

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УЗБЕКИСТАНА

ДЖИЗАКСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ



МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЕ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ(МАГНЕТИЗМ,
ОПТИКА И АТОМНАЯ ФИЗИКА)

ДЖИЗАК- 2019

Утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектроники» от Протокол
№ 6 от 2019 года

Заведующий кафедрой

Утверждено на заседании факультета «Электромеханики и
радиоэлектроники»

Протокол № от 2019 года

Председатель совета факультета и.и.д. Туракулов О.Х.

Утверждено на заседании Джизакский Политехнический Институт
Протокол № от 2019 года

Составитель:

Ахмаджонова У.Т.

Рецензенты:

Дониёров Ш. – доцент, ДжГПИ.

Раббимов Э. – доцент, ДжГПИ.

Комплексе лабораторных работ по физике соответствует требованиям государственных стандартов инженерно-технических специальностей вузов. Методические указания состоят из вводной части, введения к каждому разделу и описания 14 лабораторной работы. В данном издании выделены основные части полного лабораторного практикума и важнейшие типы лабораторных работ по электромагнетизму и оптике.

Джизакский Политехнический Институт-2019

ИНСТРУКТАЖ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

Выполнение лабораторных работ. Цель данного руководства помочь студентам выполнить серию лабораторных работ, научить правильно определять погрешности и производить необходимую числовую обработку результатов лабораторного эксперимента.

Весь процесс выполнения лабораторных работ включает в себя: теоретическую подготовку, ознакомление с приборами и сборку схем, проведение опыта и измерений, числовую обработку результатов лабораторного эксперимента и сдачу зачета по выполненной работе.

Теоретическая подготовка. Теоретическая подготовка, необходимая для подготовки физического эксперимента, должна проводиться студентом в порядке самостоятельной, домашней работы. Её необходимо начинать внимательным разбором руководства к данной лабораторной работе, а для более глубокого изучения рассматриваемого явления следует обратиться к литературе, указанной в руководстве.

Особое внимание в ходе теоретической сущности процесса. Для самоконтроля к каждой работе приведены контрольные вопросы, на которые студент обязан дать четкие, правильные ответы.

Теоретическая подготовка завершается предварительным составлением отчета со следующим порядком записей:

- 1) название работы,
- 2) цель работы
- 3) необходимые приборы и принадлежности,
- 4) краткое изложение теории со схематическими рисунками установки или схемами соединений,
- 5) порядок выполнения работы,
- 6) таблицы для записи измеряемых величин.
- 7) запись расчетных формул для определения погрешностей измеряемой величины,
- 8) окончательная запись результатов работы.

Ознакомление с приборами, сборка схем. Приступая к лабораторным работам, необходимо:

- 1) получить у лаборанта приборы, требуемые для выполнения работы;
- 2) разобраться в назначении приборов и принадлежностей в соответствии и их техническими данными;
- 3) пользуясь схемой или рисунками, имеющимися в руководстве, разместить приборы так, чтобы удобно было производить отсчеты, а затем собрать установку;
- 4) сборку электрических схем следует производить после тщательного изучения правил выполнения лабораторных работ по электричеству.

Эти привил изложены в разделе „Электричество“

Проведение опыта и измерений. При выполнении лабораторных работ измерения физических величин необходимо проводить в строгой, заранее предусмотренной последовательности.

Особо обратить внимание на точность и своевременность отсчетов при измерении нужных физических величин. Например, точность измерения времени с помощью секундомера зависит не только от четкого определения положения стрелки, но и в значительной степени- от своевременности включения и выключения часового механизма.

Числовая обработка результатов лабораторного эксперимента.

1. О погрешностях измерений.
2. О приближенных вычислениях.

Определение неизвестной физической величины может быть произведено либо косвенно, путем сравнения ее с эталоном, т.е. методом непосредственного измерения, либо косвенно, путем вычисления по результатам непосредственных измерений каких-

либо иных величин, связанных с искомой определенной функциональной зависимостью. Например, мощность тока по показаниям амперметра и вольтметра.

Результат измерений может в той или иной степени отличаться от истинного значения величины, или, как говорят, измерение будет произведено с некоторой погрешностью.

Различают две категории погрешностей (ошибок) : систематические и случайные.

Систематические погрешности возникают при пользовании неисправными измерительными приборами (например, неабсолютная равноплечность аналитических весов, неравномерности диаметра капилляра ртутного термометра и другие.) На показания прибора могут влиять также отдельные факторы окружающей среды (например, температура и влажности на показания электроизмерительного прибора).

Систематические погрешности в большинстве случаев могут быть исключены введением поправки на неточности показаний прибора и соблюдением выработанных практикой правил выполнения лабораторных работ с учетом влияния окружающей среды.

Случайные погрешности обусловлены несовершенством наших органов чувств и другими факторами, которые невозможно наперед предугадать. Они неизбежно появляются при всяком измерении. Так, если при одном измерении данной физической величины полученный результат оказался меньше истинного, то при другом измерении он может оказаться больше. Однако, при большом числе повторных и независимых друг от друга измерений эти погрешности подчиняются так называемому закону случайных величин и учет их влияния на результат измерений производится при помощи формул теории вероятностей.

Элементарная теория погрешностей

Обозначим измеряемую физическую величину через x . Проведем N измерений ее: результат их будет : x_1, x_2, \dots, x_N . Согласно теории вероятностей наиболее близким к истинному значению искомой физической величины будет среднее арифметическое из N значений :

$$X_{ср} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}$$

Результат первого измерения (X_1) отличается от $X_{ср}$ на величину $(X_{ср} - X_1) = \Delta X_1$ - абсолютная погрешность первого измерения.

ΔX_1 - абсолютная погрешность первого измерения. Символ Δ - указывает на изменение величины.

Абсолютной погрешностью данного измерения называют разность между средним значением $X_{ср}$ и данным измерением X_i , взятую только по абсолютному значению

Аналогично для второго, третьего и т. д. измерений :

$$\left| X_{ср} - X_2 \right| = \Delta X_2 - \text{абсолютная погрешность второго измерения ;}$$

$$\left| X_{ср} - X_3 \right| = \Delta X_3 - \text{абсолютная погрешность третьего измерения ;}$$

.....

$$\left| X_{\text{cp}} - X_N \right| = \Delta X_N - \text{абсолютная погрешность } N\text{-го измерения.}$$

Средняя абсолютная погрешность:

$$\Delta X_{\text{ср}} = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_N}{N}.$$

Средняя абсолютная погрешность ΔX выражается в тех же единицах, что и искомая физическая величина.

ПРИМЕР: При помощи штангенциркуля измерим длину ребра куба.

1. При трехкратном измерении были получены следующие результаты:

$$l_1 = 16,50 \text{ мм}$$

$$l_2 = 16,6 \text{ мм}$$

$$l_3 = 16,4 \text{ мм}$$

2. Среднее арифметическое значение:

$$l_{\text{ср}} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3} = \frac{16,5 + 16,6 + 16,4}{3} = 16,5 \text{ мм}$$

3. Затем находим абсолютная погрешность:

$$\Delta l_1 = |l_{\text{ср}} - l_1| = |16,5 - 16,5| = 0 \text{ мм}$$

$$\Delta l_2 = |l_{\text{ср}} - l_2| = |16,5 - 16,6| = 0,1 \text{ мм}$$

$$\Delta l_3 = |l_{\text{ср}} - l_3| = |16,5 - 16,4| = 0,1 \text{ мм}$$

4. Средняя абсолютная погрешность

$$\Delta l_{\text{ср}} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3}{3} = \frac{0 + 0,1 + 0,1}{3} = 0,06 \text{ мм}.$$

5. Окончательный результат измерения длины ребра куба нужно записать в виде:

$$l = l_{\text{ср}} \pm \Delta l_{\text{ср}}$$

или для нашего случая

$$l = 16,5 \pm 0,06 \text{ мм}$$

Таким образом, при непосредственном измерении какой-либо физической величины :

- 1) производят несколько измерений (нечетное число раз 3, 5, 7, 9...);
- 2) находят значение измеряемой величины наиболее близкое к истинному, т.е. среднее арифметическое всех измерений ($X_{\text{ср}}$);
- 3) затем находят абсолютные погрешности отдельных измерений ($\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_N$);
- 4) среднюю абсолютную погрешность $\Delta X_{\text{ср}}$ и
- 5) результат записывают в виде :

$$X = X_{\text{ср}} \pm \Delta X_{\text{ср}}.$$

Такая запись $|X = X_{\text{ср}} \pm \Delta X_{\text{ср}}|$, имеющая для рассмотренного примера вид

$l = 16,5 \pm 0,06 \text{ мм}$ означает, что истинное значение измеряемой длины l находится в пределах от

$$|16,5 - 0,06| \text{ мм} \text{ до } |16,5 + 0,06| \text{ мм}$$

Но абсолютная погрешность её не характеризует степени точности измерения.

Это можно пояснить на таком примере.

Допустим, при определении размеров двух земельных участков, мы получили :

площадь 1-го участка – $S_1 = 10 \text{ га}$,

допущенная абсолютная ошибка – $\Delta S_1 = 1000 \text{ м}^2$,

площадь 2-го участка – $S_2 = 0,05 \text{ га}$,

допущенная абсолютная ошибка - $\Delta S_2 = 50 \text{ м}^2$.

Сравнивая величины полученных абсолютных ошибок, еще нельзя сказать, какое из этих двух измерений выполнено с большей точностью. Точность измерения оценивается величиной относительной погрешности (ошибки).

В нашем примере точность 1-го измерения выше, чем второго, так как относительная ошибка 1-го измерения

$$\frac{\Delta S_1}{S_1} = \frac{1000 \text{ м}^2 \cdot 100 \%}{10 \cdot 10000 \text{ м}^2} = 1 \%,$$

меньше, чем относительная ошибка второго

$$\frac{\Delta S_2}{S_2} = \frac{50 \text{ м}^2 \cdot 100 \%}{0,05 \cdot 10000 \text{ м}^2} = 10 \%$$

Средней относительной погрешностью называется отношение средней абсолютной погрешности $\Delta X_{ср.}$ к среднему значению измеряемой величины $X_{ср.}$

Относительная погрешность $\frac{\Delta X_{ср.}}{\bar{X}_{ср.}}$ – число отвлеченное и, выражается в долях измеряемой величины.

Обычно относительную погрешность выражают в процентах, т. е.

$$E_{ср.} = \frac{\Delta X_{ср.}}{\bar{X}_{ср.}} \cdot 100 \%.$$

Вычислим средние относительные погрешности для рассмотренного выше примера.

При измерении длины ребра куба

$$\Delta l_{ср.} = 0,06 \text{ мм}$$

$$l_{ср.} = 16,5 \text{ мм}$$

Находят среднюю относительную погрешность:

$$E = \frac{\Delta l_{ср.}}{l_{ср.}} \cdot 100 \% = \frac{0,06}{16,5} \cdot 100 \% = 0,004 \cdot 100 \% = 0,4 \%$$

Расчет погрешностей физических величин, определяемых методом косвенных измерений.

В большинстве случаев определить искомую физическую величину путем непосредственного измерения невозможно. Чтобы найти такую величину, необходимо бывает произвести ряд математических операций над физическими величинами, получаемыми из опыта. Например, для определения плотности вещества опытным путем сначала находят массу тел m и его объем V , а затем, произведя математическую операцию деления,

$$\text{получают плотность вещества } \rho = \frac{m}{V}.$$

Очевидно, погрешность самого результата искомой физической величины ρ зависит от погрешностей, допущенных при измерении массы тела m и его объема V .

Зависимость погрешностей любой искомой физической величины от погрешностей величин от погрешностей величин, измеряемых на опыте, устанавливается рядом теорем погрешностей.

Лабораторная работа 1

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРЯМОГО ПРОВОДНИКА И ПРОВОДЯЩЕГО ВИТКА

Объекты экспериментов

Измерение магнитного поля прямого проводника и круглой проводниковой петли как функция тока. Измерение магнитного поля прямого проводника как функция расстояния от оси проводника. Измерение магнитного поля проводниковой петли как функция радиуса петли и расстояния от центра петли.

Оборудование

1 набор 4 токовых проводников , тесламетр, аксиальный В-probe , тангенциальный В-probe , многожильная провода, 6-полюсный. , Источник питания высокого тока , Оптическая скамья, малая , держатель для элементов плагина. ,мультизажим,Leybold , Штатив, V-образный, 28 см набор двухсторонних адаптеров штепселя Соединительные провода, Ø 2.5 mm²

Основные принципы

Согласно закону Био-Савара, магнитное поле B в точке P для проводника с током I ,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot ds \times \frac{r}{r} \quad (1)$$

состоит из вкладов

магнитная проницаемость вакуума из бесконечно малых частей проводника, длина и направление которого описаны вектором ds . Радиус-вектор r от данной части проводника до рассматриваемой точки P (см. Рис. 1). Вычисление общего магнитного поля таким образом означает оценку интеграла. Аналитические решения могут быть даны только для проводников с определенными симметриями. Например, магнитное поле бесконечно длинного провода из бесконечно малых частей проводника, длина и направление которого описаны вектором ds . Радиус-вектор r от данной части проводника до рассматриваемой точки P (см. Рис. 1).

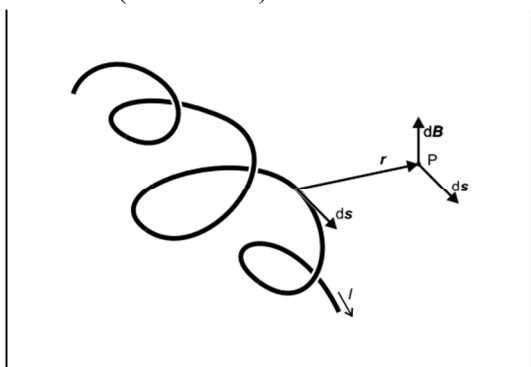


Рис.1 Вычисление магнитного поля токопроводящего проводника путем интегрирования по проводнику

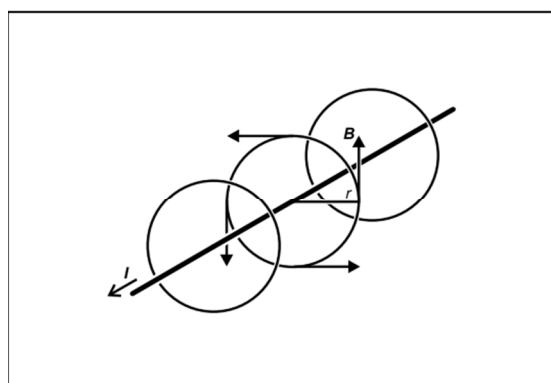


Рис.2. Магнитное поле бесконечно длинного провода.

Вычисление общего магнитного поля таким образом означает оценку интеграла. Аналитические решения могут быть даны только для проводников с определенными симметриями. Например, магнитное поле бесконечно длинного провода

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{2}{r} \quad (II)$$

на расстоянии r от оси проводника и силовые линии поля являются концентрическими цилиндрами вокруг оси (см. Рис. 2) Магнитное поле круглой проводниковой петли с радиусом R на расстоянии x на оси через центр петли. В этом эксперименте магнитное поле вышеупомянутых проводников измеряется посредством осевого или тангенциального В-probe соответственно. Датчики Холла В-probe, которые являются особенно тонкими, чувствительны к компоненту поля перпендикулярную на их поверхность. Поэтому может быть определена не только сила магнитного поля, но также и его направление. В прямом проводнике зависимость плотности магнитного потока B изучена в зависимости от расстояния r , в круглых проводниковых петлях в зависимости от пространственной координаты x . Кроме того, изучена пропорциональность между магнитной индукцией B и током.

УСТАНОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА А) МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОГО ПРОВОДНИКА:

Экспериментальная установка показана на Рис. 4. – Установите оптическую скамью в основе стенда и выровняйте его горизонтально.

- Смонтируйте держателя для элементов плагина (а) с мультизажимом Leybold. – Прикрепите держателя для прямого проводника (b1), зафиксируйте прямой проводник и соедините его с источником тока высокого напряжения.
- Соедините тангенциальный В-probe с тесламетром и скорректируйте нуль тесламетра (см. лист инструкции тесламетра).– Затем смонтируйте тангенциальный В-probe в мультизажиме Leybold с левым краем мультизажима, лежащего в отметке шкалы 50,0 см. Выровняйте В-probe с серединой прямого проводника в высоте.
- Переместите прямой проводник к датчику Холла (c1) так, чтобы он почти коснулся датчика (расстояние $s = 0$).
- Увеличьте ток I с 0 до 20 А с шагом 2 А. Каждый раз измерьте магнитное поле B и запишите измеренные значения.
- При $I = 20$ А, переместите В-probe вправо постепенно, измерьте магнитное поле B как функция расстояния s и запишите измеренные значения

б) Рис.3. Магнитное поле круглой проводниковой петли: Экспериментальная установка проиллюстрирована на Рис. 5.

- Замените держателя для прямого проводника с адаптером для проводниковых петель (b2) и прикрепите 40-миллиметровую проводниковую петлю.
- Соедините проводниковой петли путем включения соединительных кабель к гнезду держателя для элементов плагина (а).– Соедините осевой В-probe с тесламетром и скорректируйте нуль тесламетра (см. лист инструкции тесламетра). – Затем смонтируйте осевой В-probe к левому краю мультизажима Leybold , лежащего в отметке шкалы 70,0 см. Выровняйте В-probe к центру проводниковой петли.\– Выровняйте проводниковую петлю максимально точно с датчиком Холла (c2).– Увеличьте ток I с 0 до 20 А с шагом 2 А. Каждый раз измерьте магнитное поле B и запишите измеренные значения.
- При $I = 20$ А, переместите В-probe вправо и налево постепенно, измерьте магнитное поле B как функция пространственной координаты x и запишите измеренные значения. – Замените 40-миллиметровую проводниковую петлю с 80- миллиметровой проводниковой

петлей и затем 120-миллиметровой проводниковой петлей. В обоих случаях измерьте магнитное поле как функцию пространственной координаты x .

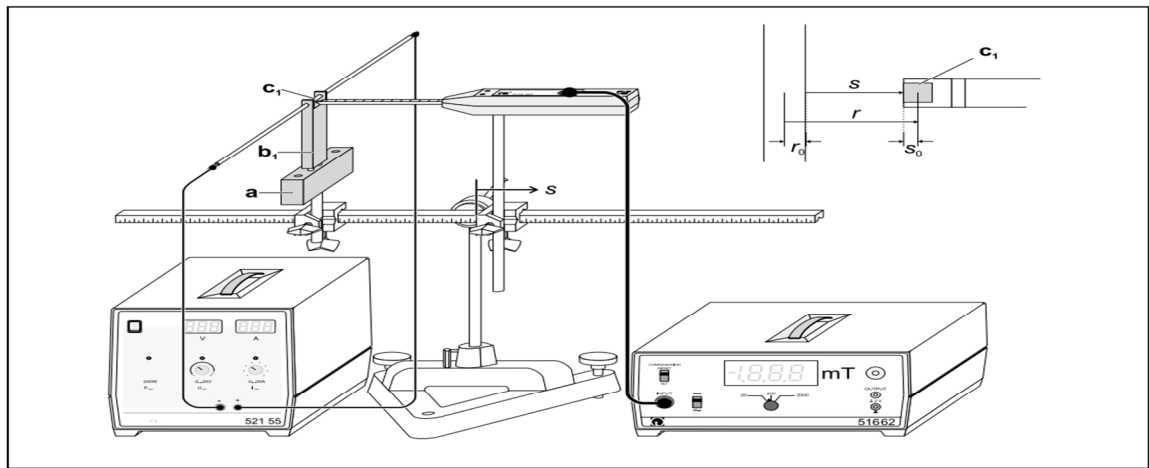


Рис. 4 Экспериментальная установка для измерения магнитного поля прямого проводника

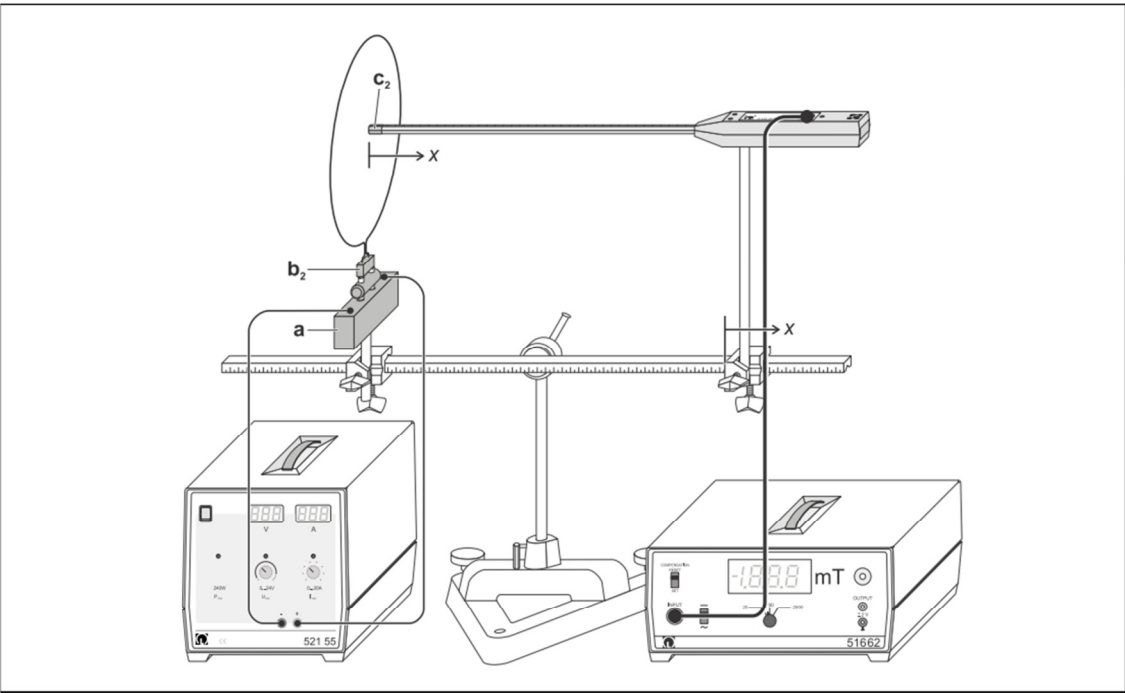


Рис. 5. Экспериментальная установка для измерения магнитного поля круговой проводниковой петли

Примеры измерения

a) Магнитное поле прямого проводника: b) Магнитное поле круглой проводниковой петли

Таблица 1: Магнитное поле B прямого проводника как функция тока I (расстояние $s = 0$)

Таблица 2: Магнитное поле B прямого проводника как функция расстояния s между поверхностью проводника и В-robe (ток $I = 20$ А)

b) Магнитное поле круглой проводниковой петли Таблица 1: Магнитное поле B прямого проводника как функция тока I (расстояние $s = 0$)

I А	B мТ
0	
2	

4	
6	
8	
10	

Таблица 2: Магнитное поле В прямого проводника как функция расстояния s между поверхностью проводника и В-probe (ток I = 20 А)

s mm	B mT
0	
1	
2	
3	
4	
5	

Таблица 3: Магнитное поле В 40-миллиметровой проводниковой петли как функция тока I

IА	B mT
0	
2	
4	
6	
8	
10	

Лабораторная работа 2

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ БЕЗ СЕРДЕЧНИКА

Объекты экспериментов Измерение индукции магнитного поля В длинной катушки без магнитного сердечника как функция тока I. Измерение индукции магнитного поля В длинной катушки без магнитного сердечника как функция длины L и числа витков N обмотки катушки.

Оборудование

1 катушка с переменным числом витков на единицу длины ,источник питание тока высокого напряжения , тесламетр , аксиальный В-probe ,многожильный кабель, 6-полюсный, 1,5 м длиной , стенд для катушек и трубок ,седловидная основа .

Основные принципы Согласно закону Био-Савара, магнитное поле В сгенерированный в точке Р произвольным проводником, через который течет ток I , определяется суммой вкладов

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot d\mathbf{s} \times \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (I)$$

магнитная проницаемость вакуума из отдельных частей проводника, длина и направление которого описывается вектором ds. В уравнении (I), r является радиусом - вектором, проведенный от соответствующей части проводника к точку Р. Это означает, вычисление общего магнитного поля требует оценку интеграла. Во многих случаях это вычисление

достаточно сложно, и только для проводников с определенными симметриями аналитическое решение получено. В других случаях, например, когда поле длинной катушки вычисляется намного проще применить закон Ампера, который также может быть получен из уравнений Максвеллов. Это дается уравнением

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot d\mathbf{s} \times \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (I)$$

j : плотность тока, IA : ток через площадь A , S : замкнутый контур ограничивающий площадь A Для вычисления магнитного поля длинной катушки, A и S выбраны как показано на Рис. 1. Если катушка достаточно длинна, магнитное поле в катушке параллельно оси катушки и почти исчезает вне катушки, т.е. только на части S_1 замкнутого контура S , компонента магнитного поля в направлении замкнутого контура будет отличаться от нуля. Поэтому мы получаем

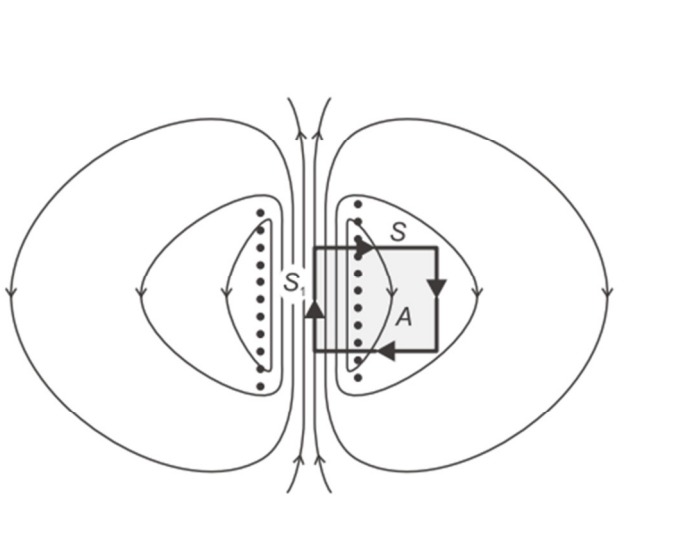


Рис. 1, Вычисляющие индукции магнитного поля длинной катушки
намного проще применить закон Ампера, который также может быть получен из уравнений Максвеллов. Это дается уравнением

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot \int_A \mathbf{j} \cdot d\mathbf{A} = \mu_0 \cdot IA \quad (II),$$

j : плотность тока, IA : ток через площадь A , S : замкнутый контур ограничивающий площадь A Для вычисления магнитного поля длинной катушки, A и S выбраны как показано на Рис. 1. Если катушка достаточно длинна, магнитное поле в катушке параллельно оси катушки и почти исчезает вне катушки, т.е. только на части S_1 замкнутого контура S , компонента магнитного поля в направлении замкнутого контура будет отличаться от нуля. Поэтому мы получаем

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot \int_{S_1} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = B \cdot L \quad (III).$$

L : длина части S_1 . Кроме этого, $IA = N \cdot I$ (IV) N : число витков в A , I : ток через катушку и таким образом

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{L} \quad (V)$$

В этом эксперименте магнитное поле в длинной катушке будет измерено посредством осевого В-пробе для проверки результата (V). Впробе содержит датчик Холла, который чувствителен в направлении, параллельном оси зонда.

Экспериментальная установка Экспериментальная установка проиллюстрирована на Рис. 2.– Положите катушку с переменным числом витков на единицу длины на стенде для катушек и трубок, и соедините его с источником тока высокого напряжения. – Соедините осевой В-пробе с тесламетром через многожильный кабель, зафиксируйте его со стержнем стенда от объема поставки зонда и выровняйте его так, чтобы датчик Холла (а) был расположен в центре пластмассового тела катушки.

Проведение эксперимента а) Измерение как функция тока I:

– Выберите диапазон измерений 20 мТ в тесламетре и калибруйте нуль с ключом "Compensation" Выдвиньте гнезда соединителя (b, c) вместе симметрично так, чтобы длина катушки составила 15 см (b: 12,5 см, c: 27,5 см). – Увеличьте ток I на шагах 2 А и определите магнитное поле каждый раз; перед каждым новым измерением возвращайте ток к 0 А и проверьте нуль тесламетра.

б) Измерение как функция длины L:

– Примените ток $I = 20$ А. – Для корректировки различных обмоточных длин L, потяните гнезда соединителя (b, c) независимо симметричным способом и определите магнитное поле В в каждом случае; перед каждым новым измерением возвращайте ток к 0 А и проверьте нуль тесламетра.

Примеры измерений а) Измерение как функция тока I: б) Измерение как функция длины L:

Таблица. 1: результаты измерений для $N = 30$ и $L = 15$ см

IA	B mT
0	
2	
4	
6	
8	
10	

Таблица. 2: результаты измерений для $N = 30$ и $I = 20$ А

L cm	B mT
8	
10	
15	
20	
25	

Лабораторная работа 3

Измерение силы, действующей на проводники с током со стороны магнитного поля подковообразного магнита

Объекты эксперимента

Измерение силы, действующей на токопроводящий проводник в магнитном поле как функция силы тока.

Измерение силы, действующей на токопроводящий проводник в магнитном поле как функция длины проводника.

Измерение силы, действующей на токопроводящий проводник в магнитном поле как функция угла между магнитного поля и направление тока.

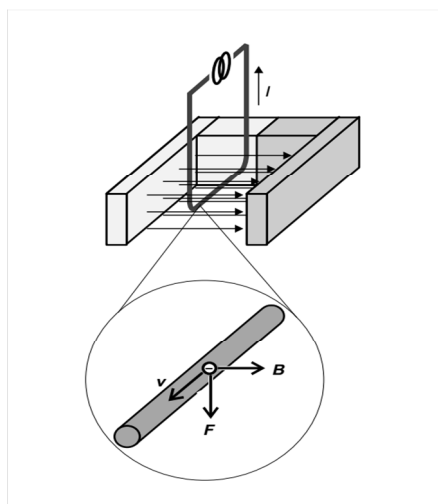
□Вычисление магнитного поля.

Оборудование

Подковообразный магнит с хомутом ,Датчик силы , Набор проводниковых петель для измерения , Подставка для проводниковых петель , Д и н а м о м е т р,Многожильный кабель, 6-полюсный , Источник питания высокого тока , Основа стенда, маленькая, V-образная , Стержень, 47 см , Мультизажим Leybold ,Соединительные провода сечением 2,5 mm²

Основные принципы Магнитная индукция, или проще магнитное поле B , является векторной величиной. Сила действующая на данный заряд q , перемещающийся со скоростью v в магнитном поле B , зависит от величины и направления скорости и от напряженности и направления магнитного поля. Следующее соотношение имеет место:

$$\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (I)$$



Сила, так называемая силой Лоренца F является также векторной величиной, и действует перпендикулярно к плоскости, определенному v и B . Силу, действующую на токопроводящий проводнике в магнитном поле, может быть понята как сумма отдельных компонентов силы действующих на движущиеся носители заряда, составляющие ток B соответствии с (I), сила Лоренца F действует на каждый отдельный носитель заряда q перемещающийся со скоростью дрейфа v . Для прямого проводника это означает общую силу

$$\mathbf{F} = q \cdot nAs \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (II),$$

поскольку число заряженных частиц в проводнике является произведением плотности носителей заряда n , поперечного сечения проводника A и длины s участка проводника в магнитном поле. Распространено представить вектор s , который указывает направлению участка проводника. Кроме того, произведение $qnAv$ эквивалентно току I . Таким образом сила магнитного поля, действующая на сегмент прямого токопроводящего проводника определяется уравнением

$$\mathbf{F} = I \cdot (\mathbf{s} \times \mathbf{B}) \quad (III)$$

и абсолютное значение силы $F = I \cdot s \cdot B \cdot \sin \alpha \quad (IV),$

где α является углом между магнитным полем и направлением тока. В этом эксперименте прямоугольные проводниковые петли, несущие токи до 20 А, помещаются в горизонтальное магнитное поле подковообразного магнита. Сила, действующая на горизонтальную секцию, измеряется. Силы, действующие на две вертикальных секции,

уравновешивают друг друга. Проводниковые петли монтируются на датчике силы. Это содержит изгибающегося участника, к которому монтируются тензодатчики; электрическое сопротивление этих элементов изменяется при нагрузке. Изменение в сопротивлении пропорционально поставленную силу. Подключенный ньютон-метр измеряет изменение в сопротивлении и показывает соответствующую силу. Картина названия: схематическая иллюстрация силы, действующей на токопроводящий проводник в магнитном поле

Установка и проведение эксперимента

Примечание: Поскольку измеряемая величина является очень маленьким, измерение может быть легко затронуто окружающей средой: Избегайте шоков, движений и температурных изменений в близости. Ньютон-метр должен нагреться в течение по крайней мере 15 минут прежде, чем запустить эксперимент: Включите ньютон-метр с датчиком силы, соединенный сетью, на задней части устройства. Подвергните проводниковые петли к нагрузкам 20 А только в течение кратких периодов за один раз (всего несколько минут). Магнитное поле подковообразного магнита является неоднородным: Для всех измерений сосредоточьте проводниковую петлю между двумя руками магнита так, чтобы эффект магнитного поля был максимально однородным.

– Настройте эксперимент как показано на Рис. 1. – Для предотвращения коротких замыканий удостоверьтесь, что неизолированные кабельные участки проводниковых петель не затрагивают. – Установите измеряющийся переключатель (d) диапазона на ньютонметре к 2000. Эксперименты выполняются с помощью только проводниковые петли без узкой секции. Самый простой способ установить ток состоит в том, чтобы использовать только ручку управления (b). Кнопка регулировки напряжения (a) повернута полностью вправо.

а) Измерение как функция тока:

– Во-первых, прикрепите проводниковую петлю с 8 см шириной к датчику силы. – Поверните ручку управления (b) полностью налево и кнопка регулировки напряжения (a) полностью вправо. Потом включите электроснабжение тока высокого напряжения.

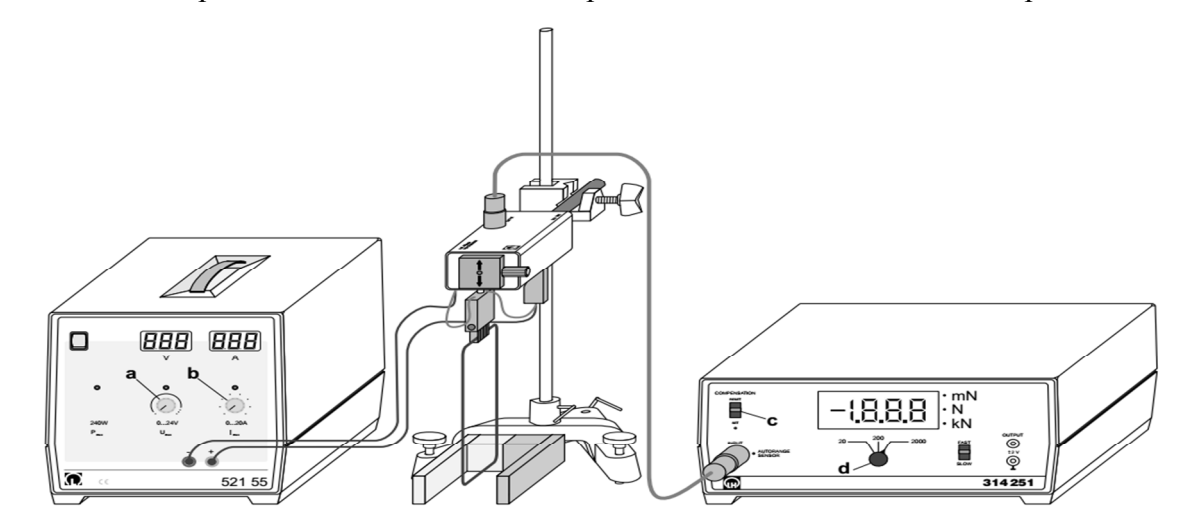


Рис. 1 Экспериментальная установка для измерения силы, действующей на токопроводящие проводники в магнитном поле

Для компенсации нулевой точки ньютон-метра выберите позицию SET с переключателем (c) COMPENSATION. – Используя ручку управления (b), увеличьте ток до 20 А на шагах

2 А; для каждого текущего уровня, измерьте силу от ньютон-метра и, пишите эти значения в Вашем журнале эксперимента.

– Установите ток $I = 0$ А и проверьте нулевой точки показания силы.

b) Измерение как функция длины проводника:

– Прикрепите петлю с 4 см шириной к датчику силы

– Для компенсации нулевой точки ньютон-метра выберите позицию SET с переключателем (с) COMPENSATION. – Установите уровень тока $I = 20$ А, измерьте силу от ньютонметра и напишите это значение в Вашем журнале эксперимента. – Установите ток в $I = 0$ А и проверьте нулевую точку показания силы.

– Повторите измерение для 2 см и 1 см проводники.

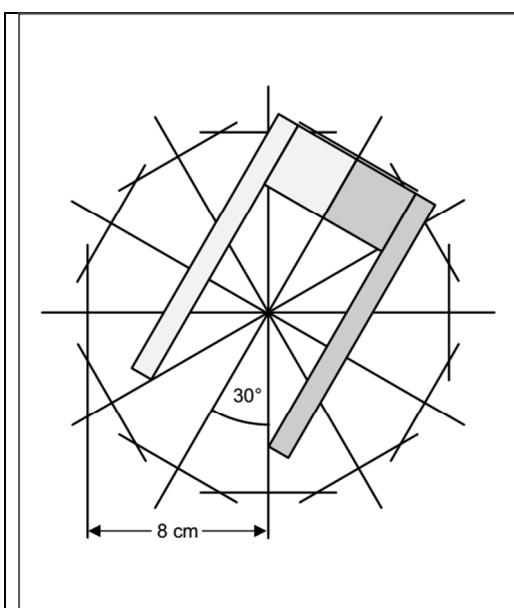


Рис. 2 Использование шаблона как средство в расположении подковообразного магнита

b) Измерение как функция угла между магнитным полем и направлением тока:

Рекомендация: чтобы компенсировать неоднородную природу магнитного поля и установить надлежащий вращательный угол, делают шаблон (см. Рис. 2). Это делает расположение подковообразного магнита проще и более точным.

– Поверните ручку управления полностью налево и прикрепите проводниковую петлю 4 см шириной к датчику силы.

– Поместите шаблон под проводниковой петлей так, чтобы центр шаблона был точно под серединой горизонтальной проводниковой секции, и одна из линий шаблона параллельна этой проводниковой секции.

– Установите подковообразный магнит так, чтобы магнитное поле и проводниковая секция были параллельны.

– Для компенсации нулевой точки ньютон-метра выберите позицию SET с переключателем (с)

COMPENSATION.

– Установите ток $I = 10$ А. – Поверните магнит до 360° на шагах 30° и прочитайте силу от ньютон-метра для каждого угла. – Установите ток в 0 А и проверьте нулевую точку показания силы.

Примеры измерения и оценки

a) Измерение как функция тока:

Таблица 1 : F как функция тока I ($s = 8$ см)

I	F

b) Измерение как функция длины проводника:

Таблица 2: Сила F как функция длины s ($I = 20$ А)

S	F
2	
4	

На Рис. 4 измеренные значения являются также близким приближением прямой проходящей через начало координат с наклоном. Для магнитного поля получаем значение. Линейное соотношение между силой и проводниковой длиной для постоянного тока, сформулированные в (III) и (IV), подтверждается.

Лабораторная работа 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: измерение электроемкостей двух конденсаторов; проверка закона последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

Приборы и принадлежности: нуль - индикатор - мультиметр, источник переменного напряжения с частотой 5000 Гц, конденсатор с известной емкостью, два конденсатора с неизвестными емкостями, реохорд, соединительные провода, приборная стойка.

Краткое теоретическое введение

Для измерений электроемкости используется классическая мостовая схема, называемая мостиком Соти. Этот метод является одним из наиболее точных и поэтому часто используется в различных современных измерительных схемах. На рис. 1 показана схема простейшего моста Соти.

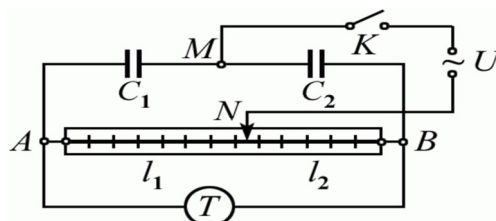


Рис. 1

Схема содержит конденсаторы C_1 и C_2 , омические сопротивления R_1 и R_2 , мультиметр - индикатор, источник питания с частотой 5000 Гц. Для питания схемы.

Пусть $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ – мгновенные значения напряжений на обкладках конденсаторов, а $\Delta\varphi_{AN}$ и $\Delta\varphi_{NB}$ – мгновенные значения напряжений на сопротивлениях R_1 и R_2 .

$$\Delta\varphi_1 = U_1 = \varphi_M - \varphi_A; \quad (1)$$

$$\Delta\varphi_2 = U_2 = \varphi_M - \varphi_B.$$

Обозначим φ_A , φ_B , φ_M , φ_N – мгновенные значения потенциалов в точках A , B , M , N , соответственно. Тогда

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{AN} &= \varphi_A - \varphi_N; \\ \Delta\varphi_{NB} &= \varphi_B - \varphi_N. \end{aligned} \quad (1a)$$

Так как потенциалы в точках цепи M и N различны ($\varphi_M \neq \varphi_N$), в ветвях MAN , MBN , ATB текут переменные токи. В общем случае, т.е. при любых произвольных R_1 и R_2 напряжения $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$, $\Delta\varphi_{AN}$ и $\Delta\varphi_{NB}$ отличаются друг от друга, однако сопротивления R_1 и R_2 можно подобрать так, что ток в диагонали моста BTB станет равным нулю. Это имеет место в том случае, когда потенциалы точек A и B окажутся одинаковыми. Тогда из (1) и (1a) вытекает, что

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi_1 &= \Delta\varphi_2; \\ \Delta\varphi_{AN} &= \Delta\varphi_{BN}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Если ток в диагонали $ВТА$ равен нулю, то ток $i_1 = \frac{\Delta\varphi_{AN}}{R_1}$ заряжает конденсатор C_1 , а ток $i_2 = \frac{\Delta\varphi_{NB}}{R_2}$ заряжает конденсатор C_2 . На обкладках каждого из конденсаторов за время Δt накапливаются заряды Δq_1 и Δq_2 .

$$\left. \begin{aligned} \Delta q_1 &= \frac{\Delta\varphi_{AN}}{R_1} \Delta t; \\ \Delta q_2 &= \frac{\Delta\varphi_{NB}}{R_2} \Delta t. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Емкость проводника измеряется количеством электричества, которое необходимо сообщить проводнику, чтобы изменить его потенциал на единицу потенциала, следовательно, по определению, $C = \frac{\Delta q}{\Delta\varphi}$ и поэтому емкости первого и второго конденсаторов, соответственно, определяются соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{\Delta\varphi_{AN}}{R_1} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta\varphi_1}; \\ C_2 &= \frac{\Delta\varphi_{NB}}{R_2} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta\varphi_2}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Учитывая соотношения (2), из (4) получаем

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (5)$$

Таким образом, если сопротивления R_1 и R_2 подобраны так, что в ветви ABT тока нет, то между сопротивлениями R_1 , R_2 и емкостями C_1 и C_2 существует связь, выраженная соотношением (5).

В качестве сопротивления R_1 и R_2 используются сопротивления плеч реохорда, т.е. участки струны, натянутой вдоль шкалы, разделенной на миллиметры (см. рис. 1).

Сопротивления участков струны AN и NB соответственно равны $R_1 = \rho \frac{l_1}{s}$ и $R_2 = \rho \frac{l_2}{s}$.

Здесь ρ – удельное сопротивление струны; s – сечение струны; l_1 и l_2 – длины участков струны AN и NB . Подвижный контакт N скользит по струне и изменяет соотношение плеч. При произвольном положении контакта N в диагонали моста ATB течет ток и мультиметр - индикатор показывает напряжение не равное нулю. Когда контакт приближается к положению, при котором ток, идущий через мультиметр - индикатор, становится исчезающе мал, мультиметр - индикатор покажет минимальное напряжение. При этом сопротивления R_1 и R_2 оказались такими, что выполняется соотношение (5), следовательно,

$$C_1 \cdot l_1 = C_2 \cdot l_2. \quad (6)$$

Соотношение (6) и является расчетной формулой при измерении неизвестной емкости.

Методика и техника измерений

1. Собирают цепь по схеме рис. 1. В качестве емкости C_1 включают неизвестную емкость C_{x1} , а в качестве емкости C_2 – конденсатор с точно измеренной известной емкостью, которую принимают за эталонную емкость C_3 . Собранную схему считают схемой I.

2. Перемещают контакт N вдоль струны реохорда и фиксируют его положение l_1' , при котором мультиметр - индикатор покажет минимальное значение напряжения на самом чувствительном пределе измерения.

Отдельный									
№	I	U	ν	C	R_C	R_{Ccp}	ΔR_C	ΔR_{Ccp}	$\frac{\Delta R_{Ccp}}{R_{Ccp}} \cdot 100\%$

параллель									
№	I	U	ν	C	R_C	R_{Ccp}	ΔR_C	ΔR_{Ccp}	$\frac{\Delta R_{Ccp}}{R_{Ccp}} \cdot 100\%$

последовательно									
№	I	U	ν	C	R_C	R_{Ccp}	ΔR_C	ΔR_{Ccp}	$\frac{\Delta R_{Ccp}}{R_{Ccp}} \cdot 100\%$

Лабораторная работа 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ И ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КАТУШКИ.

Цель работы: ознакомиться с явлением самоиндукции, изучить один из методов определения индуктивности катушки.

Оборудование: исследуемая катушка, ферромагнитный сердечник, вольтметр, амперметр, реостат, трансформатор, мост переменного тока $P-577$, мост постоянного тока $P-333$.

Введение

В трёхтомном труде Майкла Фарадея (1791 – 1867) "Экспериментальные исследования по электричеству" содержится глава об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще. В этой главе Фарадей описал явление самоиндукции, которое заключается в том, что если в проводящем контуре изменяется сила тока, то в нём возникает ЭДС самоиндукции \mathcal{E}_{si} , пропорциональная скорости изменения тока: $\mathcal{E}_{si} = -L(dI / dt)$.

Коэффициент пропорциональности L называется индуктивностью проводящего контура.

Явление электромагнитной индукции было независимо открыто также американским физиком Джозефом Генри (1797 – 1878). Современная физика увековечила научный вклад Генри, присвоив единице индуктивности L название "генри" (Гн). $1\text{Гн}=1(\text{В}\cdot\text{с})/\text{А}$.

Индуктивность проводящего контура зависит от его формы и размеров, а также от магнитной проницаемости μ окружающей среды.

В качестве проводящего контура, индуктивность которого будем определять, используем катушку (соленоид). Соленоиды широко используются в технических устройствах и в лабораторной практике, так как с их помощью легко создавать однородное магнитное поле известной напряжённости \vec{H} или магнитной индукции \vec{B} . Эти характеристики поля связаны соотношением $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$. Катушки индуктивности также применяются для накопления энергии.

Индуктивность L длинного соленоида вычисляется по формуле

$$L = \mu\mu_0 N^2 S / l = \mu\mu_0 n^2 V,$$

где μ – магнитная проницаемость вещества внутри соленоида; μ_0 – магнитная постоянная; N – число витков соленоида; l – его длина; S – площадь поперечного сечения; $n = N/l$ – число витков на единицу длины; V – объём соленоида.

Для экспериментального определения индуктивности катушки пользуются законом Ома для переменного тока $I = U/Z$, где I и U – эффективные значения силы тока и напряжения на участке цепи, показываемые приборами, предназначенными для переменного тока; Z – общее сопротивление участка цепи переменному току.

Общее сопротивление участка цепи с последовательным соединением R , L и C по переменному току

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2},$$

где ω – циклическая частота переменного тока; C – электроёмкость; L – индуктивность;

R – омическое (активное) сопротивление участка цепи. Если в исследуемой электрической цепи содержатся R , L и нет электроёмкости C , то общее сопротивление такой цепи вычисляется по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}.$$

Из данной формулы индуктивность катушки

$$L = \sqrt{(Z^2 - R^2)} / \omega,$$

где $\omega = 2\pi\nu$; $\nu = 50$ Гц.

Описание установки

Экспериментальная установка собирается по схеме (рис. 1). Реостат подключается к источнику тока по схеме потенциометра, чем обеспечивается регулирование напряжения на исследуемой катушке индуктивности L . При подключении индуктивности L к источнику постоянного тока, а это необходимо для определения активного сопротивления катушки, в измерительной части схемы используется вольтметр с малым предельным значением измеряемого напряжения. Мост постоянного тока Р-333 предназначен для прямого измерения сопротивления катушки R , а мост переменного тока Р-577 – для

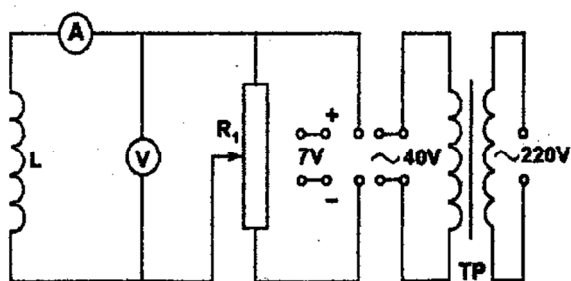


Рис. 1

прямого измерения сопротивления R катушки или её индуктивности L (без сердечника). Общий вид установки показан на рис. 2.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь экспериментальной установки по схеме рис. 2.
2. Присоединить электрическую цепь к выходным клеммам разделительного трансформатора ТР. После проверки схемы преподавателем разделительный трансформатор включают в сеть $U = 220\text{В}$, $\nu = 50\text{Гц}$.
3. Меняя положение движка реостата, наблюдать изменение силы тока I и напряжения U , а затем измерить ряд значений силы тока и соответствующие им значения напряжения. Результаты эксперимента внести в таблицу измерений I и U .
4. Ввести в катушку индуктивности ферромагнитный сердечник. Измерить ряд значений силы тока I и соответствующие им значения напряжения U . Результаты измерений занести в таблицу.
5. Выключить трансформатор. Отсоединить электрическую схему от трансформатора и подключить её к клеммам источника постоянного тока. Заменить вольтметр на другой с малым пределом измерения U .
6. Включить источник постоянного тока. Измерить ряд значений силы тока I и напряжений U . Результаты измерений занести в таблицу.
7. Используя закон Ома, вычислить полное Z и активное R сопротивление катушки.
8. Вычислить индуктивность катушки с сердечником и без сердечника. Оценить погрешность измерений.

Контрольные вопросы

1. В чём состоит явление самоиндукции? Как вычисляется ЭДС самоиндукции?
2. Как вычисляется индуктивность длинного соленоида?
3. Что такое полное сопротивление проводящего контура и от каких параметров оно зависит?

Лабораторная работа №6

ВКЛЮЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА В СЕТЬ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО КПД ПРИ РАЗНЫХ НАГРУЗКАХ

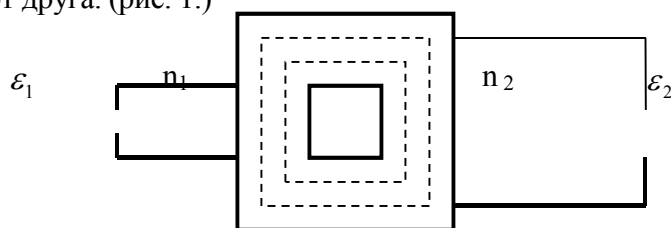
Цель работы: Изучить устройство и работу трансформатора. Собрать схему включения трансформатора, включить его в сеть и определить КПД (коэффициент полезного действия).
Приборы и принадлежности: Трансформатор 220-6.3, вольтметр-15.миллиамперметр-300А. реостат-6 Ом.ключ.амперметр-3А.

Теория метода и описание установки

Идея трансформатора впервые родилась в России и принадлежит изобретателю «русского света» И.И.Яблочкову, разрабатывая эту идею дальше, ассистент МГУ Усагин И.Ф. сконструировал первые трансформатор, который он демонстрировал в 1932 году на промышленной выставке в Москве.

Трансформатор представляет собой электрический аппарат, основанный на явлении взаимной индукции и предназначенный для преобразования переменного тока одного

напряжения в переменный ток другого напряжения, но той же самой частоты. Простейший трансформатор имеет стальной сердечник к две обмотки, изолированной как от сердечника, так и друг от друга. (рис. 1.)



Обмотка трансформатора, которая к источнику напряжения или линии передачи, ведущие к потребителям, называется вторичной обмоткой.

Переменный ток, проходя по первичной обмотке, создает переменный магнитный поток, который оцепляется с витками вторичной обмотки и наводит в них Э.Д.С., т.е. возбуждает индукционный ток.

Режим, при котором вторичная обмотка трансформатора разомкнута, а на зажимы первичной обмотки подано переменное напряжение называется холостым ходом или холостой работой трансформатора.

Небольшой ток, потребляемые первичной обмоткой трансформатора при холостом ходе, называется током холостого хода.

Величина этого тока обычно составляет 3,5 – 10 % от тока при полной нагрузке трансформаторе необходимо учитывать рассеяние магнитного тока и потери его на вихревые токи, (токи Фуко) возникающие в стальном сердечнике, а также потери электрической энергии в обмотках трансформатора при нагревании их током.

Величина потерь на токи Фуко с увеличением нагрузки трансформатора почти не изменяется, но значительно возрастает потери на проводах обмотки, так как по обмоткам проходят увеличенные токи.

Однако с увеличением мощности трансформатора потери составляют все меньшую часть подаваемой мощности. Поэтому при увеличении нагрузки КПД трансформатора возрастает.

Вообще, потери энергии в трансформаторе малы, следовательно он принадлежит к числу самых совершенных преобразователей электрической энергии т.к. КПД мощных трансформаторов возрастает и достигает 95 – 99 %.

Если мощность, отдаваемую вторичной обмоткой трансформатора

$$P_2 = U_2 I_2$$

Разделить на мощность

$$P_1 = U_1 I_1$$

Поступающую в его первичную обмотку, можно вычислить КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100 \%$$

Порядок выполнения работы

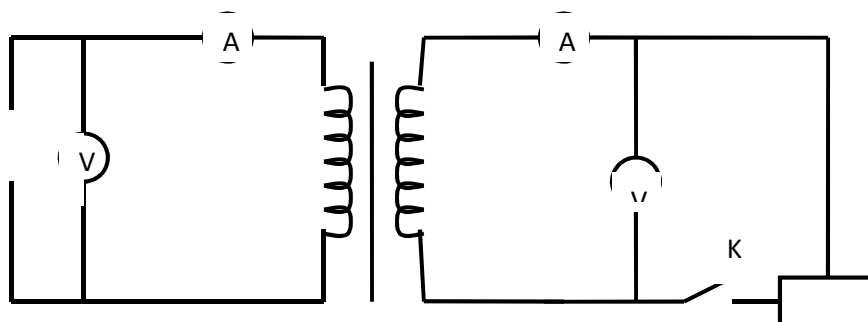
1. Изучить устройство трансформатора, ознакомиться с его паспортом, установить нормальное напряжение и токи обеих его обмоток.
2. Исходя из этих данных. Установите, какие измерительные приборы следует включать в цепь первичной, а какие в цепь вторичной обмотки трансформатора.
3. Выполнить электрический монтаж согласно схеме. (рис.2.)
4. разомкните рубильник в цепи вторичной обмотке, подключите первичную обмотку трансформатора к сети и запишите показания приборов при работе трансформатора в холостую.

5. Замкните вторичную обмотку и постепенной увеличивайте ток в этой цепи, доведя, его до 3 А. При каждой нагрузке изменяйте, величины тока и напряжение обеих обмоток.
6. Поставьте ползунок реостата на максимум сопротивления.
7. По результатам построить график изменения КПД трансформатора от его нагрузки:

$$\text{КПД} = f(I_2)$$

№	U ₁ (В)	I ₁ (А)	P ₁ (Вт)	U ₂ (В)	I ₂ (А)	P ₂ (Вт)	η, %	η _{ср}	Δη	Δη _{ср}	$\frac{\Delta\eta_{\text{ср}}}{\eta_{\text{ср}}} \cdot 100\%$
1											
2											
3											
4											
5											

Работы проводят по схеме:



Контрольные вопросы:

1. На каком физическом явлении основана работа трансформатора?
2. Что называется холостым ходом трансформатора?
3. какие происходят потери мощности в трансформаторе во время его работы?
4. Как определяется КПД трансформатора?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ЛИНЗЫ

Цель работы: . Определение фокусного расстояния линзы.

Приборы и принадлежности: осветителем, линзой и экраном. На переднем панели специального осветителя установлена кресто-образная щель и изнутри освещается лампочкой.

На практике широко используется преломление на сферических поверхностях. Такие поверхности наиболее просты в изготовлении. Прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями, называют линзой. Обычно линзы делают из стекла.

Прямую O_1O_2 , проходящую через центры сферических поверхностей, которые ограничивают линзу, называют ее главной оптической осью (рис.1).

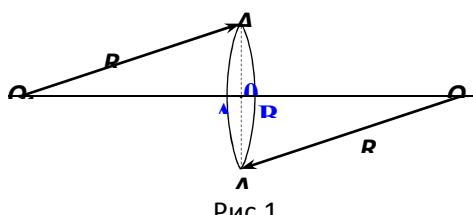


Рис. 1

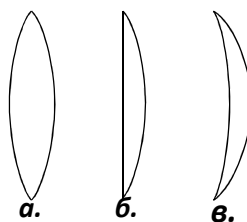


Рис.2

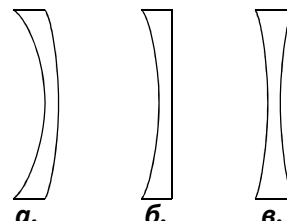


Рис.3

Линзы, у которых середина толще, чем края (рис.2), называются собирающими. Любую из них схематично можно себе представить как совокупность стеклянных призм. В воздухе каждая призма отклоняет лучи к основанию. Все лучи, идущие через линзу, отклоняются в сторону ее главной оптической оси. Наоборот, стеклянные линзы, изображенные на рисунке 3, являются рассеивающими. Толщина каждой из них в середине меньше, чем по краям. Это приводит к отклонению лучей в воздухе в сторону от главной оптической оси, т.е. к их «рассеиванию».

Тонкая линза. Мы будем рассматривать наиболее простой случай, когда толщина линзы $h = AB$ (см. рис.1) пренебрежимо мала по сравнению с радиусами R_1 и R_2 кривизны поверхностей и расстоянием предмета от линзы. Такую линзу называют тонкой линзой. В дальнейшем, говоря о линзе, мы всегда будем подразумевать тонкую линзу.

Точки А и В – вершины сферических в тонкой линзе расположены столь близко друг от друга, что их можно принять за одну точку, которую называют оптическим центром линзы и обозначают буквой О.

Главная оптическая ось тонкой линзы проходит через оптический центр. Любую другую прямую, проходящую через оптический центр, называют побочной оптической осью.

Изображение в линзе. Подобно плоским и сферическим зеркалам линза создает изображения источников света. Это означает, что свет, исходящий из какой-либо точки предмета (источника), после преломления в линзе снова собирается в одну точку (изображение). Независимо от того, через какую часть линзы прошли лучи. Если по выходе из линзы лучи сходятся, они образуют действительное изображение. В случае же, когда прошедшие через линзу лучи являются мнимым. Его можно наблюдать глазом непосредственно или с помощью оптических приборов.

Собирающая линза. Преломление лучей в собирающей линзе можно наблюдать на опыте. Линзе устанавливают горизонтально в центре диска. Сначала направляют луч вертикально вдоль главной оптической оси и убеждаются в том, что он проходит через линзу без преломления. После этого направляют от осветителя на линзу три параллельных луча вертикально. Преломившись, они после выхода из линзы пересекаются в одной точке.

Точка, в которой пересекаются после преломлений в собирающей линзе лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, называется главным фокусом линзы.

Эту точку обозначают буквой F (рис. 4, а).

Лучи, параллельные главной оптической оси, можно направить на линзу и с противоположной стороны. Точка, в которой они сойдутся, пройдя линзу, будет другим

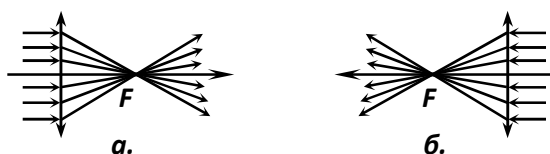


Рис.4

главным фокусом (рис.4,б).

В отличие от сферического зеркала главных фокусов у линзы два. В однородной среде они располагаются по обе стороны линзы на одном и том же расстоянии от нее. Это расстояние называется фокусным расстоянием линзы; его обозначают обычно буквой F (той же буквой, что и фокусы).

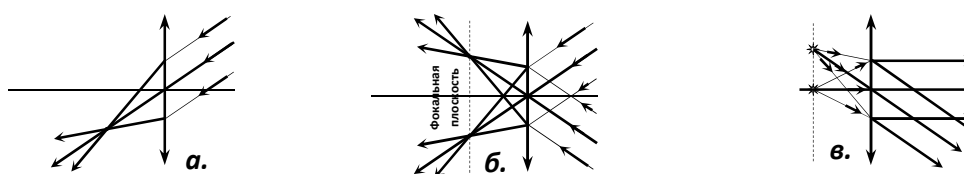


Рис.5

Пусть три параллельных луча осветителя под углом к главной оптической оси. Мы увидим тогда, что пересечение произойдет, не в главном фокусе, а в другой точке (рис.5,а). Но примечательно то, что точки пересечения лучей, падавших на линзу параллельными пучками, и при различных углах, образуемых этими пучками с главной

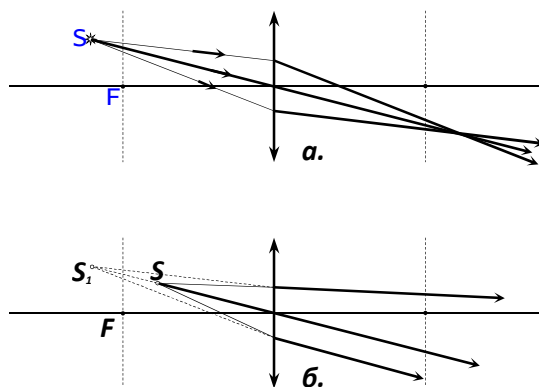


Рис.6

оптической осью, располагаются в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси и проходящей через главный фокус (рис.5,б). Ее называют фокальной плоскостью. Поместив светящуюся точку в фокусе линзы (или в любой точке фокальной плоскости), получаем после преломления параллельные лучи (рис.5,в). Если сместить источник дальше от линзы, за линзой

становятся сходящимися и дают действительное изображение (рис. 6,а). Когда же источник находится ближе фокуса, преломленные лучи расходятся и изображение получается мнимым (рис. 6,б).

Рассеивающая линза

Такие же опыты можно провести с рассеивающей линзой. Укрепив линзу в центре диска, направляем на нее лучи, параллельные главной оптической оси. Преломленные лучи будут расходящимися, а их продолжения пересекаются в главном фокусе рассеивающей линзы. Он является мнимым (рис. 7,а) и расположен на расстоянии F от линзы. Второй мнимый главный фокус находится по другую сторону линзы на том же расстоянии, если среда по обе стороны линзы одна и та же (рис.7,б).

Оптическая сила линзы.



Величину, обратную фокусному расстоянию, называют оптической силой линзы. Ее обозначают буквой D :

$$D = 1 / F \quad (1)$$

Чем ближе к линзе лежат ее фокусы, тем сильнее линза преломляет лучи, собирая или рассеивая их, и тем больше по абсолютному значению оптическая сила линзы.

Оптическую силу D линз выражают в д и о п т р и я х (дптр).

Оптической силой в 1 дптр обладает линза с фокусным расстоянием один метр.

ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЛИНЗЕ

Свойства тонкой линзы определяются, главным образом, расположением ее фокусов. Это означает, что, зная расстояние от источника до линзы и фокусное расстояние (положение фокусов), можно определить расстояние до изображения, не прибегая к рассмотрению хода лучей внутри линзы. В связи с этим отпадает надобность изображать на чертеже точный вид сферических поверхностей линзы.

Нам уже известно, что все лучи, вышедшие из какой-либо точки предмета, пройдя сквозь линзу, пересекаются также в одной точке. Именно благодаря этому свойству тонкая линза дает изображение любой точки предмета, а следовательно, и всего предмета в целом.

Для построения изображений, получаемых с помощью собирающей линзы, фокусы и оптический центр которой заданы, мы преимущественно будем пользоваться тремя видами «удобных» лучей. Как было выяснено в предыдущем параграфе, лучи, параллельные главной оптической оси, преломившись в линзе, проходят через ее фокус. Из обратимости хода лучей следует, что лучи, идущие к линзе через ее фокус, после преломления пойдут параллельно главной оптической оси. Наконец, лучи, проходящие через оптический центр линзы, не меняют своего направления. Они лишь испытывают параллельное смещение, которое в случае тонкой линзы невелико, пренебречь.

Построим изображение предмета AB (рис.7). Чтобы найти изображение точки A , направим луч AC параллельно главной оптической оси. После преломления он пойдет через фокус линзы. Другой луч AD можно направить через фокус. После преломления он пойдет параллельно главной оптической оси. В точке пересечения этих двух преломленных лучей будет находиться изображение A_1 точки A .

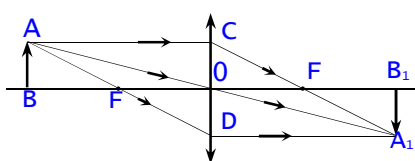


Рис.7

Так же можно построить и все остальные точки изображения. Не следует только думать, что изображение создается двумя или тремя лучами; оно создается всем бесчисленным множеством лучей, вышедших из A и собравшихся в точке A_1 . В частности, в точку A_1 попадает луч AOA_1 , прошедший через оптический центр O линзы.

Таким образом, для построения изображения точки можно использовать любые два из трех «удобных» лучей, ход которых через линзу известен: 1) луч, проходящий через оптический центр; 2) луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси, и 3) луч, проходящий через фокус.

ФОРМУЛА ТОНКОЙ ЛИНЗЫ. УВЕЛИЧЕНИЕ ЛИНЗЫ

Выведем формулу, связывающую три величины: расстояние d от предмета до линзы, расстояние f от изображения до линзы и фокусное расстояние F .

Из подобия треугольников ABF и DOF (см. рис. 7) следует, что

$$OD/AB = OF/BF \quad (1)$$

Так как $OD = A_1B_1$, то

$$A_1B_1/AB = OF/BF = F/(d-F). \quad (2)$$

Кроме того, из подобия треугольников COF и $A_1B_1F_1$ следует, что

$$A_1B_1/OC = B_1F/OF$$

Учитывая, что $OC = AB$, можно записать:

$$A_1B_1/AB = (f - F)/F. \quad (3)$$

Теперь приравняв правые части равенств (2) и (3):

$$F/(d - F) = (f - F)/F$$

Отсюда

$$F^2 = fd - fF - Fd + F^2,$$

или

$$fF + Fd = fd.$$

Поделив все члены полученного выражения на произведение Ffd , получим:

$$1/d + 1/f = 1/F \quad (4)$$

или

$$1/d + 1/f = D \quad (5)$$

Соотношения (4) или (5) принято называть формулой тонкой линзы. Величины d , f и F могут быть как положительными, так и отрицательными. Отметим без доказательства, что, применяя формулу линзы, нужно ставить знаки перед членами по следующему правилу. Если линза собирающая, то ее действительный и перед членом $1/F$ ставится знак «плюс». В случае рассеивающей линзы $F < 0$ и в правой части формулы (4) будет стоять отрицательная величина $-1/F$. Перед членом $1/f$ ставится знак «плюс», если изображение действительное, и знак «минус» в случае мнимого изображения. Наконец, перед членом $1/d$ ставят знак «плюс» в действительной светящейся случае точки и «расстояния минус», если она мнимая (т.е. на линзу падает сходящийся пучок лучей, продолжения которых пересекаются в одной точке).

В том случае, когда F , f или d неизвестны, перед соответствующими членами $1/F$, $1/f$ или $1/d$ ставится знак «плюс». Но если в результате вычислений фокусного или расстояния от линзы до изображения или до источника получается отрицательная величина, то это означает, что фокус, изображение или источник являются мнимыми.

Увеличение линзы. Изображение, даваемое линзой, обычно отличается своими размерами от предмета. Различие размеров предмета и изображения характеризуют увеличением.

Линейным увеличением называют отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета.

Для нахождения линейного увеличения обратимся снова к рисунку. Если высота предмета AB равно h , а высота изображения A_1B_1 равно H , то

$$\Gamma = H/h$$

есть линейное увеличение.

Из подобия треугольников OAB и OA_1B_1 вытекает, что $H/h = f/d$. Следовательно, увеличение линзы равно $\Gamma = f/d$. (6)

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В оптической скамье, установленной горизонтальном положении должны свободно перемещаться рейтера со специальным осветителем, линзой и экраном. На переднем панели специального осветителя установлена крестообразная щель и изнутри освещается лампочкой. Эта освещенная крестообразная щель выполняет роль предмета и его изображение получается на экране при помощи изучаемой линзы. Эти оптические элементы на оптической скамье установлены так, что их центры расположены на одной высоте и на одной оптической линии. Плоскость экрана и линзы расположены перпендикулярно главной оптической оси линзы. Расстояния между предметом и центром линзы, а также центром линзы и изображением предмета на экране определяется масштабной линейкой.

Фокусное расстояние тонкой собирающей линзы могут быть определены следующими методами.

1-Способ. Определение фокусного расстояния линзы на основании результатов измерения расстояний между предметом и линзой, а также между линзой и изображением. Если расстояние между предметом и линзой обозначить d , а расстояние между линзой и изображением f , тогда фокусное расстояние линзы F можно найти через выражение

$$1/F = 1/d + 1/f$$

или

$$F = d f / (d + f)$$

Данная формула верна при выполнении условия, что толщина линзы много раз меньше по отношению величин d и f .

Измерения: Установите экран на правом конце оптической скамье, а в левом осветитель с крестообразной щелью. Между ними установите линзу и перемещая ее на оптической скамье получите на экране четкое изображение крестообразной щели. При помощи масштабной линейки определите положения предмета, линзы и изображения. Такие измерения повторить 6 или 7 раз. При этом желательно, что в одних случаях

измерения размер изображения была бы больше, чем размер предмета. В других случаях наоборот, размер изображения была бы меньше чем размер предмета.

На основании результатов отдельных измерений, по выше приведенных формул определите фокусное расстояние тонкой линзы, а такого среднее значение.

2-Способ. Определение фокусного расстояния линзы на основании измеренных значений высот предмета h , изображения H и расстояния f между линзой и изображения.

Через взаимосвязь этих величин можно определить F по формуле

$$F = f h / (H + h)$$

Измерения: На оптической скамье, линзу необходимо расположить между предметом и экраном таким образом, чтобы на экране появилось четкое увеличенное изображение предмета. Определить положения линзы и экрана с четким изображением предмета, затем при помощи масштабной линейки измерьте размеры предмета и изображения.

Полученные результаты использовать для вычисления фокусного расстояния линзы по выше приведенной формуле.

Меняя расстояние от предмета до линзы опыт повторить 7 раз.

К О Н Т Р О Л Ь Н Ы Е В О П Р О С Ы :

1. Какую линзу называют тонкой?
2. Что называют главным фокусом линзы?
3. Запишите формулу линзы.
4. Какие лучи удобно использовать для построения изображения в линзе?
5. Что называется увеличением линзы?
6. Расскажите методику определения фокусного расстояния линзы.

Лабораторная работа № 8

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОГО ТОКА ОТ ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы: Является измерение силы света электрической лампы накаливания и определение ее удельной мощности при различных напряжениях

Приборы и принадлежности: Люксметр, источник питания, лампочки.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ФОТОМЕТРИИ

Свет оказывает действие на тела благодаря тому, что он переносит энергию. Согласно теории Максвелла световая энергия – это энергия электромагнитных волн. Методы измерения световой энергии составляют раздел оптики, называемый фотометрией.

Ряд величин характеризует свет с точки зрения переносимой им энергии. Важнейшей из них является световой поток. Для восприятия световой энергии особое значение, естественно, имеет глаз. Поэтому нас в первую очередь интересует не полная энергия, переносимая электромагнитными волнами, а лишь ее часть, на которую реагирует наш глаз. Очень длинные электромагнитные волны (радиоволны) и очень короткие (например, рентгеновские и γ -лучи), совсем не воспринимаются глазом.

Световой поток. Наиболее чувствителен глаз к зеленым лучам. Поэтому практически важно знать не просто количество световой энергии, регистрируемое соответствующими измерительными приборами, а интенсивность света, оцениваемую

непосредственно нашим глазом. Для такой оценки световой энергии введена особая физическая величина - световой поток (обозначается буквой Φ).

Световым потоком называют протекающую через некоторую поверхность в единицу времени световую энергию, оцениваемую по зрительному ощущению.

Другими словами, световой поток – это мощность светового излучения, оцениваемая непосредственно нашим глазом.

Световой поток создается источником света и воздействует на окружающие предметы. Соответственно вводятся еще две энергетические величины: одна для характеристики источника света – сила света источника, а другая для характеристики действия света на поверхности тел – освещенность. Понятие силы света проще всего ввести для так называемого точечного источника света.

Точечный источник. Источник света считается точечным, если его размеры много меньше расстояний, на которых оценивается его действие. Кроме того, предполагается, что такой источник посылает свет равномерно по всем направлениям. Так, например, расстояния до звезд настолько превосходят их размеры, что именно звезды являются лучшей моделью точечного источника, несмотря на то что размеры их огромны. Вводя понятие точечного источника света, мы выделим лишь существенные для фотометрии свойства реальных источников, отвлекаясь от второстепенных свойств. Точечный источник является такой же идеализацией, как и другие модели, принятые в физике, – материальная точка, абсолютно твердое тело, идеальный газ и т. п.

Телесный угол. Для описания распределения светового потока, испускаемого источником света по разным направлениям, используется понятие телесного угла.

Рассмотрим площадку произвольной формы и мысленно проведем из некоторой точки прямые линии ко всем точкам кривой, ограничивающей эту площадку (рис.1). Эти линии выделяют в пространстве область в форме конуса. Такая область пространства называется телесным углом Ψ . Вообразим сферу радиуса R с центром в вершине угла. Телесный угол Ψ "вырезает" на поверхности сферы сферический сегмент площадью S . Под величиной телесного угла Ψ понимают отношение этой площади к квадрату радиуса сферы:

$$\Psi = S/R^2 \quad (1)$$

Нетрудно понять, что значение телесного угла не зависит от радиуса сферы, так как

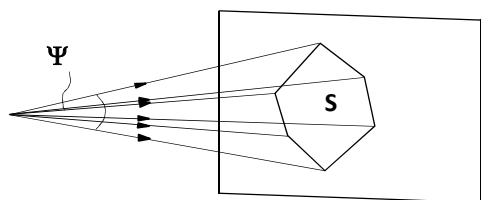


Рис.1

вырезаемая им площадь S пропорциональна квадрату радиуса. Единица телесного угла называется стерadianом (ср). Телесный угол в один стерadian вырезает на сфере площадь, равную квадрату радиуса сферы. Полный телесный угол, охватывающий все пространство вокруг точки, равен:

$$\Psi = S/R^2 = 4\pi R^2/R^2 = 4\pi \text{ ср.} \quad (2)$$

Сила света. Силой света источника называется световой поток, созданный источником в единичном телесном угле. Если источник создает в телесном угле Ψ световой поток Φ , то сила света источника I по определению равна:

(3)

$$I = \Phi/\Psi.$$

Так как полный телесный угол содержит 4π ср, то сила света точечного источника

$$I = \Phi/4\pi, \quad (4)$$

где Φ – полный световой поток источника, т.е. мощность светового излучения,

распространяющегося по всем направлениям от источника, оцениваемая по зрительному ощущению.

В Международной системе единиц СИ за основную единицу фотометрических величин принята единица силы света кандела (кд). Дело в том, что проще всего создать эталон именно для силы света. Эталоном единицы силы света (1кд) служит специальный излучатель. Все остальные световые единицы, в том числе и единица светового потока, являются производными.

Единица светового потока. За единицу светового потока принимается л ю м е н (лм); 1 лм – это световой поток, испускаемый точечным источником, сила света которого 1 кд, в телесный угол, равный 1 ср.

ОСВЕЩЕННОСТЬ.

Источник света почти всегда освещает поверхности предметов неравномерно. Так, лампа, висящая над столом, лучше всего освещает центр стола. Края стола освещены значительно хуже. И дело здесь не только в том, что сила света электрической лампы различна по различным направлениям. Даже в случае точечного источника на площадку в центре стола придется большая световая мощность (световой поток), чем на такую же площадку на краю.

Освещенностью E называется отношение светового потока Φ , падающего на некоторый участок поверхности, к площади S этого участка:

$$E = \Phi/S, \quad (5)$$

Единица освещенности – л ю к с (лк) – определяется как освещенность, при которой на 1 м^2 поверхности равномерно распределен световой поток в 1 лм.

Для фотометрических расчетов важно знать, как зависит освещенность E какой-либо поверхности от ее расположения по отношению к падающим лучам, от расстояния R до источника света и от силы света I источника.

Очевидно, что при прочих равных условиях освещенность прямо пропорциональна силе света источника. В самом деле, два находящихся рядом одинаковых источника будут посылать в данном направлении в два раза больше световой энергии в единицу времени, чем один источник. Но такие два источника можно заменить одним, сила света которого в два раза больше.

Выяснить зависимость освещенности от расстояния до источника можно, пометив мысленно точечный источник в центр сферы. Площадь поверхности сферы равна $S = 4\pi R^2$, а полный световой поток равен $\Phi = 4\pi I$ (см. формулу 4). Поэтому освещенность выразится так:

$$E = \Phi/S = 4\pi I/4\pi R^2 = I/R^2$$

Следовательно, освещенность поверхности обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника.

В рассмотренном случае лучи падали на поверхность сферы перпендикулярно. Но так происходит далеко не всегда. Направление падающих на площадку лучей принято характеризовать углом падения.

Углом падения луча называют угол α между падающим лучом и перпендикуляром, восставленным к поверхности в точке падения луча (рис.2).

Угол падения лучей на поверхность сферы от источника, расположенного в ее центре, равен нулю.

Выясним теперь, как изменится освещенность какой-либо площадки, если при том же расстоянии площадки от источника угол падения лучей будет отличен от нуля.

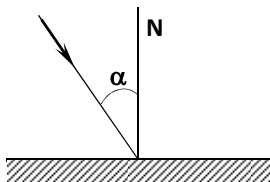


Рис.2

Для этого рассмотрим очень маленький участок на внутренней поверхности той же сферы. Если размеры этого участка значительно меньше радиуса сферы, его можно считать плоским, а лучи, падающие на него, приблизительно параллельными. Пусть площадь участка равна ΔS_0 (рис.3). Рассмотрим другую площадку, на которую от источника падает тот же световой поток, что и на первую. Если вторая площадка составляет с первой угол α , то угол падения на нее лучей из центрального источника также будет равен α . Площадь второй площадки равна S . Как легко видеть из рисунка, обе площадки имеют одинаковую ширину a , но различные длины b и b_0 , причем $b/b_0 = \cos\alpha$.

Поэтому

$$S_0/S = a_0 b_0 / ab = \cos\alpha$$

При одном и том же световом потоке Φ освещенности обеих площадок не будут

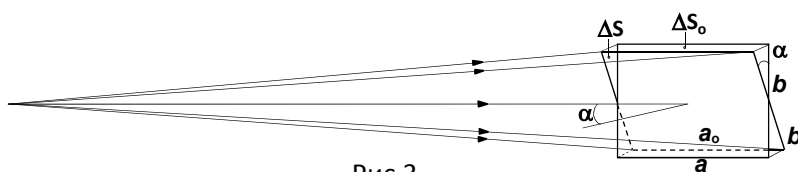


Рис.3

одинаковыми:

$$E = \Phi/S, \quad E_0 = \Phi/S_0$$

Следовательно,

$$E/E_0 = S_0/S = \cos\alpha$$

Таким образом, освещенность E наклонной площадки связана с освещенностью E_0 площадки, перпендикулярной лучам, так:

$$E = E_0 \cos\alpha \quad (6)$$

Это значит, что освещенность поверхности прямо пропорциональна косинусу угла падения лучей.

Объединив полученные результаты, можно сформулировать общее правило.

Освещенность поверхности, создаваемая точечным источником, прямо пропорциональна силе света источника, косинусу угла падения лучей и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника до поверхности:

$$E = I/R^2 \cos\alpha \quad (7)$$

Если источников несколько, то общая освещенность равна сумме освещенностей, созданных каждым источником в отдельности.

Для измерения освещенности применяются особые приборы – люксометры. Действие прибора, которым фотографы пользуются для определения экспозиции при фотографировании, – фотоэкспонетра тоже основано на измерении освещенности.

С целью сохранения нормального зрения людей в нашей стране установлены гигиенические нормы освещенности жилых и служебных помещений, обеспечивающие наилучшие условия работы и быта. Так, освещенность классной доски должна быть равна 150 лк, а освещенность школьной лестницы 30 лк.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Целью настоящей задачи является измерение силы света электрической лампы накаливания и определение ее удельной мощности при различных напряжениях.

Удельной мощностью электрической лампы $P_{уд}$ называется отношение потребляемой ее электрической мощности P к ее силе света I ,

$$P_{уд} = P_{вт}/I \quad (8)$$

Удельная мощность характеризует экономичность электролампы и зависит от

температуры и материала нити лампы. С понижением температуры нити удельная мощность сильно возрастает, а КПД лампы уменьшается. Силу света источника I можно определить, при помощи люксметра на основании (7) формулы. Если поверхность люксметра установлена перпендикулярно световым лучам идущими от точечного, источника света то (7) соотношение упрощается и принимает следующий вид

$$E = I/R^2 \quad (9)$$

Измерив расстояние R от точечного источника до освещаемой поверхности и ее освещенности E , то при условии нормального падения света будет иметь место следующее соотношение:

$$I = E \times R^2 \quad (10)$$

При этом световой источник должен быть точечным; световой поток не должен испытывать поглощения со стороны той среды, в которой он распространяется; источник света должен испускать во всех направлениях однородный световой поток. Для измерения освещенности применяются объективные фотометры или люкметры, приёмником света в которых являются вентильные фотоэлементы, генерирующие ЭДС под действием электромагнитного излучения оптического диапазона. Величина фото-ЭДС пропорциональна в определенных пределах падающему световому потоку.

Блок схема экспериментальной установки представлен на рис.4.

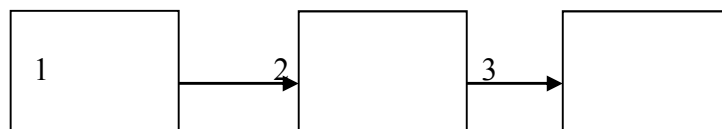


Рис.4

Здесь 1- блок электрического питания источника света с вольтметром и амперметром для измерений соответственно напряжения подаваемого на источник света и потребляемого им тока, 2- источник света, 3 - люксметр для измерения освещенности. Источник света и люксметр установлены на подвижных рейтерах в оптической скамье.

Электрическая мощность потребляемая источником света определяется при помощи вольтметра и амперметра установленного на блоке электрического питания.

1. Соберите установку по схеме представленной на рис.4. Подайте напряжение (в пределах регулировки напряжения) на электрическую лампу и запишите значения напряжения и тока. Устанавливая люксметр на 4–5 различных расстояниях запишите его показания.
2. Уменьшая напряжение источника питания на некоторую величину повторите измерения проведенные в первом пункте.
3. Для каждого измерения подсчитать силу света исследуемой лампы, определить потребляемую лампой электрическую мощность и удельную мощность.
4. Откладывая по оси ординат удельную мощность, а по оси абсцисс – напряжение, вычертить график зависимости удельной мощности от напряжения.
5. Соберите экспериментальную установку. При помощи блока питания подайте напряжение на источника света. Запишите показания вольтметра и амперметра. Устанавливая люксметр на различных расстояниях от источника света, измерьте расстояния и запишите показания люксметра.
6. Повторите все измерения проведенные в пятом пункте для других различных напряжений питания электрической лампы.
7. На основании полученных результатов нарисуйте график зависимости освещенности поверхности от расстояния и силы света.

Контрольные вопросы

1. Что называют световым лучом?
2. Что называют световым потоком?
3. Что называют силой света?
4. От чего зависит освещенность поверхности, создаваемая точечным источником света?
5. Что является основанием для использования фотоэлемента в фотометрических измерениях?
6. Почему удельная мощность $P_{уд}$ зависит от температуры нити?
7. Какой полезный вывод можно сделать относительно КПД электролампы, из графика зависимости удельной мощности от напряжения?

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПРОЗРАЧНОЙ ПЛАСТИНКИ ПРИ ПОМОЩИ МИКРОСКОПА.

Цель работы: Определение показателя преломления прозрачной пластинки при помощи микроскопа

Приборы и принадлежности : Измерительный микроскоп, микрометр, набор прозрачных пластинок с царапинами противоположных гранях.

В работе действительная толщина пластинки H изморяется микрометром, и ее кажущаяся, Толщина h измеряется при помощи измерительного микроскопа. Вид и устройство микроскопа показано на рис.3. 1-штатив микроскопа; 2-тубус; 3-объектив; 4-окуляр; 5-предметная столик; 6-осветительное зеркало4; 7-премолярный винт; 8-миллметровая шкала.

Оптическая схема микроскопа приведено на рис.4. Микроскоп состоит из двух линз, короткофокусного объектива и длиннофокусного окуляра. Рассматриваемый предмет ab помещается перед объективом на расстоянии d , намного большем фокусного расстояния F . Объектив дает действительное, обратное и увеличенное изображения предмета a,b из расстояния f .

Оптическая схема микроскопа приведена на рис. 4. микроскоп состоит из двух линз, короткофокусного объектива и длиннофокусного окуляра. Рассматриваемый предмет ab помещается объективом расстоянии d намного большем фокусного расстояния F . объектив дает действительное, обратное и увеличенное предмета a,b , на расстоянии f



Рис. 3

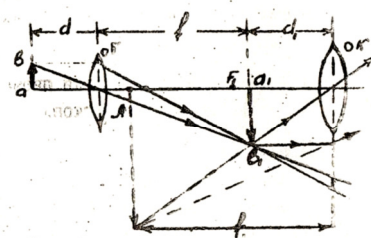


Рис. 4

Это изображение рассматривается в окуляре, как в лупу. Окуляр дает мнимое, прямое и увеличенное изображение AB на расстоянии f_1 , равном расстоянию наилучшего зрения $/f_1 = 25\text{см}/$.

Линейное увеличение объектива и окуляра, как это следует из / рис.4/, определяется отношением величины изображения к величине предмета :

$$\text{Для объектива } Z = \frac{a_1 b_1}{a \cdot b} = \frac{f}{d} \approx \frac{\delta}{F}$$

Для окуляра
$$Z_2 = \frac{AB}{a_1 b_1} = \frac{f_1}{d_1} \approx \frac{2\delta}{F_1}$$

Линейное увеличение микроскопа равно произведению линейных увеличений объектива и окуляра, т.е. $Z=Z_1 Z_2$ или после подстановки значений Z_1 и Z_2 , получим:

$$Z = \frac{2S}{F_1} \cdot \frac{\delta}{F} ; \text{ где } \delta - \text{длина тубуса микроскопа}$$

Порядок выполнения работы

1. Исследуемая пластинка кладется на предметный столик микроскопа так, чтобы точка скрещивания царапки находилось под объективом.

При повороте кремальерного винта добиваются в поле зрения микроскопа отчетливой видимости верхней царапина и производят отсчет по нониусу h_1

2. После наводки на верхнюю царапину переходят к наводке на нижнюю царапину и делают по нониусу отсчет h_2 . По разности двух отсчетов определяют толщину пластинки.

$$h = h_1 - h_2$$

3. Микрометром измеряется действительная толщина пластинки H .

4. Измерения всех величин производятся не менее трех раз.

Результаты измерений и вычислений записывают в таблицу:

№	Измерение кажущейся толщины							Измерение действительной тол.		Показать преломил	
	h_1	Δh_1	h_2	h	Δh_2	h	$\Delta h_{\text{ср}}$	H	ΔH	n	Δn
1											
2											
3											

Лабораторная работа 10

ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ НА ЗЕРКАЛЕ ФРЕНЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ НЕ-НЕ ЛАЗЕРА

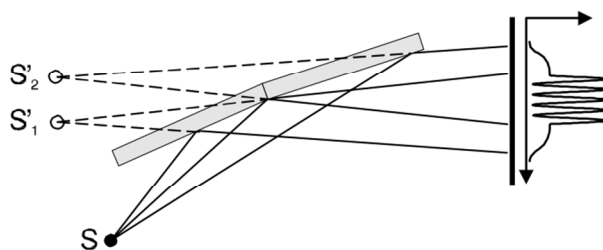
Цель эксперимента

- Получение двух мнимых изображений когерентных источников света с помощью отражения точечного источника света на зеркале Френеля.
- Наблюдение интерференции от двух мнимых источников света.
- Измерение расстояния d между интерференционными линиями.
- Получение проектированных изображений мнимых источников света. Измерение расстояния A между проектированными изображениями.
- Определить длину волны λ излучения He-Ne лазера используя расстояние d между интерференционными линиями, расстояние A между проектированными изображениями мнимых источников света и геометрическими размерами установки.

Необходимые приборы и принадлежности Не-Ne лазер с линейной поляризацией или 1 Не-Ne лазер, 0.2/1 мВт , Регулируемое зеркало Френеля, Линза, $f = 5$ мм , Линза, $f = 200$ мм , Оптическая скамья длиной 1 м, Оптические насадки, высота: 60 мм/ширина: 36 мм, Оптическая насадка, высота: 60 мм/ширина: 50 мм, Полупрозрачный экран , Основание для насадки , Кронциркуль верньера, пластмасса. , Стальная рулетка

Принцип работы

Зеркало Френеля состоит из двух плоских зеркал, слегка повернутых друг относительно друга. После отражения точечного источника света S от зеркала Френеля образуется два мнимых источника света S_1' и S_2' , расположенных близко друг к другу, которые интерферируют друг с другом из-за их когерентности. Известно, луч идущий от двух отдельных источников света не производит интерференцию вследствие своей некогерентности. Два мнимых источника когерентного света создаются вследствие отражения света из одного источника света. В следствии отражения света от зеркал Френеля, возникает система параллельных интерферирующих лучей. В этом эксперименте источник света S совпадает с фокусом линзы, используемой для расширения лазерного луча. Для определения длины волны λ света гелиевонеонового лазера, используемого в этом эксперименте, мы должны сначала найти расстояние d между двумя максимумами интенсивности. Затем с помощью второй линзы получают два мнимых изображений S_1' и S_2' источника света на экране наблюдения и измеряются расстояния A между спроектированными изображениями. Так как геометрические размеры установки известны, мы можем использовать эти данные для определения расстояния между мнимыми источниками света.



Для больших расстояний L между источником света и экраном наблюдения, мы можем вычислить длину волны λ света, используя значения a и d следующим образом: Из двух когерентных источников волны S_1' и S_2' наблюдается интерференция когда они распространяются в направлении J (см. Рис. 1, верхний). J является направлением n -ного максимума интенсивности, тогда для разности хода

$$\Delta s = a \cdot \sin \vartheta$$

Для двух волн применяется следующее:

$$\Delta s = n \cdot \lambda.$$

Для расстояния D_n между нулевым и n -ным максимумом, применяется следующее геометрическое соотношение:

$$\operatorname{tg} \vartheta = D_n / L.$$

Для больших расстояний L , $\sin \vartheta \approx \vartheta$, и мы получаем:

$$\lambda = a \cdot \frac{D_n}{nL} = a \cdot \frac{d}{L}.$$

Расстояние a между мнимыми источниками света определяется с помощью расстояния A между спроектированными изображениями. От геометрии эксперимента мы получаем соотношение:

$$a = A \cdot \frac{L_1}{L_2} \quad (III)$$

Меры предосторожности Гелиево-неоновый лазер соответствует немецким техническим стандартам “Требования техники безопасности для Обучающего и Учебного оборудования - Лазер, DIN 58126, Часть 6” для лазеров класса 2. При соблюдении мер предосторожностей описанных в инструкции, экспериментирование с гелиево-неоновым лазером не опасно. Никогда непосредственно не смотрите прямо подающий или отраженный лазерный луч. Не превышайте предел яркости света (т.е. ни кто не должен почувствовать себя ослепленным).

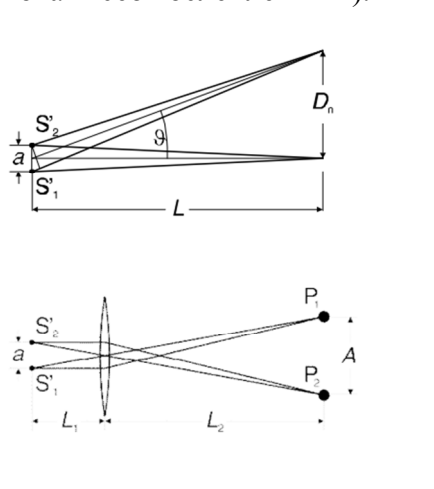


Рис. 1: Верхний: путь луча без линзы с фокусным расстоянием $F = 200$ мм для двухлучевой интерференции. Нижний: путь луча для проектирования мнимых источников света на проекционном экране с помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 200$ мм.

Экспериментальная установка

Примечание: Дифракция лазерного излучения от внешнего края зеркала Френеля может вызвать нежелательные дифракционные картины на экране, которые могут легко быть перепутаны с желаемой интерференционной картиной. Одним из способов распознать их состоит в том, что их позиция не зависит от угла отражения зеркал относительно друг друга. Перед каждым измерением измените угол секций зеркал относительно друг друга используя рифлёный винт (3) и проверьте изменения расстояния между интерференционными линиями. На Рис. 2 показана установка эксперимента. Позиции левых краев оптической насадки даны в см.

- Прикрепите оптические насадки в данных позициях на оптической скамье и установите полупрозрачный экран по крайней мере на расстоянии 2 м от оптической оси.

- Расположите лазер и 5-миллиметровую линзу (1) на оптических насадках так, чтобы пучок расширенного лазерного луча шел параллельно к оптической скамье и по центру. При необходимости, можно проследить путь луча с листком бумаги.
- Установите 200-миллиметровую линзу (2) так, чтобы полупрозрачный экран освещался.
- При монтаже зеркала Френеля удостоверьтесь, что расширенный лазерный луч падает на разделительную кромку двух половин зеркала
- Слегка наклоните зеркало, так, чтобы лазерный луч просто касался зеркала и отраженный свет перемещался фактически параллельно к оптической скамье. Используйте вертикальную корректировку относительно оптической оси через рифлёный винт (4) и удостоверьтесь, что отраженный свет падает на центр линзы (2).

- Скорректируйте линзу (2), пока оба мнимые источники света не дадут резкие изображения на полупрозрачном экране (при необходимости перемещаете оптические насадки по оптической скамье).
- *Излучение лазера, обходящее зеркало Френели, производит третье световое пятно на экране с лева от проецированных двух изображений. Это ни в каком случае не влияет на эксперимент.*

Проведение эксперимента

а) Интерференция двух мнимых источников света:

- Удалите линзу (2) с оптической насадки.
- Используйте рифленый винт (3) для корректировки высококонтрастной интерференционной картины. Для этого, возможно, придется держать лист белой бумаги на передней стороне экрана. Если дифракция во внешнем переднем фронте зеркала Френели вызывает дополнительный, отвлекающий интерференционный узор:
- Используя рифленый винт (4), измените положение зеркал Френеля, пока расходящийся лазерный луч больше не будет мешать на внешнем краю. - Используя штангенциркуль с нониусом измерьте расстояние d между строками и запишите это значение.

б) Проектирование мнимых источников света:

- Установите линзу (2) и по мере необходимости настройте ее для получения резко сфокусированного изображения мнимых источников света. Измерьте расстояние d между линиями штангенциркулем и запишите это значение.
- Определите расстояние $L0$ между линзой (2) и линзой (1) от шкалы оптической скамьи и запишите это значение. - Используя измерительной рулетку, измерьте расстояние $L2$ между спроектированным изображением и линзой (2), и запишите это значение.
- При желании удалите линзу, создайте новый интерференционный узор и повторите свои измерения

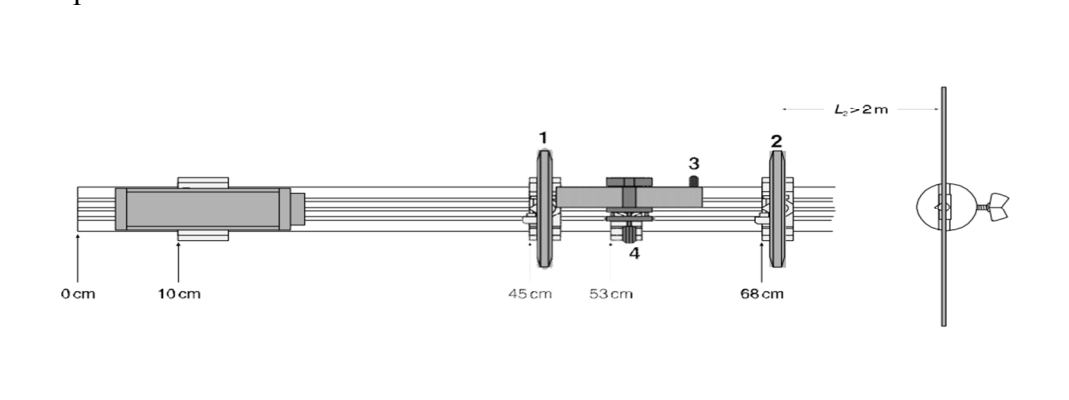


Рис. 2: Экспериментальная установка на оптической скамье, со спецификациями позиции для левого края оптической насадки.

Пример эксперимента $d = 3,9$ мм

$$A = 4,3 \text{ мм}$$

$$L0 = 22,7 \text{ см}$$

$$L2 = 230,5 \text{ см}$$

Оценка

Точечный источник света расположен в фокусе 5- миллиметровой линзы; на расстоянии $L1=L0-5$ мм. Для расстояния L между источниками света и проекционным экраном, мы можем взять $L = L1 + L2$. Используя уравнения (I) и (II), мы можем вычислить сначала $a = 0,41$ мм, и затем, с помощью этого значения, длины волны используемого

излучения лазера ($\lambda = 640 \text{ нм}$); это вполне хорошо согласуется с литературным значением $\lambda_{\text{HeNe}} = 632,8 \text{ нм}$.

Результаты

Интерференционная картина полученная с использованием зеркала Френеля может быть объяснена интерференцией от двух световых лучей. Посредством отражения точечного источника от зеркала Френеля получены два мнимых источника света, которые являются когерентными и поэтому интерферируют друг с другом

Лабораторная работа 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Цель работы: измерить длину световой волны с помощью дифракционной решетки

Принадлежности: дифракционная решетка 1/100, светофильтры, оптическая скамья, шкала со щелью, линейка, источники света

Краткая теория

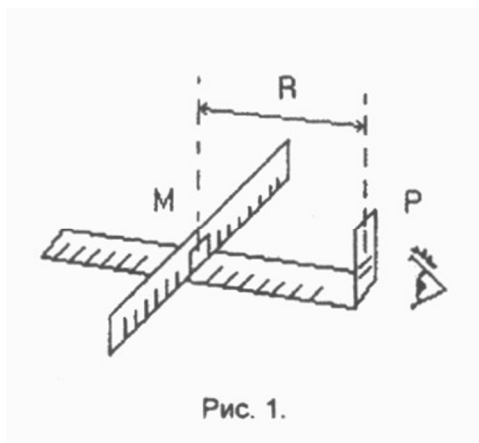


Рис. 1.

Внешний вид установки, для определения длины световой волны изображен на рис.1. На оптической скамье может передвигаться пластина, в которой прорезана щель прямолинейной формы. Под щелью укреплен шкала с делениями. Щель освещается электрической лампочкой, между лампочкой и щелью вставляется монохроматический светофильтр. В другом конце оптической скамьи укреплен держатель Р, в который вставляется дифракционная решетка. Если смотреть на освещенную монохроматическим светом щель через дифракционную решетку, то кроме щели АВ по бокам видны симметричные изображения ее. Каждое боковое дифракционное изображение

смещено в сторону на величину $ВД_1 = ВД_2 = S$. На рис.2 изображены лучи, образующие изображенные щели, очевидно: $\tan \varphi = ВД_1/R = S/R$, где R-расстояние от решетки до щели М.

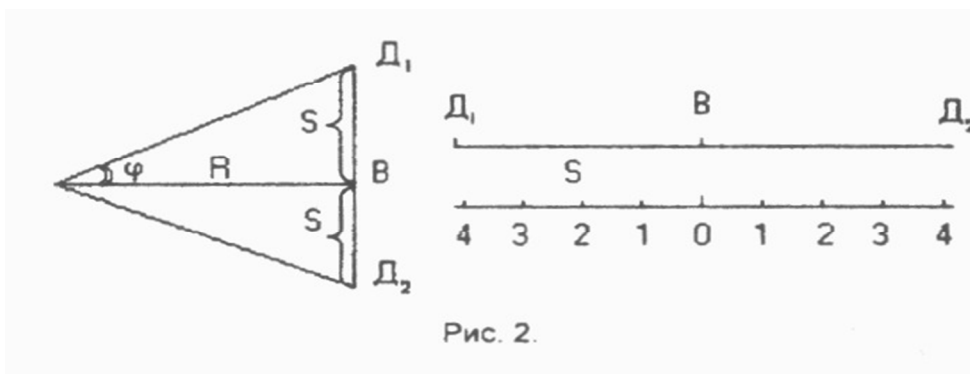


Рис. 2.

Так как угол φ мал, то $\tan \varphi$ можно с достаточной степенью точности заменить $\sin \varphi = S/R$.

Сравнивая последнее выражение с условием главного дифракционного максимума $d \sin \varphi = m\lambda$ получаем расчетную формулу:

$$\lambda = \frac{S \cdot d}{R \cdot m}$$

Для определения λ передвигают шкалу-экран со щелью, добиваясь совмещения дифракционного изображения первого порядка ($m = 1$) с каким-нибудь делением шкалы M , отсчитывают положение шкалы-экрана по шкале оптической скамьи. Затем проводят измерения для спектра второго порядка. Для спектра каждого порядка проводят однократные измерения.

Лабораторная работа 12

ЧЕТВЕРТЬ ВОЛНОВАЯ И ПОЛУВОЛНОВАЯ ПЛАСТИНКА

Цель эксперимента

- Измерение интенсивности света как функция положения анализатора.
- Использование четвертьволновой пластинки для получения света с круговой поляризацией.

Необходимые приборы и принадлежности

Четвертьволновая пластинка, Полуволновая пластинка, Поляризационный фильтр, Желтый светофильтр, Кремниевый фотоэлемент STE 2/19, Держатель для сменных элементов, Мультиметр METRAHit Pro, Полупрозрачный экран, Оптическая скамья стандартного сечения 1 м, Оптическая насадка 60/34, 1 галогеновая лампа 12 В, 50/90 Вт галогеновая лампа 12 В / 90 Вт, Слайдер, Преобразователь 2 на 12 В, 120 Вт, Пара проводов 100 см, красный/синий

Принцип работы

Волновая пластина или замедлитель являются оптическим устройством, изменяющим вид поляризации светового луча, перемещающегося через него. Типичная волновая пластина является просто двоякопреломляющим кристаллом или двойной преломляющей пленкой полимера с тщательно выбранной толщиной.

Если луч параллельного света падает перпендикулярно на волновую пластину, световой луч разделяется на два компонента из-за его двойного преломляющего свойства. Эти два компонента имеют плоскости колебания перпендикулярные друг другу и немного отличаются по фазовой скорости. Для четвертьволновой пластинки толщина фольги выбрана таким образом, что компонент вектора электрического поля света вращается вокруг направления распространения света равным частоте света и отстает по фазе $\lambda/4$ к другому перпендикулярно колеблющему компоненту света. А толщина равной полволны света выбрана так, что создаваемая разность фаз имеет значения $\lambda/2$.

В этом эксперименте монохроматический свет падает на четвертьволновую и полуволновую пластинки. Поляризация выходящего света исследуется под различными углами между оптической осью волновых пластин и направлением падающего света.

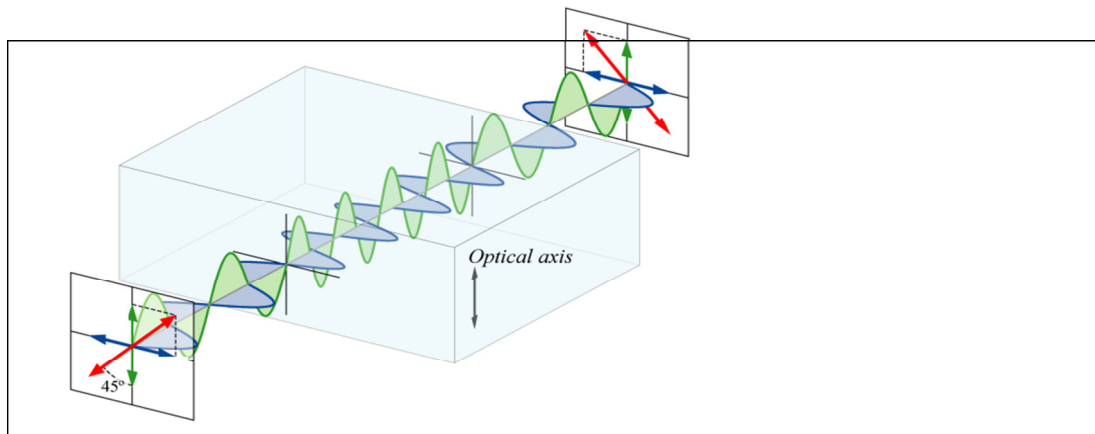


Рис. 1: схема полуволновой пластинки. Линейно поляризованный свет, входящий в волновую пластину, может быть разлагаться на две волны, параллельный (показана зеленым светом) и перпендикулярный (синий) к оптической оси волновой пластины. В пластине параллельная волна распространяется немного медленнее, чем перпендикулярная. В противоположной стороне пластины параллельная волна задерживается точно на половину длины волны, относительно перпендикулярной волны

Экспериментальная установка

На рис. 2 показана схема экспериментальной установки.

Примечание: Для оптической установки может быть использована маленькая оптическая скамья (460 43) или оптическая скамья типа S1 (460 310)

Примечания о пути луча:

- Свет, испускаемый галогеновой лампой (а), концентрируется конденсором (b) и проходит через теплостойкий фильтр, служащий для защиты оптических компонентов от нагревания
- Кроме того, может использоваться тепловой фильтр заполненный водой (на рис.-2, показан пунктирными линиями) уменьшающий инфракрасное излучение, приводящее к большому сигналу фоновое излучения, обнаруживаемого фотоэлементом.

Оптическая юстировка:

- Установите галогеновую лампу (а) с отражающим зеркалом и смонтируйте конденсор и слайдер в корпус лампы.
- Вставьте желтый светофильтр перед тепловым фильтром в слайдер.
- Установите поляризатор на оптическую скамью, $\lambda/4$ - пластину и анализатор как показано на рис. 2. Расстояние между поляризатором и галогеновой лампой должно быть приблизительно от 20 до 30 см.
- Установите кремниевый фотоэлемент сзади анализатора и скорректируйте путь светового луча так, что бы фотоэлемент хорошо освещался.
- Путем вращения подставки галогеновой лампы освещение может быть скорректировано. Получите яркое изображение спирали лампы на маленьком листке бумаги расположенной в центре кремниевого фотоэлемента (g).

Примечание: полупрозрачный экран, изображенный на Рис. 2, используется для качественного выполнения эксперимента

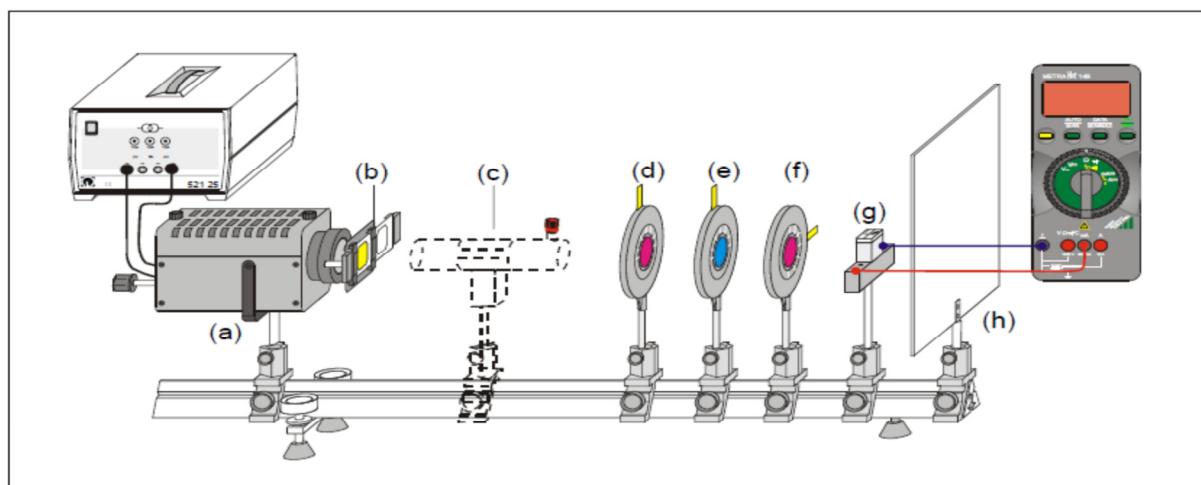


Рис. 2: Экспериментальная установка для определения типа поляризации света.

(а) галогеновая лампа, (b) слайдер с фильтрами (c) защитный фильтр от нагрева, (d) поляризатор, (e) $\lambda/4$ или $\lambda/2$ волновая пластинка, (f) анализатор, (g) Si-фотоэлемент, (h) полупрозрачный экран.

Примечания по технике безопасности

При работе избегайте перегрева фильтров.

- Не помещайте *поляризационный фильтр* непосредственно перед источником света. Используйте фильтр тепловой защиты, чтобы препятствовать повреждению полимерной пленки от перегрева.
- Не помещайте четвертьволновой или полуволновой пластинки непосредственно перед горячим источником света, чтобы не допустить перегрева фольги двойного преломления.
- Для измерения фототока соедините кремниевый фотоэлемент с помощью пар красно-синих кабелей к мультиметру.

Примечание: фототок пропорционален интенсивности света. Интенсивность света пропорциональна квадрату вектора электрического поля $I \sim E^2$.

Проведение эксперимента

а) Четвертьволновая пластинка

- Удалите четвертьволновую пластинку и установите поляризатор на нулевую позицию.
- Измерьте интенсивность света как функцию позиции анализатора в диапазоне от -90° до 90° .
- Установите четвертьволновую пластинку на оптической скамье между поляризатором и анализатором.
- Измерьте интенсивность света как функцию позиции анализатора (т.е. при углах 0° , 30° , 45° и 60°) в диапазоне от -90° до 90° .

б) Полуволновая пластинка

- Установите поляризатор в нулевую позицию.
- Установите полуволновую пластинку на оптической скамье между поляризатором и анализатором.
- Измерьте интенсивность света как функцию позиции анализатора (т.е. при углах 0° , 30° , 45°) в диапазоне от -90° до 90° .

Примечание: полуволновая пластина может быть заменена также двумя четвертьволновыми пластинками с той же ориентацией

Экспериментальный пример

В таблице 1 и в таблице 2 суммированы все результаты. Из-за неизбежного фонового сигнала инфракрасного излучения исходные данные были исправлены.

а) Четвертьволновая пластинка

Таблица 1: Измеренная зависимости тока как функция положения α анализатора для различных позиций четвертьволновой пластинки ϕ .

(Примечание: вторая колонка – измеренные значения без четверть-волновой пластинки).

Поло жение	–	0°	30°	45°	60°
α град	И нА	И нА	И нА	И нА	И нА
-90					
-80					
-70					

-60					
-----	--	--	--	--	--

а) Полуволновая пластинка

Таблица 2: Измеренная зависимости тока как функция положения α анализатора для различных позиций полуволновой пластинки ϕ .

Оценка и результаты

а) Четвертьволновая пластинка

E_0 является амплитудой вектора электрического поля, выходящий из поляризатора и ϕ угол между поляризатором и четвертьволновой пластинкой. За время t состояние колебаний двух составляющих лучей описывается выражениями:

$$E_1(t) = E_0(t) \cdot \sin \phi \cdot \sin \omega \cdot t \quad E_2(t) = E_0(t) \cdot \cos \phi \cdot \sin \omega \cdot t$$

В случае двойной преломляющей четвертьволновой пластинки толщина вызывает разность хода $\lambda/4$ (т.е. разность фаз $\pi/2$) между двумя лучами. После выхода из четвертьволновой пластинки лучи объединяются к результирующему лучу, который может быть описан параметрическими уравнениями:

$$E_1(t) = E_0 \cdot \sin \phi \cdot \sin \omega \cdot t$$

$$E_2(t) = E_0 \cdot \cos \phi \cdot \sin \omega \cdot t$$

Эти уравнение описывают вращение вектора E в направлении распространения, т.е. перпендикулярно к фиксированным осям X и Y (Рис. 1). Для углов $\phi = 0^\circ$ и $\phi = 90^\circ$ мы получаем плоско поляризованный свет, интенсивность которого после прохождения четвертьволновой пластинки определяется:

$$I = I_0 \sim$$

Это согласуется с результатами эксперимента, показанный в Рис. 3, т.е

$$I \sim \cos^2 \alpha.$$

Для угла $\phi = 45^\circ$ $\sin \phi = \cos \phi$ и значения вектора вращения E будет равно:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}.$$

Свет имеет круговую поляризацию, и его интенсивность будет равна:

$$I = \frac{I_0}{2} \sim \frac{E_0^2}{2}$$

Свет проходит без потери интенсивности во всех позициях анализатора α . Это согласуется с результатами эксперимента и показано на Рис. 4.

Во всех углах ϕ положения анализатора кроме 0° , 45° и 90° прошедший свет эллиптически-поляризован. Конец вектора E относительно оси вращения параллельно направлению распространения света и описывает эллипс с полуосями a и b :

$$E_1(t) = E_a \cdot \sin \phi \cdot \sin \omega \cdot t$$

$$E_2(t) = E_b \cdot \cos \phi \cdot \sin \omega \cdot t$$

Согласно результатам эксперимента, изображенного на Рис. 4 интенсивность света для любого угла ϕ между анализатором и четвертьволновой пластинкой (здесь, $\phi = 30^\circ$ и 60°) будет равно:

$$I \sim E^2 \cos^2 \phi \cos^2 \alpha + E^2 \sin^2 \phi \sin^2 \alpha$$

б) Полуволновая пластинка

Результаты эксперимента для полуволновой пластинки (или для двух четвертьволновых пластинок с той же ориентацией), приведены на Рис. 5.

Полуволновая пластинка производит плоско поляризованный свет. Для различных положений ϕ полуволновой пластины изменяется только плоскость. Например, если положение полуволновой пластинки изменяется приблизительно на 45° то плоскость поляризации изменяется приблизительно на 90° .

Максимальные и минимальные значения не изменены. Это есть различие от результатов эксперимента с четвертьволновой пластинкой

Дополнительная информация

Из-за дисперсии волновая пластина дает разность фаз и разность зависит от длины волны света. Волновые пластинки произведены для работы на определенный диапазон длины волны. Для волновых пластин, используемых здесь наилучшую разность фаз дает желтый свет. Из-за умеренной дисперсии в видимом участке спектра отклонения является небольшим.

Волновые пластины дадут наилучший эффект только когда свет проникает перпендикулярно. Небольшая расходимость светового луча не влияет на результаты эксперимента.

Дополнительная информация об использовании поляризатора и четвертьволнового пластинки могут быть найдены в инструкционном листе 472 60

Лабораторная работа 13 СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель эксперимента

- ☐ Исследование спектра призмой прямого видения
- ☐ Анализ спектра света, проходящего через цветные жидкости

Общие сведения

- а) Поглощение** В вакууме пучок света распространяется без каких-либо изменений его интенсивности или состояния поляризации. Вставление пластины или фильтра в луч вызывает ряд особых эффектов. Во-первых, пластина или фильтр могут преобразовать часть энергии, содержащейся в луче в другие формы энергии, такие как тепло. Это явление называют поглощением. Во-вторых, он извлекает часть падающей энергии и рассеивает её во всех направлениях в частоте падающего луча. Это явление называют упругим рассеиванием и, в целом, свет приобретает тип поляризации и направление, отличающийся от падающего луча. В результате поглощения и рассеивания, энергия падающего луча уменьшается, величине равной сумме поглощенной и рассеянной энергии. Такое уменьшение называют экстинцией. Величина экстинции для различных компонентов поляризации падающего луча могут отличаться. Это явление называют дихроизмом и он может вызвать изменение вида поляризации луча после прохождения луча через пластину или фильтр.

Коэффициент пропускания представляет собой соотношение между интенсивностью света, которая он имеет после прохождения через пластину или фильтр и исходной интенсивности света. Он выражается следующей формулой

$$T = \frac{I}{I_0}$$

где I_0 интенсивность луча падающего света и I интенсивность света, выходящего из пластины или фильтра. Коэффициент пропускания является относительным процентным показателем света, проходящего через пластину или фильтр. Таким образом, если половина света передается, мы можем сказать, что пластина или фильтр имеют 50%-й коэффициент пропускания.

Отношения между коэффициентом пропускания (Т) и поглощением (А) могут быть выражены следующей формулой:

$$A = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \right)$$

Во-первых, если пучок света соответствующей длины волны проходит через некоторой степени разбавленный раствор, то фотоны столкнутся с небольшим количеством поглощающих химических разновидностей, следовательно, мы могли бы ожидать высокий % коэффициента пропускания и низкую спектральную поглощательную способность. Также, если тот же пучок света пройдет через очень сконцентрированный раствор, то фотоны столкнутся с большим количеством поглощающих химических разновидностей, и мы могли бы ожидать низкий % коэффициента пропускания и высокую спектральную поглощательную способность. Таким образом спектральная поглощательная способность пропорциональна концентрации образца Во-вторых, если пучок света проходит через раствор более длинный путь то % коэффициента пропускания будет низкий и спектральная поглощательная способность высокой; когда луч проходит только короткий путь через раствор, будет высокий % коэффициента пропускания и низкая спектральная поглощательная способность. Эти два соображения приводят к следующей пропорциональности:

$$A \propto k \times l \times c$$

где k коэффициент пропорциональности, l длина пути и c концентрация поглощающего материала. Когда длина пути измеряется в сантиметрах, и концентрация поглощающих частиц измеряется в молярности, коэффициент пропорциональности называют молярной поглощательной способностью ϵ , и пропорциональность сводится к закону Ламберта - Беера:

$$A = \epsilon \times l \times c$$

b) Цветовая модель

Каждая цветная модель имеет свой собственный метод описания цветов. В цветной модели могут существовать различные цветовые пространства, которые содержат различную гамму. Таким образом, например, цветовая гамма sRGB в цветной модели RGB, отличается от цветовой гаммы цветной модели Adobe RGB. Также устройства отображения (мониторы, экраны телевизоров) или устройства вывода, такие как принтеры имеют свою собственную цветовую гамму в определенной цветной модели. Рассмотрите цифровое изображение на экране и затем его распечатку. Отдельные цвета могут измениться, потому что принтер использует цвета согласно своей собственной цветной модели и цветовой гамме. Цветовая модель RGB в цветной модели RGB (RGB = Красный, Зеленый, Синий) все цвета комбинируются путем сложения этих трех основных цветов, красный, зеленый и синий (RGB). Таким образом, у нас есть только 3 основных цвета для

производства любых других цветов путем смешивания их. Если мы смешиваем красный и зеленый цвета в одинаковом соотношении, получаем желтый; красный и синий цвета дают пурпурный цвет; синий и зеленый цвета дают основной голубой цвет, как показано на рисунке. Если мы смешиваем все три основных цвета, получим белый цвет; выключение всех трех основных цветов, он становится черным. Цвета, произведенные путем смешивания основных цветов, также упоминаются как смешанные цвета. Каждый из этих 3 основных цветов может иметь значение между 0 и 255. Таким образом существует в общей сложности 256 уровней для каждого из 3 цветов. Если все значения 0, результат является черным. Если все значения 255, мы получим белый. Если только один из этих 3 основных цветов 255, и другие 0, мы получим его в самой чистой форме. В графических программах основные цвета описываются цветными каналами, в которых хранится цветная информация изображения. Путем умножения всех 256 цветных оттенков через эти три основных цвета, красный, зеленый и синий ($256 \times 256 \times 256$) могут быть созданы в общей сложности 16,7 миллионов теоретически возможных цветных градаций.

Цветовая модель CMYK. Основа для цвета в CMYK Голубой, Пурпурный, Желтый и Черный. К для черного относится к ключевой пластине, черной печатной пластины. Струйные и цветные лазерные принтеры обычно работают с цветами CMYK. Смешивание жидких цветов называют субтрактивным цветным смешиванием. Субтрактивное смешение цветов происходит, когда самосветящееся тело не вызывает цветовое впечатление. При субтрактивном смешении цветов цвет образуется после того как, например, цветной пигмент в теле или фильтре поглощает цветной компонент в падающем свете, и остающийся свет падает на экран. Желтый цвет, например, не получается путем аддитивного смешения основных цветов зеленого и красного в цветной модели RGB, но получится путем смешения субтрактивных цветов. Красные и зеленые компоненты вычитаются, так что желтый остаётся,

Если мы фильтруем все зеленые компоненты белого солнечного света, остается пурпурный цвет. Фильтрация всех синих компонентов, приводит к желтому цвету. Из этих трех цветов устанавливается CMYK (голубая, пурпурная, желтая) цветовая модель. . Полный спектр цветов получается путем смешивания этих трех основных цветов в различных оттенках.

с) *призма прямого зрения* Падающий свет на поверхности призмы преломляется, поскольку он проходит через поверхность. Коэффициент преломления среды зависит от длины волны или частоты падающего света, такая зависимость называется дисперсией. Большинство веществ преломляет свет короткой длины волны больше, чем свет длинной длины волны - синий свет преломляется больше, чем красный. Таким образом призма разделяет луч падающего света в зависимости от длины волны. Особенно для спектроскопии подходят так называемые призмы прямого видения. Они состоят из трех или пяти призм с различными коэффициентами преломления, устроенных один позади другого. Типичная комбинация была бы, например, флинтглас, кронглас, флинтглас

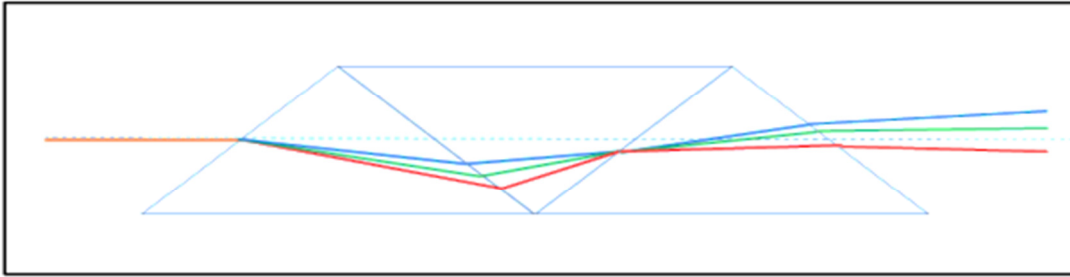


Рис. 1: Принцип призмы прямого зрения

Преимуществом призмы прямого зрения является простота обработки и что свет определенной длины волны параллелен лучу падающего света и оси призмы. Принцип призмы прямого зрения показан на Рис. 1, где зеленый свет почти параллелен падающему свету.

Эксперименты

Для визуализации и измерения свойств спектров поглощения цветных жидкостей представлены следующие эксперименты:

Эксперимент 1: В этом эксперименте исследуется спектр спектра прямого зрения.

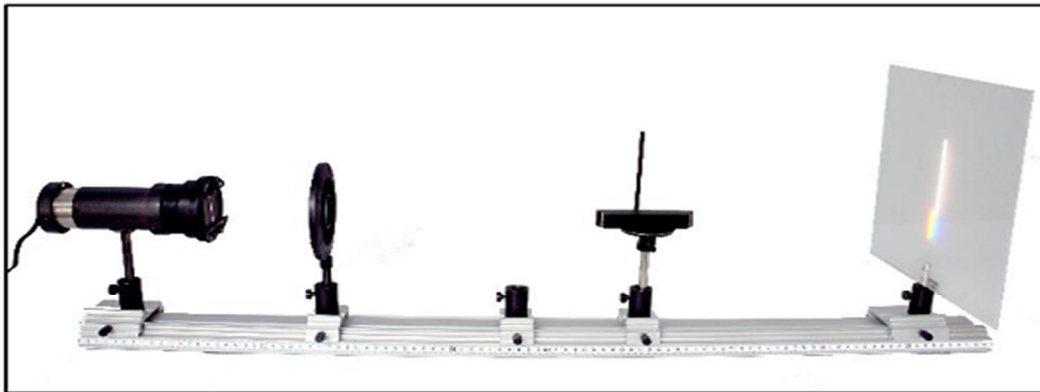


Рис 2: Установка для анализа спектра света.

Установка на скамье: Оптическая скамья, S1 профиль, 1 м , Фиксируемый рейдер с зажимом , Фиксируемый рейдер с зажимом, 45/35 , Трансформатор, 6/12 В , Корпус для лампы с кабелем , Лампы, 6 В/30 Вт, E14, 2 комп. Конденсор с держателем диафрагмы , Линза в оправе, $f=100$ мм , Держатель с пружинными скрепками , Призменный стол , Призма прямого зрения , Экран, просвечивающий , Сначала вставьте лампу 6 В / 30 Вт в корпус лампы.

Впередней части лампы установите конденсатор с держателем диафрагмы так, чтобы держатель был вертикальным, как показано на рис. 3. Затем вставьте пластину со щелью в держатель.



Рис.2: Лампа с конденсором и держатель диафрагмы

Поместите лампу в самую левую позицию на скамье. В другом конце помещается просвечивающий экран, как показано на Рис.4. Теперь позади лампы поместите линзу в оправе ($f=100$ мм). Двигайте линзу так, чтобы яркий образ разреза был показан на просвечивающем экране. Заметьте, что каждый оптический компонент находится на той же высоте. Рабочая конфигурация была реализована со следующими расстояниями: корпус лампы - держатель линзы: 19 см. Держатель линзы - держатель экрана: 49 см. Следующий шаг установка призмы прямого видения в световой луч. Поэтому установите призменный стол перед просвечивающим экраном. Держатель призменного стола – держатель экрана: 23 см. Теперь положите призму прямого видения на призменный стол так, чтобы падающий свет попадал на первую поверхность, как показано на Рис. 3. Обратите внимание на то, что ось призмы должна быть параллельна лучу.

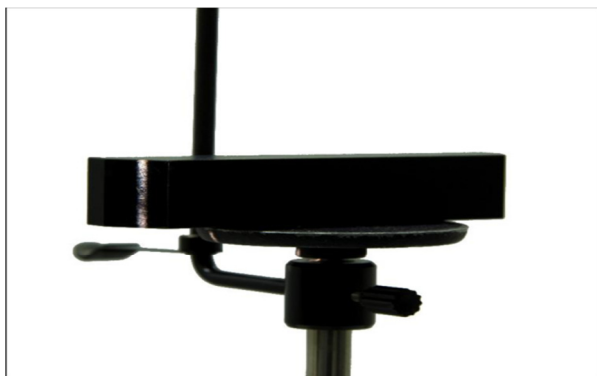


Рис.3: Падающий свет попадает в середину первой поверхности первой призмы.

Для одновременного наблюдения прямого света и спектра на экране призменный стол необходимо опустить. Верхняя половина луча должна проходить над призмой, нижняя половина луча должна проходить через призму. Результат показан на Рис. 4

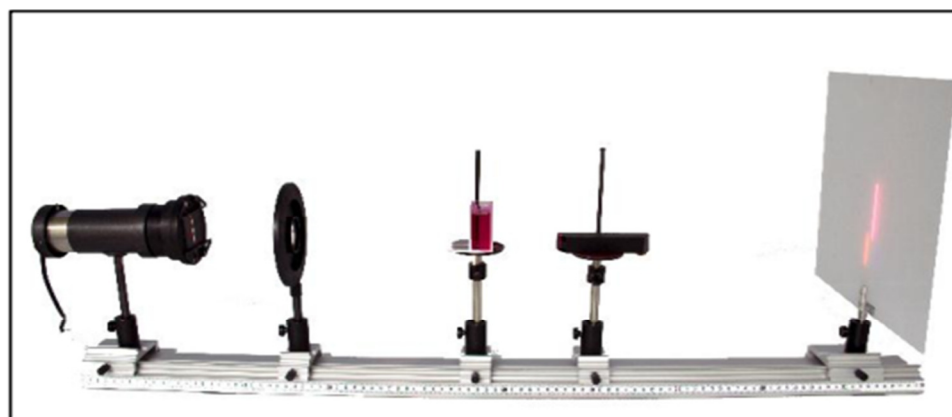


Рис. 4: Установка для исследования спектров цветных жидкостей.

Установка на скамье: Оптическая скамья, S1 профиль, 1 м , Фиксируемый рейдер с зажимом , Фиксируемый рейдер с зажимом, 45/35 , Трансформатор, 6/12 В , Корпус для лампы с кабелем , Лампы, 6 В/30 Вт, Е14, 2 комп. Конденсор с держателем диафрагмы , Линза в оправе, $f=100$ мм , Призменный стол , Призменный стол , Посуда из зеркального стекла (кювета), Призма прямого видения , Экран, просвечивающий , Фуксин, 250 г

Приготовление цветной жидкости Приготовление красно-фиолетового раствора красителя с фуксином: Для получения красно-фиолетового раствора в мензурку сыпается щепотка фуксина и заполняют её приблизительно 50 мл водой. Раствор взбалтывают, до растворения краски полностью. Если раствор становится слишком слабой или слишком красный, желаемый цвет может быть достигнут путем добавления большего количества фуксина или разбавлением водой. На Рис. 5 показан цвет рабочего раствора красителя. Установка для этого эксперимента совпадает с установкой в первом эксперименте. Кроме того, в этой установке второй призменный стол помещается между линзой и призмой, как показано на Рис. 5. Теперь можно заполнить кювету цветной жидкостью и положить кювету на призменный стол. Фиксируйте кювету с пружинной скрепкой. Существуют возможные положения для кюветы: Поперечное и продольное, как показано на Рис. 5 и 6.

Эксперимент 2: В этом эксперименте исследуются спектры цветных жидкостей.

В обоих спектрах зеленый отсутствует, а цвет результата - пурпурный. Дополнительный цвет поглощается, и все остальные цвета передаются. Для продольного положения поглощается больше голубого света, а результат краснее. Синяя часть спектра почти не видна из-за чувствительности камеры

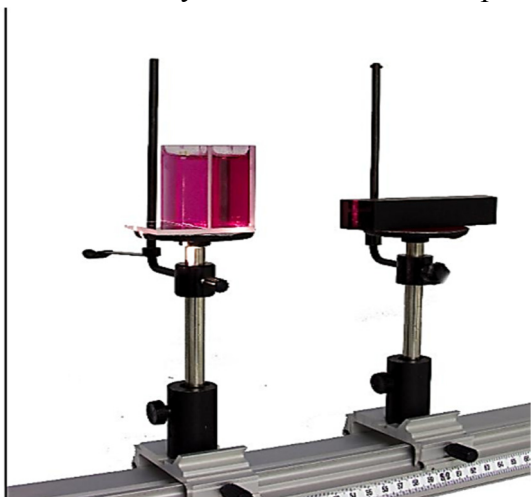


Рис. 5: Красно-фиолетовый раствор красителя с фуксином в поперечном положении



Рис. 6: Красно-фиолетовый раствор красителя с фуксином в продольном положении.

Уборка и утилизация Утилизация отходов регулируется по-разному в разных регионах и, следовательно, вид захоронения следует запрашивать в компетентных органах.

Приложения:

Аппаратура

1 Призма прямого видения , Посуда из зеркального стекла (кювета), 50 x 50 x 20 mm , Призменный стол , Корпус для лампы с кабелем , Лампы, 6 В/30 Вт, E14, 2 комп. , Конденсор с держателем диафрагмы , Трансформатор, 6/12 В , Экран, просвечивающий , Линза в оправе, $f=100$ мм , Оптическая скамья, S1 профиль, 1 м , Фиксируемый рейдер с зажимом , Фиксируемый рейдер с зажимом, 45/35 , Фуксин, 250 г

ЗАКОН СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА: ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ “ ЧЕРНОГО ТЕЛА”

Цель работы

Проведение относительных измерений интенсивности излучения в электрической печи с аксессуарами «черного тела» в интервале температур 300–750 К с использованием термоэлемента Молла.

Построение графика зависимости интенсивности излучения и абсолютной температуры для проверки закона Стефана-Больцмана.

Необходимые приборы и принадлежности

1 Электрическая печь, 230 В , Аксессуары абсолютного черного тела . . . 389 43 1
 Принадлежности электрической печи. , Цифровой термометр с одним открытым входом ,Сенсор температуры, NiCr-Ni ,Термоэлемент Молла. , Микровольтметр. , Маленькая оптическая скамья ,Большой V-образный штатив. ,Мультизажимы лейболд. , Универсальный фиксатор S ,Указание по соединению *Дополнительно рекомендуется:*
 Иммерсионный жидкостной насос , Силиконовые трубы, внутренним диаметром 7×1.5 мм, 1 м , Сосуд для воды объемом приблизительно 10 л

Принцип работы

Все тела излучают тепло. Интенсивность этого теплового электромагнитного излучения увеличивается с повышением температуры тела и также зависит от поверхности этого тела. При данной длине волны, тело, чем больше тепло излучает, тем лучше оно может поглотить это излучение.

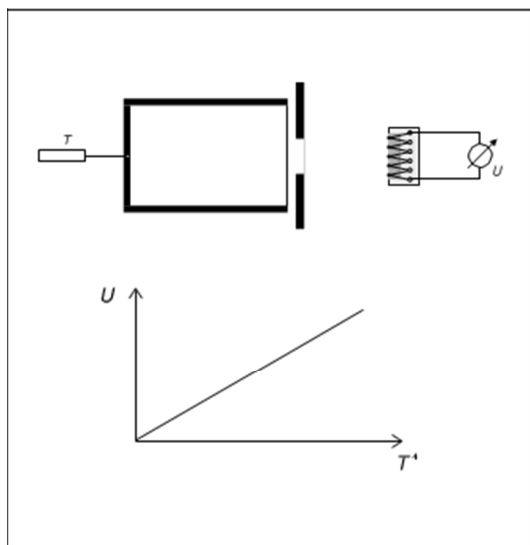
Тело, полностью поглощающее тепловое излучение всех длин волн, называют *абсолютно черным телом*. Именно *Кирхгофф* первым предложил использовать замкнутую полость в качестве виртуального абсолютного черного тела. Абсолютно черное тело имеет самый большой коэффициент поглощения, и таким образом, при данной температуре и длине волны, максимально возможную излучаемость

Закон Стефана-Больцмана утверждает, что общее испускаемое излучение абсолютно черного тела увеличивается пропорционально четвертой степени абсолютной температуры T . Более точно светимость источника излучения M , т.е. общая мощность, излученная на одной стороне поверхности в отношении области излучаемой поверхности, определяется как

$$M = a T^4$$

(*постоянная Стефана-Больцмана*)

В тоже время, абсолютно черное тело поглощает излучение от окружающей среды. Таким образом, мы не измеряем общую светимость M излученную источником излучения, а скорее светимость M' источника излучения



полученную от абсолютно черного тела излучением. Светимость излучения поглощенного от окружающей среды равно

Таким образом, мы не измеряем общую светимость M излученную источником излучения, а скорее светимость M' источника излучения полученную от абсолютно черного тела излучением. Светимость излучения поглощенного от окружающей среды равно

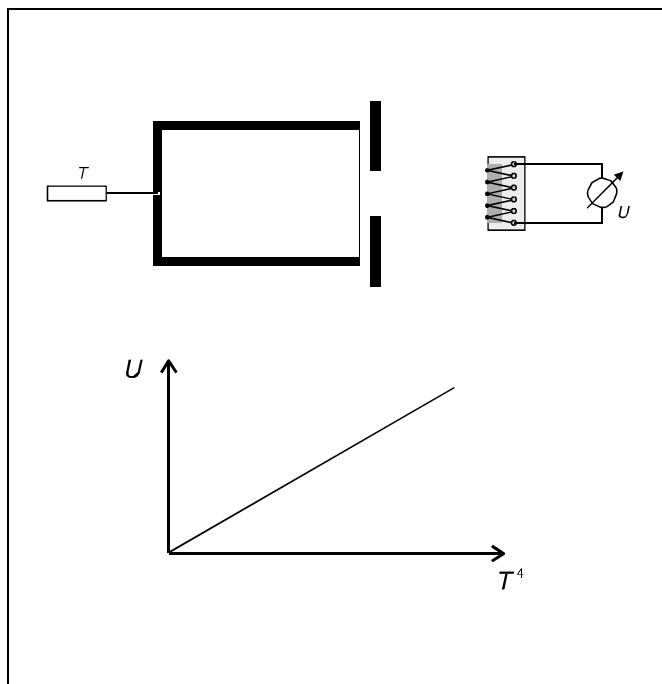
$$M_0 = a \cdot T_0^4 \quad (II)$$

Поэтому можно написать

$$M' = a \cdot (T^4 - T_0^4) \quad (III).$$

В этом эксперименте в качестве «абсолютного черного тела» используется электрическая печь. Аксессуар абсолютного черного тела состоит из полированного медного цилиндра и экрана. Медный цилиндр, которого изолирован с одного конца, вдвигают в электрическую печку и нагревают до желаемой температуры. Экран, который может быть охлажден водой при необходимости, может устанавливаться перед электрической печкой, так, чтобы только можно было измерить тепловое излучение полированного цилиндра, а не излучение внешней стены горячей печки. Температурный датчик NiCr-Ni используется для измерения температуры в медном цилиндре.

Тепловое излучение измеряется с использованием термоэлемента Молла которое соединено микро-вольтметром. Термоэлемент состоит из соединенных в серии термопар. Измеряющиеся точки поглощают падающее излучение почти полностью, в то время как точки сравнения находятся при температуре окружающей среды. Мы можем таким образом взять выходное напряжение термоэлектрической батареи как относительная мера светимости источника излучения M' .



Экспериментальная установка

Примечания:

Измеряемая интенсивность является очень низкой и поэтому она чрезвычайно

чувствительна к интерференции излучения от окружающих тел: Никогда не касайтесь термоэлектрической батареи рукой во время измерений. Не работайте близко к термоэлектрической батарее, и особенно перед ней. Избегайте изменений температуры комнаты во время эксперимента. Избегайте вмешательства других источников излучения; при необходимости, экранируйте установку картоном. Затемните комнату при необходимости.

Примечания по технике безопасности

Имеется опасность ожогов: внешняя стена электрической печи может превысить 200 °C.

- Избегайте обжечь кожу об горячую электрическую печку.
- Применяйте на электрической печи только ее принадлежности.
- Полностью прочитайте Лист Инструкции по уходу за электрической печью и соблюдайте все инструкции.

Вода, проникающая через двигатель иммерсионного насоса, может вызвать короткое замыкание.

- Не превышайте иммерсионную глубину 17 см.
- Не переворачивайте влажный иммерсионный насос после работы.
- Тщательно прочитайте лист инструкции для иммерсионного насоса и соблюдайте все инструкции.

Интерференция излучения может быть вызвана:

прямым излучением тепла от термоэлектрической батареи, отражением излучения от отражающих поверхностей (например: одежда светлого цвета), теплоотводы, солнечный свет и другие источники света.

Дайте микровольтметру нагреться в течение 10 минут прежде, чем начинать эксперимент. Включите микровольтметр в электросеть, с помощью главного выключателя находящегося на задней части устройства. На Рис. 1 показана экспериментальная установка.

При использовании водяного охлаждения:

- Присоедините силиконовую трубку к иммерсионному насосу и экрану так, чтобы приток был в нижнем соске шланга, и отток в главном соске шланга экрана.
- Заполните сосуд водой и прикрепите иммерсионный насос к опрае водяного сосуда с использованием монтирующего зажима так, чтобы входное отверстие было полностью погружено, и максимальная иммерсионная глубина не превышала 17 см (см. Рис. 2; обратитесь к Листу Инструкции для другой возможности монтажа).
 - Удалите стеклянное окно термоэлектрической батареи.
 - Соедините температурный датчик NiCr-Ni с цифровым термометром и вставьте его в небольшое центральное отверстие в полированном медном цилиндре, как можно глубже.
 - Смонтируйте температурный датчик на месте с универсальным зажимом S и включите цифровой термометр (измеряющий диапазон > 200 °C).
 - Выровняйте открытый конец электрической печи, экрана комплекта абсолютного черного тела и термоэлектрической батареи так, чтобы лучистая теплота непосредственно падала в открытую термоэлектрическую батарею.
 - При использовании водяного охлаждения используйте иммерсионный насос.

- Соедините термоэлектрическую батарею с микровольтметром как показано на Рис. 1 (измеряющий диапазон 10^{-4} В); удостоверьтесь, что красное гнездо на термоэлектрической батарее связано с красным гнездом на микровольтметре.
- Компенсируйте смещение путем нажима кнопки “авто компенсация”; при необходимости, выполните точную настройку с помощью потенциометра для обнуления цифрового дисплея (см. лист инструкции для микровольтметра).

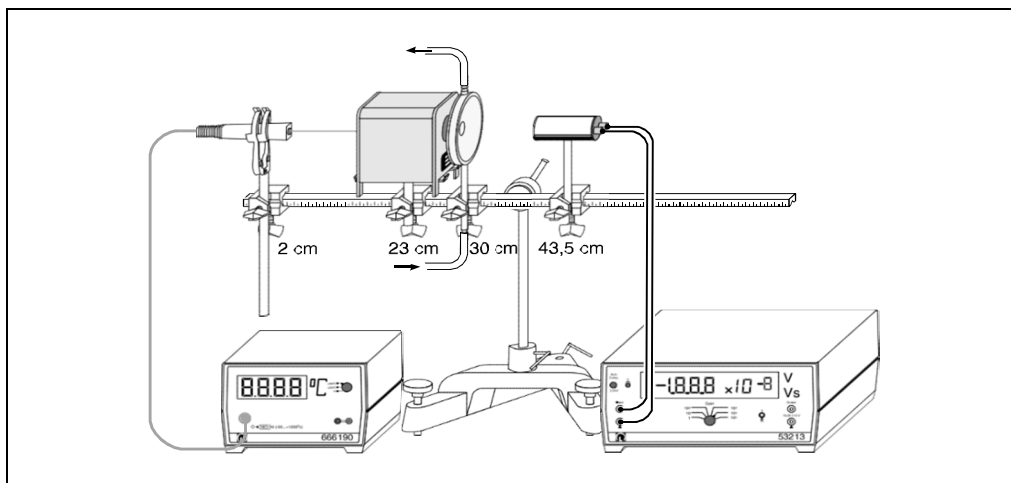


Рис. 1: Экспериментальная установка для подтверждения закона теплового излучения Стефана-Больцмана.

Координаты или расстояние до позиции считается от левой стороны мультифункциональных зажимов Leybold по малой оптической скамье

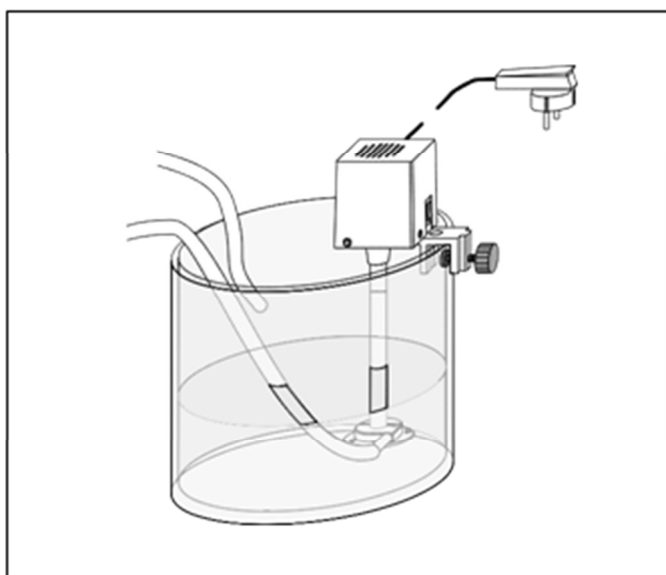


Рис. 2: Пример установки иммерсионного насоса в водяном сосуде

Проведение экспериментов

Во-первых:

- Измерьте температуру μ медного цилиндра и начальное выходное напряжения U термоэлектрической батареи и напишите эти значения в Вашем журнале эксперимента.

Затем:

- Включите электрическую печь и при каждом повышении температуры на 25°C

- запишите измеренные значения n и U в Вашем журнале эксперимента.
- Когда температура достигает уровня между 400 °C и 500 °C:
- Выключите электрическую печь; и при каждом уменьшения температуры на 25 °C запишите измеренные значения n и U в Вашем журнале эксперимента.
 - Когда температура достигнет уровня между 100 °C и комнатной температурой, удалите температурный датчик из электрической печи, измерьте комнатную температуру и напишите это значение в Вашем журнале эксперимента.
 - Заэкранируйте термоэлектрическую батарею темным картоном, проверьте нулевое показание вольтметра и напишите это значение в Вашем журнале эксперимента.

Пример измерений и оценки

Таблица 1. Измеренные значения при нагревании и охлаждении

$\frac{n}{^{\circ}\text{C}}$	$\frac{T}{\text{K}}$	$\frac{T^4 - T_0^4}{\text{K}^4}$	$\frac{U_{\uparrow}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{\downarrow}}{\text{mV}}$
24	297		5	
50	323		4	
75	348		3	
100	373			

1. Основная литература:

2. Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6th edition January 17, 2004 USA
3. Raymond A. Serway, John W. Jewett. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Cengage Learning; 9 edition (January 17, 2013), Brooks/cole 20 Channel Center Street Boston, MA 02210 USA.
4. А. Гаибов, О.Химматкулов. Физика. (нашриётда)
5. Sultanov N. Fizika kursi. Darslik, T: Fan va Texnologiya, 2007
6. Абдурахмонов К.П., Эгамов Ў. Физика курси. Дарслик –Тошкент, 2010
7. Трофимова Т.И. Курс физики. Учебник. -М.: «Академия», 2007
8. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. Учебник -М.: “Академия”, 2007
9. Майсова В.В. Практикум по курсу общей физики. Учебник -М.: Наука, 1995

ИНТЕРНЕТ САЙТЫ

1. www.ziyounet.uz;
2. www.fizika.uz ;
3. www.bilim.uz;
4. www.phys.ru.
5. www.google.ru .
6. WWW.My.estudy.uz
7. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/p_index_e_k.html

