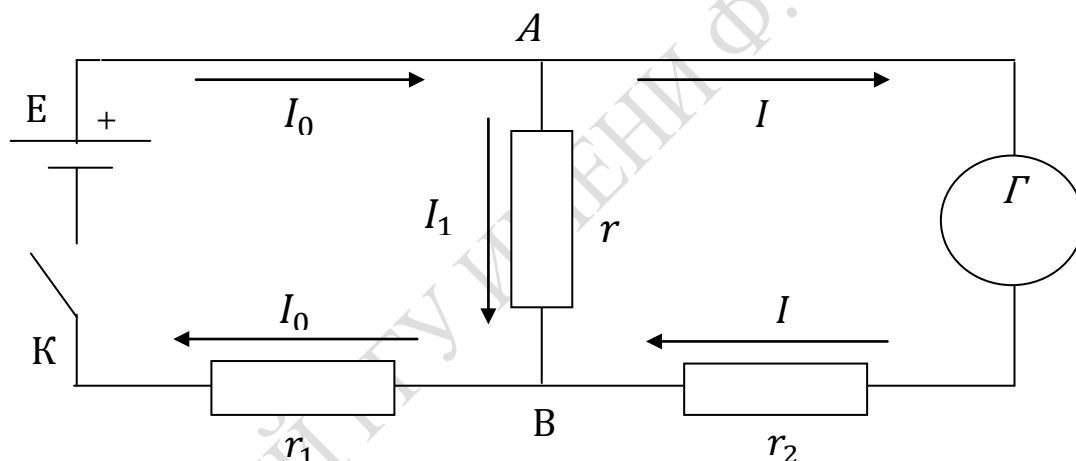
Рисунок 1.1 – Устройство магнитоэлектрического гальванометра

Проградуировать шкалу гальванометра – это значит установить, какой силе тока соответствует то или иное деление шкалы. Зная силу тока и соответствующее отклонение n стрелки гальванометра, можно построить кривую $I = f(n)$. Если эта зависимость представляет собой линейную функцию, то можно определить цену деления, или еще ее называют постоянной гальванометра, понимая под этим термином ту силу тока, которая отклоняет стрелку гальванометра на одно деление шкалы. Величина, обратная цене деления, называется чувствительностью гальванометра.

Единица измерения постоянной гальванометра по току: А/дел; мА/дел; мкА/дел.

В данной работе определяется цена деления шкалы гальванометра по току.

Для градуировки гальванометра используется цепь, схема которой дана на рисунке 1.2.



E – аккумулятор, питающий цепь,
 r_1 и r_2 – постоянные сопротивления,
 r – магазин сопротивлений,
 r_g – внутреннее сопротивление гальванометра.

Рисунок 1.2 – Электрическая схема установки

Для силы тока I , протекающего через гальванометр:

$$I = \frac{E\bar{r}}{\bar{r}(r_g+r_2+r_1)+r_1(r_g+r_2)}. \quad (1.1)$$

Таким образом, зная ЭДС аккумулятора E , сопротивление r_1 , r_2 , r и r_g , можно вычислить силу тока, протекающего в гальванометре. При неизменных значениях E , r_1 , r_2 , и r_g силу тока в гальванометре можно менять, задаваясь различным значением r .

Лабораторная работа 1

Градуировка шкалы гальванометра

Цель работы: проградуировать шкалу гальванометра и определить цену деления по току.

Приборы и принадлежности: нуль – гальванометр типа ФЭП; постоянное сопротивление ($r_1 = 100$ Ом – реостат); постоянное сопротивление ($r_2 = 1\,000$ Ом – реостат); магазин сопротивлений, тип Р–33; источник тока (аккумулятор $E = 4$ В); ключ; соединительные провода.

Ход работы

1. Познакомиться с приборами и дать полную характеристику на каждый прибор.

2. Заготовить таблицу записи наблюдений.

3. Собрать электрическую цепь по схеме рисунка 1.2.

Нужно правильно и рационально располагать приборы на рабочем столе.

В качестве постоянных сопротивлений r_1 и r_2 служат реостаты со скользящим контактом, в качестве переменного сопротивления служит 6-декадный магазин сопротивлений Р–33. Перед началом работы сопротивление магазина должно быть минимальным ($= 0$), то есть все декады магазина r должны быть выведены.

4. Собрав схему, включить в магазине r такое сопротивление (вводить в магазине сопротивление r надо с наименьшего), при котором стрелка гальванометра будет отклонена до конца шкалы ($n = 10$ делений).

5. Записать значения сопротивлений r_1 , r_2 , и r и деление n , на котором стоит стрелка гальванометра, в таблицу наблюдений.

6. Уменьшая сопротивление r так, чтобы стрелка гальванометра стояла против некоторого деления, например, 9–го ($n = 9$), опять записать значения сопротивления r и n . Все данные занести в таблицу записи наблюдений.

7. Уменьшая сопротивление r (при неизменном значении r_1 и r_2), пройти всю шкалу до нуля, делая, таким образом, 10 отсчетов.

8. Прodelать наблюдения в обратном порядке, увеличивая (при неизменном r_1 и r_2) r , и установить стрелку гальванометра на прежних делениях шкалы.

Обработка результатов опыта

1. Из двух значений r' и r'' , соответствующих одному и тому же отклонению n стрелки гальванометра, найти среднее $\bar{r}$.
2. Для каждого значения $\bar{r}$ вычислить I по формуле (1.1), при этом r_r – внутреннее сопротивление гальванометра дается на шкале прибора.
3. Построить градуировочный график $I = f(n)$, откладывая по оси абсцисс значение n , по оси ординат I .
4. Определить цену деления шкалы гальванометра по формуле:

$$C_r = \frac{I_k - I_{k-1}}{n_k - n_{k-1}}, \text{ (А/дел.)}$$

где k – номер опыта (измерения).

Необходимо определить 10 значений C_r . После этого вычислить среднее значение $\bar{C}_r$.

Данные для расчетов:

$E = 4 \text{ В}$, $r_1 = 100 \text{ Ом}$, $r_2 = 1\,000 \text{ Ом}$, $r_r = 385 \text{ Ом}$.

Тема 2

Методы расчета электрических цепей постоянного тока

1. Мостовые схемы измерения сопротивления.
2. Законы Кирхгофа.
3. Устройство и принцип работы вакуумного диода.
4. Параметры двухэлектродной лампы и их физический смысл.

Основные понятия по теме

Для определения сопротивлений проводников существуют различные методы. Одним из них является метод мостика постоянного тока – метод мостика Уитстона. Мостовые схемы работают как пара двухкомпонентных делителей напряжения, подсоединённых параллельно к источнику напряжения, индикатор нулевого сигнала включён в диагональ моста для определения баланса при нулевом сигнале. Метод измерения сопротивления при помощи мостика Уитстона является очень точным и весьма часто применяется в лабораторной практике. Принципиальная схема метода мостика Уитстона дана на рисунке 2.1.

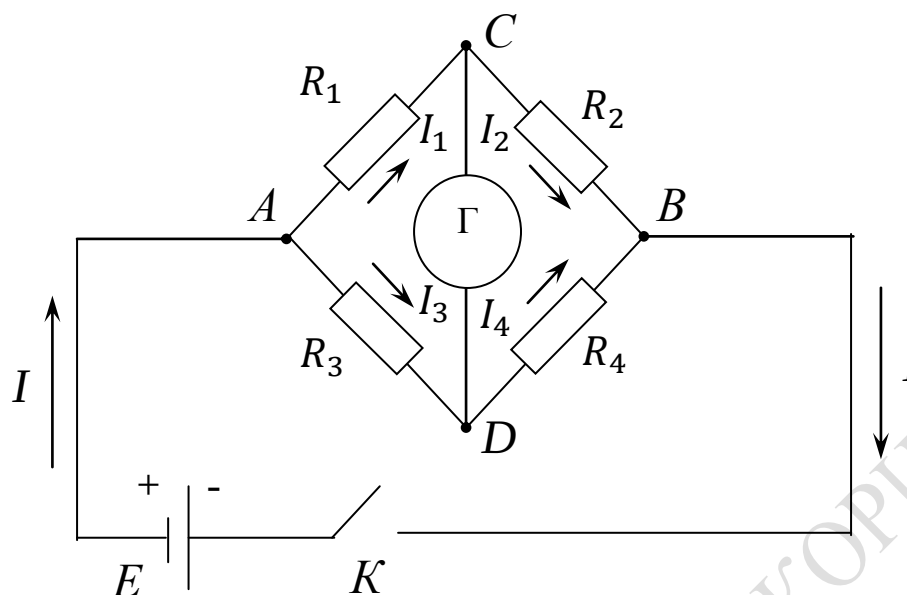


Рисунок 2.1 – Мост Уитстона

Мостик Уитстона представляет собой схему, состоящую из четырех сопротивлений – четырехугольник сопротивлений. В одну диагональ этого четырехугольника включается источник тока и ключ, а в другую – гальванометр, который собственно и является мостиком, перекинутым между двумя параллельно соединенными ветвями ABC и ADB .

При замыкании ключа K и при произвольных значениях сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и R_4 через гальванометр будет идти ток того или иного направления. Но можно подобрать такие сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , когда тока в гальванометре не будет (стрелка гальванометра останется на нуле при замыкании ключа). Это произойдет в том случае, когда потенциалы точек C и D будут равны.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}. \quad (2.1)$$

Это выражение устанавливает связь между сопротивлениями, составляющими «плечи» мостика Уитсона, при отсутствии тока в гальванометре.

Зная три сопротивления, входящие в уравнение (2.1), определяют четвертое.

Измеряемое сопротивление R_x введено в плечо AC ; известное сопротивление R_m в плечо CB мостика. Двумя другими сопротивлениями R_3 и R_4 являются части реохорда AB рисунка 2.2. По проволоке реохорда перемещается подвижной контакт D , соединенный с гальванометром G . Этот контакт делит струну реохорда на две части AD и DB .

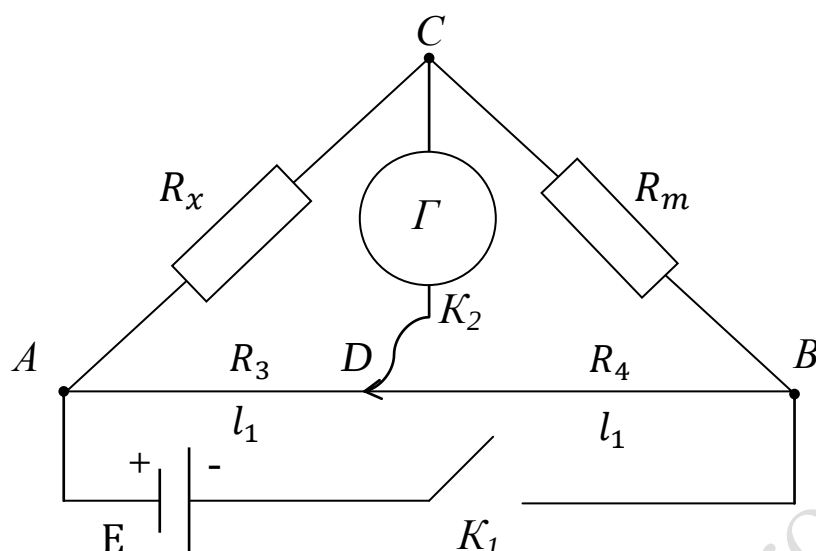


Рисунок 2.2 – Схема установки

Заменяя в равенстве (2.1) значения R_1 , R_2 , получим формулу для определения неизвестного сопротивления:

$$R_x = R_m \frac{R_3}{R_4}. \quad (2.2)$$

Вследствие того, что проволока реохорда однородная и тщательно калибрована, отношение сопротивления участков цепи AD и DB (плеч реохорда) можно заменить отношением соответствующих длин плеч реохорда l_1 и l_2 , то есть:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (2.3)$$

Подставив (2.2) в (2.1), получим окончательную формулу для определения сопротивления:

$$R_x = R_m \frac{l_1}{l_2}, \quad (2.4)$$

где l_1 и l_2 – длины плеч реохорда при нулевом положении стрелки гальванометра.

Двухэлектродная лампа (диод) представляет собой вакуумную лампу (давление в ней примерно 10^{-7} мм рт.ст) с двумя электродами, выполняющими совершенно различные функции – анодом A и катодом K (рисунок 2.3). Анодом служит полый металлический цилиндр. Катод – источник электронов, представляет собой тонкую металлическую трубку, находящуюся внутри анода. Катод разогревается нитью накала, расположенной внутри трубки. Нить накала и катод электрически изолированы друг от друга. Концы нити накала, катода и анода

включаются в цепь с помощью медных ножек, выведенных через цоколь.

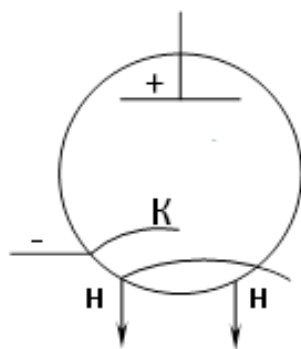


Рисунок 2.3 – Двухэлектродная лампа

Анодный ток I_a при постоянной температуре нити накала ($I_H = \text{const}$) зависит от напряжения U_a , приложенного между анодом и катодом:

$$I_a = f(U_a).$$

При постоянном напряжении между анодом и катодом ($U_a = \text{const}$) анодный ток насыщения зависит от температуры накала нити катода.

При изучении двухэлектродной лампы снимается зависимость анодного тока I_a лампы от приложенного между анодом и катодом напряжения U_a , называемая вольтамперной характеристикой двухэлектродной лампы. Такая характеристика показана на рисунке 2.4.

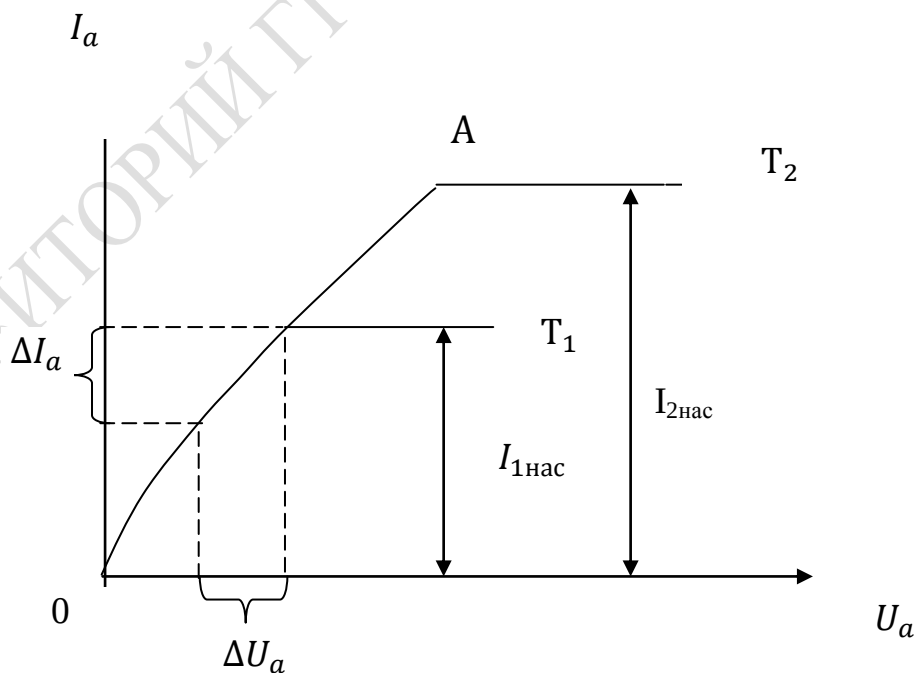


Рисунок 2.4 – Вольтамперная характеристика диода

Зависимость анодного тока от напряжения между анодом и катодом при постоянной температуре накала катода для участка кривой ОА может быть представлена функцией:

$$I_a = cU^{3/2},$$

где c — коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров и формы анода.

Основными параметрами двухэлектродной лампы являются:

- а) внутреннее сопротивление лампы;
- б) крутизна анодной характеристики.

Внутреннее сопротивление лампы не сохраняется постоянным, как следует из функции зависимости анодного тока I_a от напряжения U_a . Для малых участков крутоподнимающейся характеристики лампы (рисунок 2.4), можно найти среднее значение внутреннего сопротивления R_i :

$$R_i = \frac{\Delta U_{ai}}{\Delta I_{ai}}.$$

Внутреннее сопротивление представляет собой отношение приращения анодного напряжения к приращению анодного тока, при условии постоянства напряжения накала.

Величина, обратная внутреннему сопротивлению, называется крутизной анодной характеристики S . Крутизна анодной характеристики S показывает, насколько изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на аноде на 1 вольт.

$$S = \frac{\Delta I_{ai}}{\Delta U_{ai}}, \quad S = \frac{1}{R_i}.$$

Крутизна анодной характеристики измеряется в миллиамперах на вольт (мА/В).

Лабораторная работа 2.1

Измерение сопротивления проводников мостиком Уитстона

Цель работы: научиться измерять электрические сопротивления с помощью моста постоянного тока.

Приборы и принадлежности: гальванометр с двухсторонней шкалой; реохорд (калиброванная проволока, натянутая вдоль миллиметрового масштаба); магазин сопротивлений типа Р–33; измеряемые сопротивления (две катушки); двойной ключ; источник постоянного тока (аккумулятор $E = 4\text{ В}$); соединительные провода.

Ход работы

1. Ознакомиться с приборами, дать их техническую характеристику. Приготовить таблицу записи наблюдений. Собрать электрическую цепь, как показано на рисунке 2.2. Вместо сопротивления R_x включить одну из неизвестных катушек R_1 .

2. Поместить подвижной контакт D посередине проволоки реохорда и подобрать сопротивление R_m в магазине так, чтобы ток в гальванометре почти исчез. Это необходимо делать потому, что точность измерения на мостике зависит от положения контакта D ; наибольшая точность получается при $l_1 = l_2$.

3. Окончательно установить гальванометр на нулевое деление путем небольших передвижений контакта D и произвести измерения длин плеч реохорда l_1 и l_2 .

4. Опыт повторить, меняя сопротивление магазина R_m .

5. Подставляя в формулу (2.3) значения R_m , l_1 и l_2 , взятые из каждого отдельного опыта, вычислить R_1 .

6. На место первой катушки R_1 в цепь включить вторую катушку 2. Производя с этой катушкой такие же измерения, как и с первой катушкой R_1 , получить значения R_2 для второй катушки.

7. Измеренные вышеуказанным способом две катушки R_1 и R_2 включить в цепь вместе – сначала последовательно, а затем параллельно. Измерить сопротивление этих катушек $R_{\text{посл.}}$ и $R_{\text{парал.}}$ по одному разу при последовательном, а потом при параллельном соединении так же, как это делали для этих же катушек, включенных отдельно.

8. Полученные опытным путем результаты последовательного и параллельного соединения сопротивлений необходимо сопоставить с величинами сопротивлений, рассчитанными по формулам последовательного и параллельного соединения сопротивлений, пользуясь значениями сопротивлений катушек R_1 и R_2 , найденными ранее. Все полученные опытом и вычисленные результаты сводятся в таблицу отчета.

9. Произвести математическую обработку результатов.

Лабораторная работа 2.2

Изучение работы двухэлектродной электронной лампы

Цель работы: по полученной вольтамперной характеристике определить основные параметры двухэлектродной лампы.

Приборы и принадлежности: B_a – источник постоянного напряжения 250 вольт (от выпрямителя ВУП–2); B_n – источник переменного напряжения 6,3 вольт (от выпрямителя ВУП–2); R_n – высокоомный потенциометр (реостат порядка 3000 Ом); V – вольтметр многопредельный, тип Э59); M_a – миллиамперметр типа Э59; ключ замыкания для цепи анода; ключ замыкания для цепи накала; двухэлектродная лампа на панели; соединительные провода.

Ход работы

Упражнение 1. Снятие вольтамперной характеристики двухэлектродной электронной лампы.

1. Ознакомившись с приборами и принадлежностями и приготовив таблицу записи наблюдений, собрать приборы по схеме рисунка 2.5.

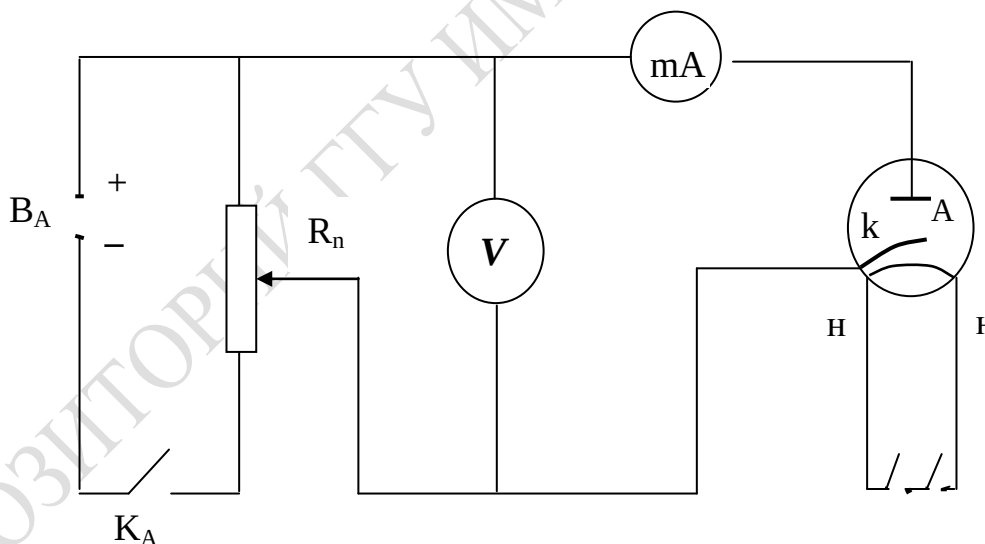


Рисунок 2.5 – Схема установки

Схема для снятия вольтамперной характеристики диода состоит из двух самостоятельных цепей: цепи накала и цепи анода. Цепь накала (клеммы М и Н) служит для разогрева катода, состоит из последовательно соединенных с источником переменного напряжения (6,3 вольта) нити накала и ключа. Цепь анодного тока питается от источника постоянного напряжения через высокоомный потенциометр. Потенциометр присоединяется к источнику напряжения через ключ. Снима-

емое при помощи движка потенциометра напряжение подводится на анод А. Для измерения подаваемого на лампу напряжения в цепь включается вольтметр, а для измерения величины анодного тока включается миллиамперметр.

Начиная опыт, поставить:

- а) потенциометр на нуль напряжения;
- б) предел измерения вольтметра на 300 вольт;
- в) предел измерения миллиамперметра на 10 мА.

Для вольтметра и миллиамперметра рассчитать цену деления.

2. Движком потенциометра R_n установить напряжение между анодом и катодом 20 вольт. Одновременно записать величину анодного тока в лампе (в миллиамперах).

3. Продолжая увеличивать напряжение на аноде через каждые 20 вольт, записать величину анодного тока в лампе для каждого значения установленного напряжения. Таким образом снимается вольтамперная характеристика двухэлектродной лампы.

4. После этого нужно идти в обратном направлении, уменьшая напряжение через каждые 20 вольт и записывая величину анодного тока. Из двух значений (I'_a и I''_a) анодного тока, соответствующих одному и тому же напряжению, найти среднее значение анодного тока. Данные занести в таблицу записи наблюдений.

5. Результаты измерения представить в виде графика, выражающего зависимость анодного тока в лампе от анодного напряжения. По оси абсцисс откладывают U_a в вольтах, по оси ординат I_a в миллиамперах. По кривой найти величину анодного тока насыщения (при условии, что это выполнимо) и потенциала насыщения. Потенциал насыщения – это такой потенциал, начиная с которого анодный ток в лампе делается током насыщения.

Упражнение 2. Определение основных параметров двухэлектродной лампы.

Определить из графика вольтамперной характеристики диода:

- а) внутреннее сопротивление лампы R_i ;
- б) крутизну анодной характеристики S для средней части анодной характеристики, где она приближается к прямой.

Для этого на кривой графика выбрать прямолинейную часть и построить прямоугольный треугольник ABC (рисунок 2.6), найти приращение анодного напряжения ΔU_a (прямая AC) и приращение анодного тока ΔI_a (прямая BC).

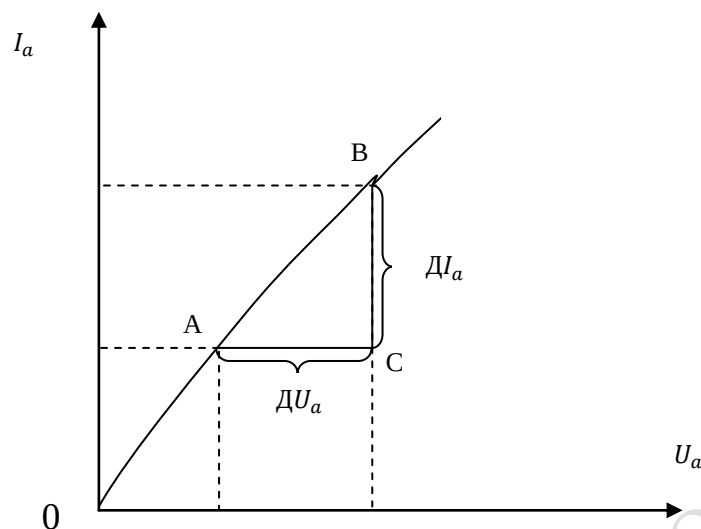


Рисунок 2.6 – Вольтамперная характеристика диода

Тема 3

Магнитное поле и его свойства

1. Магнитное поле Земли.
2. Закон Био-Савара-Лапласа.
3. Принцип работы и устройство тангенс-гальванометра.

Основные понятия по теме

Земля представляет собой огромный естественный магнит, полюса которого располагаются недалеко (≈ 300 км) от географических полюсов: вблизи северного географического полюса расположен южный магнитный полюс S , а вблизи южного географического – северный магнитный полюс N . Через магнитные полюса Земли можно провести линии больших кругов – магнитные меридианы (рисунок 3.1).

Магнитное поле Земли удобно характеризовать тремя элементами: горизонтальной составляющей $\vec{H}_3$, магнитным склонением α (углом между географическим и магнитным меридианами) и магнитным наклонением β (угол между вектором $\vec{H}$ и плоскостью горизонта). Знание $\vec{H}_3$, α и β дает возможность определить величину и направление вектора напряженности магнитного поля Земли в данной точке.

Если магнитная стрелка может вращаться только около вертикальной оси, то под действием горизонтальной составляющей магнитного

поля Земли она устанавливается в плоскости магнитного меридиана. Это свойство магнитной стрелки используется в приборе, который называется тангенс–гальванометр, для определения величин горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля $\vec{H}_3$.

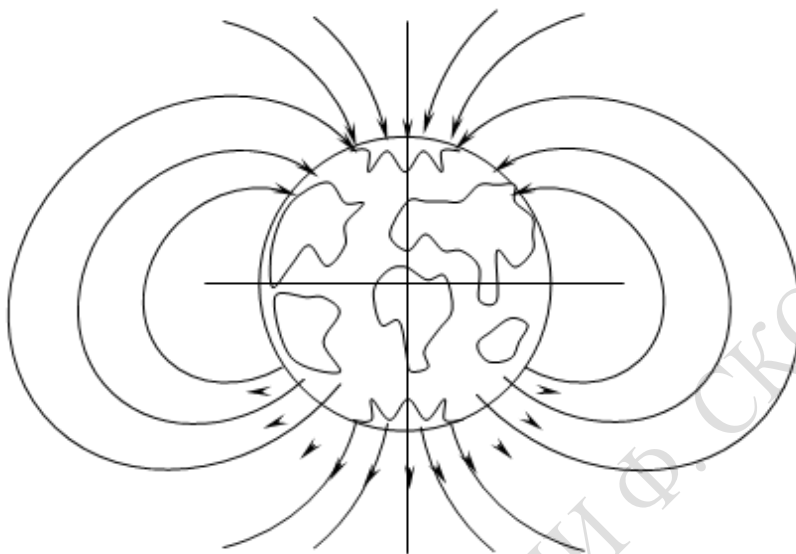


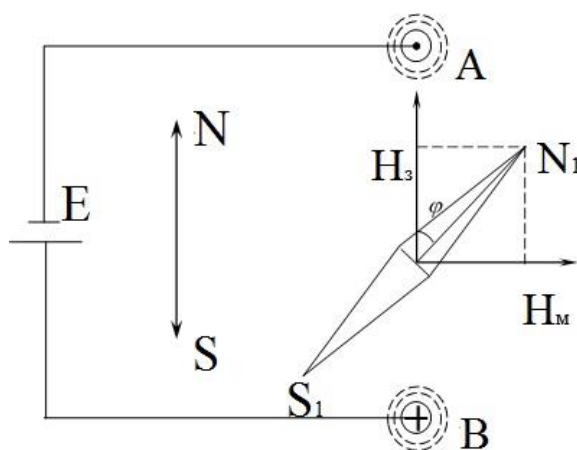
Рисунок 3.1 – Магнитное поле Земли

Тангенс–гальванометр представляет собой плоскую вертикальную катушку радиуса R с числом витков n . В центре катушки в горизонтальной плоскости расположен компас. Магнитная стрелка компаса при отсутствии тока в катушке будет располагаться по магнитному меридиану Земли NS .

Поворачивая катушку около вертикальной оси, можно добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана. Если после таковой установки катушки по ней пропустить ток, то магнитная стрелка повернется на некоторый угол φ . Объясняется это тем, что на магнитную стрелку будут действовать два поля. Внешнее поле – это горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли – $\vec{H}_3$ и второе поле, созданное током $\vec{H}_m$ (рисунок 3.2).

Под действием этих двух полей магнитная стрелка займет такое положение, при котором равнодействующая этих полей будет совпадать с линией, соединяющей полюса стрелки.

В точке A ток идет на нас (показан точкой). В точке B ток идет от нас (показан крестиком). Магнитное поле тока (вектор $\vec{H}_m$) направлено перпендикулярно плоскости витков.



NS – направление магнитного меридиана Земли, A и B сечения витка катушки горизонтальной плоскостью; N_1S_1 – магнитная стрелка компаса, помещенная в центре катушки; $\vec{H}_3$ – вектор горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли; $\vec{H}_m$ – вектор напряженности магнитного поля, созданного током в катушке (определяется по правилу буравчика).

Рисунок 3.2 – Схема установки

Из рисунка 3.2 видно, что

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H_m}{H_3}, \quad (3.1)$$

откуда

$$H_3 = \frac{H_m}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (3.2)$$

Длина магнитной стрелки компаса должна быть намного меньше радиуса R катушки, чтобы магнитное поле можно было бы считать однородным в той области, где находится стрелка, а напряженность – равной напряженности в центре катушки.

Применяя закон Био–Савара–Лапласа, можно легко найти напряженность магнитного поля в центре кругового тока, имеющего n витков. Получим:

$$H = \frac{In}{2R}. \quad (3.3)$$

Подставляя значения H из формулы (3.3) в формулу (3.2), находим:

$$H_3 = \frac{In}{2R \operatorname{tg} \varphi}. \quad (3.4)$$

Лабораторная работа 3

Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли тангенс–гальванометром

Цель работы: определить горизонтальную составляющую земного магнитного поля с помощью прибора, называемого тангенс–гальванометром.

Приборы и принадлежности: тангенс–гальванометр (число витков $n = 65$ витков, радиус витков равен 14 см); миллиамперметр типа ЛМ – 1; реостат со скользящим контактом (200 Ом); аккумулятор; коммутатор; ключ; соединительные провода.

Ход работы

1. Собрать установку по схеме, изображенной на рисунке 3.3.

Тангенс–гальванометр необходимо поместить не ближе 1 м от других приборов, так как магнитное поле приборов может оказывать сильное влияние на магнитную стрелку тангенс–гальванометра.

2. Коммутатор поставить на любое направление тока.

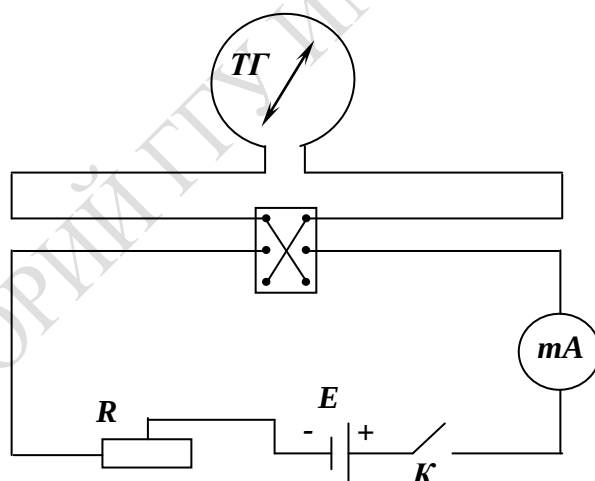


Рисунок 3.3 – Схема установки

3. Вращать катушку около вертикальной оси, наблюдая сверху, и придать ей такое положение, чтобы ось магнитной стрелки лежала в плоскости катушки. Тогда плоскость катушки будет совмещена с плоскостью магнитного меридиана. При этом магнитная стрелка указывает на нулевое деление шкалы лимба. Если это не так, то необходимо повернуть компас вокруг вертикальной оси.

4. Задать пять значений токов, пропущенных через витки катушки тангенс–гальванометра в пределах 20–100 мА. Например: 20, 40, 60, 70, 90 мА. Каждой величине тока соответствует свой опыт.

5. Проводя первый опыт, соответствующий току 20 мА, необходимо:

а) установить реостат на нужное сопротивление (стрелка миллиамперметра показывает 20 мА) и замкнуть ключ К. Когда стрелка тангенс–гальванометра успокоится, произвести измерение острого угла по обоим концам стрелки;

б) записать показания миллиамперметра и тангенс–гальванометра;

в) коммутатором изменить направление тока в тангенс–гальванометре;

г) измерить, как и в первом случае, углы отклонения стрелки, ток должен быть таким же, как и ранее;

д) результаты занести в таблицу.

6. Провести второй опыт, соответствующий току 40 мА. И далее со всеми токами. Все результаты занести в таблицу.

7. Для каждого опыта вычислить H_3 (где i – номер опыта) по формуле (3.4), где витков катушки $n = 65$, а радиус витков $R = 14$ см.

Тема 4

Фотометрия

1. Энергетические и фотометрические величины.
2. Основные фотометрические величины и единицы их измерения.
3. Закон обратных квадратов. Закон косинусов.

Основные понятия по теме

Рассмотрим точечный источник, сила света которого равна I , и выделим телесный угол $d\Omega$ с вершиной в точке нахождения источника (рисунок 4.1).

$$d\Phi = Id\Omega. \quad (4.1)$$

Величина $d\Phi$ называется элементарным световым потоком, излучаемым в пространство, ограниченным углом $d\Omega$. Единицей светового потока является люмен ($1 \text{ Лм} = 1 \text{ Кд} \times 1 \text{ стер.}$).

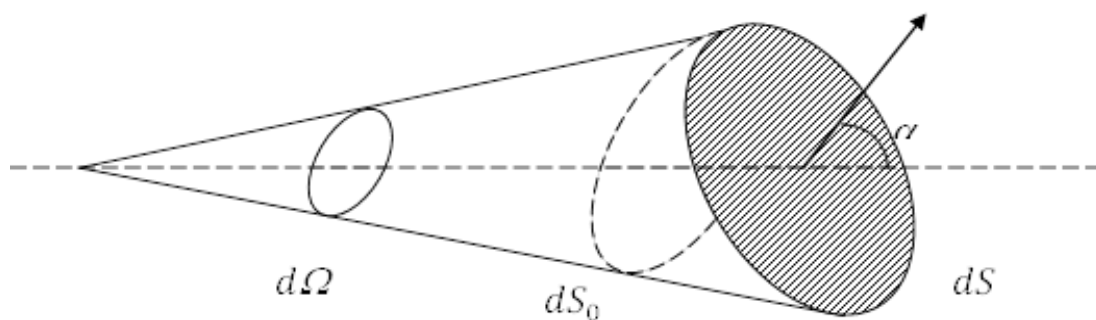


Рисунок 4.1 – Точечный источник света

Если сила света источника не зависит от направления наблюдения (такой источник называется изотропным), то полный световой поток, излучаемый источником по всем направлениям, равен:

$$\Phi = 4\pi I. \quad (4.2)$$

На пути светового потока расположим элементарную площадку dS , образующую угол α с направлением распространения света. Отношение светового потока к площади освещаемой поверхности:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (4.3)$$

называется освещенностью, которая измеряется в люксах ($1 \text{ Лк} = 1 \text{ Лм} / \text{м}^2$).

Построим также площадку dS_0 , перпендикулярную к направлению наблюдения и находящуюся на том же расстоянии r от источника света, что и площадка dS . Учитывая, что:

$$dS_0 = r^2 d\Omega = dS \cos \alpha \quad (4.4)$$

и используя соотношение (4.1), из формулы (4.3) получаем:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}. \quad (4.5)$$

Таким образом, освещенность поверхности обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света (закон обратных квадратов) и прямо пропорциональна силе света и косинусу угла падения света на поверхность (закон косинусов).

Лабораторная работа 4

Изучение основных законов фотометрии

Цель работы: знакомство с основными фотометрическими понятиями, величинами и экспериментальная проверка законов освещенности.

Приборы и принадлежности: фотометрический прибор на основе селенового фотоэлемента, осветитель, набор диафрагм, матовое стекло, линза, микроамперметр, выпрямитель, соединительные провода.

Описание установки

Фотометрический прибор состоит из камеры и разъемного корпуса прямоугольной формы. Внутри камеры вмонтирован селеновый фотоэлемент, провода которого выведены на торцевую часть прибора. Фотоэлемент закреплен в специальной оправе, которая может поворачиваться вокруг горизонтальной оси в пределах угла $\varphi = 90^\circ$. Отсчет угла поворота осуществляется по угловой шкале, расположенной на лицевой стороне камеры. Селеновый фотоэлемент состоит из металлической подложки, на одной стороне которой нанесен слой селена толщиной около 0,1 мм. Сверху этот слой покрыт прозрачным электродом. Согласно первому закону фотоэффекта, сила фототока насыщения пропорциональна падающему потоку:

$$i = \gamma \Phi, \quad (4.11)$$

где γ – интегральная чувствительность фотоэлемента.

Внутри прямоугольного корпуса помещается осветитель с электролампочкой, который может перемещаться вдоль продольной оси прибора. Величина перемещения отсчитывается по линейке, закрепленной на лицевой стороне прибора. В набор также входят линзы в оправе, матовое стекло, набор диафрагм, исследуемая электрическая лампочка, реостат.

Ход работы

1. Подключить микроамперметр к зажимам фотоэлемента. Установить предел измерений – 10 мкА.
2. Лампочку осветителя соединить последовательно с реостатом и выпрямителем.
3. Установить фотоэлемент перпендикулярно оси прибора (ручку – на нулевую отметку угловой шкалы).

Упражнение 1. Исследование зависимости освещенности от расстояния до источника света.

1. Установить осветитель на десятом делении шкалы.
2. Для получения параллельного пучка света между источником и фотоэлементом установить линзу в оправе.
3. С помощью реостата подать на лампу такое напряжение, при котором микроамперметр покажет максимальное значение силы тока ($i = 10$ мкА).
4. Снять отсчет i_{10} по шкале микроамперметра.
5. Не меняя напряжения, установить лампу на 20 и 30 делениях шкалы и снять отсчеты i_{20} и i_{30} .
6. Используя полученные данные, проверить справедливость закона обратных квадратов:

$$\frac{i_{10}}{i_{20}} = \frac{r_{20}^2}{r_{10}^2}, \quad \frac{i_{20}}{i_{30}} = \frac{r_{30}^2}{r_{20}^2}, \quad \frac{i_{10}}{i_{30}} = \frac{r_{30}^2}{r_{10}^2}.$$

Упражнение 2. Исследование зависимости освещенности от угла падения света.

1. Установить осветитель на десятом делении шкалы прибора.
2. Для получения параллельного пучка света между источником и фотоэлементом установить линзу в оправе.
3. С помощью реостата добиться максимального значения фототока ($i = 10$ мкА) и снять отсчет i_0 .
4. Не меняя напряжения на лампе и расстояние r , повернуть фотоэлемент на 30° и 45° , и снять отсчеты i_{30} и i_{45} по шкале микроамперметра.
5. Используя полученные данные, проверить справедливость закона косинусов:

$$\frac{i_0}{i_{30}} = \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_{30}}, \quad \frac{i_{30}}{i_{45}} = \frac{\cos \alpha_{30}}{\cos \alpha_{45}}.$$

Упражнение 3. Исследование зависимости светового потока от площади освещенной поверхности.

1. Убрать линзу и повернуть фотоэлемент перпендикулярно падающему свету (ручка на нулевую отметку угловой шкалы).
2. Установить осветитель на десятом делении шкалы.
3. С помощью реостата подать на лампу такое напряжение, при котором микроамперметр покажет максимальное значение силы тока ($i = 10$ мкА).

4. Поместить между фотоэлементом и световым источником матовое стекло в оправе (при этом площадь открытой поверхности фотоэлемента равна 9 см^2). Снять величину фототока i_9 по шкале микроамперметра.

5. Установить перед фотоэлементом последовательно диафрагмы с площадью 6 см^2 и 3 см^2 и снять соответственно показания микроамперметра i_6 и i_3 .

6. Построить график функции $i = f(S)$ и убедиться в линейной зависимости светового потока от площади поверхности при постоянной освещенности.

Тема 5

Интерференция волн

1. Интерференция волн.
2. Полосы равного наклона.
3. Полосы равной толщины.

Основные понятия по теме

С помощью системы – линза с большим радиусом кривизны и плоско-параллельная пластинка – наблюдаются кольца Ньютона, полученные в результате интерференции световых волн, отраженных от границ нижней поверхности линзы и верхней границы пластинки.

Из рисунка 5.1 радиус r интерференционных колец равен:

$$r^2 = R^2 - (R - \delta)^2 = 2R\delta - \delta^2,$$

где R — радиус кривизны линзы,
 δ — толщина воздушной прослойки.

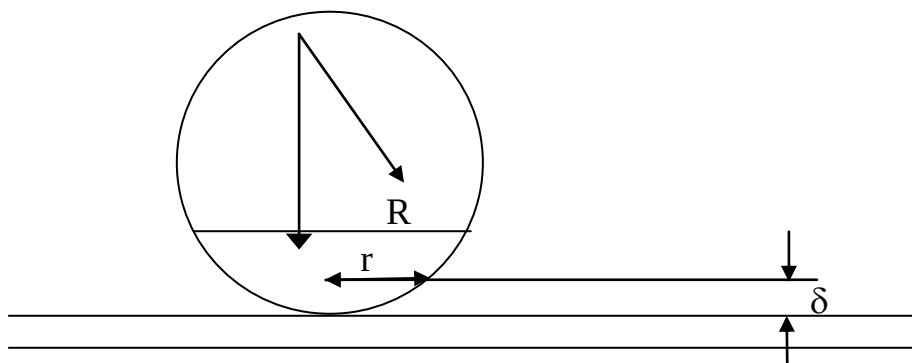


Рисунок 5.1 – Линза и плоскопараллельная пластинка

Геометрическая разность хода между интерференционными лучами равна 2δ и учитывая, что $2R \gg \delta$, получают:

$$\delta = \frac{r^2}{2R}. \quad (5.1)$$

При отражении от границ стекло – воздух и воздух – стекло происходит изменение фазы световой волны, то есть потеря полуволны. Полная разность хода:

$$\Delta = 2\delta + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}. \quad (5.2)$$

Используя условие минимума освещенности в интерференционной картине, вычисляют:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (5.3)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$

Принимая во внимание (5.2), получают для радиусов r_m темных колец:

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}. \quad (5.4)$$

Зная радиус темных колец Ньютона r_k и r_m , можно найти радиус кривизны линзы:

$$R = \frac{r_k^2 - r_m^2}{(k - m)\lambda}, \quad (5.5)$$

где r_k и r_m – радиусы ближайших темных колец,
 k и m – номера колец,
 λ – длина волны.

Откуда длина световой волны:

$$\lambda = \frac{r_k^2 - r_m^2}{(k - m)R}, \quad (5.6)$$

где R – радиус кривизны линзы.

Лабораторная работа 5

Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона

Цель работы: ознакомиться с явлением интерференции в тонких и прозрачных пластинках, в частности, когда интерференционная картина локализована на поверхности клина (полосы равной толщины).

Приборы и принадлежности: микроскоп с окулярным микрометром; объективный микрометр с ценой деления 0,01 мм; плоскопараллельная пластинка и линза в оправе; осветитель; набор светофильтров.

Ход работы

Упражнение 1. Определение цены деления окулярного микрометра.

Для определения цены деления окулярного микрометра положить на предметный столик объективный микрометр и передвигая тубус микроскопа, добиваемся совпадения делений объективного микрометра и шкалы окулярного микрометра. Тогда цена деления окулярного микрометра:

$$C = 0,01 \frac{N_2}{N_1} \text{ мм},$$

где N_1 – количество делений окулярного микрометра,

N_2 – количество делений объективного микрометра.

Упражнение 2. Измерение радиуса колец Ньютона.

Зная цену деления, можно измерить радиус колец Ньютона, для этого необходимо поступить следующим образом:

1. Направляют световой поток от осветителя на опак – иллюминатор микроскопа, предварительно положив на столик микроскопа лист черной бумаги (для рассматривания колец Ньютона в отраженном свете). На бумагу поместить систему: плоско-параллельная пластинка и линза в оправе.

2. Передвигая пластинку вместе с линзой, добиться видимости колец в поле зрения. Фокусировать микроскоп на резкое видение колец, следя за тем, чтобы окулярная шкала расположилась по диаметру колец.

3. В держатели осветителя вставить красный светофильтр и получить интерференционную картину колец Ньютона при красном свете.

4. Выбрав k -е кольцо (проводят измерения только радиусов темных колец), подсчитать количество клеточек окулярного микрометра, помещающихся в диаметре k -го кольца по вертикали D_1 и по горизонтали D_2 .

Средний радиус k -го кольца будет равен:

$$r_k = \frac{D_1 + D_2}{4} \text{ (клеточек)}, \quad (5.7)$$

а с учетом цены деления:

$$r_k = \frac{D_1 + D_2}{4} C \text{ (мм)}. \quad (5.8)$$

5. Таким же образом определить радиус m -го кольца.

6. Зная длину волны красного светофильтра ($\lambda = 700$ нм) и радиусы двух близлежащих колец Ньютона, по формуле (5.5) определить радиус кривизны линзы R .

7. Зная радиус кривизны линзы R , рассчитанный по формуле (5.5), определить длины волн зеленого и желтого света, для чего следует:

- а) изменить красный светофильтр на зеленый;
- б) вычислить по формуле (5.8) радиусы двух близлежащих темных колец в зеленом свете;
- в) определить длину волны зеленого светофильтра по формуле (5.6);
- г) те же операции провести и с желтым светофильтром.

Тема 6

Дифракция волн

1. Дифракция света.
2. Дифракционная картина распределения света. Разность хода лучей.
3. Дифракционная решетка и её характеристики.

Основные понятия по теме

Явление отклонения света от прямолинейного распространения, проявляющееся при наличии препятствий на пути световой волны, известно как дифракция света. В результате дифракции в области за препятствием наблюдается сложное распределение интенсивности света – дифракционная картина. Дифракционная картина представляет собой

чередование светлых и темных полос (*max* и *min*), наблюдаемых с помощью экрана.

Простейшим препятствием является узкая щель в непрозрачном экране. Условия дифракции на щели, имеющей ширину b :

$$b \sin \varphi = 2m\lambda/2 = m\lambda - \text{условие минимума.}$$

$$b \sin \varphi = (2m + 1) \lambda/2 - \text{условие максимума } (m = 1, 2, 3 \dots).$$

В этих формулах положение максимума и минимума характеризуется углом наклона лучей φ , идущих в соответствующие точки экрана.

Если в качестве препятствия взять экран с N одинаковыми параллельными друг другу щелями, то за препятствием образуется более сложное распределение интенсивности света. Дифракционная картина образуется вследствие сложения колебаний от всех щелей, то есть она будет являться результатом интерференции, как от каждой щели, так и от всех щелей. Дифракционная картина будет состоять из чередующихся максимумов и минимумов, а в промежутках между главными соседними максимумами расположены добавочные максимумы и минимумы.

Условия дифракции на многих щелях (дифракционной решетке) определяются условиями:

$$d \sin \varphi = 2m\lambda/2 = m\lambda - \text{главные максимумы;}$$

$$d \sin \varphi = (2m + 1) \lambda/2 - \text{главные минимумы.}$$

Постоянная дифракционной решетки d зависит от расстояния между соседними щелями $d = a + b$, где a – расстояние между соседними щелями, b – ширина каждой щели.

Лабораторная работа 6

Изучение дифракции света при помощи газового лазера

Цель работы: получение дифракционной картины, определение периода дифракционной решетки и длины волны излучения газового лазера.

Приборы и принадлежности: оптический квантовый генератор; дифракционная решетка; экран; линейка, установленная на штативе.

Описание установки

Экспериментально можно определить основную характеристику дифракционной решетки – ее период d . Экспериментальная установка состоит из источника монохроматического света – лазера (оптического квантового генератора), дифракционной решетки и экрана, установленных на оптической скамье (рисунок 6.1). При помощи лазера удастся получить

узкий направленный пучок строго монохроматического света большой интенсивности, что связано с когерентностью излучения отдельных атомов, возбуждаемых в газоразрядной трубке 1 лазера с помощью зеркал 2.

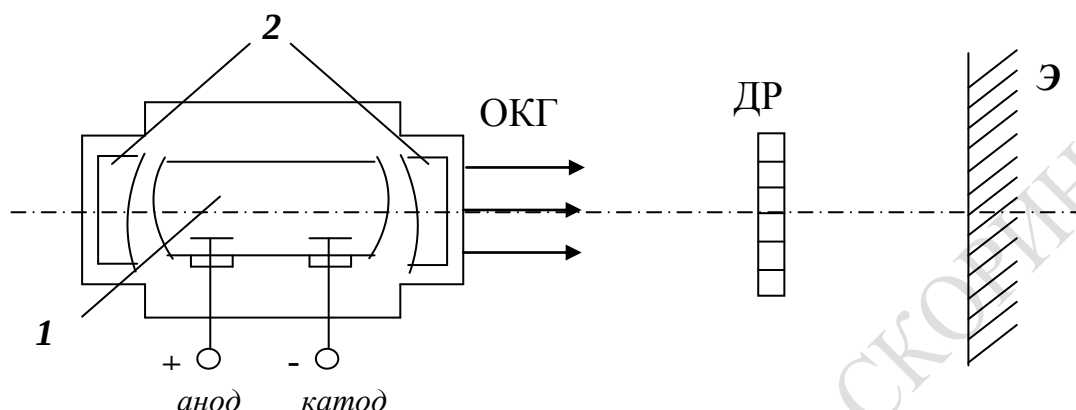


Рисунок 6.1 – Схема установки

В работе используется гелий–неоновый лазер, генерирующий излучение с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм. Узконаправленный параллельный пучок света лазера ОКГ попадает на дифракционную решетку ДР. В пространстве за решеткой с помощью экрана Э локализуется дифракционная картина, состоящая из чередующихся максимумов и минимумов. Проанализировав распределение дифракционных максимумов и определив расстояние от экрана до дифракционной решетки, можно определить период дифракционной решетки.

Ход работы

1. Включить лазер (лазер включается только лаборантом) и пронаблюдать на экране появление светового пятна.

2. Установить на оптической скамье между лазером и экраном исследуемую дифракционную решетку на штативе.

3. Перемещая дифракционную решетку, получить отчетливую дифракционную картину и заметить, как она изменяется в зависимости от расстояния между дифракционной решеткой и экраном. Сделать вывод.

4. Зафиксировать определенную дифракционную картину и произвести измерения:

а) определить положения первых трех максимумов, отсчитывая в обе стороны от нулевого (центрального) максимума x_{max} ;

б) определить расстояние от решетки до экрана l ;

5. Определить период дифракционной решетки, используя формулу

$$d = \frac{m\lambda}{\sin\varphi},$$

где m – порядок главного максимума ($m = 1, 2, 3 \dots$),

φ – угол дифракции, под которым наблюдается max , рассчитываемый из значений x и l .

Синус угла дифракции рассчитывается по формуле:

$$\sin\varphi = \frac{x_{max}}{\sqrt{l^2 + x_{max}^2}}.$$

6. Определить длину волны излучения данного газового лазера по формуле

$$\lambda = \frac{x_{max}d}{ml},$$

где x_{max} – координата наблюдаемого max относительно центрального,

d – постоянная решетки,

l – расстояние от решетки до экрана,

m – порядок максимума.

Результаты измерений свести в таблицу. Период дифракционной решетки определить как среднее из трех измерений.

Произвести оценку погрешности, результат представить в виде

$$d = \bar{d} \pm \overline{\Delta d}.$$

Относительная погрешность ε

$$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta d}}{\bar{d}} 100 \ %.$$

Тема 7

Поляризация волн

1. Сущность явления поляризации света.
2. Способы поляризации.
3. Закон Малюса.

Основные понятия по теме

В электромагнитной волне векторы электрической и магнитной напряженностей перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор, поэтому его называют световым вектором. Если при распространении электромагнитной волны световой вектор сохраняет свою ориентацию, такую волну называют линейно поляризованной или плоско поляризованной (термин поляризация волн был введен Малюсом применительно к поперечным механическим волнам). Плоскость, в которой колеблется световой вектор, называется плоскостью колебаний, а плоскость, в которой совершает колебание магнитный вектор – плоскостью поляризации.

Рассмотрим прохождение естественного света последовательно через два идеальных поляроида Π_1 и Π_2 (рисунок 7.1), разрешенные направления которых повернуты относительно друг друга на некоторый угол φ . Первый поляроид играет роль поляризатора. Он превращает естественный свет в линейно поляризованный. Второй поляроид служит для анализа падающего на него света.

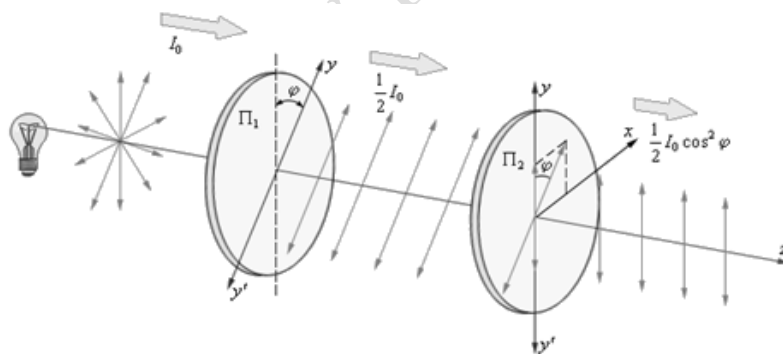


Рисунок 7.1 – Прохождение света через два поляроида

Если обозначить амплитуду линейно поляризованной волны после прохождения света через первый поляроид как $E_0 = \sqrt{I_0/2}$, то волна, пропущенная вторым поляроидом, будет иметь амплитуду $E = E_0 \cos \varphi$. Следовательно, интенсивность I линейно поляризованной волны на выходе второго поляроида будет вычислена по закону Малюса:

$$I = E^2 = E_0^2 \cos^2 \varphi = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi$$

Поляризованный свет, распространяясь в некоторых кристаллах (кварц, киноварь и др.) вдоль направлений, параллельных его оптической оси, испытывает вращение плоскости поляризации. Вещества, вращающие плоскость поляризации света, называются *оптически активными*.

Вращение плоскости поляризации можно объяснить, если представить плоско поляризованные колебания как результат сложения двух колебаний, поляризованных по кругу с правым и левым направлением вращения, распространяющихся в оптически активной среде с разными скоростями. Тогда угол поворота плоскости поляризации в твердом теле, равный половине угла разности фаз φ влево и вправо вращающих лучей, можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = \pi \frac{n_p - n_l}{\lambda_0} d = [a]d, \quad (7.1)$$

где n_p , n_l – коэффициенты преломления лучей право и лево поляризованных по кругу,

λ_0 – длина волны света в вакууме,

d – толщина пронизываемого светом слоя оптически активного вещества,

$[a]$ – коэффициент пропорциональности.

В формуле (7.1) коэффициент $[a]$ принято относить к толщине твердого тела, равной 1 мм.

В случае растворов угол α вращения плоскости поляризации, кроме толщины d слоя вещества, прямо пропорционален концентрации раствора c , т. е.:

$$\alpha = [a_0]cd. \quad (7.2)$$

Коэффициент $[a_0]$ в формуле (7.2) называется удельным вращением, которое численно равно углу вращения плоскости поляризации в растворе при концентрации $c = 1 \text{ г/см}^3$ (т. е. при растворении 100 г оптически активного вещества в 100 см^3 раствора) и толщина слоя этого раствора $d = 1 \text{ дм}$.

Удельное вращение жидкого оптически активного вещества рассчитывается по формуле

$$[a_0] = \frac{\alpha}{\rho d}, \quad (7.3)$$

где ρ – плотность жидкости в г/см^3 .

Приборы, служащие для определения угла вращения плоскости поляризации, называются поляриметрами. Поляриметры, предназначен-

ные для измерения концентрации сахара в растворе, получили название сахариметров.

Устройство и принцип работы сахариметра

Сахариметр состоит из узла измерительной головки 2 и осветительного узла 9 (рисунок 7.2), соединенных между собой траверсой 6. Траверса крепится через стойку 17 к основанию 18. На траверсе укреплены кюветное отделение 5 для поляризметрических кювет и оправа 7 с поляризатором и полутенеовой пластиной.

С лицевой стороны измерительной головки расположены лупа 1 для отсчета показаний по шкале и зрительная труба 20. С тыльной стороны измерительной головки находится винт механизма 3 установки нониуса, служащий для совмещения нулевого деления нониуса с нулевым делением шкалы с помощью съемного ключа 4.

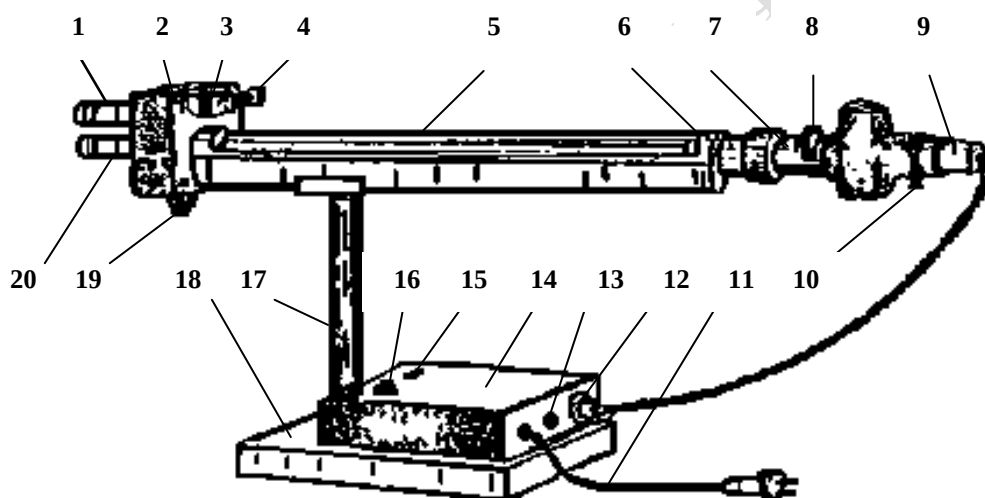


Рисунок 7.2 – Схема установки

В нижней части измерительной головки расположена рукоятка 19 клинового компенсатора, вращением которой перемещают подвижный кварцевый клин и связанную с ним шкалу. Осветительный узел состоит из патрона с лампой (патрон устанавливается тремя винтами 10) и поворотной обоймы 8 со светофильтром и диафрагмой.

На основании установлены кнопка 15 для включения осветителя и ручка 16 резистора для регулирования яркости поля зрения.

Внутри основания вмонтирован понижающий трансформатор. На тыльной стороне основания находится винт 11 заземления, вилка 12 разъема для подключения осветителя сахариметра к трансформатору и вставка плавкая 13.

Принцип работы сахариметра основан на способности сахарных растворов вращать плоскость поляризации проходящего через них поляризованного луча света. Угол вращения плоскости поляризации луча света раствором в объеме определенной толщины пропорционален концентрации раствора. На этой зависимости и основана работа сахариметра – визуального оптико–механического прибора.

Лабораторная работа 7

Изучение вращения плоскости поляризации оптически активными растворами

Оптическая схема

Световой поток, идущий от источника света через светофильтр 2 или диафрагму 3, конденсатор 4 и 5, проходит через призму–поляризатор 6, которая преобразует его в поляризованный поток света. Затем поток света проходит через полутеневую пластину 7 (рисунок 7.3), разделяющую его на две половины линией раздела. Анализатор пропускает равные по яркости обе половины светового потока, и в поле зрения зрительной трубы наблюдаются две половины поля, состоящей из объектива 13 и окуляра 14, установленного после анализатора, наблюдаются две одинаковой яркости половины поля, разделенные тонкой линией и называемые полями сравнения.

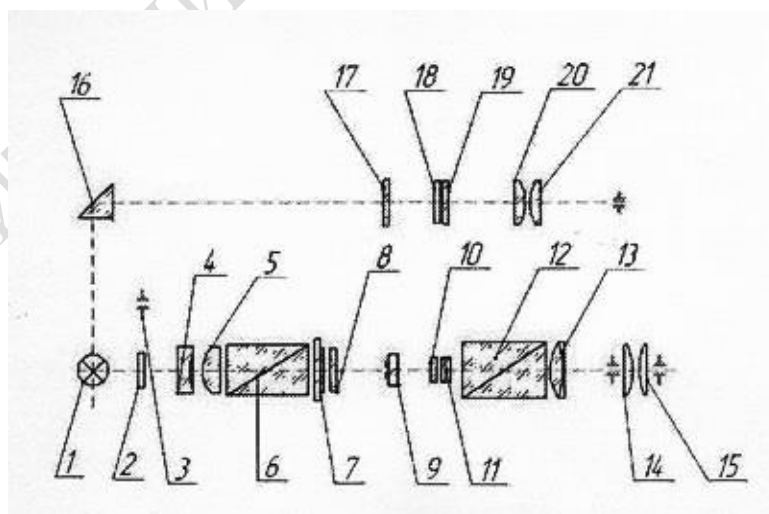


Рисунок 7.3 – Схема подготовки сахариметра к работе

При установке кюветы с раствором между поляризатором и анализатором нарушается равенство яркостей полей сравнения, так как исследуе-

мый раствор поворачивает плоскость поляризации на угол, пропорциональный концентрации раствора.

Для уравнивания яркостей полей сравнения в сахариметре применен клиновой компенсатор, состоящий из подвижного кварцевого клина 10 левого вращения и неподвижного контрклина 11 правого вращения.

Перемещением подвижного клина относительно неподвижного (подвижную шкалу относительно неподвижной) контрклина устанавливают такую суммарную толщину клиньев по оптической оси, при которой компенсируется угол поворота плоскости поляризации раствора. При этом происходит уравнивание яркостей полей сравнения. Одновременно с подвижным клином перемещается связанная с ним шкала 17. По нулевому нониусу (делению неподвижной шкалы) 18 фиксируют значение подвижной шкалы, соответствующее состоянию одинаковой яркости полей сравнения. Шкала и нониус наблюдаются через лупу 19 и освещаются лампой через отражательную призму 15 и светофильтр 16.

Ход работы

1. Произвести подготовку сахариметра к работе в следующем порядке:

а) установить ручку 15 (рисунок 7.3) резистора до упора, вращая против часовой стрелки;

б) установить обойму 8 в положение «с» (светофильтр) при работе с бесцветными и слабоокрашенными растворами, и в положение «д» (диафрагма) при работе с темноокрашенными растворами;

в) установить окуляр зрительной трубы на максимальную резкость изображения вертикальной линии раздела полей сравнения;

г) установить лупу на максимальную резкость изображения штрихов и цифр шкалы;

д) включить сахариметр в сеть кнопкой 16.

2. Проверить правильность установки нуля в следующем порядке:

а) закрыть крышку кюветного отделения без установки в нем кюветы;

б) уравнивать яркость полей сравнения вращением ручки клинового компенсатора, при этом нулевое деление нониуса должно совместиться с нулевым делением шкалы;

в) если нулевой отсчет отличается от нуля не более чем на одно деление нониуса, нуль считается установленным правильно.

3. Поместить кювету с раствором в кюветное отделение и, вращая её вокруг оси, установить в такое положение, чтобы линия раздела полей

сравнения делила поле зрения на две равные части, при этом одна часть поля зрения оказывается менее яркой.

4. Вращением рукоятки клинового компенсатора уравнивать яркость полей сравнения и произвести отсчет угла поворота плоскости поляризации по подвижной шкале относительно неподвижной шкалы 3–5 раз. Вычислить среднее арифметическое отсчетов, которое равно углу вращения плоскости поляризации растворов.

Результаты эксперимента свести в таблицу и построить график зависимости угла поворота плоскости поляризации от концентрации сахара $\alpha = f(c)$.

Угол поворота плоскости поляризации α_4 определяется экспериментально. Концентрация c_4 определяется по графику.

Тема 8

Тепловое излучение

1. Фотоэффект.
2. Законы внешнего фотоэффекта.
3. Основные характеристики вакуумного фотоэлемента.

Основные понятия по теме

Явление испускания электронов веществом под действием падающего света получило название фотоэффекта. Различают внешний фотоэффект, когда испущенные электроны покидают пределы тела и внутренний фотоэффект, когда электроны, потерявшие связь со своими атомами, остаются внутри тела, изменяя его электропроводность. На основании обобщения опытных данных установлены следующие основные законы внешнего фотоэффекта:

1. При неизменном спектральном составе света сила фототока насыщения прямо пропорциональна падающему на катод световому потоку.

Максимальная кинетическая энергия вырванных светом электронов линейно растет с увеличением частоты света и не зависит от его интенсивности.

3. Фотоэффект не возникает, если частота света меньше некоторой характерной для каждого вещества величины ν_{min} , называемой красной границей фотоэффекта.

Явление фотоэффекта может быть объяснено только исходя из квантовых представлений о природе света. Развивая квантовую теорию Планка, Эйнштейн выдвинул гипотезу, согласно которой не только испускание и поглощение, но и распространение света происходит порциями (квантами), энергия которых пропорциональна частоте света:

$$E = h\nu. \quad (8.1)$$

Применяя закон сохранения энергии для объяснения явления фотоэффекта, Эйнштейн установил соотношение, которое получило название основного уравнения фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad (8.2)$$

где A – работа выхода электрона из вещества,

$\frac{mv^2}{2}$ – кинетическая энергия вырванного электрона,

h – постоянная Планка.

Из (8.2) для красной (низкочастотной) границы фотоэффекта имеем:

$$\nu_{min} = \frac{A}{h}. \quad (8.3)$$

Если подать на фотоэлемент задерживающее напряжение, то электроны будут тормозиться на пути к аноду. При определенной величине задерживающего напряжения будет выполняться соотношение

$$eU_3 = \frac{mv^2}{2}. \quad (8.4)$$

То есть кинетическая энергия вырванных электронов полностью расходуется на преодоление задерживающего напряжения.

В этом случае даже самые быстрые электроны не достигают анода. Фотопоток перестает существовать, и уравнение Эйнштейна (8.2) с учетом соотношения (8.4) может быть записано в виде:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} = A + eU_3. \quad (8.5)$$

На использовании явления внешнего фотоэффекта основана работа вакуумных и газонаполненных фотоэлементов. Основными характеристиками вакуумного фотоэлемента являются его вольтамперная, световая, спектральная характеристики и интегральная чувствительность. Под вольтамперной характеристикой понимают зависимость силы фототока от приложенного напряжения, т. е. $i = f(U)$. Световой характеристикой

называется зависимость силы фототока от величины светового потока, т. е. $i = f(\Phi)$.

Световой поток:

$$\Phi = I\Omega, \quad (8.6)$$

где I – сила света источника,

Ω – телесный угол, в котором распространяется свет.

Поскольку $\Omega = S/r^2$, то для светового потока справедливо выражение:

$$\Phi = \frac{IS}{R^2}, \quad (8.7)$$

где S – площадь входного окошка фотоэлемента, на который опирается телесный угол,

R – расстояние от источника света до фотоэлемента.

Под спектральной характеристикой понимают зависимость силы фототока от длины падающего света, т. е. $i = f(\lambda)$. Интегральной чувствительностью фотоэлемента j называется отношение силы фототока i к величине светового потока Φ :

$$j = \frac{i}{\Phi}. \quad (8.8)$$

Лабораторная работа 8

Изучение основных характеристик вакуумного фотоэлемента

Цель работы: изучить основные законы внешнего фотоэффекта и характеристики вакуумного фотоэлемента.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, осветитель, вакуумный фотоэлемент СЦВ–4, источник постоянного тока, микроамперметр, вольтметр, потенциометр, соединительные провода.

Описание установки

Установка для изучения основных характеристик фотоэлемента состоит из оптического рельса, на котором размещаются исследуемый фотоэлемент и источник света. Вакуумный фотоэлемент представляет собой стеклянную колбу, на внутреннюю поверхность которой нанесен слой щелочного металла, служащий катодом. Анод изготовлен в виде металлического кольца. Для питания лампы и фотоэлемента применя-

ют источник постоянного тока. Сила фототока измеряется с помощью чувствительного микроамперметра, напряжение – с помощью вольтметра постоянного тока.

Ход работы

Упражнение 1. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента.

1. Разместив на оптическом рельсе источник света и фотоэлемент, собрать электрическую схему согласно рисунку 8.1.

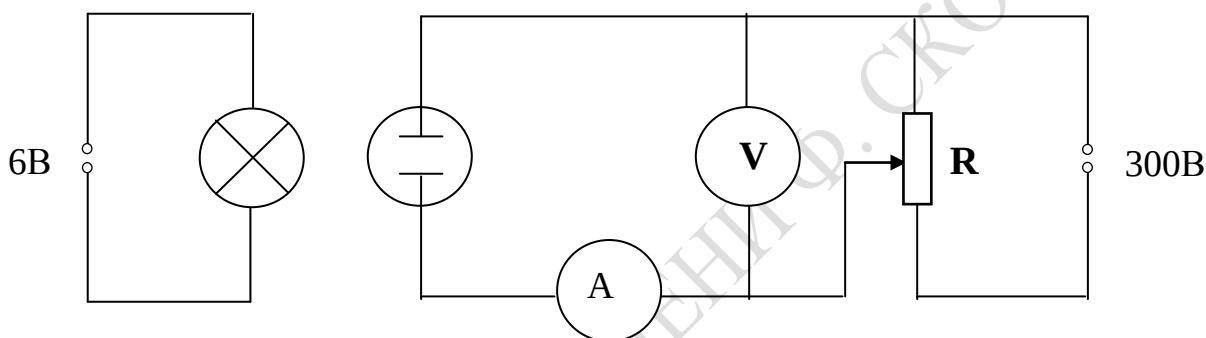


Рисунок 8.1 – Схема установки

2. На фотоэлемент, установленный на расстоянии 15 см от лампы, подать напряжение 30 В и измерить силу фототока.

3. Изменяя напряжение с помощью потенциометра, через каждые 10 В (от 30 до 100 В) фиксировать значения силы фототока.

4. Используя результаты измерений, построить вольтамперную характеристику, т. е. $i = f(U)$.

5. Установить фотоэлемент на расстоянии 20 см от лампы и повторить всю серию измерений. Построить график и сделать выводы.

Упражнение 2. Снятие световой характеристики фотоэлемента.

1. Установить фотоэлемент на расстоянии 10 см от источника света и подать на него напряжение 70 В.

2. Открыть фотоэлемент и измерить силу фототока.

3. Поддерживая на фотоэлементе постоянное напряжение 70 В, передвинуть его на расстояние 15, 20, 25 см и т. д., зафиксировать соответ-

ствующие значения силы фототока. Вычислить по формуле (8.7) величину светового потока.

4. При этом площадь светочувствительного слоя фотоэлемента S . Диаметр фотоэлемента $D = 39$ мм. Сила света источника $I = 21$ Кд.

5. Построить график зависимости $i = f(\Phi)$, т. е. световую характеристику.

6. Увеличить напряжение на фотоэлементе до 100 В и повторить всю серию измерений. Построить и в этом случае световую характеристику и сделать выводы.

Тема 9

Атом и атомное ядро

1. Виды спектров
2. Спектр атома водорода
3. Серия Бальмера, Лаймана и др.

Основные понятия по теме

В спектрах твердых тел и жидкостей присутствуют электромагнитные волны практически всех длин (сплошной спектр). Спектры газов состоят из отдельных линий (линейчатый спектр). Спектры паров и молекул представляют собой набор окрашенных полос, отделенных друг от друга темными промежутками (полосатый спектр).

Наиболее простое строение имеет спектр легчайшего химического элемента – водорода. Теория водородного спектра базируется на трех следующих постулатах Бора:

1. Атом может находиться не во всех состояниях, допускаемых классической физикой, а только в особых стационарных состояниях, каждому из которых соответствует своя определенная энергия. В этих состояниях момент количества движения электрона $mV_k r_k$ кратен целому числу $\frac{h}{2\pi}$, т. е.

$$mV_k r_k = k \frac{h}{2\pi}, \quad (9.1)$$

где m – масса электрона ($m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг),

V_k – скорость электрона при k -ом состоянии,

r_k – радиус k -ой орбиты,

h – постоянная Планка ($h = 6,6 \times 10^{-34}$ Дж с),

k – квантовое число ($k = 1, 2, 3 \dots$).

2. В стационарном состоянии атом не излучает.

3. При переходе электрона с одного состояния на другое излучается или поглощается квант энергии, частота которого определяется частотным условием Бора:

$$\nu_{nk} = \frac{E_n - E_k}{h}, \quad (9.2)$$

где E_n и E_k – соответственно энергия электрона n -го и k -го состояния:

$$R = \frac{N}{\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)}. \quad (9.3)$$

$$R = \frac{a}{hc} = \frac{2\pi me^4}{h^3 c}. \quad (9.4)$$

Величина R носит название постоянной Ридберга. Численное значение постоянной Ридберга $R = 109\,967 \text{ см}^{-1}$. Если в формуле (9.4) $k = 1$, т. е. происходит переход электрона из вышенаходящихся орбит на первую, то атом водорода испускает спектральную серию, которая называется серией Лаймана. Эта серия лежит в ультрафиолетовой области спектра. При $k = 2$ наблюдается спектральная серия Бальмера. Первые 4 линии из этой серии находятся в видимой области спектра. Значение $k = 3, 4, 5$ соответствует испусканию спектральных серий Пашена, Бреккета, Пфунда. Они находятся в инфракрасной и дальней инфракрасной областях спектра.

Лабораторная работа 9

Изучение спектральных закономерностей в атоме водорода и определение постоянной Ридберга

Цель работы: ознакомить студентов со структурой спектра водорода и определить постоянную Ридберга.

Приборы и принадлежности: спектральная ртутная лампа типа ДРК–12 с источником питания, водородная трубка, высоковольтный индуктор, спектроскоп, выпрямитель на 12 В.

Описание установки

Установка для выполнения работы состоит из ртутной лампы типа ПРК–1 с источником питания, водородной трубки с высоковольтным индуктором и спектроскопа. Спектроскоп предназначен для исследования различных спектров и определения волн. Спектроскоп (рисунок 9.1) состоит из коллимационной трубы 1, призмы 2 и окуляра 3, которые расположены на столике, закрепленном на подставке.

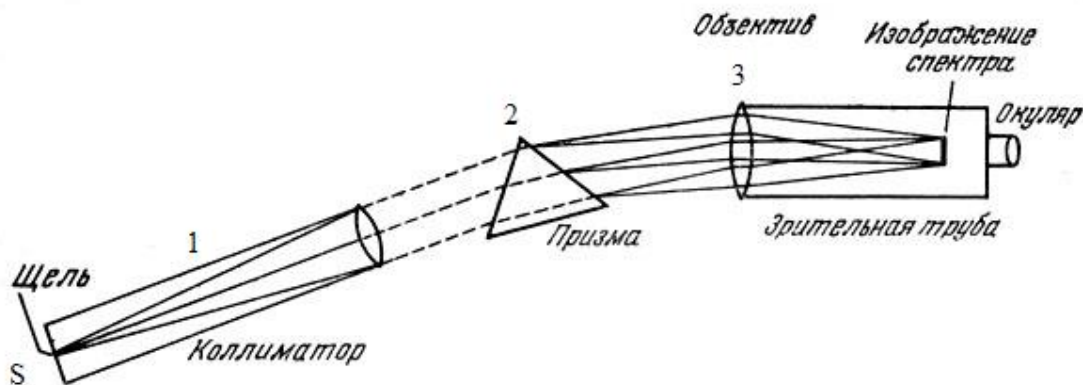


Рисунок 9.1 – Схема установки

Винтовой микрометр служит для определения относительного положения линий в спектре. Коллиматор 1 предназначен для получения параллельного пучка лучей и представляет собой трубу, на одном конце которой имеется регулируемая щель S , на другом – линза. Щель находится в фокусе линзы. Призма 2 предназначена для разложения световых лучей в спектр. Окуляр 3 служит для наблюдения спектра. Он имеет вертикальную нить, которую совмещают с той линией спектра, которая исследуется. Дисперсия света — это явление зависимости абсолютного показателя преломления вещества от длины волны (или частоты) света (частотная дисперсия). Вследствие дисперсии света световой луч от источника света разлагается в спектр.

Ход работы

Упражнение 1. Градуировка спектроскопа.

1. Зажечь ртутную лампу под наблюдением преподавателя или лаборанта.

2. Установить коллимационную трубу спектроскопа против луча света, направленного от ртутной лампы. В поле зрения окуляра спектроскопа наблюдают ряд ярких линий.

3. С помощью микрометрического винта вывести линии на перекрестие нити и снять отсчет по шкале барабана для каждой из шести линий ртути.

4. Построить график зависимости числа делений микрометрического винта b от длины волны λ , т. е. дисперсионную кривую. Длина волны для соответствующих линий ртути приведена в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Спектр паров ртути

Цвет спектральной линии ртути	Длина волны λ (нм)
Фиолетовая	406,2
Синяя	435,8
Светло-голубая	491,6
Желто-зеленая	546,0
Желтая	573,0
Ярко-красная	623,4

Упражнение 2. Определение постоянной Ридберга.

1. Включить в сеть выпрямитель и высоковольтный индуктор, который зажигает лампу.

2. Установить спектроскоп против водородной трубки. В поле зрения окуляра виден спектр водорода – спектральная серия Бальмера.

3. Совместить основные линии серии с нитью спектроскопа и фиксировать их, начиная с ярко-красной. Основные линии водорода и квантовые числа приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Спектр водорода

Цвет спектральной линии водорода	Квантовые числа		Число делений b	Длина волны λ
	k	n		
Ярко-красная	2	3		
Зелено-голубая	2	4		
Синяя	2	5		
Слабо-фиолетовая	2	6		

4. Для каждой из четырех спектральных линий водорода по дисперсионной кривой из упражнения 1 найти длину волны.

5. Подсчитать для каждой линии по формуле (9.3) волновые числа.

6. По формуле (9.4) вычислить для каждой линии постоянную Ридберга, используя для расчета квантовые числа из таблицы 9.2.

Литература

1. Матвеев, А. Н. Электричество и магнетизм / А. Н. Матвеев. – М. : Высш. шк., 1983. – 464 с.
2. Иродов, И. Е. Основные законы электромагнетизма / И. Е. Иродов. – М. : Высш. шк., 1991. – 289 с.
3. Калашников, С. П. Электричество / С. П. Калашников. – М. : Наука, 1985. – 576 с.
4. Сборник задач по общему курсу физики: Электричество и магнетизм / под ред. И. А. Яковлева. – М. : Высш. школа, 1977. – 288 с.
5. Матвеев, А. Н. Оптика / А. Н. Матвеев. – М. : Высш. шк., 1985. – 353 с.
6. Ландсберг, Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. – М. : Наука, 1976. – 928 с.
7. Саржевский, А. М. Оптика: в 2 т. Т. 1. / А. М. Саржевский. – Минск : Изд-во «Университетское», 1984. – 320 с.
8. Саржевский, А. М. Оптика: в 2 т. Т. 2 / А. М. Саржевский. – Минск : Изд-во «Университетское», 1986. – 320 с.
9. Сборник задач по общему курсу физики: Оптика / В. Л. Гинзбург [и др.]. – М. : Изд-во Наука, 1977. – 320 с.
10. Матвеев, А. Н. Атомная физика / А. Н. Матвеев. – М. : Высш. шк., 1989. – 439 с.
11. Широков, Ю. М. Ядерная физика / Ю. М. Широков, Н. П. Юдин. – М. : Высш. шк., 1980. – 728 с.
12. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 2 т. Т. 1. Механика / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1974. – 520 с.
13. Савельев, И. В. Сборник вопросов и задач по общей физике / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1982. – 272 с.
14. Кикоин, И. К. Молекулярная физика / И. К. Кикоин, А. К. Кикоин. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963. – 500 с.
15. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. Оптика : учеб. пособие / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1978. – 848 с.
16. Калитеевский, Н. И. Волновая оптика / Н. И. Калитеевский. – М. : Наука, 1971. – 376 с.
17. Голография. Методы и аппаратура / под ред. В. М. Гинзбург, Б. М. Ступанова. – М. : Изд-во Сов. Радио, 1974. – 376 с.
18. Ильичева, Е. Н. Методика решения задач оптики / Е. Н. Ильичева, Ю. А. Кудеяров, А. Н. Матвеев. – М. : Изд-во МГУ, 1981. – 232 с.
19. Емельянов, В. А. Методы обработки результатов измерений в лаборатории физпрактикума / В. А. Емельянов, Д. Г. Лин, В. Ф. Шолох. – Минск : ПК ООО «Бестпринт», 1997. – 46 с.
20. Зайдель, А. Н. Погрешности измерений физических величин / А. Н. Зайдель. – Л. : Наука, 1985. – 112 с.

Производственно-практическое издание

Шершне Евгений Борисович,
Соколов Сергей Иванович

ФИЗИКА

Электричество и магнетизм

Оптика

Атомная физика

Практическое пособие

Редактор В. И. Шкредова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 12.05.2020. Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,8. Уч.-изд. л. 3,05.

Тираж 20 экз. Заказ 214.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 .

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246019, Гомель

Е. Б. ШЕРШНЕВ, С. И. СОКОЛОВ

ФИЗИКА

Электричество и магнетизм

Оптика

Атомная физика

Гомель
2020

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

