

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области
Областное государственное автономное
профессиональное образовательное учреждение
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено
цикловой комиссией
Протокол заседаний № 1
от «31» августа 2020г.
Председатель цикловой комиссии
_____ Чобану Л.А.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине

ЕН.03 Физика

по специальности

**10.02.04 Обеспечение информационной безопасности
телекоммуникационных систем**

Разработчик
Преподаватель
Белгородский индустриальный
колледж
Гордеева А.Е.

Белгород 2020 г

Содержание		Стр.
1	Пояснительная записка	2
1.1	Краткая характеристика дисциплины, её цели и задачи. Место лабораторных работ в курсе дисциплины	2
1.2	Организация и порядок проведения лабораторных работ	2
1.3	Общие указания к выполнению лабораторных работ	2
1.4	Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ	3
2.	Тематическое планирование лабораторных работ	5
3.	Содержание лабораторных работ	7
Тема 1.1	Элементы механики твердого тела, жидкости и газа Лабораторная работа № 1 Изучение равновесия тела под действием нескольких сил	8
Тема 2.1	Основы молекулярно-кинетической теории Лабораторная работа № 2: Оценка размеров молекул растительного масла	13
Тема 2.2	Основы термодинамики Лабораторная работа № 3: Измерение удельной теплоты плавления льда	16
Тема 2.2	Агрегатное состояние вещества Лабораторная работа № 4 Изучение особенностей перехода из твердого агрегатного состояния в жидкое для кристаллических и аморфных тел Лабораторная работа № 5 Определение коэффициента линейного расширения твёрдого тела	18 22
Тема 3.1	Электростатика. Постоянный ток Лабораторная работа № 6 Определение коэффициента полезного действия электрического чайника Лабораторная работа № 7 Определение температурного коэффициента сопротивления меди	29 34
Тема 3.2	Электрический ток в различных средах Лабораторная работа № 8: Изучение термоэлектричества Лабораторная работа № 9: Определение заряда электрона Лабораторная работа № 10 Определение чувствительности селенового фотоэлемента	32 37 40
Тема 3.3	Магнетизм Лабораторная работа № 11: Наблюдение действия магнитного поля на ток Лабораторная работа № 12 Определение индуктивности магнитного поля постоянного магнита	43 45
Тема 3.4	Переменный ток Лабораторная работа № 13 Определение коэффициента самоиндукции соленоида Лабораторная работа № 14 Изучение устройства и принцип работы трансформатора	50 53
Тема 4.1	Геометрическая оптика Лабораторная работа № 15 Определение главного фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы	57
4	Информационное обеспечение обучения	62

1. Пояснительная записка

1.1. Краткая характеристика ЕН.03 Физика, её цели и задачи. Место лабораторных работ в курсе Ен.03 Физика.

Дисциплина ЕН.03 Физика является частью рабочей основной образовательной программы в соответствии в ФГОС по специальности СПО 10.02.04 Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем.

Дисциплина изучается в IV семестре. В целом рабочей программой предусмотрено 30 часов на выполнение лабораторных работ, что составляет 52 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 58 часов, при этом максимальная нагрузка составляет 76 часа, из них 4 часа приходится на самостоятельную работу обучающихся.

Цель настоящих методических рекомендаций: оказание помощи обучающимся в выполнении лабораторных работ по дисциплине ЕН.03 Физика качественное выполнение которых поможет обучающимся освоить обязательный минимум содержания дисциплины и подготовиться к промежуточной аттестации в форме экзамена.

1.2. Организация и порядок проведения лабораторных работ

Лабораторные работы проводятся после изучения теоретического материала. Введение лабораторных работ в учебный процесс служит связующим звеном между теорией и практикой. Они необходимы для закрепления теоретических знаний, а также для получения практических навыков и умений. При проведении лабораторных работ задания, выполняются студентом самостоятельно, с применением знаний и умений, усвоенных на предыдущих занятиях, а также с использованием необходимых пояснений, полученных от преподавателя. Обучающиеся должны иметь методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, конспекты лекций, измерительные и чертежные инструменты, средство для вычислений.

1.3. Общие указания по выполнению лабораторных работ

Курс лабораторных работ по дисциплине ЕН.03 Физика предусматривает проведение 15 работ, посвященных изучению:

- основные экспериментальных фактов; понятий, методов физической науки;
- законов равновесия и перемещения тела;
- законов молекулярной физики и термодинамики; электричества и магнетизма; геометрической оптики;
- связи физики и техники;
- универсальности важнейших законов сохранения в физике, диалектический характер физических явлений, физических теорий и соотношения роли теории и опыта в развитии физики; роль практики в познании;
- физических основ главных направлений научно-технического прогресса - энергетики, электронно-вычислительной техники, автоматизации и механизации.

При подготовке к проведению лабораторной работы необходимо:

- ознакомиться с лабораторным оборудованием;
- ознакомиться с порядком выполнения работы, установить диапазон изменения всех измеряемых величин, а также значение уставок (по заданию).

После выполнения лабораторной работы обучающийся к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название лабораторной работы, ее цель;
- краткие, общие сведения об изучаемом лабораторном оборудовании;
- необходимый графический материал, указанный преподавателем при выполнении лабораторной работы (принципиальная схема лабораторной установки, графики);

- данные, полученные непосредственно из проводимых опытов;
- результаты обработки данных опытов с необходимыми пояснениями;
- графический материал, отображающий полученные в ходе опытов значения измеряемых величин;
- оценку результатов испытаний.

При работе в лаборатории необходимо руководствоваться инструкциями по технике безопасности, учитывающими все специфические особенности лаборатории, такие как наличие высокого напряжения, легкодоступных для прикосновения токоведущих частей электрооборудования.

В лаборатории нельзя находиться в отсутствие преподавателя или лица, ответственного за технику безопасности.

При нахождении в лаборатории следует находиться в рабочей зоне, указанной преподавателем. С самого начала необходимо убедиться в том, что испытательный стенд находится в полностью обесточенном (отключенном) состоянии.

Перед выполнением лабораторной работы необходимо получить вводные инструкции преподавателя и внимательно ознакомиться с описанием лабораторного стенда и оборудованием.

Внимание! Включать лабораторные установки и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!

При обнаружении признаков неисправности, таких как: появление искрения, дыма, специфического запаха, аномальных показаний измерительных приборов, следует немедленно отключить все источники электроэнергии и сообщить о случившемся преподавателю.

При возникновении реальной опасности травматизма для одного или нескольких присутствующих, участники испытания должны произвести срочное отключение лаборатории от всех источников электроэнергии. Лаборатории должны иметь средства пожаротушения и оказания первой медицинской помощи. На первом занятии изучаются правила техники безопасности и проводится вводный инструктаж с последующей проверкой его усвоения, о чем свидетельствует запись в журнале по технике безопасности кабинета/лаборатории, подписываемый преподавателем, проводившем инструктаж, и всеми обучающимися.

1.4. Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ

Критериями оценки результатов работы обучающихся являются:

- уровень усвоения обучающимся учебного материала;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных и профессиональных компетенций:
 - ОК 01. Описывать и объяснять физические явления и свойства тел, делать выводы на основе экспериментальных данных;
 - ОК 02. Приводить примеры практического использования физических знаний;
 - ОК 03. Применять полученные знания для решения физических задач; планировать свое профессиональное развитие с использованием полученных знаний;
 - ОК 09. Делать выводы на основе экспериментальных данных; информационные технологии для поиска и решения профессионально значимых задач
- обоснованность и четкость изложения материала;
- уровень оформления работы.
- анализ результатов.

Критерии оценивания лабораторной работы

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена в полном объеме, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допуская ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

2. Тематическое планирование лабораторных работ

	Наименование тем	Вид и название работы студента	Количество часов на выполнение работы
Раздел 1	Механика		2
Тема 1.1	Элементы механики твердого тела, жидкости и газа	Лабораторная работа №1 Изучение равновесия тела под действием нескольких сил.	2
Раздел 2	Молекулярная физика и термодинамика		8
Тема 2.1	Основы молекулярно-кинетической теории	Лабораторная работа №2 Оценка размеров молекул растительного масла	2
Тема 2.2	Основы термодинамики	Лабораторная работа №3 Измерение удельной теплоты плавления льда	2
Тема 2.3	Агрегатное состояние вещества	Лабораторная работа №4 Изучение особенностей перехода из твердого агрегатного состояния в жидкое для кристаллических и аморфных тел Лабораторная работа №5 Определение коэффициента линейного расширения твёрдого тела	4
Раздел 3	Электродинамика		18
Тема 3.1	Электростатика. Постоянный ток	Лабораторная работа №6 Определение коэффициента полезного действия электрического чайника Лабораторная работа №7 Определение температурного коэффициента сопротивления меди	4
Тема 3.2	Электрический ток в различных средах	Лабораторная работа №8 Изучение термоэлектричества Лабораторная работа №9 Определение заряда электрона Лабораторная работа №10 Определение чувствительности селенового фотоэлемента	6
Тема 3.3	Магнетизм	Лабораторная работа № 11 Наблюдение действия магнитного поля на ток Лабораторная работа №12 Определение индуктивности магнитного поля постоянного магнита.	4
Тема 3.4	Переменный ток	Лабораторная работа №13 Определение коэффициента самоиндукции соленоида Лабораторная работа №14 Изучение устройства и принцип работы трансформатора	4
Раздел 4	Оптика		2

Тема 4.1	Геометрическая оптика	Лабораторная работа №15 Определение главного фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы	2
	Итого		30

3. Содержание лабораторных работ

Подготовка к проведению и организации лабораторных работ

Лабораторные работы преследуют цель закрепления теоретических знаний, полученных во время теоретических занятий; они способствуют выработке у студентов навыков и умений самостоятельной работы с измерительными приборами, проведении необходимых расчетов, оперированию необходимыми формулами.

При выполнении лабораторных работ предъявляются следующие требования:

- выполнять работы необходимо по схеме предложенной в предисловии;
- в разделе «Порядок выполнения» записать формулу закона, согласно которой выполняется работа, и получить из нее рабочую формулу для выполнения данной лабораторной работы;
- в таблицу результаты вычислений необходимо записывать аккуратно и соблюдая единицы измерения;
- после таблицы записать вычисления, производимые для нахождения всех требуемых неизвестных;
- вычисления производить с точностью до 2-х значащих цифр после запятой, например число 0,00000034256 необходимо записать как $3,43 \cdot 10^{-7}$;
- произвести вычисление относительной погрешности.

Выполнение лабораторных работ связано с измерением физических величин и последующей обработкой результатов. Измерение, при котором данная физическая величина непосредственно сравнивается с соответствующей единицей измерения, называется *прямым измерением*. Измерение, при котором измеряются какие-либо связанные с данной физической величиной другие величины, а числовое значение ее находится по формуле, называется *косвенным измерением*.

Ошибки (погрешности), возникающие при измерениях, объясняются несовершенством методов измерения, погрешностями измерительных приборов, условиями опыта. Для исключения случайных ошибок и повышения степени точности необходимо производить как можно больше опытов по нахождению искомой величины. Истинным значением искомой величины является среднее арифметическое значение этой величины в ваших опытах. Оно может отличаться от табличного значения как объективно (независящие от нас), так и субъективно (зависящие от нас).

Погрешность измерения – это оценка полученной ошибки при измерении.

- Среднее $d_{cp} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n}$ арифметическое всех измерений (сложить все измеренные величины и разделить на количество произведённых измерений);
- Абсолютная величина разности между средним значением измеряемой величины и результатом отдельного измерения называется *абсолютной погрешностью* $\Delta d_n = |d_{cp} - d_{cp}|$;

Чтобы найти среднюю абсолютную погрешность, нужно сложить все абсолютные погрешности отдельных измерений и полученный результат разделить на число слагаемых $\Delta d_{cp} = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2 + \Delta d_3 + \dots + \Delta d_n}{n}$;

Окончательный ответ записывается в виде: $d = d_{cp} \pm \Delta d_{cp}$

- *Относительной погрешностью* называется число, показывающее, какую долю (в процентах) от измеряемой величины составляет абсолютная погрешность

$$\varepsilon = \frac{\Delta d_{cp}}{d_{cp}} \cdot 100\%$$

- Во многих случаях измерение считается удовлетворительным, если его относительная погрешность не превышает 5%.

Говоря о погрешностях, нельзя не рассмотреть погрешности приборов, с помощью которых производят измерения величин.

Абсолютные инструментальные погрешности

средств измерения

Средства измерения	Предел измерения	Цена деления	Абсолютная инструментальная погрешность
Линейка ученическая чертёжная	До 50 см	1 мм	±1 мм
Весы учебные	200 г	-	±0,01 г
Секундомер	0-30 мин	0,2	±1 с за 30 мин
Штангенциркуль	150 мм	0,1мм	±0,05 мм
Микрометр	25 мм	0,01мм	±0,005 мм
Термометр лабораторный	0-100 ⁰ С	1 ⁰ С	±1 ⁰ С
Амперметр школьный	2 А	0,1 А	±0,05 А
Вольтметр школьный	6 В	0,2 В	±0,15 В

Для определения абсолютной инструментальной погрешности прибора надо знать его класс точности. Класс точности g прибора показывает, сколько процентов составляет абсолютная инструментальная погрешность от всей шкалы прибора.

Класс точности указывается на шкале прибора или в его паспорте (знак % при этом не пишется). Существуют следующие классы точности электроизмерительных приборов: 1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Зная класс точности прибора (γ_{np}) и всю шкалу (A_{max}), определяют абсолютную погрешность измерения физической величины этим прибором:

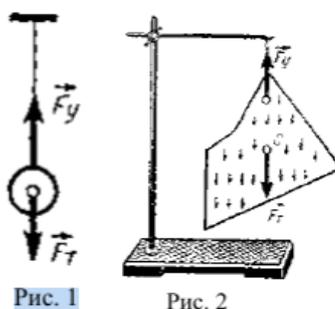
$$\Delta_n A = \frac{\gamma_{np} A_{max}}{100}.$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Изучение равновесия тела под действием нескольких сил

Цель работы: убедиться в правильности первого и второго условий равновесия.

Теория: Основным признаком взаимодействия тел в динамике является возникновение ускорений. Однако часто бывает нужно знать, при каких условиях тело, на которое действует несколько различных сил, не движется с ускорением. Подвесим шар на нити. На шар действует сила тяжести, но не вызывает ускоренного движения к Земле. Этому препятствует действие равной по модулю и направленной в противоположную сторону силы упругости. Сила тяжести и сила упругости уравниваются друг друга, их равнодействующая равна нулю, поэтому равно нулю и ускорение шара (рис.1).



Точку, через которую проходит равнодействующая сил тяжести при любом расположении тела, называют центром тяжести (рис. 2). Раздел механики, изучающий условия равновесия сил, называется статикой. Абсолютно твердым телом называют тело, расстоянием между любыми двумя точками которого неизменно. Равновесие не вращающихся тел.

Равномерное прямолинейное поступательное движение тела или его покой возможны только при равенстве нулю геометрической суммы всех сил, приложенных к телу. Таким образом, не вращающееся тело находится в равновесии, если геометрическая сумма сил, приложенных к телу, равна нулю.

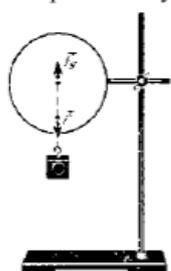


Рис. 3

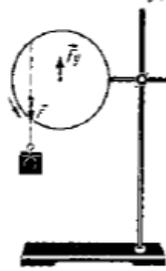


Рис. 4

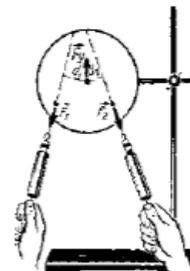


Рис. 5

Первое условие равновесия твердого тела: если его тело находится в равновесии, то геометрическая сумма внешних сил, приложенных к нему, равна нулю: $F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = 0$ (1)

Равновесие тел, имеющих ось вращения. В повседневной жизни и технике часто встречаются тела, которые не могут двигаться поступательно, но могут вращаться вокруг оси. Примерами таких тел могут служить двери и окна, колеса автомобиля, качели и т. д. Если вектор силы F лежит на прямой, пересекающей ось вращения, то эта сила уравнивается силой упругости $F_{упр}$ со стороны оси вращения (рис. 3). Если же прямая, на которой лежит вектор силы F , не пересекает ось вращения, то эта сила не может быть уравновешена силой упругости со стороны оси вращения, и тело поворачивается вокруг оси (рис. 4).

Вращение тела вокруг оси под действием одной силы F_1 может быть остановлено действием второй силы F_2 . Опыт показывает, что если две силы F_1 и F_2 по отдельности вызывают вращение тела в противоположных направлениях, то при их одновременном действии тело находится в равновесии, если выполняется условие: $F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$ (2)

где d_1 и d_2 — кратчайшие расстояния от прямых, на которых лежат векторы сил F_1 и F_2 (линии действия сил), до оси вращения (рис. 5). Длину перпендикуляра d , опущенного из оси вращения на линию действия силы, называют плечом силы.

Моментом силы относительно оси вращения тела называется взятое со знаком «плюс» или «минус» произведение модуля силы на ее плечо.

Момент силы F обозначается буквой M :

$$M = \pm F \cdot d \quad (3)$$

Будем считать момент силы F положительным, если в отсутствие других сил она может вызвать поворот тела против часовой стрелки, и отрицательным, если F при тех же условиях может повернуть тело по часовой стрелке.

За единицу вращающего момента в СИ принимается момент силы в 1 Н,

линия действия которой находится на расстоянии 1 м от оси вращения. Эту единицу называют ньютон-метром (Н·м).

Второе условие равновесия твердого тела: при равновесии твердого тела сумма моментов всех внешних сил, действующих на него относительно любой оси, равна нулю: $M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0$ (4)

Общее условие равновесия тела. Объединяя два вывода, можно

сформулировать **общее условие равновесия тела:** тело находится в равновесии, если равны нулю геометрическая сумма векторов всех приложенных к нему сил и алгебраическая сумма моментов этих сил относительно оси вращения.

При выполнении общего условия равновесия тело необязательно находится в покое. Согласно второму закону Ньютона при равенстве нулю равнодействующей всех сил ускорение тела равно нулю, и оно может находиться в покое или двигаться равномерно и прямолинейно.

Равенство нулю алгебраической суммы моментов сил не означает также, что при этом тело обязательно находится в покое. На протяжении нескольких миллиардов лет с постоянным периодом продолжается вращение Земли вокруг оси именно потому, что алгебраическая сумма моментов сил, действующих на Землю со стороны других тел, очень мала. По той же причине продолжает вращение с постоянной частотой раскрученное велосипедное колесо, и только внешние силы останавливают это вращение.

Два условия равновесия твердого тела являются необходимыми и достаточными для равновесия твердого тела. Если же тело не абсолютно твердое, то под действием приложенных к нему внешних сил оно может и не находиться в равновесии, хотя сумма внешних сил и сумма их моментов относительно любой оси равна нулю. Это происходит, потому что под действием внешних сил тело может деформироваться и сумма всех сил, действующих на каждый его элемент, в этом случае не будут равна нулю.

Приложим, например, к концам резинового шнура две силы, равные по модулю и направленные вдоль шнура в противоположные стороны. Под действием этих сил шнур не будет находиться в равновесии (шнур растягивается), хотя сумма внешних сил равна нулю и равна нулю сумма их моментов относительно оси, проходящей через любую точку шнура.

Виды равновесия. В практике большую роль играет не только выполнение условия равновесия тел, но и качественная характеристика равновесия, называемая устойчивостью. Различают три вида равновесия тел:

- устойчивое,
- неустойчивое
- безразличное.

Равновесие называется устойчивым, если после небольших внешних воздействий тело возвращается в исходное состояние равновесия. Это происходит, если при небольшом смещении тела в любом направлении от первоначального положения равнодействующая сил, действующих на тело, становится отличной от нуля и направлена к положению равновесия. В устойчивом равновесии находится, например, шар на дне углубления (рис. 6).

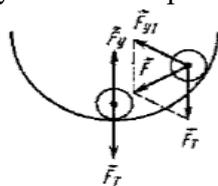


Рис. 6

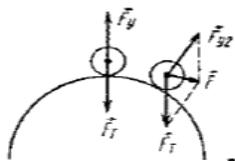


Рис. 7

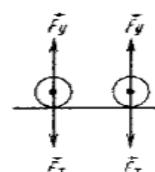


Рис. 8

Равновесие называется неустойчивым, если при небольшом смещении тела из положения равновесия равнодействующая приложенных к нему сил отлична от нуля и направлена от положения равновесия (рис. 7).

Если при небольших смещениях тела из первоначального равнодействующая приложенных к телу сил остается равной нулю, то тело находится в состоянии безразличного равновесия. В безразличном равновесии находится шар на горизонтальной поверхности (рис. 8).

Тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в устойчивом равновесии, если его центр тяжести расположен ниже оси вращения и находится на вертикальной прямой, проходящей через ось вращения (рис. 9, а).

При небольшом отклонении от этого положения равновесия алгебраическая сумма моментов сил, действующих на тело, становится отличной от нуля, и возникающий момент сил поворачивает тело к первоначальному положению равновесия (рис. 9б).

Если же центр тяжести находится на вертикальной прямой, проходящей через ось вращения, но расположен выше оси вращения, то равновесие неустойчивое (рис. 10, а, б).

Тело находится в безразличном равновесии, когда ось вращения тела проходит через его центр тяжести (рис. 11).

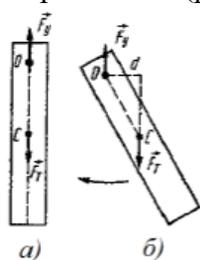


Рис. 9

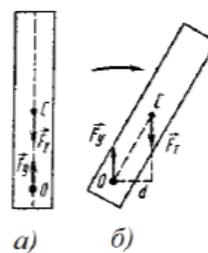


Рис. 10

Равновесие тела на опоре. Если вертикальная линия, проведенная через центр тяжести С тела, пересекает площадь опоры, то тело находится в равновесии (рис. 12). Если же вертикальная линия, проведенная через центр тяжести, не пересекает площадь опоры, то тело опрокидывается (рис. 13).



Рис. 11

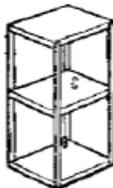


Рис. 12

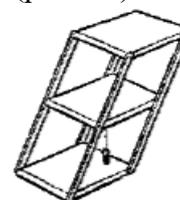


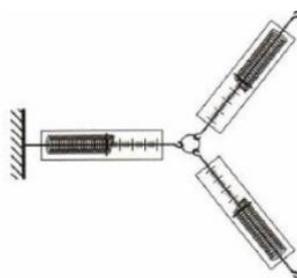
Рис. 13

Приборы и принадлежности: планка с отверстиями, небольшое колечко, набор грузиков, штатив, три динамометра, линейка, транспортир.

Порядок проведения работы:

Проверьте первое условие равновесия.

1. Укрепите конец одного из динамометров. Второй его конец зацепите за кольцо.
2. Зацепите два других динамометра за это же кольцо.
3. Тяните таким образом, чтобы два последних динамометра образовывали прямой угол. Когда кольцо станет неподвижным, снимите показания динамометров.
4. Повторите опыт, стараясь расположить динамометры так, чтобы угол между ними был 120° . Снимите показания динамометров.



5. Рассчитайте равнодействующую сил F_2 и F_3 : $F = \sqrt{F_2^2 + F_3^2}$. Сравните полученное значение со значением F_1 .

6. Запишите результаты измерения в таблицу 1.1.

7. Нарисуйте три силы под углом 120° . Убедитесь в том, что при равновесии эти силы равны.

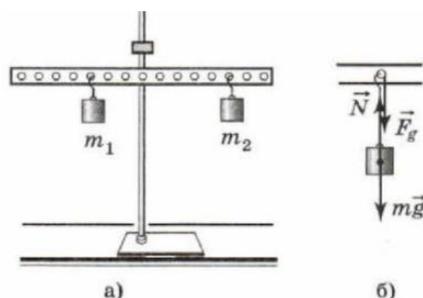
8. Рассчитайте погрешность измерений: $\Delta\alpha = 5^\circ$; $\Delta F = 0,05\text{Н}$.

$$\Delta F_1 = F_1 \cdot \left(\frac{\Delta F}{F_2} + \frac{\Delta F}{F_3} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right), \text{отсюда } \varepsilon_1 = \left(\frac{\Delta F}{F_2} + \frac{\Delta F}{F_3} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right) \cdot 100\%$$

$$\Delta F_2 = F_2 \cdot \left(\frac{2\Delta F}{F_2 + F_3} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right), \text{отсюда } \varepsilon_2 = \left(\frac{2\Delta F}{F_2 + F_3} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right) \cdot 100\%$$

Проверьте второе условие:

9. Возьмите планку с отверстиями и закрепите на штативе.



10. С одной стороны от точки закрепления на расстоянии $l_1 = 4\text{см}$ подвесьте грузик массой m_1 .

11. Подвешивайте меньший грузик массой m_2 с другой стороны на разных расстояниях l_2 до тех пор, пока планка не установится горизонтально.

12. Запишите значения масс грузиков и расстояний от точки закрепления планки до грузиков в таблицу 1.2.

13. К первому грузику на левой стороне планки подвесьте еще один грузик массой m_3 .

14. С правой стороны подвесьте еще один грузик массой m_4 на таком расстоянии l_4 , чтобы планка опять вернулась в горизонтальное положение. Запишите данные в таблицу 1.2.

15. По данным таблицы вычислите сумму моментов сил, действующих на планку и алгебраическую сумму сил, действующих на планку.

$$M_i = m_i g l_i, g = 9,80665\text{м/с}^2$$

16. Рассчитайте погрешность измерений:

$$\Delta M_i = M_i \left(\frac{\Delta m}{m_i} + \frac{\Delta l_i}{l_i} \right), \text{отсюда } \varepsilon = \left(\frac{\Delta m}{m_i} + \frac{\Delta l_i}{l_i} \right) \cdot 100\%$$

17. Сделайте вывод о проделанной работе.

Таблица 1.1.:

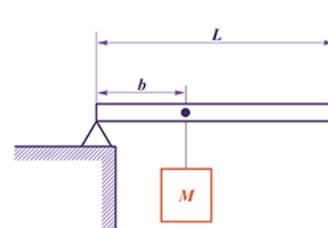
№п/п	$\alpha,^\circ$	$F_1, \text{Н}$	$F_2, \text{Н}$	$F_3, \text{Н}$	$F, \text{Н}$	$\varepsilon, \%$
1						
2						

Таблица 1.2.:

№ п/п	m ₁ , кг	l ₁ , м	m ₂ , кг	l ₂ , м	m ₃ , кг	l ₃ , м	m ₄ , кг	l ₄ , м	ε, %
1									
2									
3									

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте «золотое правило» механики.
2. Когда центр масс тела совпадает с его центром тяжести?
3. Как определить центр тяжести нити?
4. Какие виды равновесия вам известны?
5. Дайте определение устойчивому равновесию; неустойчивому равновесию; безразличному равновесию.
6. Почему длинный стержень легче держать в горизонтальном положении за его середину, чем за один из его концов?
7. При каком равновесии твердого тела возможны его свободные колебания?
8. При каком положении уровня воды в цилиндрическом стакане центр тяжести стакана с водой занимает наинизшее положение?
9. На рычаг в состоянии равновесия действуют две силы. Момент первой равен 20 Н·м. Модуль второй силы равен 5 Н. Найдите плечо второй силы.
10. Приложив вертикальную силу F, груз массой M — 100 кг удерживают на месте с помощью рычага (см. рис.). Рычаг состоит из шарнира без трения и однородного массивного стержня длиной L=8 м. Расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза равно b=2 м. Чему равен модуль силы F, если масса рычага равна 40 кг.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Оценка размеров молекул растительного масла

Цель работы: определить размер молекул растительного масла, воспользовавшись свойством масла образовывать на поверхности воды мономолекулярные пленки.

Теория: В основе молекулярно-кинетической теории строения вещества лежат три утверждения:

- 1) вещество состоит из частиц;
- 2) эти частицы беспорядочно движутся;
- 3) частицы взаимодействуют друг с другом.

Молекула в современном понимании – это наименьшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами. Молекула способна к самостоятельному существованию. Различными способами было определено, что в 1 см³ любого газа при нормальных условиях содержится около $2,7 \times 10^{19}$ молекул. Чтобы понять, насколько велико это число, можно представить, что молекула – это «кирпич». Тогда если взять количество кирпичей, равное числу молекул в 1 см³ газа при нормальных условиях, и плотно уложить ими поверхность суши всего земного шара, то они покрыли бы поверхность слоем высотой 120 м, что почти в 4 раза превосходит высоту 10-этажного дома. Огромное число молекул в единице объёма указывает на очень малые размеры самих молекул. Например, масса молекулы воды $m=29,9 \times 10^{-27}$ кг. Соответственно малы и размеры молекул. Диаметр молекулы принято считать минимальное расстояние, на которое им позволяет сблизиться силы отталкивания. Однако понятие размера молекулы является условным, так как на молекулярных расстояниях представления классической физики не всегда оправданы.

Средний размер молекул порядка 10^{-10} м. Как добыть молекулу из вещества? – механическим дроблением вещества. Каждому веществу соответствует определенный вид молекул. У разных веществ молекулы могут состоять из одного атома (инертные газы) или из нескольких одинаковых или различных атомов, или даже из сотен тысяч атомов (полимеры). Молекулы различных веществ могут иметь форму треугольника, пирамиды и других геометрических фигур, а также быть линейными.

Молекулы одного и того же вещества во всех агрегатных состояниях одинаковы. Между молекулами в веществе существуют промежутки. Доказательствами существования промежутков служат изменение объема вещества, то есть расширение и сжатие вещества при изменении температуры, и явление диффузии. Молекулы вещества находятся в непрерывном тепловом движении. Если удалить пространство из всех атомов человеческого тела, то все, что останется, сможет пролезть через игольное ушко.

Для грубой оценки можно считать, что объем V некоторой массы m вещества просто равен сумме объемов содержащихся в нем молекул. Тогда объем одной молекулы мы получим, разделив объем V на число молекул N .

Число молекул в теле массой m : $N = N_A \cdot \frac{m}{M}$, где M — молярная масса вещества $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ — число Авогадро. Отсюда объем одной молекулы определяется из равенства: $V_0 = \frac{V}{N} = \frac{VN}{mN_A}$. В

это выражение входит отношение объема вещества к его массе. Обратное же отношение: $\frac{m}{V} = \rho$ есть плотность вещества, так что: $V_0 = \frac{M}{\rho N_A}$.

Плотность практически любого вещества можно найти в доступных всем таблицах.

Молярную массу легко определить, если известна химическая формула вещества.

Объем одной молекулы, если считать ее шариком: $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, где r - радиус шарика.

Поэтому $\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{M}{\rho N_A}$. Откуда мы и получаем выражение для радиуса молекулы:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi N_A}} \sqrt[3]{\frac{M}{\rho}}.$$

Первый из этих двух корней — постоянная величина, равная $\approx 7,4 \cdot 10^{-9}$ моль⁻³, поэтому формула для r принимает вид:

$$r \approx 7,4 \cdot 10^{-9} \sqrt[3]{\frac{M}{\rho}} (m).$$

Наиболее простой метод оценки размеров молекул основан на свойстве некоторых веществ образовывать на поверхности воды тончайшие пленки толщиной в одну молекулу. Измерив толщину такой пленки, можно принять ее равной диаметру молекулы. Если на поверхность воды капнуть немного раствора олеиновой кислоты в спирте, спирт растворяется в воде и частично испаряется, а олеиновая кислота образует на поверхности воды мономолекулярную пленку. Для наблюдения пленки и измерения ее площади поверхность воды предварительно посыпают ликоподием или тальком. Олеиновая кислота уменьшает поверхностное натяжение воды, поэтому плавающие частицы вещества перемещаются от места падения капли к краям пленки, что приводит к появлению «окна» (рис. 1).

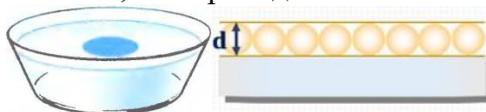


Рис.1

Приборы и принадлежности: бутылочка с растительным (подсолнечное) маслом, пипетка; кювета, линейка миллиметровая; весы с разновесами, небольшой стакан; тальк; сосуд с дистиллированной водой.

Порядок выполнения работы:

1. Определите методом взвешивания с помощью стакана и разновеса массу 30-50 капель растительного масла M и найдите массу одной капли масла:

$$m = \frac{M}{N}, \text{ где } N - \text{ число капель.}$$

2. Насыпьте на поверхность воды тальк и капните в центр кюветы с высоты 1-2 мм одну каплю масла. Измерьте линейкой диаметр «окна» в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определите площадь «окна»:

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4}.$$

3. Определите диаметр d молекулы масла, считая её равной толщине мономолекулярного слоя $d = \frac{V}{S}$, где V – объем мономолекулярного слоя (объем капли), S - площадь его поверхности.

Поскольку $m = \rho \cdot V = \rho \cdot d^3$, где ρ - плотность растительного масла, то $V = \frac{m}{\rho}$.

Плотность растительного масла примите равной: $\rho = 916,5 \text{ кг/м}^3$.

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$$

4. Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу:

№ п/п	N	M, кг	m, кг	V, м ³	D, м	d, м	ε, %
1							
2							
3							

5. Рассчитайте погрешность измерений: $\varepsilon = \frac{|d_{\text{табл}} - d_{\text{ср}}|}{d_{\text{табл}}} \cdot 100\%$

Табличное значение диаметра растительного масла: $d_{\text{табл}} = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

6. Сделайте вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы:

1. Какие опытные факты и явления служат доказательством справедливости основных положений МКТ?
2. Каков порядок размеров и массы отдельных атомов вещества? Почему эти цифры неодинаковы для различных атомов?
3. Как изменится объем газа, если при неизменных давлении и температуре половину молекул заменить молекулами более тяжелого газа?
4. Что называется средней длиной свободного пробега?
5. Как изменится средняя длина свободного пробега с увеличением плотности газа?
6. Приведите известные вам из практики примеры использования ультраразреженных газов.
7. Каким образом можно оценить количество молекул в физическом теле?
8. Вычислить средний квадрат скорости движения молекул газа, если его масса $m = 6 \text{ кг}$, объем $V = 4,9 \text{ м}^3$ и давление $p = 200 \text{ кПа}$.
9. На изделие, поверхность которого 20 см^2 , наносят слой серебра толщиной 1 мкм . Сколько атомов серебра содержится в покрытии?

10. Считая, что диаметр молекул водорода составляет около $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, подсчитать, какой длины получилась бы нить, если бы все эти молекулы, содержащиеся в 1 мг этого газа, были расположены в ряд вплотную друг к другу. Сопоставить длину этой нити со средним расстоянием от Земли до Луны.

11. Известно, что нельзя заставить капельку нефти объемом 1 мм^3 расплыться по поверхности воды так, чтобы она заняла площадь больше 3 м^2 . Оцените по этим данным минимальные размеры частицы нефти.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изучение особенностей перехода из твердого агрегатного состояния в жидкое агрегатное состояние для кристаллических и аморфных тел

Цель работы: на примере парафина и льда изучить особенности перехода из твердого агрегатного состояния в жидкое состояние для кристаллических и аморфных тел.

Теория: Одно и то же вещество может находиться в различных состояниях, например в твердом, жидком, газообразном: лед, вода и водяной пар.

Эти состояния называют агрегатными. Вещества могут переходить из одного агрегатного состояния в другое и на практике это широко используется. Практическое использование перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое, нашло широкое применение, например в металлургии, плавят металлы, чтобы получить из них сплавы. Пар, полученный из воды при ее нагревании, используют на электростанциях, в паровых турбинах, сжиженными газами пользуются в холодильных установках и т.д. Мы живем на поверхности твердого тела – Земного шара, в сооружениях, построенных из твердых тел – домах. Наше тело, хотя и содержит приблизительно 65% воды (мозг – 80%), тоже твердое. Орудия труда, машины также сделаны из твердых тел. Знать свойства твердых тел, жидкостей жизненно необходимо. Вспомним особенности молекулярного строения твердых тел, жидкостей и газов. В газах при атмосферном давлении расстояние между молекулами много больше размера самих молекул. Притяжение между молекулами слабое. Движение молекул хаотичное. Газы легко сжимаемы. В жидкостях и твердых телах, плотность которых во много раз больше плотности газа. Молекулы расположены ближе друг к другу. Средняя кинетическая энергия молекул недостаточна для того, чтобы совершить работу по преодолению сил молекулярного притяжения. Поэтому молекулы в жидкостях и особенно в твердых телах не могут далеко удаляться друг от друга. Передавая телу энергию можно перевести его из твердого состояния в жидкое, а из жидкого – газообразное. Отнимая энергию (охлаждая) у газа можно получить жидкость (это возможно при очень низких температурах); Отнимая энергию у жидкости – получить твердое тело. Сегодня мы рассмотрим переход вещества из твердого состояния в жидкое состояние. Переход вещества из твердого состояние в жидкое называют плавлением.

твердое тело бывает двух видов: кристаллическое и аморфное. Кристаллом называют тело определенной геометрической формы, ограниченное естественными плоскими гранями. Правильность внешней формы кристаллических тел обусловлено тем, что частицы, из которых эти тела состоят, расположены относительно друг друга в определенном порядке, на строго определенных расстояниях друг от друга.

Частицы (атомы, молекулы), вследствие теплового движения, совершают колебания около определенных точек – положений равновесия частиц. Именно эти точки (они называются узлами) и расположены в определенном порядке, и если узлы соединить прямыми линиями, то получается пространственная решетка, называемая кристаллической. К кристаллическим телам относятся: металлы, лед, нафталин, снежинки, каменная соль, берилл, алмаз, гранат, кварц, турмалин, изумруд, кальцит.

Так же существует множество аморфных тел (от греческого слова amorphous – бесформенный). Признаком аморфного тела является неправильная форма поверхности при изломе. К аморфным телам относятся: смола, пластмасса, воск и т.д. У аморфных тел нет порядка в расположении молекул и атомов по всему объему тела, а существует лишь некоторая упорядоченность в расположении самых близких, соседних молекул и атомов – так называемый ближний порядок, подобный тому, который существует у жидкостей. Поэтому аморфные вещества иногда называют переохлажденными жидкостями. Однако у жидкостей соседние молекулы могут меняться местами друг с другом, поэтому жидкости обладают текучестью, тогда как у аморфных твердых тел такой обмен невозможен из-за очень большой вязкости. Между плавлением кристаллических и аморфных тел есть существенное различие. Для того, чтобы кристаллическое тело начало плавиться его необходимо нагреть до определенной для каждого вещества температуры, называемой температурой плавления. Чтобы вещество расплавилось недостаточно его нагреть до температуры плавления, необходимо продолжать подводить к нему теплоту, т.е. увеличивать его внутреннюю энергию. Во время плавления температура кристаллического тела не меняется. Так как температура тела во время плавления остается постоянной, то средняя кинетическая энергия его молекул не изменяется. Но при превращении твердого тела в жидкость разрушается кристаллическая решетка, т.е. увеличивается потенциальная энергия молекул. Переход из твердого состояния в жидкое состояние, происходит резко. Скачком, либо жидкость, либо твердое тело. Если тело продолжать нагревать дальше, после плавления, то температура его расплава будет расти.

Аморфные тела не имеют точки плавления и кристаллизации. Процессы плавления и кристаллизации у них происходят постепенно и плавно. С ростом температуры аморфное тело становится все мягче и мягче, пока не станет совсем жидким. Это происходит потому что, с ростом температуры постепенно учащаются перескоки атомов из одного положения равновесия в другое. Итак, аморфные вещества не имеют определенной температуры плавления и отвердевания. Это главное отличие аморфных тел от кристаллических.

Приборы и принадлежности: штатив, два термометра, сосуд с водой и воском, спиртовка, подставка по спиртовку, сосуд со льдом.

Порядок выполнения работы:

Наблюдение за переходом их твердого состояния в жидкое состояние аморфного тела.

1. Закрепить сосуд с водой и воском в штативе, опустить в сосуд термометр.
2. Измерить температуру в сосуде.
3. Под сосуд с водой и воском поставить спиртовку и зажечь её. Нагревание вести до тех пор, пока весь парафин не превратиться в жидкость, одновременно следить за показаниями термометра и изменением состояния воска.
4. Зафиксировать при какой температуре весь воск превратится в жидкость.

Наблюдение за переходом их твердого состояния в жидкое состояние кристаллического тела.

5. В сосуд со льдом опустить термометр и измерить температуру льда.
6. Зафиксировать температуру, при которой лед начнет таять.
7. Наблюдать за тем, как тает лед, постоянно фиксируя температуру льда.
8. Зафиксировать температуру, при которой весь лед растает.
9. Результаты опытов свести в таблицу:

№ п/п	Твердое вещество	t ₁ , c	t ₂ , c	t ₃ , c	t ₄ , c	t ₅ , c	t ₆ , c
1	Парафин (аморфное)						
2	Лёд						

	(кристаллическое)						
--	-------------------	--	--	--	--	--	--

10. Начертить график зависимости температуры плавления кристаллического и аморфного тела от времени.

11. Сделать вывод по результатам работы. В чем отличия перехода из твердого агрегатного состояния в жидкое агрегатное состояние аморфных и кристаллических тел.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте четыре группы кристаллов и соответствующие типы кристаллических связей.
2. Нарисуйте молекулярную решетку с гексагональной упаковкой. Приведите соответствующие примеры.
3. Нарисуйте молекулярную решетку с кубической гранцентрированной упаковкой, кубической объемно-центрированной упаковкой. Приведите соответствующие примеры.
4. Каковы две разновидности углерода? В чем их различие?
5. Как вы понимаете, что такое жидкие кристаллы.
6. Перечислите важнейшие применения жидких кристаллов.
7. Что называют аморфными телами? Каковы их свойства?
8. Приведите примеры аморфных тел.
9. Можно ли расплавить олово в стальной ложке? Ответ обосновать.
10. Возникла ли бы профессия стеклодува, если бы стекло было кристаллическим, а не аморфным? Ответ обосновать.
11. Чем отличаются аморфные тела от кристаллических тел?
12. В воду, находящуюся при температуре 0⁰С, опустили кусочек льда, температура которого 0⁰С. Будет ли лед плавиться?
13. Что происходит с кинетической и потенциальной энергией кристаллического и аморфного тела в процессе плавления?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

Измерение удельной теплоты плавления льда

Цель работы: измерить удельную теплоту плавления льда.

Теория: Как известно, одно и то же вещество может при определенных условиях находиться в твердом (кристаллическом), жидком и газообразном состояниях или фазах. Переход из одной фазы в другую (фазовый переход) происходит скачком при изменении температуры, давления или под действием каких-либо других внешних факторов (например, магнитных или электрических полей). Эти превращения сопровождаются скачкообразным изменением плотности, теплоемкости, электропроводности и других физических свойств тела и называются фазовыми переходами 1-го рода. К ним относятся пары взаимобратных процессов: 1) плавление и кристаллизация, 2) испарение и конденсация. При плавлении и испарении происходит поглощение, а кристаллизации и конденсации – выделение того же, соответственно, количества тепла.

Теплота плавления - это количество теплоты, которое необходимо сообщить веществу в равновесном изобарно-изотермическом процессе, чтобы перевести его из твёрдого (кристаллического) состояния в жидкое. То же количество теплоты выделяется при кристаллизации вещества. Этот фазовый переход (из твердого состояния в жидкое и обратно) происходит для каждого вещества при строго определенной температуре, называемой **температурой плавления (кристаллизации)**. Для расчёта *теплоты плавления (кристаллизации)* используют формулу:

$$Q_{пл} = \lambda t, \tag{1}$$

где λ – удельная теплота плавления льда, равная количеству тепла, которое необходимо для превращения в воду 1 кг льда. Такая же энергия в виде теплоты выделяется при замерзании 1 кг воды ($\lambda=334$ кДж/кг).

Теплота испарения (конденсации) рассчитывается аналогично:

$$Q_{исп} = r m.$$

Где r – удельная теплота парообразования.

Обледенение в авиации – одно из сложных метеорологических явлений, от которого в значительной степени зависит безопасность полетов. **Обледенением** называется отложение льда на обтекаемых частях самолетов и вертолетов, а также на силовых установках при полете в облаках, тумане и мокром снеге. В результате отложения льда изменяются аэродинамические условия обтекания самолета воздушным потоком. Увеличивается вес самолета, нарушается равновесие аэродинамических сил. Отложение льда на внешних частях воздухозаборников снижает необходимое поступление воздуха в двигатели. Лед, отлагающийся на остеклении кабины экипажа, может исключить возможность визуального наблюдения. Неравномерный срыв кусков льда с обледеневшей части самолета может привести к смещению центра масс отдельных систем, изменению момента инерции механизмов (например, лопастей винта) и их поломке. Поэтому сильное обледенение и сейчас является одним из опасных для полетов метеорологических явлений.

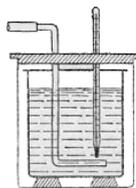
Активные способы борьбы с обледенением по техническим средствам реализации делят на **термические, химические и механические**.

Противообледенительные системы, основанные на **термическом способе** удаления льда наиболее распространены. Этот способ обеспечивает повышение температуры поверхностей выше 0 С. Широко применяются воздушно-тепловые устройства, обеспечивающие нагрев передних кромок крыльев. Все большее применение находят электротепловые противообледенительные системы, в которых рабочей частью является токопроводящий слой, располагающийся между двумя изоляционными слоями. Для уменьшения расхода электроэнергии электротепловая система работает импульсами.

Химический способ основан на уменьшении силы сцепления льда с поверхностью самолета (защитные покрытия в виде веществ, не смачивающихся водой) или понижении температуры замерзания воды (спирты, смесь спирта с глицерином). Главный недостаток – ограниченность действия по времени, сложность конструкции самой системы и необходимость иметь значительный запас жидкости на борту.

Механические способы состоят в механическом удалении льда с помощью периодической подачи сжатого воздуха в смонтированные на носке крыла камеры протекторов. Камеры раздуваются и ломают лед. Недостаток этой системы состоит в нарушении аэродинамических характеристик крыла при вздутии протекторов и слабой эффективности.

Пассивные формы борьбы с обледенением предусматривают обход зон возможного обледенения. Для этого до полета экипаж обязан изучить метеорологическую обстановку. Обход облаков, опасных обледенением, осуществляется сверху в зимний, и снизу – в летний период.



Калориметр:

Рисунок 1

Для сравнения теплоемкостей разных тел пользуются калориметром. Калориметр представляет собой металлический сосуд с крышкой, имеющий форму стакана. Сосуд ставят на пробки, помещенные в другой, больший сосуд так, что между обоими сосудами остается слой воздуха (рис. 1). Все эти предосторожности уменьшают отдачу теплоты окружающим телам. Сосуд наполняют известным количеством воды, температура которой до опыта измеряется (пусть она равна t_1). Затем берут тело, теплоемкость которого хотят

измерить, и нагревают до известной температуры t_2 (например, помещают в пары кипящей воды, так что температура $t_2=100^\circ\text{C}$). Нагретое тело опускают в воду калориметра, закрывают крышку и, помешивая мешалкой, ждут, пока температура в калориметре установится (это будет, когда вода и тело примут одинаковую температуру). Тогда отмечают эту температуру t . Из результатов опытов можно найти удельную теплоемкость тела c_2 , пользуясь тем, что уменьшение энергии охлаждающегося тела равно увеличению энергии нагревающейся при этом воды и калориметра, т. е. применяя закон сохранения энергии. При не очень точных измерениях можно считать, что вода калориметра, сам калориметр, мешалка и тело, теплоемкость которого измеряется, за время опыта не успеют отдать заметное количество теплоты окружающим телам.

(При более точных измерениях надо внести соответственные поправки.) Поэтому суммы энергий тела, воды, калориметра и мешалки до и после опыта можно считать одинаковыми. Иначе говоря, энергия тела уменьшается при опыте настолько, насколько увеличивается энергия воды, калориметра и мешалки. Температура тела понижается на $t_2 - t$. Так как никакой работы внутри калориметра не производится, то убыль энергии тела равна $c_2 m_2 (t_2 - t)$, где c_2 — удельная теплоемкость вещества тела, m_2 — масса тела. Вода нагревается на $t - t_1$, и приращение ее энергии равно $c_1 m_1 (t - t_1)$, где c_1 — удельная теплоемкость воды, m_1 — масса воды в калориметре. Предположим, что калориметр и мешалка сделаны из одного материала и общая их масса равна m_3 , а удельная теплоемкость их материала равна c_3 . Энергия калориметра и мешалки получит приращение, равное $c_3 m_3 (t - t_1)$. Энергией, необходимой для нагревания термометра, можно пренебречь, так как она обычно невелика. Приравнявая убыль энергии тела приращению энергии воды, калориметра и мешалки, получим: $c_2 m_2 (t_2 - t) = c_1 m_1 (t - t_1) + c_3 m_3 (t - t_1)$.

Это равенство часто называют *уравнением теплового баланса*. Разрешая его относительно c_2 , находим

$$c_2 = \frac{(t - t_1) (c_1 m_1 + c_3 m_3)}{(t_2 - t) m_2}$$

Таким образом, измерив t , t_1 , t_2 , m_1 , m_2 и m_3 , найдем удельную теплоемкость исследуемого тела c_2 , если известны удельные теплоемкости воды c_1 и материала калориметра c_3 . Удельная теплоемкость воды c_1 может быть принята равной $4,18 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Удельную теплоемкость материала калориметра c_3 нужно определить отдельно: например, путем наблюдения теплового баланса при опускании в калориметр тела, сделанного из того же материала, что и стенки калориметра (т. е. сделав $c_2=c_3$). Определив раз навсегда удельную теплоемкость материала калориметра c_3 , мы сможем делать все дальнейшие определения, используя полученное соотношение.

Простые наблюдения и точные измерения, которые производились со специальными приборами, описанными выше, привели к выводу, что *теплоемкость тела, состоящего из однородного материала, пропорциональна его массе*. Поэтому сравнивать между собой надо теплоемкости тел, изготовленных из различных веществ, но имеющих одинаковую массу. Для характеристики тепловых свойств вещества принимают теплоемкость единицы массы этого вещества. Эта характеристика называется *удельной теплоемкостью*. Она равна отношению теплоемкости данного тела к его массе и должна выражаться в джоулях на килограмм-кельвин ($\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$). Согласно определению удельная теплоемкость воды при нагревании от $19,5$ до $20,5^\circ\text{C}$ равна $4,18 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. При других температурах удельная теплоемкость воды несколько отличается от этого значения. В дальнейшем мы будем этим пренебрегать и принимать удельную теплоемкость воды равной $4,18 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ при любой температуре. Удельная теплоемкость других веществ также слегка зависит от температуры. Однако если температура меняется мало, то эту зависимость можно не учитывать. Поэтому для большинства расчетов будем принимать, что удельная теплоемкость какого-нибудь вещества есть постоянная величина. В таком случае мы можем легко вычислить, какое количество теплоты Q надо передать однородному телу, чтобы повысить его температуру

от t_1 до t_2 . Удельную теплоемкость вещества обозначим буквой c . Если масса тела равна m , то теплоемкость тела равна cm . Для повышения температуры от t_1 до t_2 надо передать телу количество теплоты в $t_2 - t_1$ раз больше. И так,

$$Q = cm (t_2 - t_1).$$

Количество теплоты, которое нужно сообщить какому-либо телу, чтобы повысить его температуру на 1 К, называется теплоемкостью этого тела. При остывании на 1 К тело отдает такое же количество теплоты. Для нагревания тела не на 1 К, а, например, на 10 К нужно сообщить телу в 10 раз большее количество теплоты; при остывании его на 10 К тело отдает это же количество теплоты. На основании сказанного выше теплоемкость тела пропорциональна массе тела и зависит от вещества, из которого оно состоит. Согласно определению теплоемкость должна выражаться в джоулях на кельвин (Дж/К).

Приборы и принадлежности: калориметр, мензурка, термометр, весы и разновесы, стеклянный стакан, лёд, сосуд с горячей водой.

Порядок проведения работы:

1. Налить в калориметр **100** мл горячей воды.

1.1 Определить объем воды V (м³) с помощью мензурки.

1.2 Вычислить массу воды m_1 (кг) по формуле:

$$m_1 = \rho_{\text{воды}} \cdot V, \quad \text{где } \rho_{\text{воды}} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

1.3 Показания массы воды в (кг) записать в таблицу 7.1.

2. Измерить начальную температуру горячей воды в калориметре t_2 в $^{\circ}\text{C}$ (выразить ее по шкале Кельвина), значение занести в таблицу 7.1.

3. Измерить массу кусочка льда, для этого нужно:

3.1 Уравновесит весы.

3.2 Определить массу кусочка льда m_2 (кг) путем взвешивания, с точностью до **0,01**г, значение занести в таблицу 7.1.

4. Поместить кусочек льда в стеклянный стакан.

4.1 Опустить термометр в стакан со льдом, а его в калориметр с горячей водой.

4.2 Наблюдать за изменением температуры воды и за таянием льда.

4.3 Измерить температуру воды t_1 ($^{\circ}\text{C}$) в калориметре в тот момент, когда весь лёд растает.

4.4 Выразить температуру воды t_1 ($^{\circ}\text{C}$) по шкале Кельвина и значение занести в таблицу 7.1.

5. Рассчитать количество теплоты, отданное горячей водой в калориметре ($c_{\text{воды}} = 4187$ Дж/(кг*К)) по формуле:

$$Q_1 = cm (t_2 - t_1)$$

5.1 Зная, что при теплообмене количество теплоты, отданное горячей водой, равно количеству теплоты, необходимому для плавления льда, можно записать:

$$Q_1 = Q_2, \quad \text{где } Q_2 = m \lambda$$

6. Рассчитайте удельную теплоту плавления льда по формуле

$$\lambda = \frac{Q_2}{m}$$

6.1 Определить относительную погрешность метода по формуле: $\varepsilon = \frac{|\lambda_{\text{таб.}} - \lambda_{\text{экс.}}|}{\lambda_{\text{таб.}}} \cdot 100\%$, где

$\lambda_{\text{экс}}$ – значение удельной теплоты плавления льда определенного экспериментально, а $\lambda_{\text{таб}} = 334$ кДж/кг – табличное значение удельной теплоты плавления льда.

7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

Таблица 7.1

m ₁ , кг	t ₂ ,		m ₂ , кг	t ₁ ,		Q ₁ = Q ₂ , Дж	λ ,Дж/кг	ε ,%.
	°С	К		°С	К			

8.Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

9. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое фазовые переходы 1 рода?
2. Дайте определение понятиям теплоемкости тела и удельной теплоемкости вещества.
3. На основании какого закона составляют уравнения теплового баланса?
- 4.Почему при выполнении расчетов в данной работе не учитывалась теплоемкость калориметра?
5. В каком случае погрешность измерений в данной работе будет меньше, при быстром выполнении всех операций или при медленном? Почему?
6. Что такое обледенение воздушных судов? В чем его опасность для полетов воздушных судов?
7. Какие способы борьбы с обледенением вы знаете?
8. Обход облаков, при полете в которых велика вероятность обледенения, осуществляется сверху в зимний, и снизу – в летний период. Как вы думаете, почему?
9. Два куска из одинакового материала (например, оба железные), но разной массы нагреты до различных температур. Увеличится или уменьшится их общий объем, если горячий кусок передаст некоторое количество теплоты холодному?
10. В латунный стакан массы 163 г, имеющий температуру 17 °С, вливают 100 г воды при 50 °С и 200 г воды при 10 °С. Пренебрегая обменом теплотой с окружающими телами, определите окончательную температуру воды. Предположим, что температуры вливаемых порций воды равны указанным выше, но что имеет место обмен теплотой через стенки сосуда с окружающими предметами. Как повлияет это обстоятельство на окончательную температуру воды в случае, если сперва наливается горячая, а потом холодная вода, и в случае, когда порядок наливания воды обратный?
- 11.Какое количество теплоты нужно взять для того, чтобы расплавить 2 кг олова, взятого при температуре плавления? Удельная теплота плавления олова 58 кДж/кг.
12. Сколько энергии необходимо для плавления куска железа массой 4 кг, взятого при температуре плавления? Удельная теплота плавления железа 27 кДж/кг.
13. Какое количество теплоты потребуется для плавления куска свинца массой 500 г, взятого при температуре плавления? Удельная теплота плавления свинца 25 кДж/кг.
14. Какое количество теплоты потребуется для плавления 40 т белого чугуна, нагретого до температуры плавления? Удельная теплота плавления белого чугуна 130 кДж/кг.
15. Какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить ледяную глыбу массой 12,5 т при температуре плавления? Удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг.
- 16.Медный лом массой 40 кг загрузили в плавильную печь. Вскоре его температура стала 1085 °С. Какое количество теплоты понадобится еще, чтобы медь расплавилась?
- 17.Требуется расплавить нагретое до 232 °С оловянное блюдо массой 0,8 кг. Какое количество теплоты понадобится для этого?
- 18.Известно, что на плавление некоторого металла массой 1,7 кг было затрачено 200 кДж количества теплоты. Что это был за металл?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

Определение коэффициента линейного расширения твердого тела.

Цель работы: определить коэффициент линейного расширения с помощью эксперимента.

Теория: Линейное тепловое расширение характеризуется температурным коэффициентом линейного расширения α . Предположим, что твердое тело при начальной температуре T_0 имеет длину L_1 . При нагревании тела до температуры T его длина увеличится до L , т.е. на $\Delta l = L - L_1$. Относительное удлинение тела составит $\Delta L / L_1$.

Величина, равная отношению относительного удлинения тела к изменению его температуры на $\Delta T = T - T_1$, называется **температурным коэффициентом линейного расширения**:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{\Delta T L} \left[\frac{1}{K} \right];$$

Особенности теплового расширения: простые опыты и наблюдения убеждают нас, что при повышении температуры размеры тел немного увеличиваются, а при охлаждении — уменьшаются до прежних размеров. Так, например, сильно разогретый болт не входит в резьбу, в которую он свободно входит, будучи холодным. Когда болт охладится, он снова входит в резьбу. Телеграфные провода в жаркую летнюю погоду провисают заметно больше, чем при нагревании электрическим током проволока удлиняется и провисает; по выключении тока она принимает прежнее положение во время зимних морозов. Увеличение провисания, а следовательно, и длины натянутых проволок при нагревании легко воспроизвести на опыте, изображенном на рисунке 1.

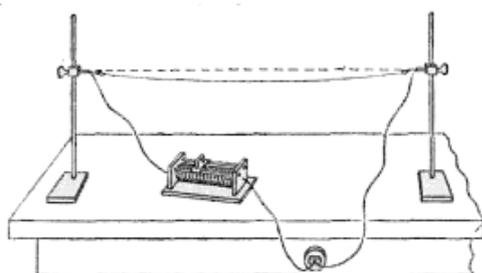


Рисунок 1

Нагревая натянутую проволоку электрическим током, мы видим, что она заметно провисает, а по прекращении нагревания снова натягивается. При нагревании увеличиваются не только длина тела, но также и другие линейные размеры. Изменение линейных размеров тела при нагревании называют линейным расширением. Если однородное тело (например, стеклянная трубка) нагревается одинаково во всех частях, то оно, расширяясь, сохраняет свою форму. Иное происходит при неравномерном нагревании. Рассмотрим такой опыт. Стеклянная трубка расположена горизонтально, и один ее конец закреплен. Если трубку нагревать снизу, как показано на рисунке 2, то верхняя ее часть остается вследствие плохой теплопроводности стекла более холодной; при этом стеклянная трубка при нагревании ее снизу заметно изгибается вверх изгибается кверху. Легко понять, что нижняя половина изогнутой трубки сжата, так как она не может расширяться в той мере, в какой расширялась бы, если бы не составляла одно целое с верхней половиной. Верхняя половина, наоборот, растянута. Таким образом, при неравномерном нагревании тел в них возникают напряжения, которые могут повести к их разрушению, если напряжения сделаются слишком большими.

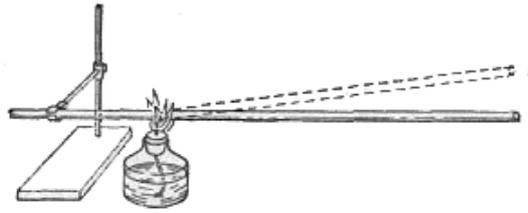


Рисунок 2

Так, стеклянная посуда в первый момент, когда в нее налита горячая вода, находится в напряженном состоянии и иногда лопается. Это происходит вследствие того, что сперва (прогреваются и расширяются внутренние части, которые и растягивают при этом внешнюю поверхность посуды. Такого напряжения при нагревании можно избежать, если 'взять посуду со столь тонкими стенками, что они быстро прогреваются по всей толщине (химическая посуда). По сходной причине лопается обычная стеклянная посуда, если попытаться греть в ней жидкости на огне или на электрической плитке. Существуют, однако, специальные (сорта стекла (так называемое кварцевое стекло, содержащее до 96 % кварца, SiO_2), которые расширяются при нагревании настолько мало, что напряжения при неравномерном нагревании посуды, сделанной из такого стекла, не опасны. В кастрюле из кварцевого стекла можно кипятить воду. Линейное расширение различных материалов при одном и том же повышении температуры различно. Это видно, например, из такого опыта: две разнородные пластинки (например, железная и медная) склепывают между собой в нескольких местах (рисунок 3, а). Если при комнатной температуре пластинки прямые, то при нагревании они искривятся, как изображено на рисунке 3.б. Это показывает, что медь расширяется в большей мере, чем железо. Из этого опыта следует также, что при изменениях температуры тела, состоящего из нескольких различно расширяющихся частей, в нем тоже появляются внутренние напряжения. В опыте, изображенном на рисунке 3, медная пластинка сжата, а железная - растянута. По причине неодинакового расширения железа и эмали возникают напряжения в эмалированной железной посуде; при сильном нагреве эмаль иногда отскакивает. Напряжения, появляющиеся в твердых телах вследствие теплового расширения, могут быть очень большими. Это необходимо принимать во внимание во многих областях техники. Бывали случаи, когда части железных мостов, склепанные днем, охлаждаясь ночью, разрушались, срывая многочисленные заклепки.

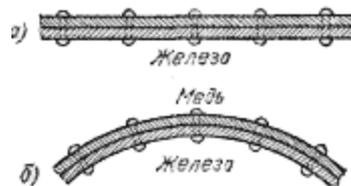


Рисунок 3.

- а) Пластинка, склепанная из медной и железной полосок, в колодном состоянии.
- б) Та же пластинка в нагретом состоянии (для наглядности изгиб показан преувеличенным)

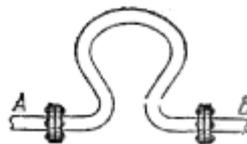


Рисунок 4.

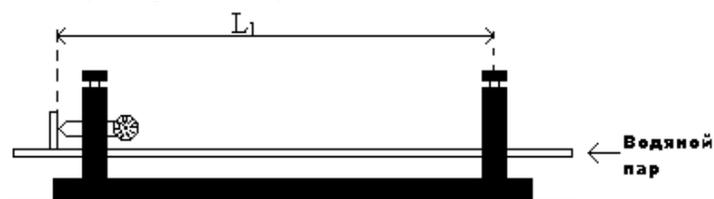
Компенсатор на паропроводе дает возможность трубам А и В расширяться (рисунок 4). Во избежание подобных явлений, принимают меры к тому, чтобы части сооружений при изменении температуры расширялись или сжимались свободно. Например, железные паропроводы снабжают пружинящими изгибами в виде петель (компенсаторы, рис.

4). Увеличение линейных размеров сопровождается увеличением объема тел (объемное расширение тел).

Приборы и принадлежности: прибор линейного расширения (трубка); нагреватель (сосуд с кипящей водой и трубкой), масштабная линейка, термометр, индикатор.

Порядок проведения работы:

1. Собрать установку (Рис. 1.1).



$T_2 = 373\text{K}$

Рис. 1.1.

1.1 Познакомиться с работой индикатора.

1.2 Измерить начальную длину L_1 трубки прибора с точностью до 1 мм.

1.3 Измерить начальную температуру T_1 с точностью до 1 К, которая равна температуре воздуха в комнате (выразить ее по шкале Кельвина), значение занести в таблицу 5.1.

2. Проводим опыт с установкой на рисунке 1.1.

2.1 Пропустить через трубку пар от нагревателя, дождаться, пока из нее не пойдет пар, считая, что трубка нагрелась до температуры 373К;

2.2 Определить по индикатору удлинение трубки, ΔL по формуле:

$$\Delta L = 0,01 n,$$

где n - число делений по шкале индикатора; 0,01 мм - цена деления шкалы индикатора.

2.3 Вычислить коэффициент линейного расширения по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1(T_2 - T_1)}, \text{ где } T_1 - \text{ это начальная температура трубки (температура в комнате), } T_2 -$$

конечная температура трубки (температура кипящей воды, $T_2 = 373\text{K}$), L_1 - начальная длина трубки, ΔL - удлинение трубки.

2.4 Значения вычисления занести в таблицу 5.1.

3. Повторить опыт с трубкой, выполненной из другого вещества, для этого нужно:

3.1 Использовать порядок выполнения работы пунктов 1.2-2.4.

4. Определить относительную погрешность метода для двух твердых тел.

Для этого нужно:

4.1 Используя справочный материал из таблицы 4.1, определить относительную

погрешность метода по формуле: $\varepsilon = \frac{|\alpha_{\text{экс}} - \alpha_{\text{таб}}|}{\alpha_{\text{экс}}} 100\%$, $\alpha_{\text{экс}}$ - экспериментально

определенный коэффициент линейного расширения, коэффициент линейного расширения, $\alpha_{\text{таб}}$ - табличное значение коэффициента, наиболее близкое к экспериментальному значению.

Таблица 4.1.

Вещество	α, K^{-1}	Вещество	α, K^{-1}
Алюминий, дюралюминий	$2,3 * 10^{-5}$	Никель	$1,28 * 10^{-5}$
Бетон, цемент	$(10 \div 14) * 10^{-6}$	Олово	$2,1 * 10^{-5}$
Бронза	$1,8 * 10^{-5}$	Платина	$9 * 10^{-6}$

Вольфрам	$4 \cdot 10^{-6}$	Платинит	$9 \cdot 10^{-6}$
Железо, сталь	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Свинец	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Золото	$1,4 \cdot 10^{-5}$	Стекло	$9 \cdot 10^{-5}$
Инвар	$6 \cdot 10^{-7}$	Цинк	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Латунь	$1,9 \cdot 10^{-5}$	Чугун	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-5}$	Эбонит	$7,0 \cdot 10^{-5}$

5. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1.

№ п/п	L_1 , мм	ΔL , мм	$T_2 - T_1$, К	$\alpha_{\text{эсп}}$, K^{-1}	$\alpha_{\text{таб}}$, K^{-1}	Вещество	ε , %
1							
2							

6. Сделать вывод проделанной работе.

7. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Каков характер взаимодействия между атомами в твердых телах? Как силы взаимодействия атомов зависят от расстояния между ними?
2. Как объяснить тепловое расширение твердых тел?
3. Каков физический смысл температурного коэффициента линейного расширения?
4. От чего зависит температурный коэффициент линейного расширения?
5. Что представляет собой сплав «инвар» и как он используется в приборостроении?
6. Почему коэффициент линейного расширения, определенный экспериментально, отличается от табличного значения? Как повысить точность (на Ваш взгляд)?
7. При 0°C длины железного и цинкового стержней должны быть равны между собой, а при 100°C должны различаться на 1 мм. Какие длины стержней при 0°C удовлетворяют этому условию?
8. Внутренний диаметр полого медного цилиндра при 20°C равен 100 мм. В каком интервале температур отклонение от этого значения не превышает 50 мкм?
9. При помощи штангенциркуля, предназначенного для работы при 20°C , измерили длину некоторого предмета при -20°C . Отсчет дал 19,97 см. Какова длина измеряемого тела?
10. Как меняется диаметр отверстия в чугунной кухонной печи, когда печь нагревается?
11. Когда балалайку выносят из теплого помещения на мороз, ее стальные струны становятся более натянутыми. Какое заключение можно вывести отсюда о различии в расширении стали и дерева?
12. В роялях стальные струны натягиваются на железную раму. Меняется ли натяжение струн при настолько медленном изменении температуры, что рама успевает принять ту же температуру, что и струны (железо расширяется почти в той же степени, что и сталь)?
13. Для впайки электродов в электрическую лампу употребляют сплав «платинид», расширяющийся при нагревании так же, как стекло. Что может случиться, если впаять в стекло медную проволочку (медь расширяется заметно сильнее стекла)?
14. В технике часто пользуются биметаллическими пластинками, состоящими из двух тонких пластинок разных металлов, приваренных друг к другу по всей поверхности соприкосновения. На рисунке 5 показана упрощенная схема термореле' - прибора,

автоматически выключающего на небольшой срок электрический ток, если сила тока почему-либо превысит допустимое значение: 1 - биметаллическая пластинка, 2 - небольшой нагревательный элемент, при допустимой силе тока нагревающийся слишком слабо для срабатывания реле, 3 - контакт. Разберитесь в действии термореле. С какой стороны пластинки 1 должен находиться металл, расширяющийся в большей мере?

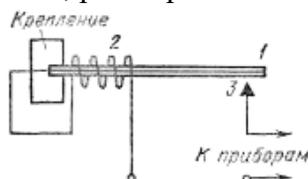


Рисунок 5.

15. Правильным ли является утверждение, что во время нагревания тело увеличивает свои размеры, так как размеры его молекул увеличиваются? Если нет, предложите свой исправленный вариант.
16. После того как пар кипящей воды пропустили через латунную трубку, длина трубки увеличилась на 1,62 мм. Чему равен коэффициент линейного расширения латуни, если при температуре 15 °C длина трубки равна 1 м? Напоминаем, что температура кипящей воды равна 100 °C.
17. Платиновый провод длиной 1,5 м находился при температуре 0 °C. Вследствие пропускания электрического тока провод раскалился и удлинился на 15 мм. До какой температуры он был нагрет?
18. Медный лист прямоугольной формы, размеры которого при температуре 20 °C составляют 60 см × 50 см, нагрели до 600 °C. Как изменилась площадь листа?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.

Определение коэффициента полезного действия электрического чайника

Цель работы: научиться экспериментально определять КПД электроприборов на примере электрочайника.

Теория: В проводниках при определенных условиях может возникнуть непрерывное упорядоченное движение свободных носителей электрического заряда. Такое движение называется электрическим током. За направление электрического тока принято направление движения положительных свободных зарядов, хотя в большинстве случаев движутся электроны – отрицательно заряженные частицы.

Количественной мерой электрического тока служит сила тока I – скалярная физическая величина, равная отношению заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени t , к этому интервалу времени: $I = q/t$.

Работа тока – работа электрического поля по перемещению заряженных частиц внутри проводника, на участке цепи она равна произведению силы тока, напряжения и времени, в течение которого совершалась работа

$$\left. \begin{aligned} A &= \Delta q U \\ \Delta q &= I \Delta t \end{aligned} \right\} \boxed{A = IU \Delta t}$$

Электрический ток нагревает проводник. Почему проводник нагревается?

Электрическое поле действует с силой на свободные электроны, которые начинают двигаться упорядоченно, одновременно участвуя в хаотическом движении, ускоряясь в промежутках между столкновениями с ионами кристаллической решетки. Приобретаемая электронами под действием электрического поля энергия направленного движения тратится на нагревание кристаллической решетки проводника, т.к. последующие

столкновения ионов с другими электронами увеличивают амплитуду их колебаний и соответственно температуру всего проводника.

Опыты показывают, что в неподвижных металлических проводниках вся работа тока идет на увеличение их внутренней энергии. Нагретый проводник отдает полученную энергию окружающим телам (путем теплопередачи). Значит, количество теплоты, выделяемое проводником, по которому течет ток, равно работе тока. Мы знаем, что работу тока рассчитывают по формуле: $A=U \cdot I \cdot t$. Обозначим количество теплоты буквой Q . Согласно сказанному выше $Q = A$, или $Q = U \cdot I \cdot t$. Пользуясь законом Ома, можно количество теплоты, выделяемое проводником с током, выразить через силу тока, сопротивление участка цепи и время. Зная, что $U = IR$, получим: $Q = I \cdot R \cdot I \cdot t$, т. е.

Закон Джоуля – Ленца: количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \Delta t$$

Важно! Закон Джоуля-Ленца позволяет вычислить количество теплоты, выделяемое на любом участке цепи, содержащем какие угодно проводники.

Кроме работы тока надо уметь вычислять **мощность тока P**/

Мощность – это работа, произведенная за единицу времени. Электрическая мощность равна произведению тока на напряжение.

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU$$

$$P=IU=I^2R=\frac{U^2}{R}$$

Зная закон Ома для участка цепи, мощность можно вычислить:

Мощность измеряется в ваттах (Вт) и указывается на электроприборах (либо в их паспортах).

Название вольт-ампер (ВА) используется в технике переменного тока, но только для измерения полной и реактивной мощности.

Приборы и принадлежности: электрический чайник, термометр, часы с секундной стрелкой.

Порядок выполнения работы:

1. Рассмотрите электрочайник. По паспортным данным определите электрическую мощность электроприбора.
2. Налейте в чайник воду объёмом, равным 1 л.
3. Измерьте с помощью термометра начальную температуру воды t_1 .
4. Включите чайник в электрическую сеть и нагрейте воду до кипения.
5. Определите по таблице температуру кипения воды t_2 .
6. Засеките время, в течение которого нагревалась вода Δt .
7. Вычислите по формулам:
 - а) совершённую электрическим током работу, зная мощность чайника P и время нагревания воды Δt , по формуле:

$$A_{\text{эл.тока}} = P \cdot \Delta t$$

- б) количество теплоты, полученное водой при нагревании:

$$Q_{\text{нагр.}} = cm(t_2 - t_1)$$

8. Рассчитайте коэффициент полезного действия электрочайника по формуле

$$\eta = \frac{A_{\text{полез}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad \eta = \frac{A_{\text{эл.тока}}}{Q} \cdot 100\%$$

9. Результаты измерений и вычислений занес в таблиц:

P,	V,	t ₁ ,	t ₂ ,	Δt,	A _{эл.тока} ,	Q _{нагр.} ,	η, %
----	----	------------------	------------------	-----	------------------------	----------------------	------

Вт	м ³	°С	°С	с	Дж	Дж	

Контрольные вопросы:

1. Как зависит от температуры сопротивление резисторов? Удельное сопротивление? Нарисуйте графики этих зависимостей.
2. Что называют сверхпроводимостью? Приведите не упомянутые в учебнике возможные применения явление сверхпроводимости.
3. Что называют реостатом? Приведите пример реостата, не описанного в учебнике.
4. От чего зависит сопротивление проводников?
5. Проволоку равномерно вытянули и её длина увеличилась в двое, а диаметр уменьшился в двое. Как при этом изменится сопротивление проволоки?
6. Как обычно включают осветительные лампы? Почему?
7. Чему равно внутреннее сопротивление и ЭДС батареи при параллельном включении n одинаковых источников тока?
8. Чему равно внутреннее сопротивление и ЭДС батареи при последовательном включении n одинаковых источников тока?
9. Запишите формулу для силы тока через внешнее сопротивление R , подключенного к клеммам n одинаковых источников с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r каждый, если источники тока соединены последовательно; параллельно.
10. В чём состоит физический принцип работы стрелочных амперметров и вольтметров?
11. Как подсоединяется амперметр в цепь? Каково его сопротивление?
12. Как подсоединяется вольтметр в сеть? Каково его сопротивление?
13. Можно ли амперметром измерять ток в осветительной сети, вставив его в розетку? Почему?
14. Нагревательный элемент электрической печи на мощность 500 Вт и напряжение 220 В выполнен из проволоки высокого сопротивления. Рассчитать сопротивление элемента и ток, который через него проходит (рис. 1).
15. Какое сопротивление должна иметь спираль (рис. 2) плитки при токе 3 А и мощности 500 Вт?
16. Какая мощность превращается в тепло при сопротивлении $r=100$ Ом, которое подключено к сети напряжением $U=220$ В (рис. 3)?
17. В схеме на рис. 4 амперметр показывает ток $I=2$ А. Подсчитать сопротивление потребителя и электрическую мощность, расходуемую в сопротивлении $r=100$ Ом при включении его в сеть напряжением $U=220$ В.

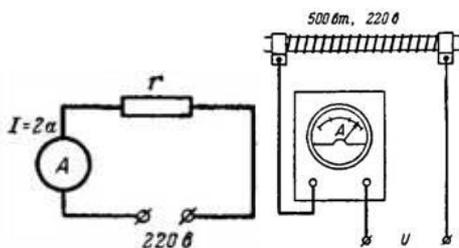


Рис. 1.

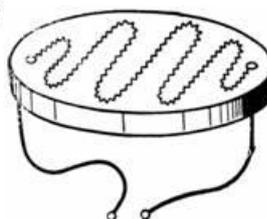


Рис. 2.

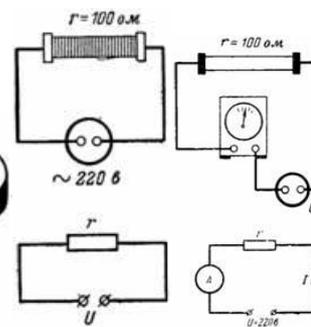


Рис. 3.

Рис. 4.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7.

Определение температурного коэффициента сопротивления меди.

Цель работы: экспериментально изучить зависимость сопротивления меди от температуры и определить температурный коэффициент сопротивления.

Теория: В металлических проводниках электрическое сопротивление обусловлено столкновением свободных электронов с колеблющимися ионами в узлах кристаллической решетки. По мере повышения температуры размах колебаний ионов увеличивается, что способствует большему рассеянию электронов, участвующих в упорядоченном движении. Кроме того с повышением температуры увеличивается скорость хаотического (теплого) движения электронов и они испытывают большее число столкновений с ионами кристаллической решетки. Все это приводит к тому, что с повышением температуры сопротивления проводника, а следовательно и удельное сопротивление увеличивается.

У химически чистых металлов с повышением температуры на 1°C сопротивление возрастает примерно на 0,004 сопротивления при 0°C и выражается линейной зависимостью

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta t), \quad (1)$$

где R_0 - сопротивление при 0°C ; Δt - разность температур (конечной и начальной); α - температурный коэффициент сопротивления материала проводника, показывающий, на какую часть начального сопротивления проводника взятого при 0°C изменяется сопротивление проводника при его нагревании на 1°C или на 1К.

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot \Delta t} \text{ или } \alpha = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot \Delta T}, \quad (2)$$

где $\Delta R = R_t - R_0$

Опытным путем можно определить α , не пренебрегая к измерению сопротивления R_0 . Для этого необходимо дважды измерить сопротивление исследуемого материала R_1 и R_2 при разных температурах t_1 и t_2 . Зная, что

$$R_1 = R_0(1 + \alpha \cdot (t_1 - t_0)), R_2 = R_0(1 + \alpha \cdot (t_2 - t_0))$$

Можно найти соотношение $\frac{R_1}{R_2}$, а затем и α .

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}, \quad \alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot t_2 - R_2 \cdot t_1} \quad (3).$$

Применяемый прибор для определения термического коэффициента сопротивления меди состоит из катушки 1, намотанной медным изолированным проводом на картонном каркасе 2; концы катушки выведены к зажимам 3, установленным на пластмассовой колодке 4. В этой же колодке закреплена стеклянная пробирка со вставленным в нее каркасом катушки. Сверху в колодке имеется отверстие 5, в которое вставляют термометр для измерения температуры катушки.

Помещая пробирку с катушкой, например, в холодную воду и горячую и измеряя сопротивление катушки при разной температуре, можно вычислить термический коэффициент сопротивления меди.

Изучение зависимости сопротивления металлов от температуры имеет важное значение для экспериментальной физики и техники. Большинство точных измерений температуры в настоящее время производится с помощью так называемых термометров сопротивления. Они представляют собой проволочные сопротивления, температурная зависимость которых тщательно проградуирована в специальных термостатах. Эти термометры точнее, удобнее в использовании и диапазон их сравнительно шире, чем у ртутных и других жидкостных

термометров. Платиновый термометр сопротивления, например, применяется в интервале от -263 до + 1000°С. Точность таких термометров составляет несколько сотых долей градуса.

Приборы и принадлежности: прибор для определения температурного коэффициента сопротивления; омметр; термометр; сосуд с водой; электрическая плитка.

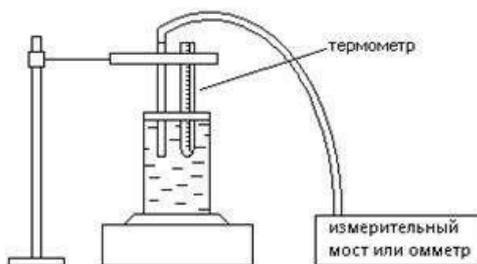


Рисунок 1.

Порядок проведения работы:

1. Сосуд с водой поставить на электроплитку и включить в осветительную сеть.
- 1.1 Измерить сопротивление R_1 медной проволоки при комнатной температуре t_1 с помощью омметра.
2. Опустить прибор для определения температурного коэффициента сопротивления в стакан с водой, установить в нем термометр.
- 2.1 Нагревая воду, измерить сопротивление R с помощью омметра через каждые 10-20 градусов до 100°С.
- 2.2 Измеренные значения сопротивлений записать в таблицу 5.1.
3. Вычислить для каждого измерения температурный коэффициент сопротивления, используя формулу (3) теории к лабораторной работе.
- 3.1 Определить среднее значение температурного коэффициента сопротивления меди по формуле:

$$\alpha_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n}, \text{ где } n\text{-число показаний сопротивления, измеренных во время эксперимента.}$$

4. Определить относительную погрешность метода по формуле: $\varepsilon = \frac{|\alpha_{таб.} - \alpha_{экс.}|}{\alpha_{таб.}} \cdot 100\%$, где

$\alpha_{экс}$ - температурный коэффициент сопротивления меди, определенный экспериментально и соответствует среднему значению температурного коэффициента сопротивления меди α_{cp} , а $\alpha_{таб.} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ - табличное значение температурного коэффициента сопротивления меди.

5. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

Таблица 5.1.

№ п/п	$t, ^\circ\text{C}$	$R, \text{ Ом}$	$\alpha, ^\circ\text{C}^{-1}$	$\alpha_{cp}, ^\circ\text{C}^{-1}$	$\varepsilon, \%$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

8. Построить график зависимости сопротивления R (Ом) от температуры t ($^{\circ}\text{C}$), используя программу Microsoft Excel.
9. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.
10. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Объясните наличие электрического сопротивления металлов с классической точки зрения.
2. Почему и как сопротивление металлов зависит от температуры?
3. Объясните, почему с увеличением температуры увеличивается сопротивление металла?
4. В чем состоит отличие электрических свойств полупроводников и металлов?
5. Запишите выражение, показывающее зависимость сопротивления металлов от температуры.
6. Температурный коэффициент сопротивления меди $0,0042 \text{ K}^{-1}$. Что это означает?
7. Используя литературные источники, запишите, какие металлы и сплавы имеют наименьшие температурные коэффициенты. Какова их величина? Какова их стоимость? Объясните стоимостные различия.
8. Сопротивление медного проводника при 0°C равно 1 Ом . Каким оно будет при 100°C ?
9. Для каких целей используют материалы, имеющие малые температурные коэффициенты сопротивления?
10. Сопротивление стального и вольфрамового проводников при 0°C одинаковы. Будут ли одинаковы при 200°C ? ТКС стали $0,006 \text{ K}^{-1}$, вольфрама $0,005 \text{ K}^{-1}$.
11. Предположим, что вы измеряете сопротивление двух проводников, соединенных параллельно (последовательно) и имеющих разные температурные коэффициенты сопротивления. В каком случае (при последовательном или параллельном соединении) точность измерения будет больше? И для какого проводника?
12. Сопротивление стального и вольфрамового проводников при 50°C одинаковы. Каким они будут при 10°C ?
Какие металлы можно использовать для измерения температуры? С меньшим или большим температурным коэффициентом сопротивления?
13. Сопротивление алюминиевого и нихромового проводников при 20°C одинаковы. Будут ли одинаковы при 80°C ? ТКС алюминия $0,004 \text{ K}^{-1}$, нихрома $1,0001 \text{ K}^{-1}$.
14. Каков физический смысл нелинейной зависимости сопротивления металлов при высоких (более 100°C) температурах?
15. Сопротивление алюминиевого и нихромового проводников при 60°C одинаковы. Каким они будут при 30°C ?
16. Как зависит точность измерения коэффициента температурного сопротивления металлов от скорости нагрева?
17. Сопротивление константанового проводника при 100°C равно $1,002 \text{ Ом}$. Каким оно будет при 0°C ?
18. Чем объясняется явление сверхпроводимости? Назвать несколько примеров использования сверхпроводимости.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8.

Изучение термоэлектричества

Цель работы: экспериментально изучить термоэлектрические явления и провести градуировку термопары.

Теория: Если температура контактов различных металлов не одинакова, то в цепи возникает электрический ток, называемый *термоэлектрическим*. Явление возникновения термоэлектрического тока (явление Зеебека), а так же явление Пельтье и Томсона, называется *термоэлектрическими явлениями*.

Явление Зеебека (немецкий физик) 1821г. - возникновение термоэлектрического тока (или термо-Э.Д.С.) в замкнутой цепи последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми имеют различную температуру.

В замкнутой цепи термо Э.Д.С. ~ разности температур.

$$\varepsilon = \alpha(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Объяснение возникновения термо-Э.Д.С.: Термо-Э.Д.С. зависит от температуры, отсюда следует, если температура кристаллов различна, то разными будут и внутренние контактные разности потенциалов. Таким образом, сумма скачков потенциалов отлична от нуля и, отсюда следует, возникает в цепи термо-Э.Д.С. Диффузия электронов при градиенте температуры в цепи также приводит к появлению термо-Э.Д.С.

Явление Зеебека используется для измерения температур - *термопары* - представляют собой два разнородных металла, контакты которых находятся при разных температурах.

Постоянная зависит только от рода металлов, из которых состоит термопара, и называется постоянной термопары. Из формулы (1) следует, что:

$$\alpha = \frac{\varepsilon}{T_1 - T_2}, \quad (2)$$

то есть постоянная термопары численно равна термоЭ.Д.С., возникающей в данной термопаре при разности температур спаев в 1 градус.

Постоянную термопары можно определить следующим образом: пусть сопротивлению R_0 термопары с включенным в цепь гальванометром равно R_0 . Создадим разность температур спаев $(T_1 - T_2)$ и заметим показание гальванометра I_1 , соответствующее данной разности температур. Цена деления гальванометра C . По закону Ома: $\varepsilon = CI_1R_0$, откуда

$$R_0 = \frac{\varepsilon}{CI_1} \quad (3)$$

Включим последовательно с гальванометром сопротивление R и произведем измерение при той же разности температур $(T_1 - T_2)$. Показание гальванометра обозначим I_2 . По закону Ома:

$$\varepsilon = CI_2(R_0 + R) \quad (4)$$

Подставив (3) в (4), получим:

$$\varepsilon = CI_2 \left(-\frac{\varepsilon}{CI_1} + R \right), \quad (5)$$

Откуда:

$$\varepsilon = C \frac{I_1 I_2}{I_1 - I_2} R, \quad (6)$$

Подставив (6) в (1), получим:

$$\alpha = C \frac{I_1 I_2}{I_1 - I_2} \cdot \frac{R}{T_1 - T_2} \quad (7)$$

Явление Пельтье (французский ~ физик) 1834г. (обратное к явлению Зеебека), при прохождении тока через контакт двух разнородных металлов в зависимости от его направления кроме джоулевого тепла (нагрева проводников) выделяется (при одном направлении тока) или поглощается (при другом направлении тока) дополнительная теплота.

$Q_{\text{Пельтье}} \sim I$; $Q_{\text{Пельтье}} > 0$ при $I \rightarrow$ и $Q_{\text{П}} < 0$ при $I \leftarrow$.

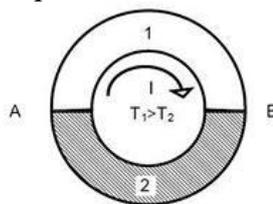


Рисунок 1.

Объяснение явления Пельтье:

Электроны по разную сторону спая обладают различной средней энергией. Если электроны, движущиеся по часовой стрелке (рис.1), пройдут спай *B* и попадут в область с меньшей энергией, то избыток своей энергии они отдадут кристаллической решетке и спай *B* будет нагреваться. В спае *A* электроны переходят в область с большей энергией, забирают часть энергии у кристаллической решетки для выравнивания своей температуры с температурой кристаллической решетки. Таким образом спай *A* будет охлаждаться.

Явление Пельтье используется в термоэлектрических полупроводниковых холодильниках.

Явление Томсона (1856). При прохождении тока по неравномерно нагретому проводнику должно происходить дополнительное выделение (или поглощение) теплоты аналогичной теплоте Пельтье.

Объяснение явления Томсона:

Так как в нагретой части проводника электроны имеют большую среднюю энергию, чем в менее нагретой, то двигаясь в направлении убывания температуры, они отдают часть своей энергии решетке, в результате чего происходит выделение теплоты Томсона. При движении электронов в обратном направлении происходит поглощение энергии (теплоты) Томсона.

Полупроводниковые холодильники Пельтье. Работа современных высокопроизводительных электронных компонентов, составляющих основу компьютеров, сопровождается значительным тепловыделением, особенно при эксплуатации их в форсированных режимах разгона (overclocking). Эффективная работа таких компонентов требует адекватных средств охлаждения, обеспечивающих необходимые температурные режимы их работы. Как правило, такими средствами поддержки оптимальных температурных режимов являются кулеры, основой которых являются традиционные радиаторы и вентиляторы.

Надежность и производительность таких средств непрерывно повышаются за счет совершенствования их конструкции, использования новейших технологий и применения в их составе разнообразных датчиков и средств контроля. Это позволяет интегрировать подобные средства в состав компьютерных систем, обеспечивая диагностику и управление их работой с целью достижения наибольшей эффективности при обеспечении оптимальных температурных режимов эксплуатации компьютерных элементов, что повышает надежность и удлиняет сроки их безаварийной работы.

Параметры традиционных кулеров непрерывно улучшаются, тем не менее, в последнее время на компьютерном рынке появились и вскоре стали популярными такие специфические средства охлаждения электронных элементов как полупроводниковые холодильники Пельтье (хотя часто применяется слово кулер, но правильным термином в случае элементов Пельтье является именно холодильник).

Холодильники Пельтье, содержащие специальные полупроводниковые термоэлектрические модули, работа которых основана на эффекте Пельтье, открытом еще в 1834 г., являются чрезвычайно перспективными устройствами охлаждения. Подобные средства уже много лет успешно применяются в различных областях науки и техники.

В шестидесятых и семидесятых годах отечественной промышленностью предпринимались неоднократные попытки выпуска бытовых малогабаритных холодильников, работа которых была основана на эффекте Пельтье. Однако несовершенство существовавших технологий,

низкие значения коэффициента полезного действия и высокие цены не позволили в те времена подобным устройствам покинуть научно-исследовательские лаборатории и испытательные стенды.

Но эффект Пельтье и термоэлектрические модули не остались уделом только ученых. В процессе совершенствования технологий многие негативные явления удалось существенно ослабить. В результате этих усилий были созданы высокоэффективные и надежные полупроводниковые модули.

В последние годы данные модули, работа которых основана на эффекте Пельтье, стали активно использовать для охлаждения разнообразных электронных компонентов компьютеров. Их, в частности, стали применять для охлаждения современных мощных процессоров, работа которых сопровождается высоким уровнем тепловыделения.

Благодаря своим уникальным тепловым и эксплуатационным свойствам устройства, созданные на основе термоэлектрических модулей — модулей Пельтье, позволяют достичь необходимого уровня охлаждения компьютерных элементов без особых технических трудностей и финансовых затрат. Как кулеры электронных компонентов, данные средства поддержки необходимых температурных режимов их эксплуатации являются чрезвычайно перспективными. Они компактны, удобны, надежны и обладают очень высокой эффективностью работы.

Особенно большой интерес полупроводниковые холодильники представляют в качестве средств, обеспечивающих интенсивное охлаждение в компьютерных системах, элементы которых, установлены и эксплуатируются в жестких форсированных режимах. Использование таких режимов — разгона (overclocking) часто обеспечивает значительный прирост производительности применяемых электронных компонентов, а, следовательно, как правило, и всей системы компьютера. Однако работа компьютерных компонентов в подобных режимах отличается значительным тепловыделением и нередко находится на пределе возможностей компьютерных архитектур, а также существующих и используемых микроэлектронных технологий. Такими компьютерными компонентами, работа которых сопровождается высоким тепловыделением, являются не только высокопроизводительные процессоры, но и элементы современных высокопроизводительных видеоадаптеров, а в некоторых случаях и микросхемы модулей памяти. Подобные мощные элементы требуют для своей корректной работы интенсивного охлаждения даже в штатных режимах и тем более в режимах разгона.

Приборы и принадлежности:

Порядок выполнения работы: цифровой мультиметр; два одинаковых термоэлемента (термопара); соединительные провода; два термометра (от 0^0 С до 100^0 С); электрическая плитка; химический стакан; калориметр.

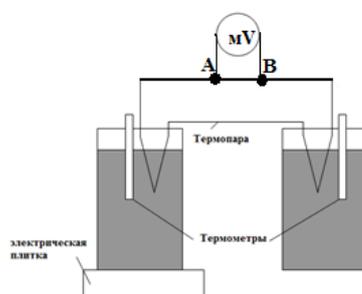


Рисунок 2

Порядок проведения работы:

1. Собрать установку по схеме, показанной на рисунке 2.
2. Подключить мультиметр к клеммам **А** и **Б**.

2.1 При выключенной электрической плитке измерить начальную (комнатную) температуру холодного и горячего спаев в t_1 °С.

2.2 Измерить значение Э.Д.С. при одинаковой температуре холодного и горячего спаев ($\varepsilon, мВ$).

3. Включить электрическую плитку.

3.1 При нагревании воды, а вместе с ней спая одной термопары, измерить через каждые 5°С величину создаваемой Э.Д.С. ($\varepsilon, мВ$). Выполнить 6-8 замеров.

4. Результаты измерений занести в таблицу 4.1:

Таблица 4.1.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, ^\circ\text{C}$								
$\varepsilon, мВ$								
$\alpha(B/^\circ\text{C})$								

5. По полученным данным построить график зависимости Э.Д.С. $\varepsilon(мВ)$ от температуры t (°С), используя программу Microsoft Excel.

6. По построенному графику определить постоянную термопары $\alpha(B/^\circ\text{C})$, которая характеризует чувствительность термопары, т.е. на сколько мВ изменяется ЭДС термопары при изменении температуры на 1°С, используя формулу $\alpha = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t}$.

7. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

8. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Чем обусловлены термоэлектрические эффекты?

2. В чем состоит явление Зеебека, Пельтье, Томсона?

3. Объясните причины возникновения эффекта Зеебека, эффекта Пельтье и эффекта Томсона.

4. Как увеличить выход электронов из металла?

5. От чего зависит работа выхода электронов из металла?

6. Какие причины возникновения термоЭ.Д.С. вы знаете?

7. Как устроена термопара.

8. Какие существуют способы включения термопары.

9. Какая величина называется постоянной термо-Э.Д.С. термопары? От чего она зависит?

10. Как измерить температуру термопары, зная ее градуировку.

11. Применение термоэлектрических эффектов.

12. Объяснить физическую картину возникновения контактной разности потенциалов.

13. Работа выхода электрона из цинка равна 4,0 эВ. Определить величину потенциального барьера.

14. Работа выхода электрона из алюминия равна 3,7 эВ. Определить величину потенциального барьера.

15. Определить термо-Э.Д.С. никель-платиновой термопары при нагревании ее от 390 до 1300 К, если удельная термо-Э.Д.С. равна $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ В/К}$.

16. Определить термо-Э.Д.С. железо-константановой термопары при нагревании ее от 290 до 1500 К, если удельная термо-Э.Д.С. равна $5,3 \cdot 10^{-5} \text{ В/К}$.

17. На сколько градусов была нагрета серебряно-платиновая термопара, если возникла термо-Э.Д.С. 0,006. Удельная термо-Э.Д.С. равна $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ В/К}$.

18. Какова удельная термо-ЭДС платино-платинородиевой термопары, если при нагревании ее на 1500 К возникла термо-Э.Д.С. $9,6 \cdot 10^{-3} \text{ В/К}$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9.

Определение заряда электрона

Цель работы: определить величину заряда электрона, используя закон Фарадея для электролиза.

Теория: В отсутствие внешнего электрического поля ионы противоположных знаков и нераспавшиеся молекулы, составляющие раствор, находятся в состоянии хаотического движения. Если в растворе создать электрическое поле, движение ионов станет упорядоченным. Электрическое поле в электролите можно создать опустив в него электроды - проводники, соединенные с источником тока.

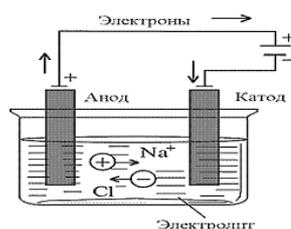


Рисунок 1

Под действием электрического поля катионы движутся к отрицательному электроду К (катоде), а анионы - к положительному электроду А (аноду). Следует отметить, что скорость движений ионов невелика (например, при $E=10^2 \text{ В/м}$ скорость ионов водорода $\approx 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$). В электролите возникает направленное движение электрических зарядов, т.е. возникает электрический ток. Суммарная сила тока равна отношению заряда (обоих знаков), проходящего через данное сечение раствора, к времени. Плотность электрического тока в электролите определяется согласно закону Ома:

$$j = \frac{E}{\rho}, \quad (1)$$

где ρ - удельное сопротивление электролита. Сопротивление электролитов, так же как и сопротивление проводников, может быть вычислено по формуле:

$$R = \frac{l}{S} \rho \quad (2)$$

Удельное сопротивление электролита при повышении температуры уменьшается, а удельная проводимость увеличивается.

Прохождение электрического тока через электролит сопровождается явлением электролиза - выделением на электродах веществ, входящих в состав электролита. Ток в электролитах связан с переносом вещества, поэтому электролиты в отличие от металлов называют проводниками второго рода.

Химические действия электрического тока впервые были открыты в 1800 г., но только в 1833 г. М. Фарадеем были установлены законы электролиза.

Первый закон Фарадея: масса m вещества, выделяющегося на электроде, пропорциональна электрическому заряду Q , прошедшему через электролит:

$$m = kQ \quad \text{или} \quad m = kIt \quad (3)$$

где $I = Q/t$ - сила постоянного тока, протекающего через раствор за время t .

Коэффициент пропорциональности k называют электрохимическим эквивалентом вещества. Он равен отношению массы вещества, выделившегося на электроде при электролизе, к заряду, прошедшему через электролит.

Физический смысл первого закона Фарадея можно понять зная механизм ионной проводимости и электролиза. Чем больше количество электричества пройдет через электролит, тем большее число ионов подойдет к электродам. Положительные ионы при соприкосновении с катодом получают недостающие электроны и осаждаются на катоде в виде нейтральных атомов. Отрицательные ионы при соприкосновении с анодом отдают лишние электроны и осаждаются на аноде. Каждый осаждающийся на электроде ион переносит с собой некоторый электрический заряд. Следовательно, полный заряд, переносимый всеми ионами, строго пропорционален полному количеству ионов, осевших на электродах, т.е. массе выделяющегося вещества.

Второй закон Фарадея: электрохимический эквивалент вещества прямо пропорционален отношению атомной (молекулярной) массы A к валентности n :

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{n} \quad (4)$$

Отношение атомной (молекулярной) массы к валентности называют химическим эквивалентом. Электрохимические эквиваленты веществ пропорциональны их химическим эквивалентам.

Физический смысл постоянной Фарадея F можно выяснить, если в (3) подставить выражение k , определяемое из (4):

$$m = \frac{1}{F} \frac{A}{n} Q \quad (5)$$

Выражение (3) называют объединенным законом электролиза Фарадея: постоянная Фарадея ($F = 9,648 \cdot 10^4$ Кл / моль) характеризует электрический заряд, который нужно пропустить через раствор электролита, чтобы выделить на электроде массу любого вещества, численно равную химическому эквиваленту.

Определить величину заряда электрона можно с помощью эксперимента, используя закон Фарадея для электролиза. Электролитом служит раствор сульфата меди (CuSO_4), а в качестве электродов используют медные пластины.

Заряд электрона может быть определён по формуле

$$e = \frac{M}{(m_2 - m_1)nN_a} It \quad (6),$$

полученной из закона Фарадея для электролиза. Здесь m – масса выделившейся на катоде меди, M – атомная масса меди, n – валентность меди, N_a – число Авогадро, I – сила тока, t – время прохождения тока через электролит.

Приборы и принадлежности: источник питания ЛИП, электролитическая ванна с раствором медного купороса, 2 медных электрода, амперметр постоянного тока, реостат, рубильник, провода, весы, разновесы до 0,01 г, секундомер, электрическая плитка.

Порядок выполнения работы:

1. Уравновесить весы.

1.1 Взвесить катод (в цепи он должен быть отрицательным электродом) и определить массу (m_1) с точностью до 10 мг.

2. Работа с электрической цепью.

2.1 Собрать цепь, как показано на схеме (рисунок 1.1).

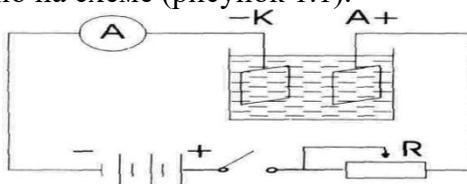


Рисунок 1.1

2.2 Поместить катод в электролитическую ванну, замкнуть цепь и с помощью реостата R установить силу тока около 0,5А. И одновременно пустить в ход секундомер.

2.3 Во время опыта, который длится 20 минут, необходимо следить за тем, чтобы сила тока была неизменной (0,5 А).

2.4 По окончании опыта разомкнуть ключ, извлечь катод из ванны, просушить над электрической плиткой.

3. Повторно взвесив, определить массу выделившейся на катоде меди (m_2).

3.1 Определить молярную массу (M) и валентность (n) меди (Cu_2). Записать полученные данные в таблицу 5.1.

3.2 Определить величину заряда электрона, используя формулу (6) в теории к лабораторной работе.

4. Определить относительную погрешность метода по формуле: $\varepsilon = \frac{|e_{таб.} - e_{экс.}|}{e_{таб.}} \cdot 100\%$, где

$e_{экс}$ - величина заряда электрона, определенного экспериментально, а $e_{таб} = 1,602176565 \cdot 10^{-19}$ Кл - табличное значение величина заряда электрона.

5. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 5.1:

Таблица 5.1

№ п\п	m_1 , кг	m_2 , кг	$(m_2 - m_1)$, кг	I, А	t, с	M, кг/моль	n	$e_{экс}$, Кл	ε , %

6. Сделать вывод о проделанной работе.

7. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое электролиз, катод, анод?

2. Какие процессы происходят на катоде и аноде?

3. Чем отличается расплав от раствора?

4. Перечислите правила электролиза в растворах на катоде и аноде?

5. Почему молекулы соли, кислоты и щёлочи в воде распадаются на ионы?

6. Почему с повышением температуры сопротивление электролита уменьшается?

7. При каких условиях концентрация электролита в процессе электролиза остаётся постоянной? меняется?

8. Могут ли при диссоциации образоваться ионы одного какого-нибудь знака? Почему? (нет, потому что диссоциирующая молекула состоит из ионов разных знаков).

9. Почему нельзя прикасаться к изолированным электрическим проводам голыми руками? (Влага на руках всегда содержит раствор различных солей и является электролитом. Поэтому она создает хороший контакт между проводами и кожей).

10. В раствор медного купороса опущены 2 угольных стержня, на одном из которых отлагается медь. Почему наиболее толстый слой меди получается на той части его поверхности, которая обращена к другому углу? (Здесь наибольшая плотность тока).

11. Почему электролиты являются проводниками второго рода? Ответ обоснуйте.

Дайте сравнительную характеристику проводимости металлов и жидкостей.

12. Определите электрохимический эквивалент свинца, если за 5 часов электролиза при силе тока в 5А на катоде выделилось 96,66г серебра ($k=1,118 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл)

13. Амперметр, включенный последовательно с электролитической ванной, показывает ток 1,5А. Какую поправку надо внести в показания амперметра, если за время 10 мин. На катоде выделилась масса меди 0,316 г?

14. Для серебрения ложек через раствор соли серебра в течение времени 5 мин пропускали ток 1,8А. Катодом служили 12 ложек, каждая ложка имеет площадь поверхности 50 см². Какой толщины слой серебра отложится на ложках?
15. Найти массу выделившейся меди, если для ее получения электрическим способом затрачено 5кВт*ч электроэнергии. Электролиз проводится при напряжении 10В. КПД установки 75%.
16. Какой заряд проходит через раствор медного купороса за время 10 мин, если ток за это время равномерно возрастает от 0 до 4 А. Какая масса меди выделится, при этом на катоде?
17. При рафинировании меди с помощью электролиза к последовательно включенным электролитическим ваннам, имеющим общее сопротивление 0,5 Ом, подведено напряжение 10В. найдите массу чистой меди, выделившейся на катодах ванны за время 10 ч. ЭДС равно 6В.
18. При электролитическом способе получения алюминия на единицу массы расходуется 50 кВт*ч/кг электроэнергии. Электролиз проводится при напряжении 16,2 В. Каким будет расход электроэнергии на единицу массы при напряжении 8,1 В?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Определение чувствительности селенового фотоэлемента.

Цель: научиться применять селеновый фотоэлемент для измерения освещенности и определять чувствительность прибора.

Теория: Среди разнообразных явлений, в которых проявляется действие света на вещество, важное место занимает фотоэлектрический эффект – явление вырывания электронов с поверхности вещества под действием света. Основное уравнение фотоэффекта представляет собой закон сохранения энергии. Это уравнение устанавливает связь между энергией кванта ($h\nu$), вызывающего фотоэффект, работой, которая тратится на выход электрона из металла (A), и кинетической энергии вылетевшего электрона ($\frac{m\vartheta^2}{2}$).

Уравнение имеет вид: $h\nu = A + \frac{m\vartheta^2}{2}$.

ν – частота падающего света; h – постоянная Планка, m – масса электрона, ϑ – максимальная скорость электрона.

Приборы, превращающие световую энергию в электрическую, носят название фотоэлементов.

Селеновые фотоэлементы с запирающим слоем относятся к числу наиболее распространенных полупроводниковых приборов. Принципиальное отличие фотоэлементов с запирающим слоем (вентильных фотоэлементов) от фотоэлектронных приборов, основанных на внешнем фотоэффекте, и фоторезисторов заключается в том, что они создают под действием излучения собственную электродвижущую силу. Энергия излучения в этих фотоэлементах непосредственно преобразуется в электрическую. Основную роль в этом играет запирающий слой. В селеновых фотоэлементах, схема устройства которых представлена на рис.1, этот слой образуется между областью с р-проводимостью селеном и областью с п-проводимостью, возникающей либо в результате диффузии металлов в слой селена, либо в результате образования селенистых соединений металлов. Из области с п-проводимостью электроны, находящиеся в зоне проводимости, перемещаются, при наличии градиента их концентрации, через границу раздела и вблизи неё

рекомбинируют с дырками р-области. Это приводит к образованию на границе двойного заряженного слоя с положительной компонентой в п-области и отрицательной в р-области. Возникающая при этом разность потенциалов называется контактной.

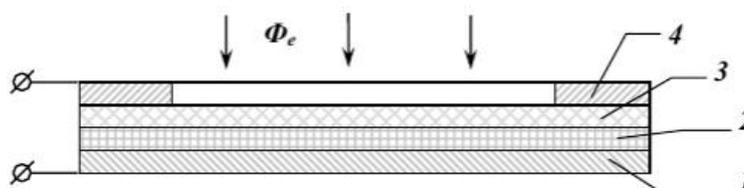


Рис. 1. Схема устройства селенового фотоэлемента:

- 1 - металлическая подложка;
- 2 - слой селена;
- 3 - полупрозрачный металлический электрод;
- 4 - контактное кольцо.

При облучении селенового фотоэлемента поглощение фотонов в основном происходит в р-области. Эффективно поглощенные фотоны образуют пары электрон-дырка. В режиме холостого хода электроны, генерируемые в р-области, попадают в ускоряющее для них поле и переходят в n-область, заряжая её отрицательно. А дырки остаются в р-области, которая заряжается положительно. В результате этого процесса между выводами фотоэлемента возникает разность потенциалов, которая уменьшает вероятность перехода электронов из n-области в р-область и дырок из р-области в n-область. Таким образом, электроны проходят через р-n-переход в обоих направлениях и суммарный ток, созданный их движением уменьшается. В то же время поток дырок из р-области будет постепенно нарастать. Этот процесс продолжается до тех пор, пока оба потока не сравняются, и ток через р-n-переход не прекратится. При этом между выводами фотоэлемента устанавливается разность потенциалов U_{xx} .

Если фотоэлемент замкнут накоротко, то во внешней цепи возникает ток неосновных носителей $i_{кз}$, направленный от р-области к n-области и прямо пропорциональный числу эффективно поглощенных фотонов, т.е. потоку Φ_e , упавшему на фотоэлемент. В промежуточном режиме, если в цепь фотоэлемента включено сопротивление нагрузки R_n , то между р- и n-областями создается некоторая разность потенциалов $U < U_{xx}$, а ток во внешней цепи уменьшается по сравнению с $i_{кз}$. В этом случае в фотоэлементе существует два потока носителей: прямой, созданный неосновными носителями, и встречный, возникающий в результате движения основных носителей, преодолевших снизившийся потенциальный барьер.

Эквивалентная схема селенового фотоэлемента представлена на рис.2, где фотоэлемент представлен как генератор тока с параллельно включен R_n внутренним сопротивлением за- R_y пирающего слоя R_y (сопротивление утечки) и последовательно соединенным сопротивлением $R_{пп}$, учитывающим сопротивление объема полупроводника и контактов.

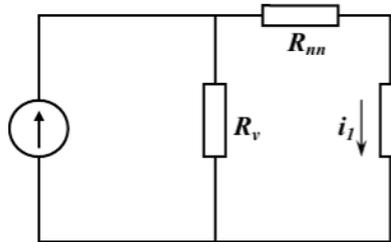


Рис.2. Эквивалентная электрическая схема селенового фотоэлемента

Приборы и принадлежности: селеновый фотоэлемент, электролампа, миллиамперметр, стабилизатор напряжения люксметр.

Порядок выполнения работы:

1. Открыть фотоэлемент люксметра и, не включая лампу на установке, определить освещенность, создаваемую общим освещением в кабинете (E_0).

2. Включить лампочку и расположить фотозаэлемент люксометра на определённом расстоянии от лампочки (чтобы стрелка отклонялась более чем на половину шкалы). Измерить люксометром освещённость на поверхности фотозаэлемента (E_1).

3. Найдите освещённость E , создаваемую только лампочкой (по разности показаний люксометра в 1-ом и 2-ом случае).

4. По формуле $I = E \cdot R^2$ вычислить силу света лампочки.

Если вся поверхность фотозаэлемента равномерно освещена световым потоком, падающим перпендикулярно к поверхности, то $\Phi = E \cdot S$, где Φ – световой поток, E – освещённость, S – площадь фотозаэлемента.

$i = k \cdot \Phi = k \cdot E \cdot S$, т.к. k и S величины постоянные, то следовательно, фототок пропорционален освещённости.

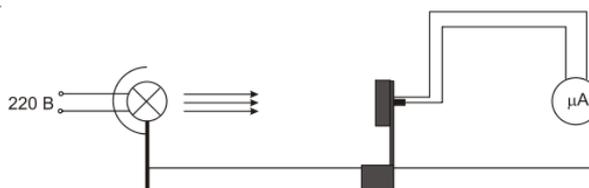


Рисунок 3

Измеряя величину соответствующих фототоков, можно построить градуировочную кривую, выражающую зависимость: $i = f(E)$

5. Собрать схему по рис.3.

6. Поддерживать постоянное напряжение лампочки в течении всего опыта.

7. Измеряя расстояние R от лампочки до фотозаэлемента, отметить величины фототока i по микроамперметру. Для каждого расстояния сделать 2 отчёта по микроамперметру: i_1 – при освещении фотозаэлемента лампочки; i_0 – при включённой лампочке.

8. Вычислить величину фототока, даваемого только лампочкой: $i = i_1 - i_0$.

9. Вычислить освещённость E , создаваемую только лампочкой, для каждого расстояния R :

$$E = \frac{I}{R^2}$$

10. Измерения занести в таблицу:

№ п/п	Сила света лампочки $I, \text{кд}$	Расстояние R	Освещённость $E, \text{Лк}$	Фототок, мкА		
				i_1	i_0	$i = i_1 - i_0$
1						
2						
3						

11. Постройте график по данным, по оси ординат откладывая фототок (мкА), по оси абсцисс – освещённость (Лк).

12. Вычислите площадь фотозаэлемента, измерив его диаметр: $S = \frac{\pi d^2}{4}$.

13. Определите чувствительность фотозаэлемента по формуле: $k = \frac{i}{\Phi} = \frac{i}{E \cdot S}$

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается физический принцип работы селенового фотозаэлемента?
2. Что такое "световая характеристика приемника света"?
3. Почему и когда световая характеристика селенового фотозаэлемента не линейна?
4. Какие сложные полупроводники имеют наибольшее значение в полупроводниковой технике? Почему?
5. Чему равна освещённость в плоскости фотозаэлемента, если при частично закрытом фотозаэлемента на 75 % его поверхности прибор показывает значения 100 лм/м^2 ?
6. Как зависит проводимость полупроводников от температуры и освещённости?
7. Почему диод не пропускает ток в обоих направлениях?

8. Когда наступает пробой диода?

. Почему подвижность дырок меньше, чем подвижность электронов?

9. Какой тип электропроводности (дырочный или электронный) имеет собственный полупроводник? Почему?

10. Как связана ширина запрещенной зоны с электропроводностью полупроводниковых материалов?

11. Удельное сопротивление собственного германия $\rho=0.43$ Ом·м при $T=300$ К. Подвижности электронов и дырок в германии равны соответственно 0.39 и 0.19 м²/(В·с). Определите собственную концентрацию электронов (n) и дырок (p).

12. Образец германия, рассмотренный в предыдущей задаче, легирован примесью атомов сурьмы так, что один атом примеси приходится на $2 \cdot 10^6$ атомов германия. Определить: а) концентрацию электронов и дырок при $T=300$ К (предположить, что при этой температуре все атомы сурьмы ионизированы и концентрация атомов германия $N=4.4 \cdot 10^{28}$ м⁻³); б) удельное сопротивление этого легированного материала, в) коэффициенты диффузии электронов и дырок в германии при данной температуре.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

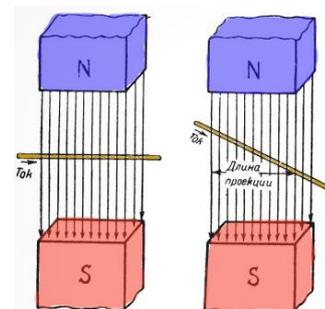
Наблюдение действия магнитного поля на электрический ток.

Цель работы: экспериментально определить зависимость действия магнитного поля на проводник с током от силы и направления тока в нем.

Теория:

С современной точки зрения в природе существует совокупность двух полей — электрического и магнитного — это электромагнитное поле, оно представляет собой особый вид материи, т. е. существует объективно, независимо от нашего сознания. Магнитное поле всегда порождается переменным электрическим, и наоборот, переменное магнитное поле всегда порождает переменное электрическое поле. Электрическое поле, вообще говоря, можно рассматривать отдельно от магнитного, так как носителями его являются частицы — электроны и протоны. Магнитное поле без электрического не существует, так как носителей магнитного поля нет. Вокруг проводника с током существует магнитное поле, и оно порождается переменным электрическим полем движущихся заряженных частиц в проводнике. Магнитное поле является силовым полем. Силовой характеристикой магнитного поля называют магнитную индукцию (B). Магнитная индукция — это векторная физическая величина, равная максимальной силе, действующей со стороны магнитного поля на единичный элемент тока. $B = \frac{F}{IL}$ Единичный элемент тока — это проводник длиной 1 м и силой тока в нем 1 А. Единицей измерения магнитной индукции является тесла. 1Тл = 1 $\frac{Н}{А \cdot м}$. Магнитная индукция всегда порождается в плоскости под углом 90° к электрическому полю. Вокруг проводника с током магнитное поле также существует в перпендикулярной проводнику плоскости. Магнитное поле является вихревым полем. Для графического изображения магнитных полей вводятся силовые линии, или линии индукции, — это такие линии, в каждой точке которых вектор магнитной индукции направлен по касательной. Направление силовых линий находится по правилу буравчика. Если буравчик ввинчивать по направлению тока, то направление вращения рукоятки совпадет с направлением силовых линий. Линии магнитной индукции прямого провода с током представляют собой концентрические окружности, расположенные в плоскости, перпендикулярной проводнику.

Как установил Ампер, на проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила. Сила, действующая со стороны магнитного поля на проводник с током, прямо пропорциональна силе тока, длине проводника в магнитном поле и перпендикулярной составляющей вектора магнитной индукции. Это и есть формулировка закона Ампера, который записывается так: $F_a = ILB \sin\alpha$. Направление силы Ампера определяют по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы четыре пальца показывали направление тока, перпендикулярная составляющая вектора магнитной индукции ($B = B\sin\alpha$) входила в ладонь, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера.

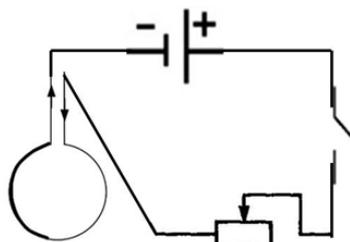


Приборы и принадлежности: источник электропитания; катушка – моток; переменный резистор; ключ; полосовой магнит; штатив с муфтой и лапкой; соединительные провода.

Порядок выполнения работы:

В работе исследуют взаимодействие проволочной катушки – мотка, подвешенной на штативе, с постоянным магнитом, также установленном на этом штативе рядом с катушкой. Последовательно с катушкой включают переменное сопротивление, что позволяет менять в ходе опыта силу тока в ней.

1. Соберите экспериментальную установку, как показано на схеме:



2. Ползунок переменного сопротивления поставьте в такое положение, при котором в цепи протекал бы минимальный ток.
3. Замкните ключ и по изменению положения катушки сделайте вывод о характере действия на нее магнита.
4. Увеличивая с помощью переменного сопротивления ток в цепи, установите, как зависит действие магнитного поля на катушку от направления тока в ней.
5. Изменив подключение соединительных проводов к источнику питания, установите, как зависит действие магнитного поля на катушку от направления тока в ней.
6. Измените, положение полюсов магнита на противоположное и повторите действия, указанные в пунктах 3, 4 и 5.
7. Для каждого этапа опыта сделайте схематические рисунки, отражающие изменения во взаимодействии магнита и катушки при измерении режимов работы установки.
8. Укажите на рисунках направления магнитного поля магнита, тока в катушке и магнитного поля катушки.
9. Объясните результаты наблюдений.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте закон Ампера.
2. Объясните взаимодействие токов:



3. Чему равно значение ЭДС индукции, возникающей в контуре, при равномерном изменении магнитного потока, пронизывающего контур, от 10 мВб до нуля за 1 мс?
4. В катушке, содержащей 500 витков провода, магнитный поток равномерно убывает от 20 до 5 мВб за 5 мс. Какова величина ЭДС индукции в катушке? Постройте график зависимости ЭДС индукции от времени в интервале от 0 до 5 мс.
5. Как изменится сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в однородном магнитном поле, при увеличении магнитной индукции в 3 раза и увеличении скорости частиц в 3 раза?
6. Проводник длиной 2 м движется под углом 30° к линиям индукции однородного магнитного поля со скоростью 4 м/с. На концах проводника возникает разность потенциалов 40 мВ. Какова величина индукции магнитного поля?
7. Назовите свойства вихревого электрического поля, отличающие его от электростатического поля.
8. Чему равна сила, действующая на заряд 10^{-7} Кл, движущийся со скоростью 600 м/с в магнитном поле с индукцией 0.02 Тл, если скорость направлена перпендикулярно линиям магнитной индукции?
9. Как изменится магнитный поток в катушке индуктивностью 1 Гн при изменении силы тока в ней от 1 А до 2 А?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12.

Определение индуктивности магнитного поля постоянного магнита

Цель работы: оценить значение индукции магнитного поля у полюса постоянного магнита; исследовать характер убывания индукции магнитного поля при удалении от магнита.

Теория: Магнитные полюса и магнитное поле. Магнитные свойства стержневого магнита наиболее заметны вблизи его концов. Если такой магнит подвесить за среднюю часть так, чтобы он мог свободно поворачиваться в горизонтальной плоскости, то он займет положение, примерно соответствующее направлению с севера на юг. Конец стержня, указывающий на север, называют северным полюсом, а противоположный конец - южным полюсом. Разноименные полюса двух магнитов притягиваются друг к другу, а одноименные взаимно отталкиваются. Если к одному из полюсов магнита приблизить брусок немагнитного железа, то последний временно намагнитится. При этом ближний к полюсу магнита полюс намагнитенного бруска будет противоположным по наименованию, а дальний - одноименным. Притяжением между полюсом магнита и индуцированным им в бруске противоположным полюсом и объясняется действие магнита. Некоторые материалы (например, сталь) сами становятся слабыми постоянными магнитами после того, как побывают около постоянного магнита или электромагнита. Стальной стержень можно намагнитить, просто проведя по его торцу концом стержневого

постоянного магнита. Итак, магнит притягивает другие магниты и предметы из магнитных материалов, не находясь в соприкосновении с ними. Такое действие на расстоянии объясняется существованием в пространстве вокруг магнита магнитного поля. Некоторое представление об интенсивности и направлении этого магнитного поля можно получить, насыпав на лист картона или стекла, положенный на магнит, железные опилки. Опилки выстроятся цепочками в направлении поля, а густота линий из опилок будет соответствовать интенсивности этого поля. (Гуще всего они у концов магнита, где интенсивность магнитного поля наибольшая.) М. Фарадей (1791-1867) ввел для магнитов понятие замкнутых линий индукции. Линии индукции выходят в окружающее пространство из магнита у его северного полюса, входят в магнит у южного полюса и проходят внутри материала магнита от южного полюса обратно к северному, образуя замкнутую петлю. Полное число линий индукции, выходящих из магнита, называется магнитным потоком. Плотность магнитного потока, или магнитная индукция (B), равна числу линий индукции, проходящих по нормали через элементарную площадку единичной величины. Магнитной индукцией определяется сила, с которой магнитное поле действует на находящийся в нем проводник с током. Если проводник, по которому проходит ток I , расположен перпендикулярно линиям индукции, то по закону Ампера сила F , действующая на проводник, перпендикулярна и полю, и проводнику и пропорциональна магнитной индукции, силе тока и длине проводника. Таким образом, для магнитной индукции B можно написать выражение: $B = \frac{F}{Il}$, где F - сила в ньютонах, I - ток в амперах, l - длина в

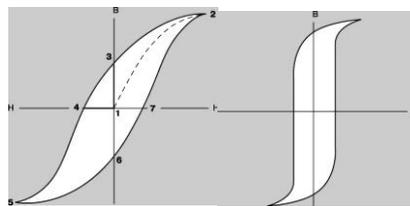
метрах. Единицей измерения магнитной индукции является тесла (Тл).

Гальванометр. Гальванометр - чувствительный прибор для измерения слабых токов. В гальванометре используется вращающий момент, возникающий при взаимодействии подковообразного постоянного магнита с небольшой токнесущей катушкой (слабым электромагнитом), подвешенной в зазоре между полюсами магнита. Вращающий момент, а следовательно, и отклонение катушки пропорциональны току и полной магнитной индукции в воздушном зазоре, так что шкала прибора при небольших отклонениях катушки почти линейна. Намагничивающая сила и напряженность магнитного поля. Далее следует ввести еще одну величину, характеризующую магнитное действие электрического тока. Предположим, что ток проходит по проводу длинной катушки, внутри которой расположен намагничиваемый материал. Намагничивающей силой называется произведение электрического тока в катушке на число ее витков (эта сила измеряется в амперах, так как число витков - величина безразмерная). Напряженность магнитного поля H равна намагничивающей силе, приходящейся на единицу длины катушки. Таким образом, величина H измеряется в амперах на метр; ею определяется намагниченность, приобретаемая материалом внутри катушки. В вакууме магнитная индукция B пропорциональна напряженности магнитного поля H : $B = \mu_0 H$, где μ_0 - магнитная постоянная, имеющая универсальное значение $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$. Во многих материалах величина B приблизительно пропорциональна H .

Расчет магнитных свойств. Магнитная индукция поля Земли составляет $0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл, тогда как поле между полюсами сильного электромагнита - порядка 2 Тл и более. Магнитное поле, создаваемое какой-либо конфигурацией токов, можно вычислить, пользуясь формулой Био - Савара - Лапласа для магнитной индукции поля, создаваемого элементом тока. Расчет поля, создаваемого контурами разной формы и цилиндрическими катушками, во многих случаях весьма сложен. Ниже приводятся формулы для ряда простых случаев. Магнитная индукция (в теслах) поля, создаваемого длинным прямым проводом с током I (ампер), на расстоянии r (метров) от провода равна $B = \mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot r}$

.Индукция в центре кругового витка радиуса R с током I равна (в тех же единицах):

$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot R}$. Плотно намотанная катушка провода без железного сердечника называется соленоидом. Магнитная индукция, создаваемая длинным соленоидом с числом витков N в точке, достаточно удаленной от его концов, равна: $B = \mu_0 \frac{NI}{L}$. Здесь величина NI/L есть число ампер (ампер-витков) на единицу длины соленоида. Во всех случаях магнитное поле тока направлено перпендикулярно этому току, а сила, действующая на ток в магнитном поле, перпендикулярна и току, и магнитному полю. Поле намагниченного железного стержня сходно с внешним полем длинного соленоида с числом ампер-витков на единицу длины, соответствующим току в атомах на поверхности намагниченного стержня, поскольку токи внутри стержня взаимно. По имени Ампера такой поверхностный ток называется амперовским. Напряженность магнитного поля H_a , создаваемая амперовским током, равна магнитному моменту единицы объема стержня M . Если в соленоид вставлен железный стержень, то кроме того, что ток соленоида создает магнитное поле H , упорядочение атомных диполей в намагниченном материале стержня создает намагниченность M . В этом случае полный магнитный поток определяется суммой реального и амперовского токов, так что $B = \mu_0 (H + H_a)$, или $B = \mu_0 (H + M)$. Отношение M/H называется магнитной восприимчивостью и обозначается греческой буквой c ; c - безразмерная величина, характеризующая способность материала намагничиваться в магнитном поле. Величина B/H , характеризующая магнитные свойства материала, называется магнитной проницаемостью и обозначается через μ_a , причем $\mu_a = \mu_0 \mu$, где μ_a - абсолютная, а μ - относительная проницаемости, $\mu = 1 + c$. В ферромагнитных веществах величина c может иметь очень большие значения - до $10^4 - 10^6$. Величина c у парамагнитных материалов немного больше нуля, а у диамагнитных - немного меньше. Лишь в вакууме и в очень слабых полях величины c и μ постоянны и не зависят от внешнего поля. Зависимость индукции B от H обычно нелинейна, а ее графики, кривые намагничивания, для разных материалов и даже при разных температурах могут существенно различаться. Примеры таких кривых приведены на рисунке 1.а для магнитно-твердого ферромагнитного материала: в точке 2 достигается магнитное насыщение, отрезок 1-3 определяет остаточную магнитную индукцию, а отрезок 1-4 - коэрцитивную силу, характеризующую способность образца противостоять размагничиванию; на рисунке 1.б для магнитно-мягкого материала (например, железа): поскольку площадь петли пропорциональна потерям энергии, такие материалы слабо сопротивляются размагничиванию и характеризуются малыми потерями энергии.



а) б)
Рисунок 1. Петля гистерезиса.

Индуктивность магнитного поля постоянного магнита. Приблизённое значение индукции поля у полюса постоянного магнита можно найти, считая поле однородным (рис.2). В этом случае магнитный поток Φ связан с модулем B индукции магнитного поля с площадью поперечного сечения магнита соотношением:

$$\Phi = BS.$$

Для измерения магнитного потока Φ можно воспользоваться явлением электромагнитной индукции.

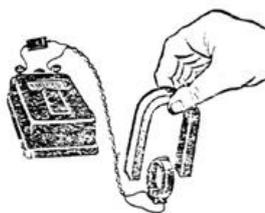


Рисунок 2

При быстром удалении контура из магнитного поля, пронизывающий его магнитный поток изменяется от величины Φ до 0; Э.Д.С. индукции, возникающая в этом контуре, определяется выражением:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \hat{O}}{\Delta t} = \frac{BS}{\Delta t} \quad (1)$$

При удалении катушки, содержащей N витков из магнитного поля, ЭДС индукции в ней будет в N раз больше, чем в одиночном контуре:

$$\varepsilon = N \frac{\Delta \hat{O}}{\Delta t} = \frac{NBS}{\Delta t} \quad (2)$$

Если концы катушки замкнуты на гальванометр, то при удалении катушки из магнитного поля постоянного магнита в цепи протекает индукционный ток I . Разделив обе части уравнения (2) на полное сопротивление цепи R , получим:

$$\frac{\varepsilon}{R} = I = \frac{NBS}{R \cdot \Delta t}, \text{ или } I \cdot \Delta t = \Delta q = \frac{NBS}{R}$$

откуда $B = \frac{\Delta q R}{NS} \quad (3)$

Последние выражения показывают, что индукция магнитного поля B прямо пропорциональна количеству электричества Δq , протекающего через катушку при удалении её из магнитного поля, прямопропорциональна полному сопротивлению R цепи и обратно пропорциональна площади поперечного сечения катушки и числу витков N в ней. Следовательно, для определения индукции однородного магнитного поля B необходимо измерить количества электричества Δq , протекающее в катушке при быстром удалении её (выдергивании) из исследуемой области магнитного поля. Это можно сделать с помощью гальванометра, шкала которого заранее проградуирована в кулонах.

Для обеспечения баллистического режима работы гальванометра в электрическую цепь последовательно с катушкой надо включить резистор сопротивлением 1 кОм.

Приборы и принадлежности : магнит дугообразный, катушка-моток, микроамперметр М2003, масштабная линейка, резистор 1кОм, соединительные провода.

Порядок выполнения работы:

1. Работа с катушкой-мотком.

1.1 Измерить диаметр D катушки с помощью измерительной линейки по формуле:

$$D = \frac{D_{\min} + D_{\max}}{2};$$

1.2 Сосчитать число витков N катушки, вычислить площадь S поперечного сечения катушки, используя формулу: $S = \frac{\pi D^2}{4};$

2. Собрать цепь по рисунку 2 теории. Ввести катушку в магнитное поле постоянного магнита, расположив ее плоскость перпендикулярно линиям индукции.

2.1 Быстро удалить магнит и заметить по шкале число делений n , на которое отклоняется стрелка гальванометра.

2.2 Повторить опыт пять раз, определить среднее значение отбраса n_{cp} , используя формулу:

$$n_{cp} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5}{5};$$

2.3 Определить заряд Δq , протекающий в цепи катушки (время прохождения заряда 1 секунда):

$$\Delta q = I \Delta t;$$

3. За полное сопротивление цепи R можно принять сопротивление включенного в цепь резистора, поскольку сопротивления катушки и гальванометра по сравнению с сопротивлением резистора малы и ими можно пренебречь.

4. Используя найденные значения, вычислить индукцию B магнитного поля постоянного магнита, используя формулу (3) теории к лабораторной работе.

5. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 5.1:

Таблица 5.1

D, м	N, вит.	S, м ²	n						R, Ом	Δq , Кл	B, Тл
			1	2	3	4	5	cp			

6. Сделать вывод о проделанной работе.

7. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое магнитное поле (МП)?

2. Назовите источники МП.

3. Дать характеристику магнитного поля постоянного магнита.

4. Чем и почему отличаются петли гистерезиса мягкого и жесткого ферромагнетиков?

5. В чем принцип работы гальванометра?

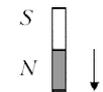
6. Что необходимо для получения индукционного тока?

7. От чего зависит величина индукционного тока?

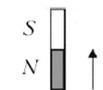
8. Что такое соленоид и для чего он используется?

9. Чему равно магнитное поле в центре соленоида?

10. Магнит вдвигается в кольцо северным полюсом. Каково направление индукционного тока в кольце? Ответ поясните рисунком.



11. Магнит выдвигается из кольца южным полюсом. Каково направление индукционного тока в кольце? Ответ поясните рисунком.



12. За 0,5 мс магнитный поток, пронизывающий контур, равномерно уменьшается с 5 до 2,5 мВб. Найдите ЭДС индукции, возникающей в контуре.

13. В катушке, содержащей 300 витков проволоки, в течении 6 мс происходит равномерное изменение магнитного потока. На какую величину и как изменился (увеличился или

уменьшился) магнитный поток, пронизывающий катушку, если в ней возникла ЭДС индукции, равная 2 В? Постройте график изменения магнитного потока от времени в интервале от 0 до 6 мс.

14. С какой скоростью надо перемещать проводник длиной 1,4 м под углом 45° к линиям магнитной индукции в однородном магнитном поле индукцией 0,2 Тл для возбуждения в нём ЭДС индукции 0,5 В?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13.

Определение коэффициента самоиндукции соленоида.

Цель работы: ознакомиться с явлениями в цепи переменного тока. Научиться определять экспериментально и вычислять теоретически индуктивность соленоида.

Теория: Всякий проводник оказывает постоянному току омическое сопротивление, величину которого можно определить по закону Ома для участка цепи: $R = \frac{U}{I}$, где U – напряжение на концах участка, I – сила тока на участке. Если же пропускать через катушку переменный ток, то кроме омического сопротивления возникает еще и индуктивное сопротивление. Известно, что если внутри катушки двигать магнит, то в её обмотке возникает электродвижущая сила (ЭДС). Это происходит потому, что магнитное поле внутри катушки меняется, и витки обмоток пересекаются магнитными силовыми линиями. Указанное явление называется электромагнитной индукцией, а возникающая ЭДС – наведённой или индукционной.

При замыкании тока в проводнике возникает экстра-ток замыкания, направленный противоположно главному току, поэтому ток в цепи устанавливается не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени.

При размыкании тока в проводнике возникает экстра-ток такого же, направления как и главный ток, поэтому ток в цепи исчезает не мгновенно. Эти экстра-токи возникают за счет появляющейся при замыкании и размыкании электродвижущей силы, называемой ЭДС самоиндукции. Как показывает теория и опыт, это явление имеет место в том случае, если по проводнику течет переменный ток. Самоиндукцией называется явление возникновения ЭДС в проводнике при изменении силы тока в нем. Наведение ЭДС определяется скоростью изменения магнитного потока:

$E_L = -\frac{d\Phi}{dt}$. Знак «-» показывает, что наведение ЭДС противодействует изменению основного тока. Т.к. магнитный поток пропорционален силе тока, т.е. $\Phi = LI$, то $E_L = -\frac{d(LI)}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$ (1) где L – индуктивность проводника (катушки) или коэффициент самоиндукции. В системе СИ индуктивность измеряется в генри (Гн).

Таким образом, если по проводнику течет переменный ток, то кроме ЭДС источника в нем возникает наведённая ЭДС и сила тока будет равна:

$$I = \frac{E + E_L}{R}, \text{ или } E = IR - E_L \quad (2),$$

где E – ЭДС источника тока, $U_R = I \cdot R$ – напряжение на концах омического сопротивления, E_L – ЭДС самоиндукции.

Известно, что если в цепи имеется только омическое сопротивление, то фазы напряжения и силы тока совпадают.

$$\text{И т.к. } I = I_0 \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

$$\text{то } U_R = I_0 \cdot \sin \omega t \quad (4)$$

где I – мгновенное значение силы тока, I_0 – амплитудное значение силы тока. Если цепь обладает кроме омического сопротивления самоиндукцией, то возникающая ЭДС самоиндукции E_L и фазы силы тока и ЭДС генератора не будут совпадать. Найдём закон, по которому меняется E_L . Подставим значение I из уравнения (3) в уравнение (1) и продифференцируем полученное равенство по t :

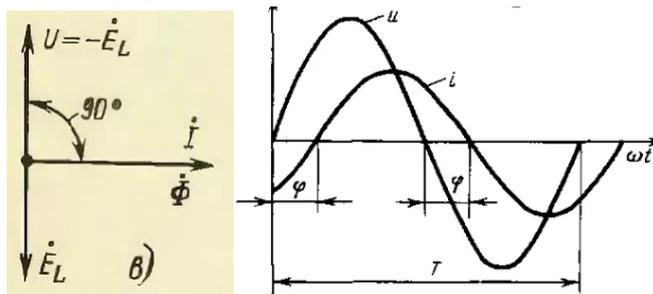
$$E_L = -L \frac{di}{dt} = -L \frac{d(I \sin \omega t)}{dt} = LI_0 \omega \cos \omega t = -\omega I_0 L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

Произведение ωL называется индуктивным сопротивлением. Подставив в уравнение (2) значение IR и E_L из уравнения (3) и (5), находим:

$$E = I_0 R \sin \omega t + \omega L I_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Максимальное значение электродвижущей силы $E_0 = I_0 \cdot Z$, где Z – полное сопротивление цепи.

Мгновенное значение ЭДС получим: $E = E_0 \sin(\omega t + \varphi)$. Эта ЭДС поддерживает в цепи силу тока, равную $I = I_0 \cdot \sin \omega t$. Следовательно при наличие в цепи самоиндукции, фазы силы тока и ЭДС не совпадают. Сила тока отстаёт по фазе от ЭДС на угол φ . Если $R \ll \omega L$, то сдвиг фаз $\varphi = \frac{\pi}{2}$, что и показано на графиках:



Приборы и принадлежности: катушка (соленоид) из медной изолированной проволоки с железным сердечником, амперметр и вольтметр постоянного тока, амперметр и вольтметр переменного тока, ключ, соединительные провода.

Порядок выполнения работы:

1. составить цепь для постоянного тока по схеме (рис.1).

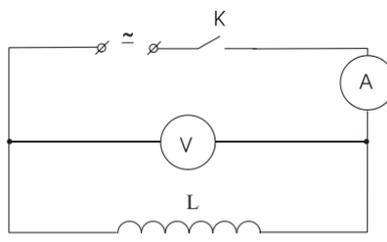


Рисунок 1

2. Замкнуть цепь и измерить силу тока I и напряжение U .

3. Рассчитать омическое сопротивление катушки $R = \frac{U}{I}$.

4. Ввести при замкнутой цепи в катушку металлический сердечник и измерить силу тока I' и напряжение U' .

5. Вычислите сопротивление $R' = \frac{U'}{I'}$. Сравните R и R' .

6. Результаты занесите в таблицу.

7. Составьте цепь для переменного тока по схеме. Измерить эффективное значение силы тока $I_{\text{эф}}$ и напряжения $U_{\text{эф}}$ по приборам в катушке без сердечника.

Примечание: напряжение на катушке при постоянном и переменном токе выставлять одинаковое.

Эффективным значением силы тока и напряжения называют такие значения силы тока и напряжения постоянного тока, при которых получается такой же эффект, что и при переменном токе.

8. На основании закона Ома рассчитать полное сопротивление катушки: $Z = \frac{U_{\text{эф}}}{I_{\text{эф}}}$.

9. Вычислите индуктивность: $L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2}$, где $\omega = 2\pi\nu$, $\nu = 50\text{Гц}$.

10. ввести железный сердечник в катушку и измерить силу тока $I'_{\text{эф}}$ и напряжение $U'_{\text{эф}}$.

Вычислить $Z' = \frac{U'_{\text{эф}}}{I'_{\text{эф}}}$

11. Вычислите L' . Результаты занести в таблицу.

12. Сравните L и L' , сделайте вывод.

	Постоянный ток			Переменный ток			
	U	I	R	$U_{\text{эф}}$	$I_{\text{эф}}$	Z	L
Соленоид без сердечника							
Соленоид с сердечником							

Контрольные вопросы:

1. Почему переменный ток получил такое широкое распространение.
2. Поясните, почему передача электроэнергии осуществляется с использованием переменного тока.
3. Нарисуйте график изменения переменного тока во времени
4. Поясните, покажите на графике и запишите формулы расчетных соотношений: а) Период; б) Частота; в) Угловая частота; г) Начальная фаза; д) Фаза.
5. Поясните понятия «совпадают по фазе» и «находятся в противофазе».
6. Почему в рамке, равномерно вращающейся в магнитном поле, возникает ЭДС? Чем отличаются промышленные генераторы от простейшей модели-рамки, вращающейся в магнитном поле?
7. На катушку подается одинаковое напряжение — сначала от сети постоянного, а затем переменного тока. В каком случае она нагревается сильнее?
8. Почему в цепи, содержащей конденсатор, может протекать только переменный ток?
9. Допустимо ли в цепь переменного тока напряжением 220 В включить конденсатор, пробойное напряжение которого 250 В?
10. В цепи как показано на схеме, подключены катушка, конденсатор и резисторы. Индуктивность катушки – 15 мГн, емкость конденсатора 20 мкФ, $R_1=10\text{ Ом}$, $R_2=30\text{ Ом}$. Напряжение источника 100 В, частота 100 Гц. Определить токи в цепи, активную, реактивную и полную мощность в цепи (рис 1).
11. В сеть переменного тока включены последовательно катушка индуктивностью 3 мГн и активным сопротивлением 20 Ом и конденсатор емкостью 30 мкФ. Напряжение U_c на конденсаторе 50 В. Определите напряжение на зажимах цепи, ток в цепи, напряжение на катушке, активную и реактивную мощность (рис.2).

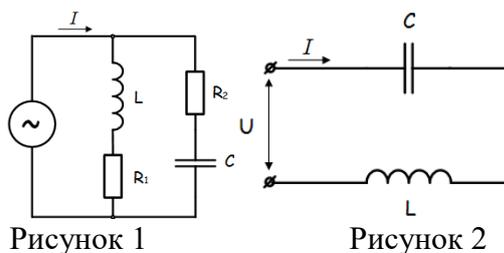


Рисунок 1

Рисунок 2

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Изучение устройства и принципа работы трансформатора

Цель работы: ознакомление с устройством и принципом работы универсального трансформатора

Теория: Назначение трансформатора. Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты. Трансформаторы позволяют значительно повысить напряжение, вырабатываемое источниками переменного тока, установленными на электрических станциях, и осуществить передачу электроэнергии на дальние расстояния при высоких напряжениях (110, 220, 500, 750 и 1150 кВ). Благодаря этому сильно уменьшаются потери энергии в проводах и обеспечивается возможность значительного уменьшения площади сечения проводов линий электропередачи. В местах потребления электроэнергии высокое напряжение, подаваемое от высоковольтных линий электропередачи, снова понижается трансформаторами до сравнительно небольших значений (127, 220, 380 и 660 В), при которых работают электрические потребители, установленные на фабриках, заводах, в депо и жилых домах. На э. п. с. переменного тока трансформаторы применяют для уменьшения напряжения, подаваемого из контактной сети к тяговым двигателям и вспомогательным цепям.

Кроме трансформаторов, применяемых в системах передачи и распределения электроэнергии, промышленностью выпускаются трансформаторы: тяговые (для э. п. с), для выпрямительных установок, лабораторные с регулированием напряжения, для питания радиоаппаратуры и др. Все эти трансформаторы называют силовыми.

Трансформаторы используют также для включения электроизмерительных приборов в цепи высокого напряжения (их называют измерительными), для электросварки и других целей. Трансформаторы бывают однофазные и трехфазные, двух- и многообмоточные.

Принцип действия трансформатора. Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Простейший трансформатор состоит из стального магнитопровода (рис. 1) и двух расположенных на нем обмоток.

Обмотки выполнены из изолированного провода и электрически не связаны. К одной из обмоток подается электрическая энергия от источника переменного тока. Эту обмотку называют *первичной*. К другой обмотке, называемой *вторичной*, подключают потребители (непосредственно или через выпрямитель).

При подключении трансформатора к источнику переменного тока (электрической сети) в витках его первичной обмотки протекает переменный ток i_1 , образуя переменный магнитный поток Φ . Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, индуцирует в них переменные Э. Д. С. (ε_1 и ε_2). Если к вторичной обмотке присоединен какой-либо приемник, то под действием Э. Д. С. (ε_2) по ее цепи проходит ток i_2 .

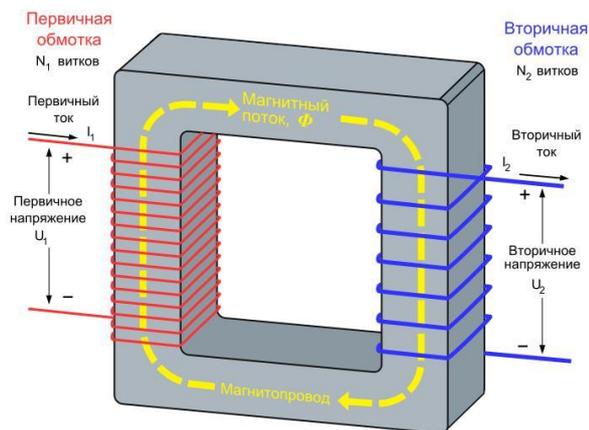


Рисунок 1. Схема включения однофазного трансформатора

Э. Д. С., индуцированная в каждом витке первичной и вторичной обмоток трансформатора, согласно закону электромагнитной индукции зависит от магнитного потока, пронизывающего виток, и скорости его изменения. Магнитный поток каждого трансформатора является определенной величиной, зависящей от напряжения и частоты изменения переменного тока в источнике, к которому подключен трансформатор. Постоянна также и скорость изменения магнитного потока, она определяется частотой изменения переменного тока. Следовательно, в каждом витке первичной и вторичной обмоток индуцируется одинаковая Э. Д. С. В результате этого *отношение действующих значений ε_1 и ε_2 , индуцированных в первичной и вторичной обмотках трансформатора,*

будет равно отношению чисел витков N_1 и N_2 этих обмоток, т. е.
$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

Отношение Э. Д. С. обмотки высшего напряжения к Э. Д. С. обмотки низшего напряжения (или отношение чисел их витков) называется *коэффициентом трансформации,*

$$k = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2)$$

Коэффициент трансформации всегда больше единицы. Если пренебречь падениями напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора (в трансформаторах средней и большой мощности они не превышают обычно 2—5 % номинальных значений напряжений U_1 и U_2), то можно считать, что *отношение напряжения U_1 первичной обмотки к напряжению U_2 вторичной обмотки приблизительно равно отношению чисел их витков, т. е.*

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3)$$

Таким образом, подбирая требуемое соотношение между числами витков первичной и вторичной обмоток, можно увеличивать или уменьшать напряжение на приемнике, подключенном к вторичной обмотке. Если необходимо на вторичной обмотке получить напряжение большее, чем подается на первичную, то применяют повышающие трансформаторы, у которых число витков во вторичной обмотке больше, чем в первичной. В понижающих трансформаторах, наоборот, число витков вторичной обмотки меньше, чем в первичной.

Трансформатор не может осуществить преобразование напряжения постоянного тока. При подключении его первичной обмотки к сети постоянного тока в трансформаторе создается постоянный по величине и направлению магнитный поток, который не может индуцировать Э. Д. С. в первичной и вторичной обмотках. Поэтому не будет происходить передачи электрической энергии из первичной обмотки во вторичную.

При подключении первичной обмотки трансформатора к сети переменного тока через эту обмотку проходит некоторый ток, называемый *током холостого хода.* При включении

нагрузки по вторичной обмотке трансформатора начинает проходить ток, при этом увеличивается и ток, проходящий по первичной обмотке. Чем больше нагрузка трансформатора, т. е. электрическая мощность и ток i_2 , отдаваемые его вторичной обмоткой подключенным к ней приемникам, тем больше электрическая мощность и ток i_1 , поступающие из сети в первичную обмотку.

Ввиду того что потери мощности в трансформаторе обычно малы, можно приближенно принять, что мощности в первичной и вторичной обмотках одинаковы. В этом случае можно считать, что токи в обмотках трансформатора приблизительно обратно пропорциональны напряжениям:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \quad (4),$$

или что токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны числам витков

первичной и вторичной обмоток: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$ (5).

Это означает, что в повышающем трансформаторе ток во вторичной обмотке меньше, чем в первичной (во столько раз, во сколько напряжение U_2 больше напряжения U_1), а в понижающем ток во вторичной обмотке больше, чем в первичной. Поэтому в трансформаторах обмотки высшего напряжения выполняются из более тонких проводов, чем обмотки низшего напряжения.

КПД трансформатора составляет обычно 96-99%, так как обмотки трансформатора пронизываются почти одинаковым потоком. Потери в трансформаторах делят на электрические (в проводах обмоток) и магнитные (в сердечнике трансформатора). Первые уменьшают применением провода с малым удельным сопротивлением, вторые обусловлены существованием вихревых токов, которые называются «токами Фуко», они нагревают сердечник трансформатора и изменяют его коэффициент трансформации, кроме того возможно возгорание из-за сильного нагрева. Избавляются от вихревых токов набором сердечника трансформатора из множества тонких изолированных друг от друга пластин, а для уменьшения потерь на нагревание сердечника при его перемагничивании, сердечники изготавливают. Из специальных сортов стали, в которых эти потери малы.

Приборы и принадлежности: универсальный трансформатор с инструкцией, ЛАТР, вольтметры $V_1(0-300V)$ и $V_2(0-15V)$, катушка электросварочного аппарата, соединительные провода.

Порядок проведения работы:

1. Изучить устройства трансформатора.

1.1 Собрать понижающий трансформатор. В качестве первичной обмотки использовать катушку, рассчитанной на напряжение **220В** и **127В**, а вторичной обмотки - катушку, рассчитанной на напряжение **6 В** и **6 В**.

1.2 При сборке трансформатора следует обратить особое внимание на то, чтобы ярмо было обращено шлифованной стороной к сердечнику и точно совпало с его концами. Необходимо обеспечить плотное прижатие ярма к сердечнику, для чего следует сильно завернуть винты прижима и закрепить их контргайками.

1.3 Записать в отчет названия основных частей универсального трансформатора.

1.4 Начертить условное обозначение трансформатора в электрических схемах.

2. Работа с трансформатором.

Внимание! Работу выполнять при тщательном наблюдении и контроле преподавателя!

Напряжение на первичной обмотке не должно превышать 220 В.

2.1 Собрать электрическую схему, как показано на рисунке 1.2

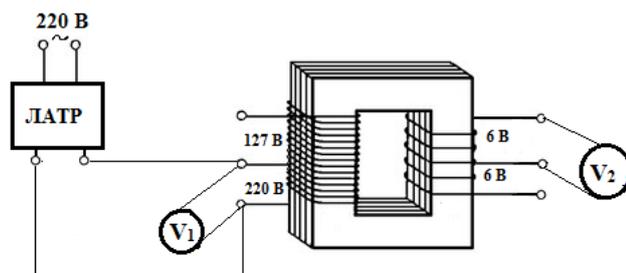


Рисунок 1.2

- 2.2 Установить движок ЛАТРа в нулевое положение и подключить к сети переменного тока.
- 2.3 Подать на первичную обмотку трансформатора напряжение **100В**, контролируя его вольтметром **V₁**.
- 2.4 Измерить напряжение на выходе вторичной обмотке, с помощью вольтметра **V₂**.
- 2.5 Увеличивая напряжение на первичной обмотке, через каждые **20В** измерять соответствующее напряжение на вторичной обмотке (выполнить 6 замеров).
- 2.6 Полученные данные занести в таблицу 2.1

Таблица 2.1

№	1	2	3	4	5	6
U ₁ , В	100	120	140	160	180	200
U ₂ , В						
k						
K _{ср}						

3. Определение коэффициента трансформации.

3.1 Для каждого измеренного значения вычислить коэффициент трансформации, используя

формулу: $k = \frac{U_1}{U_2}$

3.2 Определить среднее значение коэффициента трансформации по формуле:

$$k_{cp} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6}{6}$$

3.3 Рассчитать число витков вторичной обмотки, если первичная обмотка содержит **660** витков.

4. Знакомство с моделью сварочного аппарата.

4.1 Изучить и собрать модель сварочного аппарата, руководствуясь инструкцией к универсальному трансформатору.

4.2 Объяснить, почему электросварочная катушка изготавливается из проводника с большим диаметром.

4.3 Рассчитать коэффициент трансформации для модели электросварочного аппарата.

5. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

6. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Дать описание устройства трансформатора и принципа его работы.
2. Какой трансформатор называют повышающим, а какой понижающим?
3. Почему при преобразовании электрической энергии в трансформаторе частота преобразуемого переменного тока не меняется?
4. С какой целью для передачи электрической энергии используют трансформатор?
5. Почему мощность, потребляемая от вторичной обмотки, меньше мощности, подводимой к первичной обмотке?

6. С какой целью магнитопровод набирается из тонких изолированных друг от друга пластин, электротехнической стали? Каков КПД современных трансформаторов?
7. Кто является изобретателем трансформатора? Кем впервые были решены задачи передачи электроэнергии без больших потерь?
8. Каковы основные правила техники безопасности, которые необходимо соблюдать при эксплуатации трансформаторов?
9. Какие основные неисправности наблюдаются при эксплуатации трансформаторов?
10. Сила тока в первичной обмотке трансформатора равна 0,5 А, напряжение на концах её 220 В. Сила тока во вторичной обмотке 11 А, напряжение на концах 9,5 В. Найдите КПД трансформатора.
11. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 10 включён в сеть напряжением 220 В. Определите напряжение на концах вторичной обмотки, если её сопротивление 0,2 Ом, а сила тока в ней 10 А. Потерями энергии в первичной катушке пренебречь.
12. Понижающий трансформатор со 110 витками во вторичной обмотке понижает напряжение от 22 000 В до 110 В. Сколько витков в его первичной обмотке?
13. Двухпроводная линия длиной 1000 м выполнена из медного провода сечением 17 мм². Приёмники энергии потребляют мощность 2,2 кВт при напряжении 220 В. Определите потери мощности в проводах линии и подводимое к линии напряжение.
14. Вторичная обмотка трансформатора, имеющая 100 витков, пронизывается магнитным потоком, изменяющимся со временем по закону $\Phi = 0,01 \cos 314t$. Напишите формулу, выражающую зависимость ЭДС вторичной обмотки от времени. Каково максимальное значение ЭДС самоиндукции в первичной обмотке, если в первичной обмотке 1000 витков?
15. Трансформатор повышает напряжение с 220 В до 3000 В. Во вторичной обмотке протекает ток 0,1 А. Определить силу тока в первичной обмотке, если к.п.д. трансформатора составляет 96%.
16. Определить сопротивление вторичной обмотки трансформатора, если при включении первичной обмотки в сеть с напряжением 220 В во вторичной обмотке идет ток 5 А, а напряжение на ее концах составляет 12 В. Коэффициент трансформации равен 0,10. Потерями энергии в первичной обмотке пренебречь.
17. Определить сопротивление вторичной обмотки трансформатора с коэффициентом трансформации 10, если при включении первичной обмотки в сеть с напряжением 24 В во вторичной обмотке идет ток 2 А, а напряжение на ее концах составляет 200 В. Потерями энергии в первичной обмотке пренебречь.
18. Определить к.п.д. трансформатора, если он повышает напряжение со 110 до 500 В. В первичной обмотке протекает ток 2,4 А, а во вторичной - 0,5 А.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15.

Определение главного фокусного расстояния и оптической силы линзы.

Цель работы: определить главное фокусное расстояние и оптическую силу линзы с помощью опыта.

Теория: *Линзой* называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны сферических поверхностей, то линзу называют тонкой. Линзы входят в состав практически всех оптических приборов.

Линзы бывают собирающими и рассеивающими. Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше (рисунок 1).

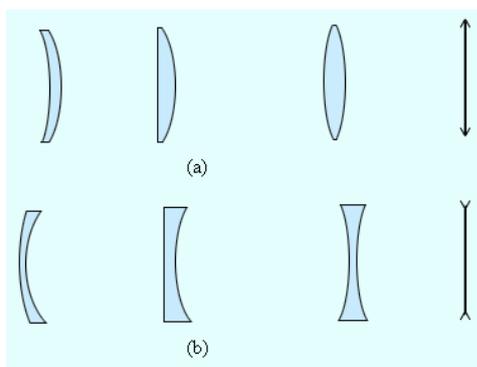


Рисунок 1. Собирающие (а) и рассеивающие (б) линзы и их условные обозначения

Главное фокусное расстояние и оптическую силу линзы можно определить опытным путем. Формула тонкой линзы имеет вид:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \text{ или } F = \frac{df}{f+d} \quad (1),$$

где d – расстояние от линзы до объекта, f – расстояние от линзы до изображения, F – фокусное расстояние линзы.

Главным фокусным расстоянием линзы называется расстояние от оптического центра линзы до ее главного фокуса. Оптическая сила линзы D есть величина, обратная фокусному расстоянию:

$$D = \frac{1}{F} \quad (2)$$

Оптическая сила характеризует преломляющую способность линзы и выражается в диоптриях. За 1 дптр принята оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м. Оптическая сила вогнутых линз отрицательна.

Оптическая сила D линзы зависит как от радиусов кривизны R_1 и R_2 ее сферических поверхностей, так и от показателя преломления n материала, из которого изготовлена линза. В курсах оптики доказывается следующая формула:

$$D = \frac{1}{F} = (n-1) = \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right] \quad (3)$$

Радиус кривизны выпуклой поверхности считается положительным, вогнутой – отрицательным. Эта формула используется при изготовлении линз с заданной оптической силой.

Построение изображения в собирающей линзе (рисунок 2):

- а) точечный источник света, находящийся на главной оптической оси;
- б) предмет находится за двойным фокусом линзы ($d > 2F$);
- в) предмет находится между двойным фокусом и фокусом линзы ($2F > d > F$);
- г) предмет находится на фокусном расстоянии от линзы ($d = F$);
- д) предмет находится между главным фокусом и линзой ($d < F$).

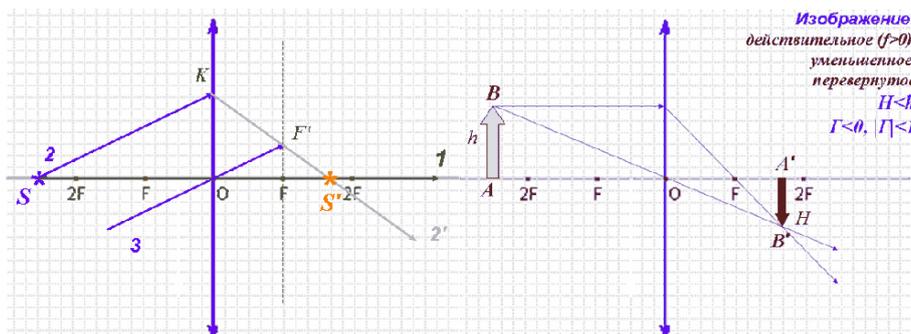


Рисунок 2.а

Рисунок 2.б

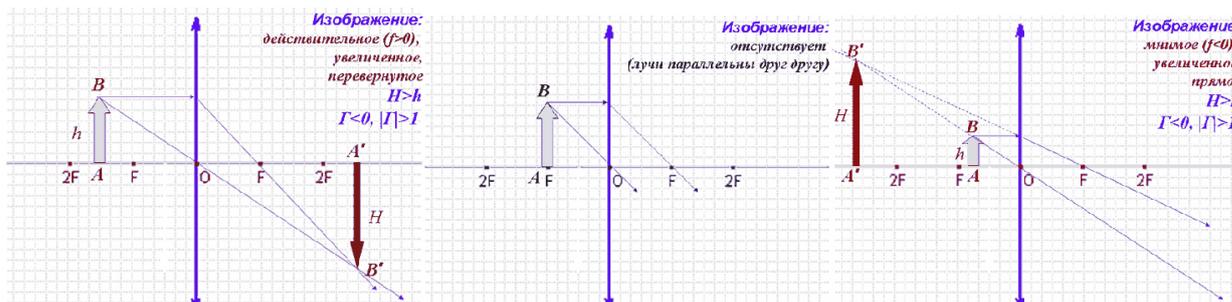


Рисунок 2.в

Рисунок 2.г

Рисунок 2.д

В зависимости от положения предмета по отношению к линзе изменяются линейные размеры изображения. *Линейным увеличением линзы Γ* называют отношение линейных размеров изображения H и предмета h . Величине H , как и в случае сферического зеркала, удобно приписывать знаки плюс или минус в зависимости от того, является изображение прямым или перевернутым. Величина h всегда считается положительной. Поэтому для прямых изображений $\Gamma > 0$, для перевернутых $\Gamma < 0$. Линейное увеличение тонкой линзы вычисляется по формуле:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = -\frac{f}{d} \quad (4)$$

Приборы и принадлежности: собирающая линза; электрическая лампочка на подставке с колпачком; источник электрической энергии для питания электрической лампочки; ключ замыкания тока; масштабная линейка; экран; соединительные провода.



Рисунок 3.

Порядок проведения работы:

- 1.Собрать электрическую цепь, подключив лампочку к источнику тока через выключатель. **Лампочку включать только на время проведения эксперимента!**
- 1.1 Установить источник света, линзу, масштабную линейку и экран так, как показано на рисунке 2.

1.2 Плавнo передвигая линзу, получить на экране четкое изображение буквы Г: а) увеличенное; б) уменьшенное, в) равное.

2. Во всех трех случаях измерить расстояния от источника света до линзы d и от экрана до линзы f с точностью до 1 мм.

2.1. Измеренные значения d и f выразить в метрах и занести в таблицу 6.1.

3. Производя подстановку измеренных величин в формулу тонкой линзы (1), определить главное фокусное расстояние F , а затем и оптическую силу линзы D .

3.1 Результат вычислений записать в таблицу 6.1.

4. Вычислить среднее значение оптической силы линзы с помощью формулы:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3} \text{ и записать в таблицу 6.1.}$$

5. Определить относительную погрешность метода по формуле: $\varepsilon = \frac{D_{\text{таб}} - D_{\text{ср}}}{D_{\text{таб}}} \cdot 100\%$, где $D_{\text{ср}}$ - значение оптической силы линзы определенного экспериментально, а $D_{\text{таб}}$ - оптическая сила собирающей линзы, используемой во время эксперимента.

6. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу:

Таблица 6.1

№ п/п	Изображение	d , м	f , м	F , м	D , м	$D_{\text{ср}}$, м	ε , %
1	Увеличенное						
2	Уменьшенное						
3	Равное						

8. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

9. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Изменится ли изображение предмета на экране, если половину линзы закрыть светонепроницаемой бумагой? Если да, то как?

2. Определить главное фокусное расстояние линз, оптическая сила которых равна 13,3 и 16,6 дптр.

3. Где относительно линзы следует поместить предмет, чтобы получилось мнимое изображение?

4. Определить фокусное расстояние линзы, если радиусы кривизны ее поверхностей равны 4 см и 6 см, а коэффициент преломления материала линзы - 1,5.

5. Вычислить оптическую силу линзы, если коэффициент преломления стекла равен 1,5, а радиусы кривизны обеих поверхностей линзы одинаковы и равны 10 см.

6. Предмет удален от оптического центра собирающей линзы на 40 см. На экране получилось действительное, равное изображение предмета. Чему равны главное фокусное расстояние и оптическая сила линзы?

7. Построить изображения в собирающей линзе для следующих случаев:

а) предмет находится между двойным фокусом и фокусом линзы ($2F > d > F$);

б) предмет находится на фокусном расстоянии от линзы ($d = F$);

в) предмет находится между главным фокусом и линзой ($d < F$);

г) предмет находится за двойным фокусом линзы ($d > 2F$);

д) точечный источник света, находящийся на главной оптической оси.

- 8.** На каком расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием 20 м получится изображение предмета, если сам предмет находится от линзы на расстоянии 15 м?
- 9.** Перед двояковыпуклой линзой на расстоянии (-0,6) м находится предмет высотой 2 м. Расстояние от изображения до линзы 0,3 м. Определить линейное увеличение линзы.
- 10.** Найти оптическую силу линзы, фокусное расстояние которой равно (0,5) м?
- 11.** Найти оптическую силу линзы, фокусное расстояние которой равно (2) дптр, на расстоянии 30 см находится предмет высотой 15 см. Определить, на каком расстоянии от линзы находится изображение.
- 12.** Перед собирающей линзой на расстоянии 30 см находится предмет высотой 20 см, изображение предмета находится на расстоянии (-0,75)м. **13.** Определите линейное увеличение линзы.
- Определите, на каком расстоянии находится предмет от собирающей линзы с фокусным расстоянием (2,5) м, если расстояние до изображения 0,5 м. **14.** Оптическая сила линзы равна (0,625) дптр. Каково фокусное расстояние линзы?
- 15.** Предмет высотой 4 м находится на расстоянии 2 м от линзы. Расстояние от изображения предмета до линзы (1,6) м. Найти высоту изображения предмета.
- 16.** Предмет находится на расстоянии $d=(3,2)$ м от собирающей линзы. **17.** Определите фокусное расстояние линзы, если изображение меньше предмета в 4 раза.
- 18.** Изображение сантиметрового деления шкалы, расположенной перед линзой на расстоянии (0,64) м, имеет на экране длину 3,1 см. Каково фокусное расстояние линзы?

4. Информационное обеспечение обучения

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Трофимова, Т.И. Курс физики с примерами решения задач в 2-х томах: учебник / Трофимова Т.И., Фирсов А.В. — Москва : КноРус, 2017. — 577 с. — (СПО). — ISBN 978-5-406-05612-7. — URL: <https://book.ru/book/921510> — Текст: электронный.
2. Дмитриева В.Ф. Электронный учебно-методический комплекс для общеобразовательной дисциплины «Физика для профессий и специальностей технического профиля» для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева В.Ф., Богданова М. В., Алексеева И.Л.. © Образовательно-издательский центр «Академия», 2017. — URL: <https://elearning.academia-moscow.ru> . - Текст: электронный.
3. Трофимова, Т.И. Физика. Теория, решение задач, лексикон. : справочник / Трофимова Т.И. — Москва : КноРус, 2019. — 315 с. — (СПО). — URL: <https://book.ru/book/931921> (дата обращения: 17.09.2019). — Текст : электронный.

Дополнительные источники:

1. Рымкевич А.П. Физика. Задачник. 10-11 кл. [Текст] / А. П. Рымкевич. - 16-е изд., стереотип. - М.: Дрофа, 2012. - 188 с.: ил.
2. Логвиненко, О.В. Физика. : учебник / Логвиненко О.В. — Москва : КноРус, 2019. — 341 с. — (СПО). — ISBN 978-5-406-06464-1. — URL: <https://book.ru/book/929950>. - Текст : электронный.
3. Трофимова, Т.И. Физика от А до Я: справочник / Трофимова Т.И. — Москва : КноРус, 2016. — 300 с. — (для ссузов). — ISBN 978-5-406-04671-5. — URL: <https://book.ru/book/918094>. — Текст: электронный.
4. Краткий курс физики с примерами решения задач: учебное пособие / Т.И. Трофимова. - Москва: КноРус, 2017. - 280 с. - СПО. - Режим доступа: <http://www.book.ru/book/927680>

Интернет – ресурсы:

1. <https://physics.ru> Открытая физика.
2. <http://school-collection.edu.ru> Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов
3. <http://school-collection.edu.ru>. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)