

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

Н.П. Крукович

ФИЗИКА

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных и контрольных работ
для студентов специальности 25.05.03
«Техническая эксплуатация транспортного
радиооборудования»
заочной формы обучения

Калининград
Издательство БГАРФ
2019

БГАРФ

УДК 53(073)
К 84

Крукович, Н.П. ФИЗИКА: учеб.-метод. пособие / Н.П. Крукович. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2019. – 149 с.

Учебно-методическое пособие составлено кандидатом технических наук, доцентом секции прикладной физики БГАРФ Крукович Н.П. на основе рабочего учебного плана подготовки в БГАРФ студентов заочной формы обучения по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Пособие предназначено для студентов 1-го и 2-го курсов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота.

Рецензенты: *Смурыгин В.М.*, канд. физ.-мат. наук, доцент секции прикладной физики БГАРФ;
Корнев К.П., канд. физ.-мат. наук, доцент Института физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта

© БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019

БГАРФ

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие организационно-методические указания	4
2. Содержание дисциплины	5
<i>Механика. Основы молекулярной физики и термодинамики</i>	5
<i>Электричество и магнетизм</i>	7
<i>Оптика. Элементы атомной физики и квантовой механики</i>	9
3. Примерный перечень экзаменационных вопросов	11
4. Лабораторный практикум	18
<i>Порядок проведения лабораторного практикума</i>	18
<i>Лабораторная работа № 1-5</i>	20
<i>Лабораторная работа № 1-6</i>	29
<i>Лабораторная работа № 1-7</i>	38
<i>Лабораторная работа № 1-11</i>	47
<i>Лабораторная работа № 1-12</i>	53
<i>Лабораторная работа № 2-2</i>	58
<i>Лабораторная работа № 2-4</i>	64
<i>Лабораторная работа № 2-7</i>	70
<i>Лабораторная работа № 2-9</i>	76
<i>Лабораторная работа № 3-2</i>	86
<i>Лабораторная работа № 3-6</i>	92
<i>Лабораторная работа № 3-7</i>	98
<i>Лабораторная работа № 3-9</i>	105
5. Контрольные работы	110
<i>Требования к оформлению контрольных работ</i>	110
<i>Контрольная работа № 1</i>	111
<i>Контрольная работа № 2</i>	121
<i>Контрольная работа № 3</i>	128
<i>Контрольная работа № 4</i>	139
6. Список рекомендуемой литературы	147
7. Справочные материалы	148

1. ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Учебно-методическое пособие для студентов-заочников разработано в соответствии с рабочим учебным планом заочной подготовки в БГАРФ по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Основная цель курса общей физики – освоение универсальных методов, законов и моделей современной физики, формирование научного мировоззрения и способности быстро ориентироваться в новых научно-технических открытиях.

Основной формой обучения заочников является самостоятельная работа над учебным материалом, которая состоит из следующих элементов: изучение материала по учебникам, решение задач, выполнение контрольных работ. Во время экзаменационной сессии проводится лабораторный практикум. На лабораторных занятиях студенты-заочники овладевают навыками работы с электроизмерительными приборами, знакомятся с методами физического исследования.

В результате изучения дисциплины студент должен **знать**: основные понятия, законы и модели механики, молекулярной физики и термодинамики, электричества и магнетизма, колебаний и волн, атомной и квантовой физики.

Студенты-заочники специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» изучают физику **в трех семестрах** на 1 и 2 курсах. Во втором семестре изучаются **«Механика. Основы молекулярной физики и термодинамики»**, в третьем семестре – **«Электричество и магнетизм»**, в четвертом семестре – **«Оптика. Элементы атомной физики и квантовой механики»**.

Завершающим этапом изучения отдельных частей курса является сдача экзаменов в соответствии с учебным планом. К экзамену студентом должны быть подготовлены следующие работы.

1. Выполнены и проверены преподавателем с отметкой «к собеседованию» контрольные работы. Студент должен уметь объяснить любую задачу из контрольной работы.

2. Сняты измерения, сделаны расчеты и графики по лабораторным работам (измерения снимаются во время сессии в лаборатории). Подготовлены ответы в устной или письменной форме по контрольным вопросам для сдачи лабораторных работ.

3. Подготовлены экзаменационные вопросы (самостоятельно в течение всего семестра).

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

МЕХАНИКА. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

Тема 1. Введение. Физические основы механики. Предмет механики. Классическая и квантовая механика. Нерелятивистская и релятивистская классическая механика. Кинематика и динамика. Основные физические модели: частица (материальная точка), система частиц, абсолютно твердое тело, сплошная среда.

Тема 2. Элементы кинематики.

Пространство и время. Система отсчета. Кинематическое описание движения. Прямолинейное движение точки. Скорость и ускорение частицы при криволинейном движении. Движение по окружности. Нормальное и тангенциальное ускорения. Угловая скорость и угловое ускорение.

Тема 3. Элементы динамики частиц.

Основная задача динамики. Масса. Импульс. Сила. Современная трактовка законов *Ньютона*. Первый закон Ньютона. Понятие инерциальной системы отсчета. Второй закон Ньютона. Уравнение движения. Третий закон Ньютона. Принцип относительности Галилея.

Тема 4. Закон сохранения импульса.

Содержание законов сохранения. Закон сохранения импульса. Центр инерции. Закон движения центра инерции. Реактивное движение. Закон сохранения энергии. Работа. Мощность. Кинетическая энергия. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Внутренняя энергия. Закон сохранения энергии в механике. Общезначимый закон сохранения энергии.

Тема 5. Элементы механики твердого тела.

Уравнения движения и равновесия твердого тела. Кинетическая энергия твердого тела. Уравнение движения твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Момент инерции твердого тела относительно оси. Теорема Штейнера. Вращающий момент. Гироскоп.

Тема 6. Закон сохранения момента импульса.

Момент импульса. Момент силы. Закон сохранения момента импульса. Уравнение моментов.

Тема 7. Колебания.

Уравнение свободных колебаний без трения: пружинный, физический и математический маятники. Гармонические колебания: амплитуда, круговая частота и фаза. Гармонический осциллятор. Уравнение за-

тухающих колебаний. Коэффициент затухания. Логарифмический декремент затухания. Добротность. Вынужденные колебания. Резонанс.

Тема 8. Волны.

Продольные и поперечные волны. Уравнение плоской волны. Длина волны, волновой вектор, фазовая скорость. Гармонические плоская и сферическая волны. Энергия упругой волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Эффект Доплера для звуковых волн.

Тема 9. Принцип относительности в механике.

Инерциальные системы отсчета и принцип относительности. Преобразования Галилея. Специальная теория относительности. Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей. Интервал между событиями.

Тема 10. Элементы релятивистской динамики.

Релятивистский импульс. Уравнение движения релятивистской частицы. Полная энергия. Энергия покоя. Закон взаимосвязи массы и энергии. Энергия связи.

Тема 11. Элементы механики сплошных сред.

Идеальные и вязкие жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Формула Торричелли. Реакция вытекающей струи. Коэффициент вязкости. Турбулентное и ламинарное течение. Формула Стокса. Формула Пуазейля.

Тема 12. Элементы молекулярно-кинетической теории.

Макроскопическое состояние. Физические величины и состояния физических систем. Макроскопические параметры как средние значения. Тепловое равновесие. Модель идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Понятие о температуре.

Тема 13. Элементы термодинамики.

Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Второе начало термодинамики. Теорема Нернста. Цикл Карно. Максимальный КПД тепловой машины.

Тема 14. Статистические распределения.

Микроскопические параметры. Вероятность и флуктуации. Распределение Максвелла. Средняя кинетическая энергия частицы. Распределение Больцмана. Теплоёмкость многоатомных газов. Ограниченность классической теории теплоёмкости. Энтропия и вероятность. Определение энтропии равновесной системы через статистический вес ее макросостояния. Принцип возрастания энтропии.

Тема 15. Жидкое состояние вещества.

Поверхностное натяжение. Явления на границе жидкости и твердого тела. Капиллярные явления.

Тема 16. Кристаллическое состояние вещества. Физические типы кристаллических решеток. Теплоёмкость кристаллов. Её зависимость от температуры. Теория Дебая. Закон Дюлонга и Пти.

Тема 17. Фазовые равновесия и превращения.

Фазы и фазовые превращения. Условия равновесия фаз. Фазовые диаграммы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка. Метастабильные состояния. Тройная точка. Фазовые переходы второго рода.

Тема 18. Элементы физической кинетики.

Понятие о физической кинетике. Явления переноса. Вязкость газов. Диффузия и теплопроводность.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Тема 1. Предмет классической электродинамики.

Электрический заряд и его дискретность. Идея близкодействия. Границы применимости классической электродинамики.

Тема 2. Электростатическое поле в вакууме.

Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электростатическое поле в вакууме. Напряженность электростатического поля. Потенциал электростатического поля и его связь с напряженностью. Принцип суперпозиции. Работа электростатического поля.

Тема 3. Основные уравнения электростатики в вакууме. Поток и циркуляция электростатического поля. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме в интегральной и дифференциальной формах. Электрический диполь. Напряженность и потенциал поля диполя.

Тема 4. Электрическое поле в диэлектрике. Основные уравнения электростатики диэлектриков. Поляризация диэлектрика. Поляризованность. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в среде. Электрическое смещение. Диэлектрическая восприимчивость и проницаемость. Графическое изображение электростатического поля. Граничные условия на границе раздела двух изотропных диэлектрических сред. Закон преломления линий напряженности на границе раздела двух изотропных диэлектрических сред. Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики и их применение.

Тема 5. Проводники. Теорема Ирншоу. Проводник в электростатическом поле. Поверхностные заряды. Электростатическое поле в полости проводника. Граничные условия на поверхности раздела «проводник – вакуум», «проводник – диэлектрик».

Тема 6. Электроёмкость проводников. Уединенный проводник. Конденсаторы. Ёмкость конденсаторов. Плоский, цилиндрический, сферический конденсаторы с диэлектриком. Энергия взаимодействия системы точечных электрических зарядов. Энергия заряженного уединенного проводников. Энергия заряженного конденсатора. Энергии электростатического поля. Объёмная плотность энергии.

Тема 7. Постоянный электрический ток.

Условия существования тока. Проводники и изоляторы. Сила и плотность тока. Уравнение неразрывности. Классическая теория электропроводности металлов. Закон Ома в дифференциальной и интегральной формах. Сторонние силы. ЭДС, напряжение, разность потенциалов, сопротивление для неоднородного участка цепи.

Тема 8. Порядок расчета разветвленной замкнутой цепи. Правила Кирхгофа. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной и интегральной формах. Мощность тока. Закон сохранения энергии для замкнутой цепи.

Тема 9. Магнитное поле в вакууме. Магнитная индукция. Сила Лоренца. Сила Ампера. Силовые линии магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа. Принцип суперпозиции для магнитного поля. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Виток с током в магнитном поле. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях.

Тема 10. Основные уравнения магнетизма в вакууме. Циркуляция магнитного поля. Теорема о циркуляции магнитного поля в вакууме в дифференциальной и интегральной формах (закон полного тока). Магнитное поле тороида. Магнитный момент витка с током. Момент сил, действующий на виток с током в магнитном поле. Магнитный поток. Потокосцепление контура, самоиндукции, взаимной индукции двух контуров с током. Теорема Остроградского-Гаусса для магнитного поля в вакууме. Механическая работа в магнитном поле. Эффект Холла.

Тема 11. Магнитное поле в веществе. Магнитные моменты атомов. Атом в магнитном поле. Намагничивание вещества. Молекулярные токи. Намагниченность.

Тема 12. Основные уравнения магнетизма в веществе. Теорема о циркуляции магнитного поля в веществе в дифференциальной и интегральной формах (закон полного тока). Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость. Граничные условия на поверхности раздела двух магнетиков. Закон преломления линий магнитной индукции. Кривая намагничивания. Гистерезис.

Тема 13. Явление электромагнитной индукции.

Опыт Фарадея. Правило Ленца. Электромагнитная индукция. Полный магнитный поток (потокосцепление). Токи Фуко. Явления самоиндукции при замыкании и размыкании электрической цепи. Коэффициенты индуктивности и взаимной индуктивности. ЭДС самоиндукции. Энергия контура с током. Энергия магнитного поля. Плотность энергии магнитного поля.

Тема 14. Свободные электромагнитные колебания.

Квазистационарные токи. Свободные колебания в контуре без активного сопротивления. Свободные затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания. Добротность.

Тема 15. Вынужденные электрические колебания. Векторная диаграмма. Резонансные кривые для напряжения и силы тока.

Тема 16. Общая характеристика теории Максвелла.

Вихревое электрическое поле. Плотность тока смещения. Ток смещения. Опыты Эйхенвальда. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.

Тема 17. Электромагнитные волны.

Волновое уравнение. Скорость распространения электромагнитных волн. Закон сохранения энергии для электромагнитного поля. Плотность потока энергии электромагнитного поля. Шкала электромагнитных волн.

ОПТИКА. ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ ФИЗИКИ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Тема 1. Электромагнитная природа света.

Оптический диапазон. Характеристики световой волны. Законы геометрической оптики. Фотометрия.

Тема 2. Интерференция.

Принцип суперпозиции волн. Интенсивность при сложении колебаний. Понятие о когерентности. Временная и пространственная когерентность. Опыт Юнга. Ширина интерференционной полосы. Способы наблюдения интерференции. Интерференция при отражении от тонких пластинок. Полосы равного наклона и равной толщины. Кольца Ньютона.

Тема 3. Дифракция.

Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля. Дифракция Фраунгофера. Зоны Френеля. Дифракция на круглом отверстии и на круглом непрозрачном диске. Дифракция от прямой щели и от полу-

плоскости. Дифракционная решетка. Разрешающая способность спектральных приборов. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Вульфа-Брегга. Рентгеноструктурный анализ. Голография.

Тема 4. Дисперсия и поглощение света.

Модель среды с дисперсией. Нормальная и аномальная дисперсии. Групповая и фазовая скорости. Применение дисперсии. Коэффициент поглощения. Закон Бугера-Ламберта.

Тема 5. Поляризация.

Естественный и поляризованный свет. Степень поляризации. Поляризаторы и анализаторы. Закон Малюса. Поляризация при отражении и преломлении. Угол Брюстера. Прохождение поляризованного света через анизотропную среду. Оптическая ось. Двойное лучепреломление. Искусственная анизотропия. Эффект Керра. Вращение плоскости поляризации. Эффект Фарадея.

Тема 6. Квантовая природа света.

Противоречия классической физики. Успех квантовой гипотезы Планка. Фотоэлектрический эффект. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Фотоны. Энергия и импульс световых квантов. Эффект Комптона. Аннигиляция электрон-позитронной пары.

Тема 7. Корпускулярно-волновой дуализм.

Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов и нейтронов. Микрочастица в двухщелевом интерферометре. Волновые свойства микрочастиц и соотношение неопределенностей. Наборы одновременно измеримых величин.

Тема 8. Квантовые состояния.

Задание состояния микрочастиц. Волновая функция и ее статистический смысл. Суперпозиция состояний в квантовой теории. Амплитуды вероятностей. Объяснение поведения микрочастицы в интерферометре. Объяснение дифракции нейтронов на кристалле. Вероятность в квантовой теории. Временное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Гармонический осциллятор.

Тема 9. Атом.

Представление о первоначальной модели атома Резерфорда-Бора. Постулаты Бора. Водородоподобные атомы. Энергетические уровни. Потенциалы возбуждения и ионизации. Спектры водородоподобных атомов. Пространственное распределение плотности вероятности для электрона в атоме водорода. Ширина уровней. Принцип Паули. Структура энергетических уровней в многоэлектронных атомах. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.

Тема 10. Молекула.

Молекула водорода. Обменное взаимодействие. Физическая природа химической связи. Ионная и ковалентная связи. Электронные термы. Электронные, колебательные и вращательные состояния многоатомных молекул. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света.

Тема 11. Строение атомного ядра. Модели ядра. Ядерные силы. Масса и энергия связи ядра. Радиоактивность. Закон распада. Ядерные реакции. Ядерный реактор. Проблема источников энергии. Термоядерный синтез. Энергия звезд. Управляемый термоядерный синтез.

Тема 12. Элементы теории твердого тела.

Элементы зонной теории. Зонная структура энергетического спектра электронов. Уровень Ферми. Заполнение зон: металлы, диэлектрики, полупроводники. Электропроводность полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Понятие о p-n-переходе. Эффект Холла. Термоэлектрические явления. Полупроводниковые приборы.

Тема 13. Явление сверхпроводимости.

Термодинамика сверхпроводников. Сверхпроводники I и II рода. Роль примесей. Высокотемпературная сверхпроводимость. Захват и квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона.

Тема 14. Элементы квантовой электроники.

Спонтанное и вынужденное излучение. Вероятность перехода. Коэффициенты Эйнштейна для индуцированных переходов в двухуровневой системе. Принцип работы квантового генератора.

Тема 15. Элементарные частицы.

Вещество и поле. Атомно-молекулярное строение вещества. Элементарные частицы. Сильное, электромагнитное слабое и гравитационное взаимодействие. Заключение. Современная физическая картина мира.

3. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

Механика. Молекулярная физика и основы термодинамики

1. Основные определения кинематики (механическое движение, механическая система, материальная точка, абсолютно твердое тело, система отсчета).

2. Векторный (координатный) способ задания положения материальной точки в пространстве. Кинематические уравнения движения.
3. Путь и перемещение материальной точки. Мгновенная скорость, средняя скорость, средняя путевая скорость материальной точки.
4. Ускорение. Нормальное и тангенциальное ускорения.
5. Вычисление пути и перемещения материальной точки.
6. Кинематика вращательного движения твердого тела (вектор элементарного поворота, угловая скорость, угловое ускорение).
7. Частные случаи вращательного движения (равнопеременное вращение, равномерное вращение, частота, период вращения).
8. Связь угловых и линейных характеристик вращательного движения (тангенциальное ускорение, нормальное ускорение).
9. I закон Ньютона. Сила, масса, ускорение. II закон Ньютона. III закон Ньютона.
10. Импульс тела. Элементарный импульс силы.
11. Движение тела переменной массы. Уравнение Мещерского. Уравнение Циолковского.
12. Работа и механическая энергия.
13. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Закон сохранения механической энергии консервативной системы.
14. Динамика вращательного движения твердого тела (основное уравнение).
15. Моменты силы и импульса относительно неподвижной точки и оси.
16. Моменты инерции материальной точки, системы материальных точек и тела относительно оси. Теорема Штейнера (с доказательством).
17. Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Работа и мощность для вращательного движения тела.
18. Центр масс и закон его движения.
19. Абсолютно упругий и неупругий удары. Примеры прямого, центрального соударения шаров.
20. Движение в поле центральных сил. Гравитационное поле. Потенциал и напряженность гравитационного поля. Связь между силой и потенциальной энергией (\vec{F} и W_n).
21. Закон всемирного тяготения. Космические скорости.
22. Неинерциальные системы отсчета (НСО). Скорость в НСО.
23. Ускорение в НСО. Абсолютное, переносное, кориолисово ускорения.

24. Гармонические колебания, дифференциальное уравнение гармонических колебаний, решение уравнения.
25. Метод векторных диаграмм. Сложение двух одинаково направленных гармонических колебаний.
26. Кинетическая и потенциальная энергия материальной точки, совершающей прямолинейные гармонические колебания.
27. Определение когерентных и некогерентных гармонических колебаний. Биения.
28. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний, его решение. Условный период. Логарифмический декремент затухания.
29. Вынужденные механические колебания, дифференциальные уравнения, решение.
30. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний.
31. Элементы теории относительности. Преобразования Лоренца.
32. Следствия из преобразований Лоренца.
33. Связь массы и энергии, полной энергии, массы и импульса в релятивистской механике.
34. Термодинамическая система ее параметры и процессы. Уравнение Менделеева-Клапейрона.
35. Внутренняя энергия. Работа. Теплота. I-е начало термодинамики.
36. Теплоёмкость вещества (удельная, молярная). Связь между теплоёмкостями. Уравнение Майера.
37. I-е начало термодинамики. Изопроецессы.
38. Адиабатный процесс. Уравнение адиабаты.
39. Работа, совершаемая газом в адиабатном процессе и в изопроецессах.
40. Политропный процесс. Работа в политропном процессе.
41. Теплоёмкость вещества для различных процессов.
42. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия.
43. Термодинамика диаграммы $T - S$ для различных процессов.
44. Энергия Гельмгольца.
45. II и III начало термодинамики.
46. Круговые процессы. Цикл Карно (прямой и обратный). Термодинамический коэффициент полезного действия.
47. Теоремы Карно.
48. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества. Закон Дальтона.
49. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы.

50. Средняя арифметическая скорость, средняя квадратичная скорость, наиболее вероятная скорость поступательного движения молекул идеального газа.

51. Распределение Максвелла. Опыт Штерна.

52. Барометрическая формула. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле.

53. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

54. Явление переноса. Законы Ньютона, Фурье, Фика.

Электричество и магнетизм

1. Закон сохранения электрического заряда.

2. Напряженность электрического поля. Силовые линии электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей.

3. Потенциал электростатического поля в вакууме (2 определения).

4. Связь между потенциалом и напряженностью электростатического поля.

5. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме. Дифференциальная форма теоремы Остроградского-Гаусса. Уравнение Пуассона.

6. Примеры на применение теоремы Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме.

7. Электрический диполь. Расчет напряженности и потенциала поля диполя.

8. Электростатическое поле в диэлектрической среде. Диэлектрики. Электрический момент диполя.

9. Поляризация диэлектриков. Поляризованность.

10. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Электрическое смещение.

11. Условие для электростатического поля на границе раздела двух изотропных диэлектрических сред. Закон преломления линий напряженности.

12. Проводники. Теорема Ирншоу.

13. Ёмкость проводников и конденсаторов. Ёмкость шарового и плоского конденсатора.

14. Ёмкость цилиндрического конденсатора.

15. Электрическая энергия уединенного заряженного проводника и конденсатора. Объёмная плотность электрической энергии.

16. Сила и плотность тока. Уравнение неразрывности.

17. Закон Ома в дифференциальной форме.

18. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме. Объёмная плотность тепловой мощности тока.
19. Закон Ома в интегральной форме. Напряженность сторонних сил. Электродвижущая сила (ЭДС). Электрическое сопротивление.
20. Правила Кирхгофа.
21. Закон Джоуля-Ленца в интегральной форме.
22. Магнитная индукция. Закон Ампера. Сила Лоренца.
23. Закон Био-Савара-Лапласа. Взаимодействие между двумя элементами токов.
24. Силовые линии магнитного поля. Магнитное поле в центре кругового проводника.
25. Магнитное поле прямого тока.
26. Момент сил, действующих на виток с током в магнитном поле. Магнитный момент витка с током.
27. Теорема о циркуляции магнитного поля или закон полного тока в вакууме.
28. Магнитное поле тороида и соленоида.
29. Потокосцепление. Теорема Остроградского-Гаусса для магнитного поля в вакууме.
30. Механическая работа в магнитном поле.
31. Магнитные моменты атомов.
32. Атом во внешнем магнитном поле.
33. Вектор намагничённости. Диамагнетики во внешнем поле.
34. Парамагнетики во внешнем поле (закон Кюри).
35. Ферромагнетики.
36. Теорема о циркуляции напряжённости магнитного поля в веществе.
37. Условие для магнитного поля на границе раздела двух сред.
38. Электромагнитная индукция. опыты Фарадея. Закон Ленца.
39. Основной закон электромагнитной индукции.
40. Явление самоиндукции.
41. Взаимная индукция.
42. Собственная энергия тока. Объёмная плотность энергии магнитного потока.
43. Свободные гармонические колебания в электрическом контуре.
44. Затухающие колебания в электрическом контуре.
45. Вынужденные электрические колебания. Ёмкость индукционного и активного сопротивления.
46. Работа и мощность периода тока. Добротность электрического контура.

47. Ток смещения.
48. Магнитное поле тока смещения. Опыты Эйхенвальда.
49. Уравнения Максвелла. Дифференциальная и интегральная формы.
50. Граничные условия для электромагнитного поля.
51. Относительность электрических и магнитных полей. Преобразования Лоренца для магнитных и электрических полей.
52. Определения продольных и поперечных волн. Фронт волны. Плоская синусоидальная волна. Фазовая скорость.
53. Электромагнитные волны. Уравнение электромагнитной волны.
54. Решение волнового уравнения.
55. Стоячие электромагнитные волны.
56. Энергия электромагнитных волн.
57. Вектор Умова-Пойнтинга.
58. Сегнетоэлектрики.

Оптика. Элементы атомной физики и квантовой механики

1. Электромагнитная природа света. Свойства электромагнитных волн. Луч. Фронт волны.
2. Плоская, сферическая волны.
3. Энергия электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойнтинга. Интенсивность монохроматической бегущей волны.
4. Основные законы оптики. Принцип Ферма. Показатели преломления. Угол Брюстера. Предельный угол.
5. Интерференция волн. Когерентные волны, источники света. Условия интерференционных максимумов и минимумов.
6. Осуществление когерентных волн.
7. Ширина интерференционной полосы.
8. Полосы равного наклона.
9. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона в отраженном и проходящем свете.
10. Применение интерференции света.
11. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
12. Метод зон Френеля.
13. Дифракция Френеля на небольшом круглом отверстии и диске.
14. Дифракция Фраунгофера на одной щели.
15. Дифракционная одномерная решетка.

16. Наклонное падение света на одномерную дифракционную решетку. Дифракция на пространственной решетке. Условия Лауэ. Условия Вульфа-Брэгга.
17. Поляризация света. Основные определения.
18. Двойное лучепреломление.
19. Законы Малюса и Брюстера.
20. Поляризационные призмы и поляроиды. Анализ поляризованного света.
21. Вращение плоскости поляризации.
22. Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта.
23. Дисперсия света. Нормальная и аномальная.
24. Классическая электронная теория дисперсии света.
25. Тепловое излучение. Основные определения.
26. Закон Кирхгофа в дифференциальной и интегральной формах.
27. Законы Стефана-Больцмана и Вина.
28. «Ультрафиолетовая катастрофа». Гипотеза Планка. Коротковолновая граница рентгеновского спектра.
29. Фотоэффект. Формула Эйнштейна.
30. Давление света.
31. Эффект Комптона.
32. Ядерная модель атома Резерфорда.
33. Линейчатые спектры атома водорода.
34. Теория Бора для водородоподобных систем.
35. Постоянная Ридберга для водородоподобной системы.
36. Опыты Франка и Герца.
37. Гипотеза де Бройля. Опыты Дэвиссона и Джермера. Неприменимость понятия траектории к микрочастицам.
38. Соотношение неопределенности. Прохождение электронов через 1, 2 щели.
39. Задание состояния частиц в квантовой физике, функция состояния. Нормировка. Стандартные условия. Суперпозиция состояний. Уравнение Шредингера (временное и стационарное).
40. Решение уравнения Шредингера для свободной частицы.
41. Частица в одномерной потенциальной яме. Квантование энергии.
42. Гармонический квантовый осциллятор.
43. Прохождение частицы через одномерный потенциальный барьер. Туннельный эффект.

44. Операторы квантовой физики. Средние значения величин. Собственные значения и собственные функции проекции момента импульса и квадрата момента импульса.

45. Водородоподобная система в квантовой механике. Эффект Зеемана. Эффект Штарка. Правило отбора.

46. Основное состояние атома водорода. Решение уравнения Шредингера.

47. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона.

48. Принцип Паули. Теоретическое обоснование периодической системы элементов Менделеева.

4. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

При выполнении работ в лабораториях студенты обязаны выполнять следующие правила.

К работе допускаются студенты, прошедшие **инструктаж по технике безопасности** и получившие у преподавателя допуск к выполнению лабораторной работы. Категорически запрещается самостоятельно включать и выключать любые приборы без разрешения преподавателя или заведующего лабораторией.

К лабораторным занятиям студенты готовятся в часы их самостоятельной работы. Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студент во внеаудиторное время должен подготовить **допуск, который предполагает следующее.**

1. Заполнить бланк отчета (рис. 1) по лабораторной работе. В бланк заносятся следующие пункты: название лабораторной работы; цель работы; схема лабораторной установки; таблицы для записи результатов измерений; рабочие формулы.

Примечание. Рабочие формулы – это только те формулы, по которым непосредственно будут производиться вычисления.

2. Разобраться в теории и методике выполнения работы.

3. Знать порядок выполнения работы.

После получения допуска у преподавателя в аудиторное время студент проводит эксперимент, снимает измерения.

Подготовка к сдаче лабораторной работы включает в себя следующие пункты.

1. Сделать вычисления по рабочим формулам, предварительно переведя все единицы измерения в систему СИ.
2. Построить графики на миллиметровой бумаге.
3. Сделать выводы по проделанной работе.
4. Ответить на **контрольные вопросы для сдачи лабораторной работы** (они помещены в конце описания каждой работы).

Подготовив, таким образом, сдачу работы, студент защищает её в аудиторное время. В каждом семестре студенты выполняют лабораторные работы в соответствии с графиком, который доводится до них в начале семестра.

<p>БАЛТИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ КАФЕДРА ФИЗИКИ ОТЧЕТ по лабораторной работе № ____ Курсант _____ Преподаватель _____ Группа _____ Дата _____ Наименование: _____ Цель работы: _____</p> <hr/> <p>1. Схема установки</p> <p>2. Таблица результатов эксперимента</p>	<p>3. Рабочие формулы. Вычисления</p> <p>4. Вывод</p>
---	---

Рис. 1. Бланк отчета по лабораторной работе

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1-5

Экспериментальное определение момента инерции маятника Максвелла

Цель работы: изучение вращательного движения твердого тела и определение момента инерции маятника Максвелла экспериментальным и теоретическим методами.

ВВЕДЕНИЕ

Момент инерции тела – это мера инертности тела во вращательном движении.

Моментом инерции материальной точки относительно оси – называется величина, равная произведению массы m материальной точки на квадрат её расстояния R до оси:

$$J = m \cdot R^2 .$$

Момент инерции материальных точек относительно оси равен сумме произведений масс этих материальных точек на квадрат их расстояний от этой оси:

$$J = \sum_i m_i R_i^2 , \quad (1)$$

где m – масса i -ой материальной точки;

R_i – радиус этой точки относительно оси вращения.

Для вычисления **момента инерции тела** его разбивают на бесконечно большое число бесконечно малых элементов с массами dm . Поэтому в формуле (1) сумму заменяют интегралом:

$$J = \int_0^m R^2 dm , \quad (2)$$

где R – расстояние от элемента dm до оси вращения.

Маятник Максвелла представляет собой диск, жестко посаженный на стержень и подвешенный на двух параллельных нитях (рис. 1). Наматывая нити на стержень, маятник можно поднять на некоторую высоту h_0 , т. е. сообщить ему потенциальную энергию относительно нижнего положения, которое определяется длиной нити подвеса. В верхнем положении маятник освобождают.

Силы и моменты сил, действующие на маятник, сообщают ему одновременно поступательное и вращательное движение. Считая данную физическую систему (подвес – маятник – Земля) замкнутой, запишем для неё закон сохранения энергии:

$$\frac{J\omega^2}{2} + \frac{mv^2}{2} + mgh = mgh_0, \quad (3)$$

где J – момент инерции маятника относительно оси стержня;
 m – масса маятника;
 ω – угловая скорость маятника;
 v – скорость центра масс;
 h_0 – начальная высота подъёма маятника;
 h – высота подъёма маятника в данный момент времени.

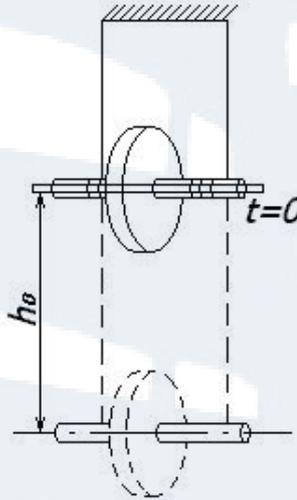


Рис. 1. Маятник Максвелла

Начальное состояние системы при $t = 0$:

$$h = h_0, \quad v = 0, \quad \omega = 0, \quad U = mgh_0,$$

где U – потенциальная энергия маятника.

Конечное состояние системы:

$$h = 0, \quad v = v_{\max}, \quad \omega = \omega_{\max}, \quad U = 0.$$

Можно показать, что при выполнении соотношения (3), ускорение маятника a будет постоянным. Для этого продифференцируем (3) по времени, учитывая, что скорость центра масс $v = -\frac{dh}{dt}$ связана с угловой скоростью маятника ω и радиусом стержня r , на который наматывается нить, соотношением $v = \omega r$:

$$J\omega \frac{d\omega}{dt} + mv \frac{dv}{dt} + mg \frac{dh}{dt} = 0$$

или

$$\frac{J}{r^2} \cdot \frac{dv}{dt} + m \frac{dv}{dt} - mg = 0.$$

Следовательно, ускорение a равно:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{g}{1 + \frac{J}{mr^2}}, \quad (4)$$

где J , m и r для данного маятника являются постоянными.

При $a = const$ и $v_0 = 0$ в выбранной системе отсчета

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (5)$$

где t – время падения маятника.

Расстояние, пройденное телом за время t равно:

$$S = h_0 - h.$$

Из соотношений (4) и (5) находим момент инерции маятника:

$$J = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2S} - 1 \right). \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что, измерив t , S , r и m можно найти момент инерции тела. Однако, электромагнит, удерживающий маятник в верхнем положении, обладает инертностью, после выключения он некоторое время Δt ещё продолжает удерживать маятник. При одновременном включении секундомера и размыкании цепи электромагнита отсчет времени начинается на Δt секунду раньше начального момента падения маятника. Измеренное значение времени падения получается завышенным. Эту систематическую ошибку можно исключить. Запишем формулу (5) с учетом Δt времени задержки маятника электромагнитом:

$$S = \frac{a(t - \Delta t)^2}{2}$$

или

$$\sqrt{S} = \sqrt{\frac{a}{2}}(t - \Delta t). \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что зависимость $\sqrt{S} = f(t)$ линейная. График линейной зависимости представляет собой прямую с угловым коэффициентом $tg\alpha = \sqrt{\frac{a}{2}}$ (рис. 2). При этом величина Δt не влияет на наклон прямой, а значит и на точность определения ускорения центра масс маятника. Ускорение вычисляется по формуле:

$$a = 2 \cdot tg^2\alpha. \quad (8)$$

Величина $tg\alpha$ находится из графика (рис. 2).

Поэтому окончательную формулу для определения момента инерции маятника Максвелла запишем в виде:

$$J = mr^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right), \quad (9)$$

где $m = m_0 + m_1 + m_2$ – масса маятника,

m_0 – масса стержня;

m_1 – масса диска;

m_2 – масса сменного кольца;

r – радиус стержня.

Массы указаны на стержне, диске и кольце.

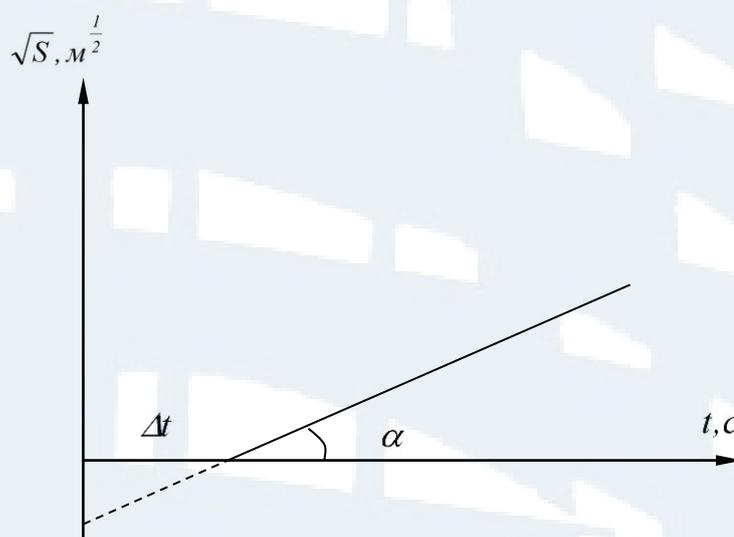
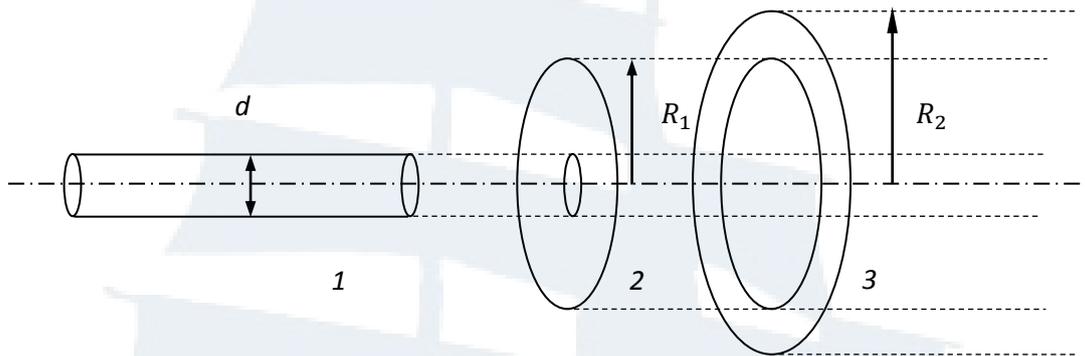


Рис. 2. График зависимости $\sqrt{S} = f(t)$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На рис. 3 изображены составные части маятника Максвелла: диск 2 жестко закрепляющийся на стержне 1, подвешивается на двух нитях. Радиус диска R_1 . На диск надевается сменное кольцо 3 с внешним радиусом R_2 . Диаметр стержня d .



*Рис. 3. Схема маятника Максвелла:
1 – стержень, 2 – диск с вырезом для стержня, 3 – сменное кольцо*

Маятник со сменным кольцом фиксируется в верхнем исходном положении с помощью электромагнита.

Внешний вид установки показан на рис. 4. На вертикальной стойке основания крепятся два кронштейна – верхний и нижний. Верхний кронштейн снабжен электромагнитами и устройством для крепления и регулировки подвеса.



Рис. 4. Внешний вид установки

На рис. 5 показана схема установки.

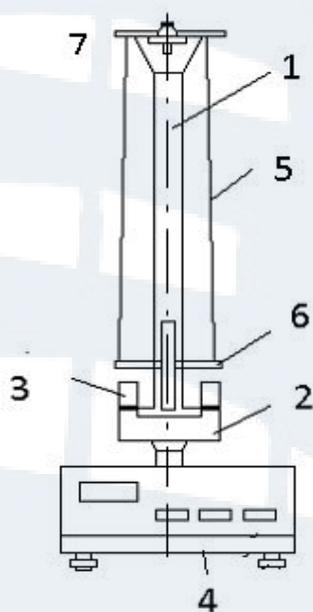


Рис. 5. Схема установки

На вертикальной стойке нанесена миллиметровая шкала 1, по которой определяется положение маятника. Фотоэлектрический датчик 3 закреплен на кронштейне 2. Кронштейн обеспечивает возможность перемещения фотодатчика вдоль вертикальной стойки и его фиксирования зажимом в любом месте шкалы в пределах 0-40 см. Фотодатчик предназначен для выдачи электрических сигналов на секундомер 4 с цифровым индикатором времени. Маятник Максвелла 6 подвешен на нитях 5.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Вычисление момента инерции маятника Максвелла теоретическим способом

1. Измерить штангенциркулем диаметр стержня d , радиус диска R_1 и внешний радиус кольца R_2 . Вычислить радиус стержня $r = d/2$. Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

Масса стержня	Масса диска	Масса кольца	Масса маятника	Радиус стержня	Радиус диска	Внешний радиус кольца
$m_0, 10^{-3} \text{ кг}$	$m_1, 10^{-3} \text{ кг}$	$m_2, 10^{-3} \text{ кг}$	$m, 10^{-3} \text{ кг}$	$r, 10^{-3} \text{ м}$	$R_1, 10^{-3} \text{ м}$	$R_2, 10^{-3} \text{ м}$

2. Занести массу стержня m_0 , массу диска m_1 и массу кольца m_2 , которые указаны на диске, стержне и кольце, в табл. 1. Вычислить массу маятника $m = m_0 + m_1 + m_2$. Результат занести в табл. 1.

3. Вычислить момент инерции стержня по формуле:

$$J_0 = \frac{1}{2} m_0 r^2. \quad (10)$$

4. Вычислить момент инерции диска по формуле:

$$J_1 = \frac{1}{2} m_1 (r^2 + R_1^2). \quad (11)$$

5. Вычислить момент инерции сменного кольца по формуле:

$$J_2 = \frac{1}{2} m_2 (R_1^2 + R_2^2). \quad (12)$$

6. Вычислить момент инерции маятника Максвелла по формуле:

$$J_T = J_0 + J_1 + J_2. \quad (13)$$

Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Момент инерции стержня	Момент инерции диска	Момент инерции кольца	Момент инерции маятника	Абсолютная ошибка измерений	Результат с учетом ошибки
$J_0,$ $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$J_1,$ $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$J_2,$ $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$J_T,$ $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$\Delta J_T,$ $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$J_T \pm \Delta J_T,$ $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

Задание 2. Экспериментальное определение момента инерции маятника

1. Установить по высоте кронштейн 2 (рис. 5) в крайнее нижнее положение.

2. Надеть кольцо на диск, установить необходимую длину нити с помощью устройства 7. Ось маятника должна быть горизонтальной.

3. С помощью регулировки опор добиться того, чтобы диск 6 на подвесе находился посередине фотодатчика 3.

4. Нажать кнопку «сеть» на панели секундомера 4.

5. Накрутить нити на стержень виток к витку и зафиксировать маятник в верхнем положении при помощи электромагнита. Нити подвеса в этом положении должны быть слегка ослабленными.

6. Установить индикатор отсчета времени на 0, нажав кнопку «сброс».

7. Нажать кнопку «пуск». Происходит выключение электромагнита и включение секундомера. В момент пересечения маятником оптической оси фотодатчика отсчет времени прекращается.

8. Маятник, поднявшийся в верхнее положение, задержать рукой и осторожно отпустить вниз.

9. Записать в табл. 3 высоту падения груза S , показания секундомера t . 10. Прodelать операции (3-9) для трех различных значений высоты падения $S = h - h_0$, устанавливая её перемещением кронштейна 2.

Для каждого значения высоты предварительно установить нужную длину подвеса. Результаты занести в табл. 3.

11. Построить график зависимости $\sqrt{S} = f(t)$ (рис. 2) по экспериментальным данным.

12. Найти тангенс $tg \alpha$ угла наклона прямой $\sqrt{S} = f(t)$ по графику.

13. Определить ускорение маятника по формуле $a = 2tg^2 \alpha$. Результат занести в табл. 3.

14. По формуле (9) вычислить момент инерции маятника. Результат занести в табл. 3.

15. Вычислить погрешность по формуле:

$$\frac{\Delta J}{\langle J_T \rangle} = \frac{|\langle J_T \rangle - \langle J_{эк} \rangle|}{\langle J_T \rangle} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Таблица 3

Высота падения	Время падения	Ускорение маятника	Момент инерции маятника	Абсолютная ошибка измерений	Результат с учетом ошибки
S , м	t , с	a , м/с ²	$J_{эк}$, 10^{-4} кг·м ²	$J_{эк}$, 10^{-4} кг·м ²	$J_{эк} \pm \Delta J_{эк}$, 10^{-4} кг·м ²
	$t_{cp} =$				
	$t_{cp} =$				
	$t_{cp} =$				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ **для сдачи работы**

1. Записать определения момента инерции материальной точки, системы материальных точек, твердого тела.
2. Сформулировать определения кинематических характеристик вращательного движения (вектор $d\vec{\varphi}$ элементарного поворота тела, угловая скорость $\vec{\omega}$ тела, угловое ускорение $\vec{\varepsilon}$ тела).
3. Сформулировать определения динамических характеристик вращательного движения (момент инерции J материальной точки относительно оси, момент силы \vec{M} относительно неподвижной точки, момент импульса \vec{L} относительно неподвижной точки, элементарная работа δA , мощность N , кинетическая энергия $E_{кин}$).
4. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения.
5. Сформулируйте закон сохранения механической энергии для движения маятника.
6. Сформулируйте теорему Штейнера.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1-6

Изучение центрального соударения шаров

Цель работы: исследование законов столкновения шаров; проверка законов сохранения импульса и механической энергии; определение коэффициентов восстановления скорости и кинетической энергии; изучение зависимости средней силы удара и времени соударения от относительной скорости шаров.

ВВЕДЕНИЕ

Ударом называется явление изменения скоростей тел на конечные значения за очень короткий промежуток времени, происходящее при их столкновениях.

Общая нормаль к поверхностям соударяющихся тел в точке их соприкосновения называется **линией удара**.

Удар называется **прямым**, если перед ударом скорости центра масс соударяющихся тел параллельны линии удара.

Удар называется **центральный**, если центры масс соударяющихся тел лежат на линии удара.

При ударе в телах возникают столь значительные внутренние силы, что внешними силами, действующими на них, можно пренебречь. Это позволяет рассматривать соударяющиеся тела как замкнутую систему и применять к ней законы сохранения.

Замкнутой системой называется система, на которую не действуют внешние силы или их действие скомпенсировано.

Прямой центральный удар называется абсолютно неупругим, если после удара тела движутся как одно целое, т. е. с одной и той же скоростью (или покоятся).

При неупругом ударе происходят различного рода процессы в соударяющихся телах (их пластическая деформация, трение и др.), в результате которых кинетическая энергия системы частично преобразуется в ее внутреннюю энергию, т. е. происходит диссипация механической энергии системы. Для неупругого удара справедливы закон сохранения импульса и закон сохранения полной энергии системы. Закон сохранения механической энергии не выполняется, так как кинетическая энергия тел полностью или частично превращается во внутреннюю энергию.

Абсолютно упругим ударом называется такой удар, при котором механическая энергия соударяющихся тел не преобразуется в другие виды энергии. При абсолютно упругом ударе выполняются закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии системы. Кинетическая энергия полностью или частично превращается в потенциальную энергию упругой деформации, которая снова переходит в кинетическую энергию после удара.

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы не изменяется при любых процессах, происходящих в системе.

Закон сохранения механической энергии системы: механическая энергия замкнутой системы не изменяется, если все внутренние силы потенциальны либо не совершают работы.

Рассмотрим соударение двух металлических шаров с массами m_1 и m_2 , подвешенных на нитях длиной ℓ (рис. 1).

Будем считать, что удар является центральным, т. е. в момент соударения шары движутся по прямой, проходящей через их центры.

В исходном положении шары находятся в положении равновесия. Если шар 1 отклонить на угол α_{01} и отпустить, то к моменту соударения его с неподвижным шаром 2 в нижней точке он разовьет скорость v_{01} .

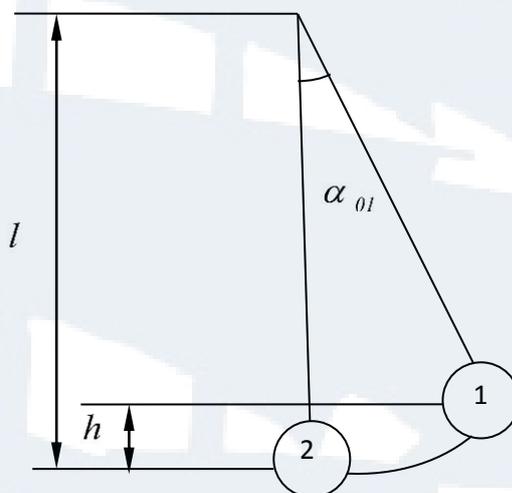


Рис. 1

Эту скорость нетрудно найти из закона сохранения энергии для первого шара

$$m_1gh = \frac{m_1v_{01}^2}{2}, \text{ откуда } v_{01} = \sqrt{2gh},$$

где h – высота подъёма центра масс шара 1 при отклонении его на угол α_{01} . Учитывая, что

$$h = l - l \cos \alpha_{01} = 2l \sin^2 \frac{\alpha_{01}}{2},$$

получаем

$$v_{01} = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_{01}}{2}. \quad (1)$$

В результате соударения шар 2 приобретает скорость v_2 , а скорость первого шара станет равной v_1 . Эти скорости можно найти по формулам, аналогичным формуле (1):

$$v_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2}, \quad v_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2}, \quad (2)$$

где α_1 и α_2 – углы, на которые отклонятся, разлетевшись после удара, первый и второй шары, соответственно. Если бы удар шаров был абсолютно упругим, то в соответствии с законом сохранения импульса и энергии имели бы место равенства:

$$m_1 \vec{v}_{01} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2, \quad (3)$$

$$\frac{m_1 v_{01}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, суммарный импульс шаров и их суммарная кинетическая энергия после удара были бы такими же, как и до удара. Реальные шары, однако, не являются идеально упругими, а удар не является абсолютно упругим. Это отклонение не нарушает закон сохранения импульса (3), но делает несправедливым равенство суммарной кинетической энергии шаров до и после удара (4). Поэтому, для характеристики близости реального упругого удара к абсолютно упругому, вводятся **коэффициент восстановления скорости** k_c и **коэффициент восстановления кинетической энергии** k_ϵ , определяемые следующими формулами:

$$k_c = \frac{v_r}{v_{r0}} = \frac{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1|}{|\vec{v}_{02} - \vec{v}_{01}|},$$

$$k_\epsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{E_1 + E_2}{E_{01} + E_{02}}, \quad (5)$$

где \vec{v}_{r0} , \vec{v}_r – относительные скорости шаров до и после удара;

E_0 и E – суммарные кинетические энергии шаров до и после удара.

В рассматриваемом случае скорости \vec{v}_1 и \vec{v}_2 направлены в одну сторону, поэтому имеем:

$$\left. \begin{array}{l} v_{r0} = v_{01} \\ v_r = v_2 - v_1 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} E_0 = \frac{m_1 v_{01}^2}{2} \\ E = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \end{array} \right\}. \quad (6)$$

С учетом формул (6), (1) и (2) получим коэффициенты восстановления:

$$k_c = \frac{v_2 - v_1}{v_{01}} = \frac{\sin \frac{\alpha_2}{2} - \sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_{01}}{2}}, \quad (7)$$

$$k_\varepsilon = \frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{m_1 v_{01}^2} = \frac{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} + m_2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_{01}}{2}}. \quad (8)$$

Коэффициент восстановления скорости k_c показывает, какая доля начальной относительной скорости этих тел восстанавливается к концу удара. Значения коэффициента находятся в пределах: $0 < k_c < 1$.

В процессе соударения реальных шаров некоторая часть кинетической энергии необратимо преобразуется в энергию колебаний частиц внутри шаров (нагревание, звук), на остаточную деформацию. Эту часть энергии можно рассматривать как необратимые потери. Следовательно, сумма кинетических энергий реальных шаров до столкновения всегда больше суммы кинетических энергий после соударения на величину необратимых потерь.

Средняя сила удара может быть найдена из второго закона Ньютона:

$$F\tau = m\Delta v,$$

где τ – время соударения;

Δv – изменение скорости одного из шаров за это время.

Для второго шара начальная скорость $v_{02} = 0$, поэтому

$$\Delta v = |\vec{v}_2 - \vec{v}_{02}| = v_2,$$

$$F = \frac{m_2 v_2}{\tau}.$$

Подставим v_2 из формулы (2), получим среднюю силу удара:

$$F = \frac{m_2}{\tau} 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2}. \quad (9)$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Общий вид установки ФПМ-08 изображен на рис. 2, схема установки – на рис. 3. Установка состоит из основания 1 с регулируемыми опорами 2, двух маятников 3 и 4 с механизмом 5 изменения их межцентрового расстояния маятников 5, двух шкал 6 и 7, электромагнита 11 и секундомера 10. Маятники представляют собой шары, подвешенные с помощью токопроводящих нитей к вертикальной стойке. Нити имеют зажимы для регулировки и фиксации их длины.

Механизм изменения межцентрового расстояния шаров приводится в действие ручкой 8 и фиксируется гайкой 9.

Две шкалы, левая и правая, служат для определения углов отклонения шаров от положения равновесия. Шкалы можно легко перемещать и фиксировать в выбранном положении при помощи винтов.

Максимальный отсчет по каждой шкале составляет 15 градусов.

Электромагнит 11 предназначен для удержания подведенного к нему шара в отклоненном положении. Регулировка усилия притяжения шара осуществляется винтом 12. Электромагнит можно перемещать по вертикали и вдоль шкалы, а также фиксировать в выбранном положении.

С помощью регулировочных опор 2 устанавливается вертикальное положение маятников в соответствии с уровнем.



Рис. 2. Внешний вид установки

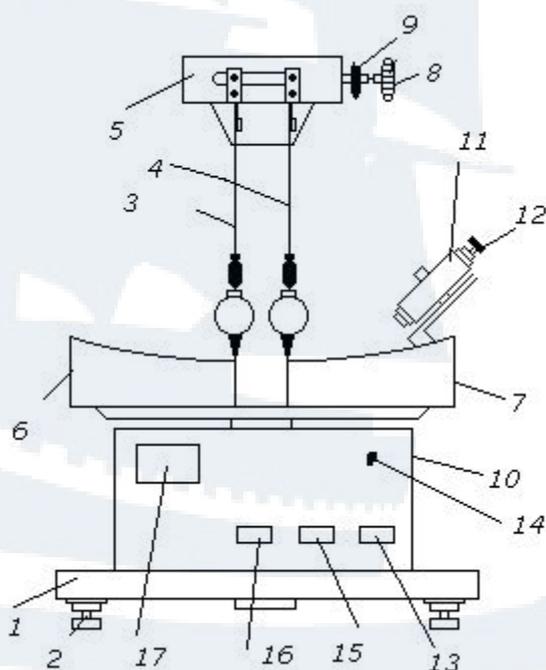


Рис. 3. Схема установки

В исходном состоянии шары должны касаться друг друга, риски на шарах должны быть на одном уровне, острые указатели на шарах должны находиться в одной вертикальной плоскости со шкалами.

Положение электромагнита должно быть отрегулировано таким образом, чтобы его ось совпадала с рисккой, подведенного к нему шара и, чтобы он правильно ориентировал качание шара в плоскости со шкалами.

Секундомер служит для измерения времени соударения металлических шаров и для питания электромагнита. На его передней панели находятся:

- кнопка «сеть» 13 для включения питания секундомера и электромагнита;
- кнопка «сброс» 15 для подготовки секундомера к работе;
- кнопка «пуск» 16 для отключения электромагнита и запуска отклоненного шара;
- индикаторная панель времени 17;
- сигнальная лампочка «переполнение» 14.

Секундомер должен быть после включения в сеть прогрет в течение 10 с .

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить правую шкалу 7 так, чтобы положение острого указателя правого шара, находящегося в покое, соответствовало положению нуля шкалы. Левую шкалу 6 тоже установить так, чтобы положение нуля шкалы соответствовало положению острого указателя левого шара, находящегося в покое (рис. 3).

2. Измерить длину подвеса l (от центра шара до точки подвеса). Записать в табл.1 длину подвеса l и массы шаров m .

3. Включить в сеть шнур питания секундомера и нажать на кнопку «сеть», расположенную на его панели. При этом должны загореться лампочки цифрового индикатора.

4. Установить электромагнит в заданное положение. Каждому положению электромагнита соответствует начальное отклонение правого шара – угол α_{0l} .

5. Оставляя левый шар в положении равновесия, правый шар отклонить на угол до соприкосновения с электромагнитом (рис. 4).

6. Записать показание α_{0l} в табл. 1.

7. Нажать кнопку «сброс». При этом на лампочках цифрового индикатора должны загореться цифры «0».

8. Убедившись, что левый шар находится в состоянии покоя, нажать на кнопку «пуск». При этом произойдет соударение шаров. После соударения поймать левый шар за указатель в положении его максимального отклонения (рис. 5). Удерживая рукой левый шар, заметить угол α_1 максимального отклонения правого шара после удара. Записать в табл. 1 максимальные углы отклонения α_1 и α_2 правого и левого шаров после соударения. Записать время соударения τ , показываемое на цифровом индикаторе секундомера.

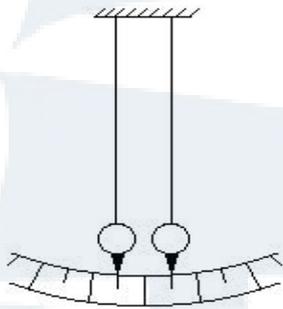


Рис. 3

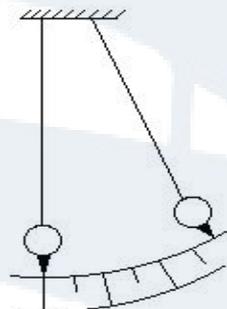


Рис. 4

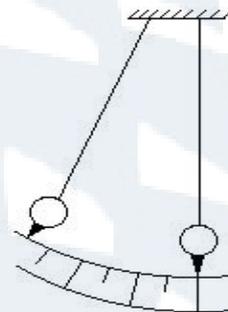


Рис. 5

9. Повторить измерения по пп. 5-8 три раза, при одном и том же положении электромагнита. Записать показания в табл. 1.

10. Найти средние значения времени соударения и углов отклонения шаров.

Таблица 1

№ n/n	α_{01} , град	α_1 , град	α_2 , град	τ , 10^{-6} с	v_{01} , м/с	v_1 , м/с	v_2 , м/с
1							
2							
3							
среднее							
1							
2							
3							
среднее							
1							
2							
3							
среднее							
		$l =$		$m_1 = m_2 =$			

11. Измерить τ , α_{01} , α_1 , α_2 (пп. 4-10) при двух других положениях электромагнита, меняя положения угла α_{01} в пределах от 8 до 14 градусов. Результаты измерений занести в табл. 1.

12. Выключить электропитание секундомера, нажав кнопку «сеть».

13. Определить по формулам (1) и (2) скорости v_{01} , v_1 , v_2 . Проверить, удовлетворяют ли они закону сохранения импульса (3).

14. По формуле (7) определить коэффициент k_c восстановления скорости.

15. По формуле (8) определить коэффициент k_3 восстановления энергии.

16. Определить среднюю силу F удара по формуле (9) для трех различных значений угла α_{01} .

17. Результаты расчетов (пп. 13-16) занести в табл. 2.

Таблица 2

№ n/n	v_{01} , м/с	P_0 , кгм/с	k_c	k_3	F , н	P_1 , кгм/с
1						
2						
3						

18. Построить **график** зависимости силы удара F от относительной скорости v_{01} сталкивающихся шаров:

$$F = f(v_{01}).$$

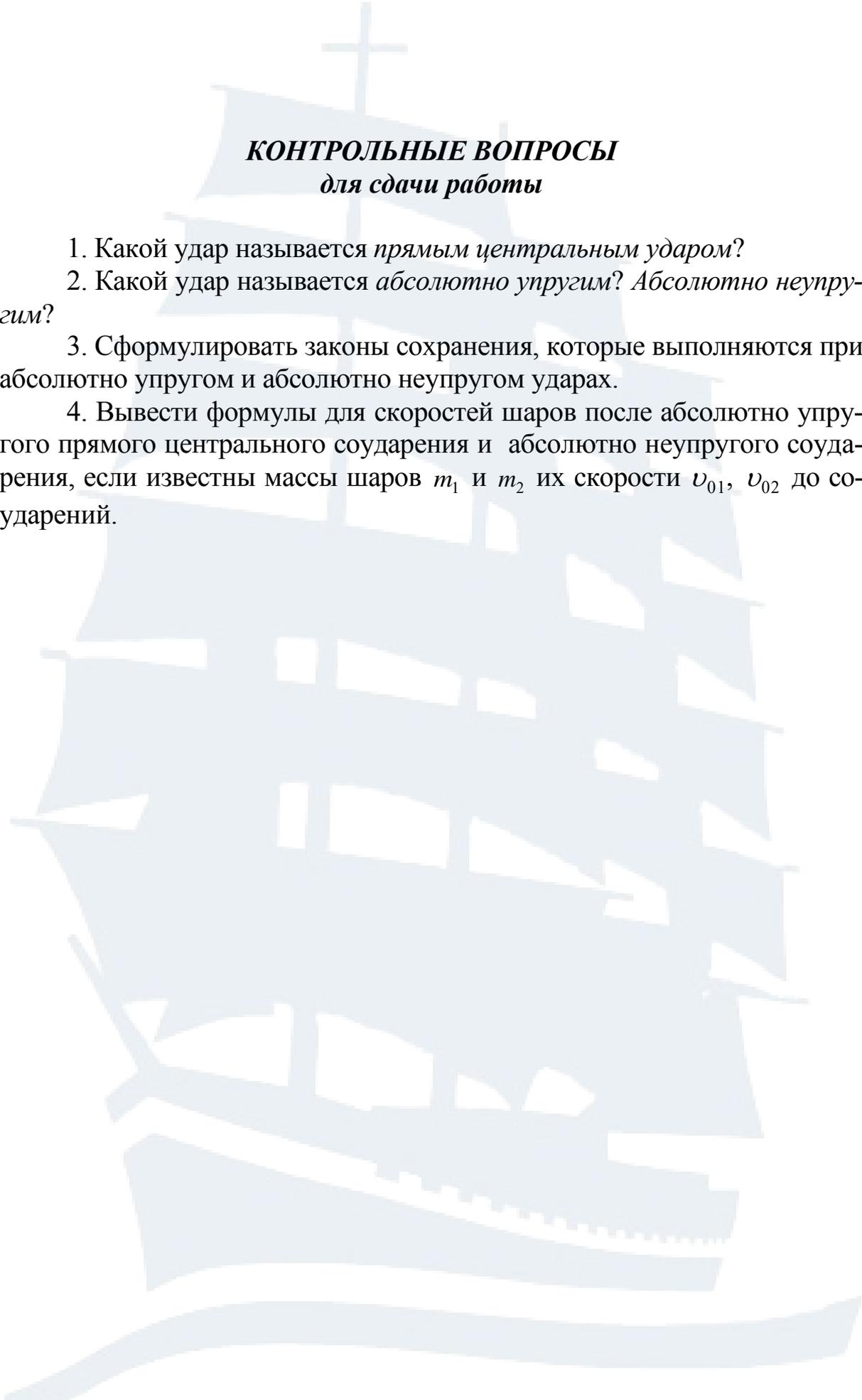
19. Построить **график** зависимости времени τ соударения от относительной скорости v_{01} сталкивающихся шаров:

$$\tau = f(v_{01}).$$

20. Рассчитать импульс системы шаров до удара P_0 и импульс системы шаров после удара P_1 по следующим формулам:

$$P_0 = m_1 v_{01} \quad \text{и} \quad P_1 = |m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2|. \quad (10)$$

21. Результаты расчетов занести в табл. 2.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
для сдачи работы

1. Какой удар называется *прямым центральным ударом*?
2. Какой удар называется *абсолютно упругим*? *Абсолютно неупругим*?
3. Сформулировать законы сохранения, которые выполняются при абсолютно упругом и абсолютно неупругом ударах.
4. Вывести формулы для скоростей шаров после абсолютно упругого прямого центрального соударения и абсолютно неупругого соударения, если известны массы шаров m_1 и m_2 их скорости v_{01} , v_{02} до соударений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1-7

Определение момента инерции баллистического маятника и скорости полета «пули»

Цель работы: ознакомление с законами динамики вращательного движения.

ВВЕДЕНИЕ

При отклонении физического маятника на небольшой угол можно считать его колебания гармоническими, и тогда период этих колебаний определяется по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_m}{c}}, \quad (1)$$

где J_m – момент инерции маятника;

c – коэффициент возвращающего момента, который зависит от материала, проволоки и её размеров.

Из уравнения (1) следует:

$$J_m = \frac{cT^2}{4\pi^2}. \quad (2)$$

Так как коэффициент возвращающего момента трудно рассчитать, его необходимо исключить из расчетной формулы. Для этого на маятнике имеется два добавочных груза, которые могут передвигаться вдоль него. Тогда момент инерции маятника с грузами

$$J = J_m + 2J_{gp}, \quad (3)$$

где J_{gp} – момент инерции добавочного груза.

По теореме Штейнера:

$$J_{gp} = m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right) + md^2, \quad (4)$$

где $m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right)$ – момент инерции груза (диска) относительно оси,

проходящей через его центр тяжести перпендикулярно оси груза;

d – расстояние между центром тяжести груза и осью подвеса;

m – масса груза (диска);

r – радиус диска;

h – толщина диска.

Измерив периоды колебаний маятника с грузами при двух разных их положениях, имеем:

$$J_1 = J_m + 2m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} + d_1^2 \right) = \frac{cT_1^2}{4\pi^2}. \quad (5)$$

$$J_2 = J_m + 2m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} + d_2^2 \right) = \frac{cT_2^2}{4\pi^2}. \quad (6)$$

Решая совместно (5) и (6), получаем

$$J_m = \frac{2m \left[\left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right) \cdot (T_2^2 - T_1^2) - T_1^2 d_2^2 + T_2^2 d_1^2 \right]}{T_1^2 - T_2^2}$$

или более удобное выражение для вычисления момента инерции маятника:

$$J_m = 2m \left[\frac{d_2^2 - \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2 d_1^2}{\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2 - 1} - \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right) \right]. \quad (7)$$

Для определения скорости полета «пули» используется закон сохранения момента импульса. После выстрела «пуля» попадает в маятник и застревает в нем, вызывая его отклонение на угол φ_0 . Время соударения «пули» с маятником незначительно, по сравнению с периодом колебаний. Отклонение маятника от положения равновесия в момент соударения мало. Результирующий момент внешних сил, действующих на систему в момент удара, равен нулю. Систему «маятник-пуля» можно считать замкнутой.

Считая удар абсолютно неупругим, применим закон сохранения момента импульса: момент импульса «пули» до удара $m_n v \ell$ равен моменту импульса системы «маятник-пуля» после удара:

$$m_n v \ell = J \omega, \quad (8)$$

где m_n – масса «пули»;

J – момент инерции маятника с грузами без «пули» (моментом инерции «пули» пренебрегаем);

v – скорость «пули» в момент удара;

ℓ – расстояние от оси маятника до центра «пули», попавшей в маятник;

ω – угловая скорость системы после удара.

Угловую скорость системы после удара можно определить из закона сохранения энергии. Максимальная кинетическая энергия колеблющегося маятника, которую он имеет, проходя положения равновесия, должна быть равна его максимальной потенциальной энергии $\frac{1}{2}c\varphi_0^2$, которую он имеет в положении максимального отклонения от равновесия:

$$\frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2}c\varphi_0^2, \quad (9)$$

где φ_0 – максимальный угол отклонения маятника.

Решим систему уравнений (8) и (9) относительно ν , получим:

$$\nu = \frac{\varphi_0 \sqrt{Jc}}{m_n \ell}. \quad (10)$$

Коэффициент возвращающего момента равен:

$$c = \frac{4\pi^2 J}{T^2}. \quad (11)$$

Тогда окончательно получим:

$$\nu = \frac{4mT_2\pi\varphi_0(d_1^2 - d_2^2)}{m_n \ell(T_1^2 - T_2^2)}. \quad (12)$$

Графический способ нахождения момента инерции маятника J_m

Построить график зависимости $T^2 = f(2md^2)$. График должен представлять собой прямую (рис. 1), уравнение которой, полученное из формулы (6), имеет вид:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{c} \cdot 2md^2 + \frac{4\pi^2}{c} \left[J_m + 2m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right) \right]. \quad (13)$$

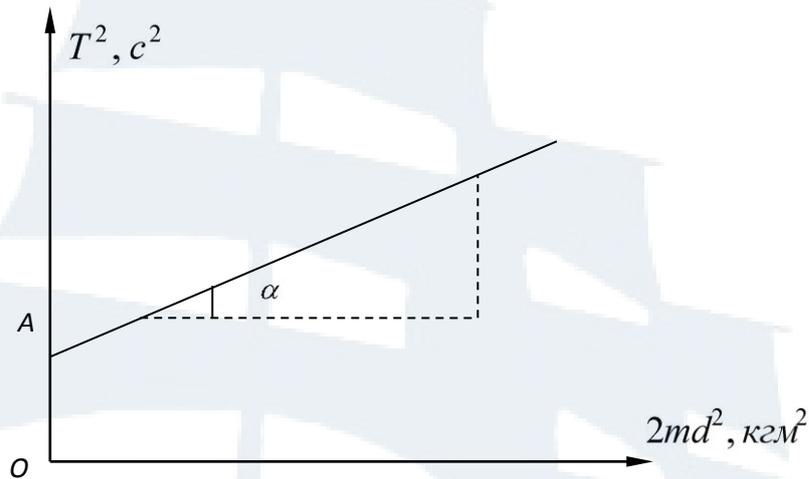


Рис. 1

На рис. 1 отрезок OA равен второму слагаемому в уравнении (13):

$$OA = \frac{4\pi^2}{c} \left[J_m + 2m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right) \right]. \quad (14)$$

Сомножитель $\frac{4\pi^2}{c}$ равен тангенсу угла наклона $tg\alpha$ прямой к оси абсцисс:

$$tg\alpha = \frac{4\pi^2}{c}. \quad (15)$$

Тогда из формулы (14) можно найти J_m :

$$J_m = \frac{OA}{tg\alpha} - 2m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right), \quad (16)$$

где величины OA и $tg\alpha$ находятся из графика (рис. 1).

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Прибор ФПМ-09 – баллистический маятник, который используется в работе, показан на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид установки

Основным элементом установки является маятник (рис. 3). Он представляет собой горизонтальный стержень 1, закрепленный на вертикальной проволоке 2, натянутой между кронштейнами установки. Вдоль стержня могут перемещаться два груза 3, массой $m = 0,191$ кг каждый. Винты 4 служат для закрепления грузов в определенном положении. На прозрачный экран (рис. 2), закрывающий маятник, нанесена шкала, позволяющая определить угол поворота маятника.

На концах стержня закреплены пластины 5, покрытые с одной стороны пластилином. На боку пластины находится вертикальная черта, которая указывает угол отклонения маятника от положения равновесия на шкале прозрачного экрана. На пластине сверху имеются деления, показывающие расстояние от оси подвеса маятника. На самом стержне нанесены поперечные штрихи на расстоянии 1 см друг от друга, первый на расстоянии 0,02 м от оси.

«Пистолет» служит для стрельбы «пулями» – алюминиевыми цилиндрами, которые помещаются на стержень 12. Мишенями служат пластины 5 на маятнике.

Установка снабжена фотоэлементом, который служит для замера числа колебаний маятника.

На панели 11 секундомера имеется ряд индикаторных ламп. Табло 9 показывают число полных колебаний, табло 10 – время полных колебаний.

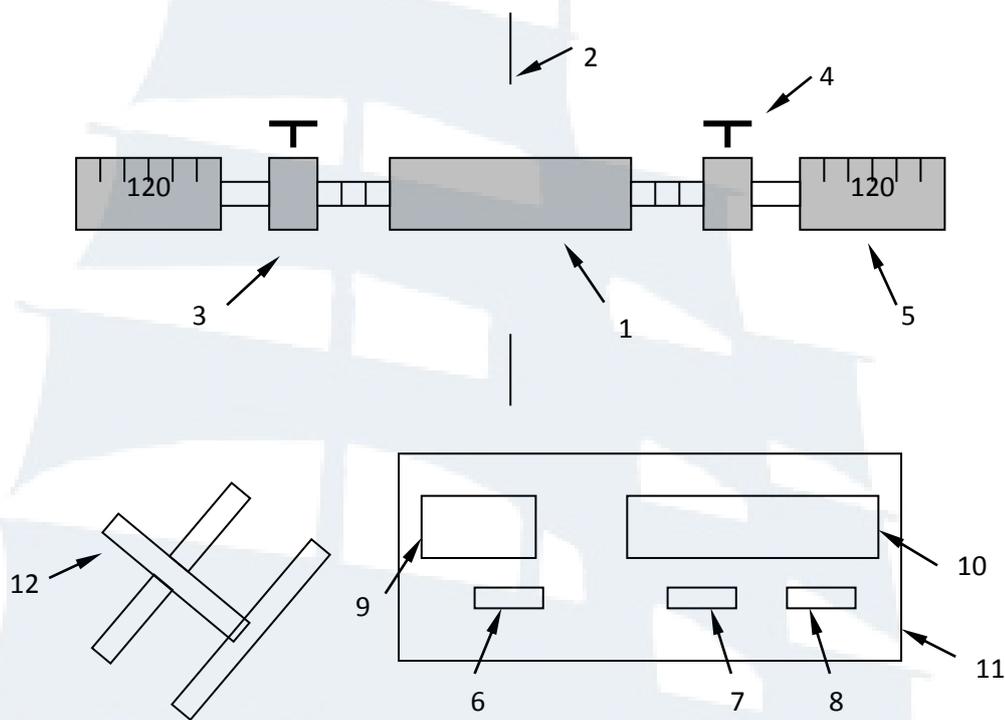


Рис. 3. Схема элементов установки

Имеется также три клавиши: 6 – «сеть», 7 – «стоп», 8 – «сброс». Они служат, соответственно, для включения прибора, прекращения счета и повторного включения в работу.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Определение момента инерции баллистического маятника

Установить начальное положение маятника по шкале на прозрачном кожухе на «ноль».

1. Включить секундомер:
 - а) включить шнур питания в сеть;
 - б) нажать на клавишу «сеть» на секундомере, при этом должны загореться индикаторные лампы и лампа, освещающая фотоэлемент;
 - в) дать погреться 2-3 минуты;
 - г) нажав клавишу «сброс», подготовить прибор к работе. При этом на индикаторных лампах должны высветиться цифры «0»;
 - д) проверить работу секундомера. Для этого отклонить маятник на угол $5-10^\circ$ и отпустить. Посмотреть, будет ли прибор считать количество периодов и их время;
 - е) нажав на клавишу «стоп», остановить работу прибора.

2. Определить период колебания баллистического маятника:

а) установить грузы на стержне **на максимальное расстояние** друг от друга. Измерить расстояние d_1 между центром тяжести груза и осью подвеса;

б) отклонить маятник от положения равновесия на угол $5-10^\circ$ и отпустить;

в) нажав на клавишу «сброс» секундомера, заметить время t_1 3-х полных колебаний $n_1 = 3$. Остановку секундомера производить, нажав на клавишу «стоп». Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

№ n/n	d_1 , см	n_1	t_1 , с	T_1 , с	d_2 , см	n_2	t_2 , с	T_2 , с	d_3 , см	n_3	t_3 , с	T_3 , с	J_m , кгм ²
1	9				2				6				
2													
3													
		$T_{1cp} =$				$T_{2cp} =$					$T_{3cp} =$		
$m = 0,191 \text{ кг}; r = 0,02 \text{ м}; h = 0,02 \text{ м}$													

г) найти период колебаний маятника по формуле:

$$T_1 = \frac{t_1}{n_1}. \quad (17)$$

Измерения повторить еще два раза. Результаты занести в табл. 1. Найти среднее арифметическое значение периодов:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} T_i}{N}, \quad (18)$$

где $N = 3$ – число измерений;

д) сдвинуть грузы **на среднее расстояние** друг от друга. Измерить расстояние d_3 между центром тяжести груза и осью подвеса. Произвести измерения согласно пп. 2, б; 2, в; 2, г. Занести в табл. 1 значения d_3 , t_3 , n_3 , T_3 , T_{3cp} ;

е) сдвинуть грузы **на минимальное расстояние** друг от друга. Измерить расстояние d_2 между центром тяжести груза и осью подвеса. Произвести измерения согласно пп. 2, б; 2, в; 2, г. Занести значения d_2 , t_2 , n_2 , T_2 , T_{2cp} в табл. 1.

Найти момент инерции маятника J_m по формуле (7).

Задание 2. Определение скорости полета «пули»

1. Проверить положение грузов маятника. Они должны быть на минимальном расстоянии друг от друга.
2. Установить начальное положение маятника по шкале на прозрачном кожухе на «ноль».
3. Зарядить пистолет (рис. 3):
 - а) сдвинуть ручки пистолета вперед до упора;
 - б) повернуть ручки и поместить на стержень 12 «пули»;
 - в) вернуть ручки в горизонтальное положение и оттянуть их назад до щелчка.
4. Измерить угол φ_0 , на который отклонится маятник, после выстрела. Для этого, убедившись, что маятник неподвижен, произвести выстрел, наклонив ручки 12. «Пуля» застрянет на пластине 5 маятника. Измерить расстояние от центра «пули» ℓ , застрявшей в маятнике, до оси подвеса по шкале на маятнике. Записать угол отклонения φ_0 маятника в табл.2.
5. Записать массу «пули» m_n в табл. 2.
6. Рассчитать скорость полета «пули» по формуле (12), предварительно перевести размерность угла φ_0 из градусов в **рад** и размерности всех величин в систему СИ.
7. Все измерения по п. 4 повторить еще 2 раза, записывая результаты в табл. 2.
8. Найти среднее значение скорости v_{cp} полета «пули».
9. Оценить погрешность Δv измерения скорости пули по методу определения погрешности прямых измерений.
10. Записать результат в виде:

$$v = v_{cp} \pm \Delta v.$$

Таблица 2

№ n/n	φ_0 , град	φ_0 , рад	m_n , кг	ℓ , см	v , м/с	v_{cp} , м/с
1			$4,5 \cdot 10^{-3}$			
2						
3						

Задание 3. Проверка зависимости периода колебаний маятника от его момента инерции

1. Используя результаты из табл. 1, вычислить значения квадратов периодов T_{1cp}^2 , T_{2cp}^2 , T_{3cp}^2 и значения $2md_1^2$, $2md_2^2$, $2md_3^2$ для соответствующих значений d_1 , d_2 , d_3 и заполнить табл. 3.

2. Построить **график** зависимости: $T^2 = f(2md^2)$.

Найти из графика величину OA и тангенс угла наклона $tg\alpha$ прямой к оси абсцисс.

4. Вычислить J_m по формуле (16) и сравнить её с величиной, полученной в задании 1.

Таблица 3

T_{1cp}^2, c^2	$2md_1^2, кгм^2$	T_{2cp}^2, c^2	$2md_2^2, кгм^2$	T_{3cp}^2, c^2	$2md_3^2, кгм^2$	$J_m, кгм^2$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. Записать основное уравнение вращательного движения.
2. Сформулировать закон сохранения момента импульса механической системы.
3. Сформулировать определения кинематических величин, характеризующих вращательное движение (вектор $d\vec{\varphi}$ элементарного поворота тела, угловая скорость $\vec{\omega}$ тела, угловое ускорение $\vec{\epsilon}$ тела).
4. Сформулировать определения динамических величин, характеризующих вращательное движение (момент инерции J материальной точки относительно оси, момент силы \vec{M} относительно неподвижной точки, момент импульса \vec{L} относительно неподвижной точки, элементарная работа δA , мощность N , кинетическая энергия $E_{кин}$).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1-11

Определение показателя адиабаты для воздуха

Цель работы: определить отношение теплоёмкости воздуха при постоянном давлении к теплоёмкости воздуха при постоянном объёме. Изучить термодинамические процессы в газах.

ВВЕДЕНИЕ

Теплоёмкостью C вещества называется величина, численно равная отношению количества теплоты δQ , сообщаемого веществу, к изменению его температуры dT в рассматриваемом термодинамическом процессе:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}. \quad (1)$$

Величина C зависит от массы тела, его химического состава и процесса, в котором сообщается δQ .

Удельной теплоёмкостью называется теплоёмкость единицы массы вещества:

$$C_{уд} = \frac{\delta Q}{m dT}, \quad (2)$$

где m – масса вещества.

Молярной теплоёмкостью $C_{мол}$ называется теплоёмкость одного моля вещества:

$$C_{мол} = \frac{\delta Q}{\nu dT}, \quad (3)$$

где ν – количество вещества или число молей, которое равно отношению массы вещества к его молярной массе: $\nu = \frac{m}{\mu}$, μ – молярная масса.

В разных термодинамических процессах теплоёмкости отличаются друг от друга. Если процесс происходит при постоянном объёме, то теплоёмкость вещества обозначается C_V и называется теплоёмкостью при постоянном объёме. Если процесс происходит при постоянном давлении, то теплоёмкость обозначается C_P и называется теплоёмкостью при постоянном давлении.

Если нагревать вещество при постоянном объёме, то все количество теплоты, сообщаемое веществу, полностью идет на увеличение его

внутренней энергии. Если нагревать вещество при постоянном давлении, то количество теплоты, сообщаемое веществу, идет на увеличение его внутренней энергии и на работу изобарного расширения, поэтому C_p больше, чем C_v . Молярные теплоёмкости при постоянном давлении $C_{молP}$ и постоянном объёме $C_{молV}$ связаны между собой уравнением Майера:

$$C_{молP} - C_{молV} = R, \quad (4)$$

где R – универсальная газовая постоянная.

Физический смысл уравнения Майера заключается в том, что при изобарном нагревании газа к нему должна быть подведена бóльшая теплота, чем для такого же изохорного нагревания. Разность теплот должна быть равна работе, совершенной газом при изобарном расширении.

I закон или начало термодинамики. Теплота, сообщаемая системе, расходуется на изменение внутренней энергии системы и на совершение системой работы против внешних сил:

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (5)$$

где δQ – малая теплота;

dU – малое изменение внутренней энергии;

δA – элементарная (малая) работа.

Внутренняя энергия U является однозначной функцией состояния системы, потому выражение dU представляет собой полный дифференциал.

Ни теплота Q , ни работа A не являются функциями состояния и поэтому δQ и δA не являются полными дифференциалами.

Понятия теплоты и работы имеют смысл только в связи с процессом изменения состояния системы.

Состояние идеального газа описывается **уравнением Менделеева-Клапейрона**:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT. \quad (6)$$

Если масса m и молярная масса μ постоянны, то для идеального газа для изопроцессов выполняются следующие законы.

1. **Изохорный процесс:** $\frac{P}{T} = const$ – закон Шарля.

2. **Изобарный процесс:** $\frac{V}{T} = const$ – закон Гей-Люссака.

3. **Изотермический процесс:** $PV = const$ – закон Бойля-Мариотта.

4. **Адиабатный (изоэнтропийный) процесс:** $PV^\gamma = const$ – закон Пуассона, здесь γ – **показатель адиабаты**, равный отношению тепло-

ёмкости газа при постоянном давлении к теплоёмкости газа при постоянном объёме:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}. \quad (7)$$

Заметим, что
$$\frac{C_P}{C_V} = \frac{C_{\text{мол}P}}{C_{\text{мол}V}} = \frac{C_{\text{уд}P}}{C_{\text{уд}V}}.$$

Для идеального газа изменение внутренней энергии при любом изопроцессе равно:

$$dU = \frac{m}{\mu} C_{\text{мол}V} dT. \quad (8)$$

С другой стороны:

$$dU = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R dT. \quad (9)$$

где i – число степеней свободы.

Числом степеней свободы тела называется наименьшее число координат (число *независимых* координат), которое необходимо задать для того, чтобы полностью определить положение тела в пространстве.

Приравняем правые части выражений (8) и (9), получим:

$$C_{\text{мол}V} = i \frac{R}{2}. \quad (10)$$

С учетом уравнения Майера (4) имеем:

$$C_{\text{мол}P} = \frac{i+2}{2} R. \quad (11)$$

Тогда показатель адиабаты или коэффициент Пуассона равен:

$$\gamma = \frac{i+2}{i}. \quad (12)$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Определение показателя адиабаты γ в настоящей работе производится следующим методом: исследуемый газ (воздух) заданной массы последовательно проходит через три различных состояния (рис. 1). Из состояния 1 в состояние 2 газ переходит путем адиабатного расширения, из 2 в 3 – путем изохорного нагревания. Процесс 3-1 является

изотермическим. Схема установки для определения величины $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$

изображена на рис. 2. Внешний вид установки – на рис. 3. Установка состоит из баллона *Б*, в который можно накачивать воздух насосом *Н*. Для сообщения баллона с атмосферой служит кран *К*. Для проведения измерений служит измерительный блок *ИБ*, соединенный с компьютером *ПК*.

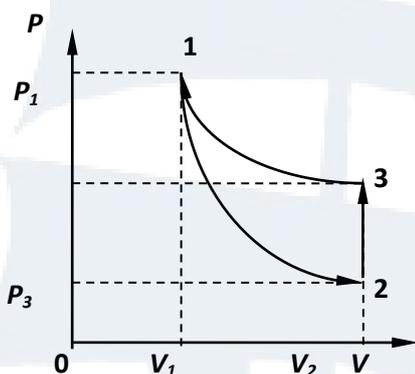


Рис. 1. График процессов

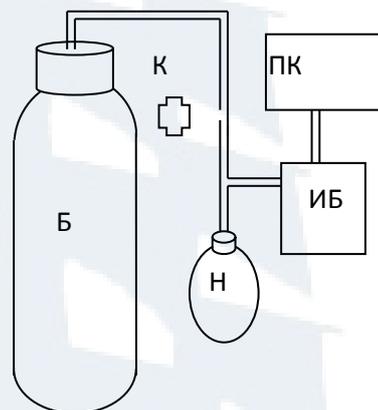


Рис. 2. Схема установки



Рис. 3. Внешний вид установки

Покажем, как опытным путем можно найти показатель адиабаты γ . Пусть в баллоне объемом V_1 находится при комнатной температуре сжатый воздух, его давление P_1 . На рис. 1 этому состоянию соответствует точка 1. Если соединить баллон с атмосферой (открыть кран *К*), то воздух адиабатически расширяется и его температура уменьшается

(процесс 1-2). Когда давление в баллоне станет P_2 (давление не уменьшать до 0), надо закрыть кран K . После этого оставшийся воздух в баллоне станет изохорно нагреваться до комнатной температуры, при этом давление увеличивается до P_3 (рис. 1). Точки 1 и 3 соответствуют комнатной температуре, т. е. процесс 1-3, изображенный на рис. 1, изотермический, запишем для него закон Бойля-Мариотта:

$$P_1 V_1 = P_3 V_2 . \quad (13)$$

Процесс 1-2 адиабатный. Уравнение Пуассона или уравнение адиабаты:

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma . \quad (14)$$

Из уравнений (13) и (14) определим γ . Возведем уравнение (13) в степень γ и разделим его на (14), тогда получим:

$$\frac{(P_1 V_1)^\gamma}{P_1 V_1^\gamma} = \frac{(P_3 V_2)^\gamma}{P_2 V_2^\gamma} \quad \text{или} \quad \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^\gamma = \frac{P_1}{P_2} . \quad (15)$$

Прологарифмируем (15) и получим выражение для показателя адиабаты:

$$\gamma = \frac{\ln \frac{P_1}{P_2}}{\ln \frac{P_1}{P_3}} . \quad (16)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Закрыть кран K . Накачать воздух в баллон B (рис. 2) так, чтобы давление поднялось до значения P_1 (25-30 кПа). Выждать около трех минут, тогда давление практически перестанет меняться. Сделать отсчет P_1 и записать его в табл. 1.

Таблица 1

№ n/n	P_1 , Па	P_2 , Па	P_3 , Па	γ_i	$\langle \gamma \rangle$	$\Delta \gamma_i$	$\Delta \gamma$	$\gamma = \langle \gamma \rangle \pm \Delta \gamma$	$\gamma_{теор}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									

2. Кратковременным нажатием на кран K выпустить часть воздуха из баллона (до конца накачаный воздух не выпускать). Зафиксировать давление P_2 и закрыть кран, при этом давление в баллоне будет увеличиваться. Выждать около трех минут, пока давление в баллоне не перестанет меняться. Сделать отсчет давления P_3 . Повторить измерения по пунктам (1) и (2) еще 6 раз. Все полученные данные записать в табл. 1.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По экспериментальным данным, используя формулу (16), определить γ_i , затем среднее арифметическое значение $\langle \gamma \rangle$, отклонения от среднего значения $\Delta\gamma_i = |\langle \gamma \rangle - \gamma_i$ и абсолютную ошибку $\Delta\gamma$, как ошибку прямых измерений.

Записать результат $\gamma = \langle \gamma \rangle \pm \Delta\gamma$.

2. Используя формулы (10), (11), (12), вычислить теоретические значения $C_{молP}$, $C_{молV}$ и $\gamma_{теор}$, считая воздух двухатомным газом.

Сравнить экспериментальный и теоретический результаты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. Что называется теплоёмкостью вещества, молярной теплоёмкостью, удельной теплоёмкостью?

2. Как связаны между собой молярная и удельная теплоёмкости?
Вывод формулы.

3. Вывести уравнение Майера. Почему $C_P > C_V$?

4. В чем заключается физический смысл уравнения Майера? Каков физический смысл универсальной газовой постоянной?

5. Записать уравнения четырех термодинамических изопроцессов.

6. Сформулировать первый закон термодинамики и записать его для четырех изопроцессов.

7. Вывести уравнение Пуассона.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1-12

Измерение вязкости жидкости методом Стокса

Цель работы: измерение коэффициента внутреннего трения методом Стокса.

ВВЕДЕНИЕ

Вязкостью или внутренним трением называется свойство всех веществ оказывать сопротивление деформации сдвига.

При **ламинарном течении** (т. е. без завихрений) сила внутреннего трения пропорциональна градиенту скорости (**формула Ньютона**):

$$F = \eta S \left| \frac{\partial v}{\partial z} \right|, \quad (1)$$

где η – **коэффициент внутреннего трения** или **динамическая вязкость**, а часто просто вязкость;

S – площадь поверхности скользящих друг по другу слоев;

$\frac{\partial v}{\partial z}$ – градиент скорости.

Стокс установил, что сила сопротивления движению небольшого шарика в вязкой жидкости при небольших скоростях, численно равна:

$$F = 6\pi\eta r v, \quad (2)$$

где r – радиус шарика;

η – динамическая вязкость жидкости (коэффициент вязкости);

v – скорость движения шарика.

На шарик, падающий в жидкости (рис. 1), действуют силы тяжести \vec{F}_T , выталкивающая \vec{F}_A (архимедова сила) и сила вязкого сопротивления \vec{F}_C .

$$F_T = m_{ш} g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{ш} g, \quad (3)$$

$$F_A = m_{ж} g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{ж} g, \quad (4)$$

$$F_C = 6\pi\eta r v, \quad (5)$$

где $m_{ш}$ и $m_{ж}$ – массы шарика и жидкости, соответственно, $\rho_{ж}$ и $\rho_{ш}$ их плотности.

Движение шарика, падающего в вязкой жидкости, лишь в начале движения будет ускоренным.

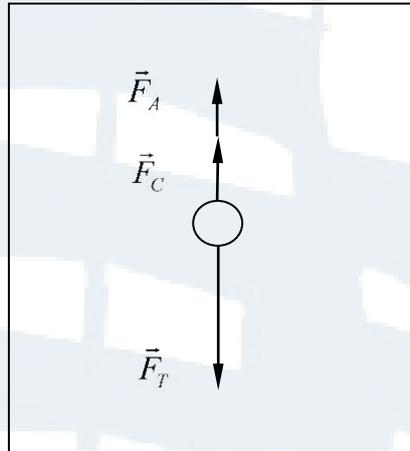


Рис. 1. Схема действующих на шарик сил

С возрастанием скорости возрастает сила вязкого сопротивления и с некоторого момента движение шарика можно считать **равномерным**, т. е. справедливо равенство:

$$\vec{F}_T + \vec{F}_A + \vec{F}_C = 0. \quad (6)$$

В проекции на вертикальную ось уравнение (6) примет вид:

$$F_T - F_A - F_C = 0$$

или

$$F_C = F_T - F_A. \quad (7)$$

Подставим силы (3) - (5) в формулу (7), получим:

$$6\pi\eta r v = \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_{ш} - \rho_{ж}), \quad (8)$$

откуда выразим **коэффициент вязкости**:

$$\eta = \frac{2gr^2}{9v}(\rho_{ш} - \rho_{ж}). \quad (9)$$

При равномерном движении модуль скорости равен:

$$v = \frac{\ell}{t}, \quad (10)$$

где ℓ – расстояние между двумя оптодатчиками;
 t – время падения.

В лабораторной работе вычисляется скорость v движения шарика в жидкости при равномерном движении по формуле (10) и коэффициент внутреннего трения η или динамическая вязкость по формуле (9). Величины r , $\rho_{ж}$ и $\rho_{ш}$ даны в табл. 2.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На рис. 2 показан внешний вид установки для измерения вязкости, а на рис. 3 схема установки. В неё входят: трубка с жидкостью, подставка, стальной шарик, электромагнит, 2 оптодатчика, измерительный блок *L*-микро, блок питания.

Оптодатчики (1) и (2) вставляются в прорези основания (3).

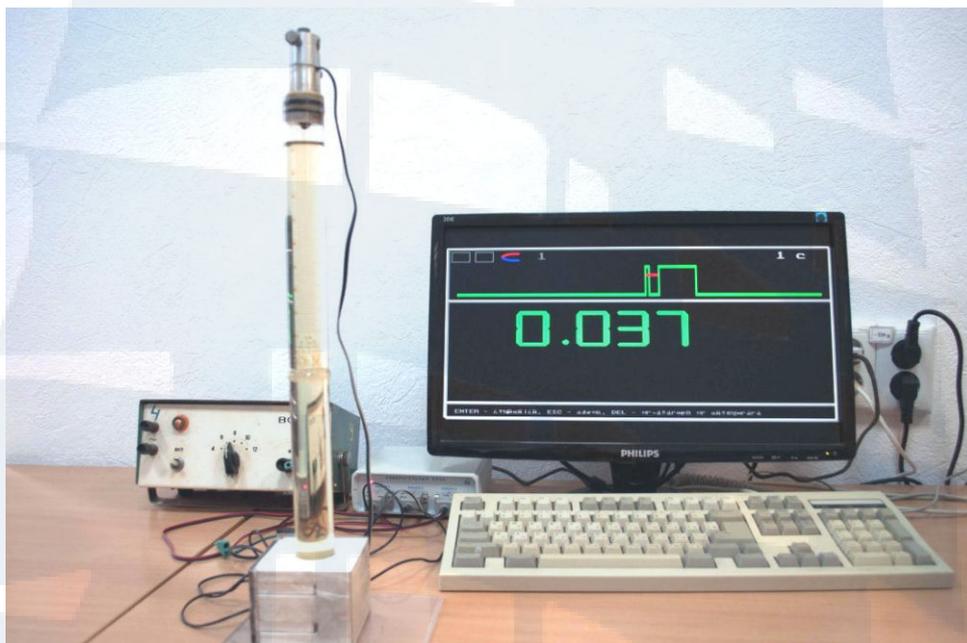


Рис. 2. Внешний вид установки

Расстояние между оптическими осями датчиков, которые фиксируют моменты прохождения шарика, составляет 30 мм.

Катушка электромагнита (4) закрепляется на металлическом стержне (5), выходящем из пробки, которой закрыта трубка (6). При проведении измерений трубка (6) вставляется в отверстие основания (3).

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Подключите измерительный блок *L*-микро (рис. 3) к разьему последовательного порта компьютера и включите его в сеть (220 В, 50 Гц).

1. Девятиштырьковый разъем кабеля электромагнита подсоедините к третьему каналу измерительного блока (рис. 3), а на два штекера этого кабеля подайте постоянное напряжение 6 В от блока питания. В первый и второй каналы измерительного блока включите оптодатчики.

2. Включите измерительный блок *L*-микро.
3. Запустите программу *L-MICROW* → *ENTER* → *l-demon.exe* → *ENTER*.
4. В появившемся на экране списке выберите лабораторную работу «Измерение вязкости жидкости методом Стокса».
5. Выберите пункт меню «ИЗМЕРЕНИЕ». При этом будет подано напряжение на электромагнит. Переверните трубку с жидкостью для того, чтобы шарик «захватился» электромагнитом.

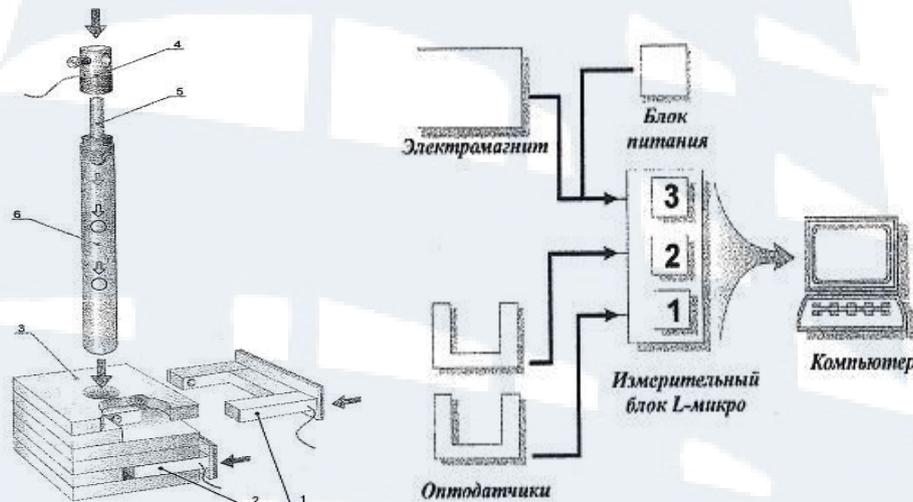


Рис. 3. Схема установки

6. Снова переверните трубку с жидкостью. Произведите запуск (отключите питание электромагнита нажатием *ENTER*). Время пролета шарика между оптическими осями датчиков появится на экране компьютера. Записать в табл. 1 время пролета t, c .

Таблица 1

t, c						$\langle t \rangle, c$

7. Проведите опыт 7 раз. Иногда шарик падает не по оси цилиндра с жидкостью, а ближе к стенке. В этом случае его движение не регистрируется оптодатчиками, и опыт необходимо повторить.

8. Вычислите среднее арифметическое значение времени движения шарика между оптодатчиками $\langle t \rangle, c$.

9. Рассчитайте среднюю скорость $\langle v \rangle$ движения шарика в жидкости при равномерном движении по формуле (10).

10. Определите $\langle \eta \rangle$ – коэффициент внутреннего трения или динамическую вязкость по формуле (9):

$$\langle \eta \rangle = \frac{2gr^2}{9\langle v \rangle} (\rho_{ш} - \rho_{ж}).$$

11. Результаты занесите в табл. 2.

Таблица 2

$r, м$	$\rho_{ж}, 10^3 кг / м^3$	$\rho_{ш}, 10^3 кг / м^3$	$l, м$	$\langle v \rangle = \frac{\ell}{\langle t \rangle}, м / с$	$\langle \eta \rangle, Па \cdot с$
$0,5 \cdot 10^{-2}$	1,18	7,8	0,03		

Указания по технике безопасности

1. Включать в сеть измерительный блок L-микро можно только после его подключения к разъему последовательного порта компьютера.

2. Осторожно обращаться со стеклянной трубкой. Переворачивать ее необходимо на минимальной высоте над столом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. В чем заключается сущность явлений переноса?
2. Сформулируйте закон Ньютона для внутреннего трения. Каков физический смысл коэффициента внутреннего трения или динамической вязкости?
3. Сформулируйте закон Фурье. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности?
4. Сформулируйте закон Фика. Каков физический смысл коэффициента диффузии?
5. В каких случаях сила сопротивления движению шарика в жидкости может быть рассчитана по формуле Стокса? Вывести формулу Стокса.
6. Вывести формулу для определения коэффициента вязкости.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2-2

Измерение ёмкости конденсатора по кривой разряда

Цель работы: опытным путем определить ёмкость конденсатора и величину разрядного сопротивления.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим заряженный уединенный проводник. Его потенциал φ прямо пропорционален заряду проводника Q .

Электроёмкостью уединенного проводника называется величина, равная отношению заряда, сообщенного проводнику к потенциалу проводника.

$$C = \frac{Q}{\varphi}.$$

Электроёмкость (в вакууме) зависит от геометрической формы и размеров проводника. Единица измерения электроёмкости – фарад.

Устройства, обладающие способностью накапливать значительные по величине заряды при малых, относительно других тел, потенциалах, т. е. обладать большой ёмкостью, называются **конденсаторами**. Конденсатор состоит из двух проводников (обкладок), разделенных диэлектриком.

На ёмкость конденсатора не должны оказывать влияние окружающие тела, поэтому проводникам придают такую форму, чтобы поле, создаваемое зарядами, было сосредоточено между обкладками конденсатора. Этому условию удовлетворяют плоские, цилиндрические, сферические конденсаторы. Плоские конденсаторы имеют обкладки в виде двух плоских пластин, цилиндрические – два коаксиальных цилиндра, сферические – две концентрические сферы.

Ёмкостью конденсатора называется физическая величина, равная модулю отношения заряда Q , накопленного на конденсаторе, к разности потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2) = U_c$ между его обкладками:

$$C = \left| \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2} \right|. \quad (1)$$

При наличии диэлектрика ёмкость плоского конденсатора определяется по формуле:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}, \quad (2)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды;

ε_0 – электрическая постоянная;

S – площадь обкладок;

d – расстояние между обкладками.

Формула для определения ёмкости цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (3)$$

где L – длина обкладок;

r_2 и r_1 – радиусы коаксиальных цилиндров.

Формула для определения ёмкости сферического конденсатора:

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}, \quad (4)$$

где r_2 и r_1 – радиусы концентрических сфер.

Включим конденсатор C в цепь постоянного тока (см. рис. 1). Когда ключ K находится в положении 1, то происходит зарядка конденсатора.

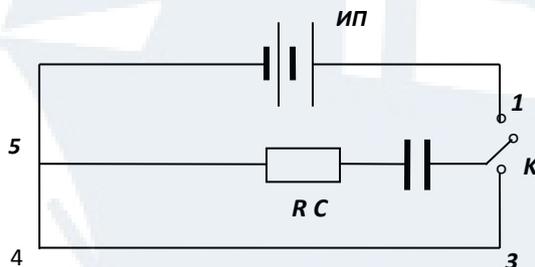


Рис. 1

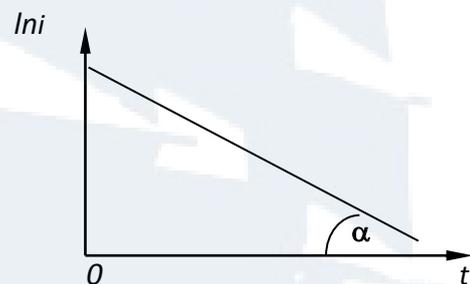


Рис. 2

При замыкании заряженного конденсатора на сопротивление R (ключ K переводится в положение 2), конденсатор начнет разряжаться. Установим, по какому закону происходит уменьшение величины напряжения в цепи при разрядке конденсатора.

Рассмотрим замкнутый контур 2-3-4-5-2 (рис. 1). Составим уравнение, используя второе правило Кирхгофа:

$$ri + U_c = 0, \quad (3)$$

здесь r – величина разрядного сопротивления, i – мгновенное значение силы тока, U_c – падение напряжения на конденсаторе C .

С учетом (1) имеем: $q = CU_c$. Поскольку $i = \frac{dq}{dt}$, то после подстановки получим:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CU_c)}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}. \quad (4)$$

Подставим (4) в (3), после преобразований имеем:

$$\frac{dU_c}{dt} + \frac{1}{rC}U_c = 0. \quad (5)$$

Решая уравнение (5), получим:

$$U_c = U_0 e^{-\frac{t}{rC}}, \quad (6)$$

здесь U_0 – напряжение на обкладках конденсатора в начальный момент времени. Для силы тока, соответственно, имеем выражение:

$$i = i_0 e^{-\frac{t}{rC}}, \quad (7)$$

где i_0 – величина начального тока в момент времени $t = 0$.

Из (7) видно, что сила тока при разряде конденсатора убывает по экспоненте. Быстрота уменьшения разрядного тока зависит от величины τ , которая называется **постоянной времени разрядки** конденсатора (**временем релаксации**), она определяется по формуле:

$$\tau = rC. \quad (8)$$

Время релаксации – это время, за которое разрядный ток уменьшается в e раз (e – основание натурального логарифма) относительно первоначального значения.

Прологарифмируем формулу (7):

$$\ln i = \ln i_0 - \frac{1}{rC} t, \quad (9)$$

т. е. имеем линейную зависимость $\ln i$ от t . График функции (9) показан на рис. 2.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В работе используются следующие приборы и оборудование: источник постоянного тока *ИП*, вольтметр *V*, переключатель *П*, магазин сопротивлений *R*, микроамперметр μA , конденсатор *C*.

Внешний вид лабораторной установки и электрическая схема показаны на рис. 3 и рис. 4. Конденсатор *C*, ёмкость которого требуется найти, заряжается от источника постоянного тока *ИП*. Переключатель *П*

находится в положении 1 (рис. 4). Вольтметр V служит для измерения напряжения на обкладках конденсатора. После зарядки конденсатора в течение $(5-10)$ с переключатель Π переводится в положение 2, при этом начинается разрядка конденсатора через сопротивление R , сила тока при этом уменьшается. Величина сопротивления устанавливается (в пределах от 10 до 50 кОм) магазином сопротивлений. Одновременно с переключением конденсатора включается секундомер и через каждые 5 с в диапазоне от 5 до 50 с фиксируются показания микроамперметра μA .



Рис. 3. Внешний вид лабораторной установки

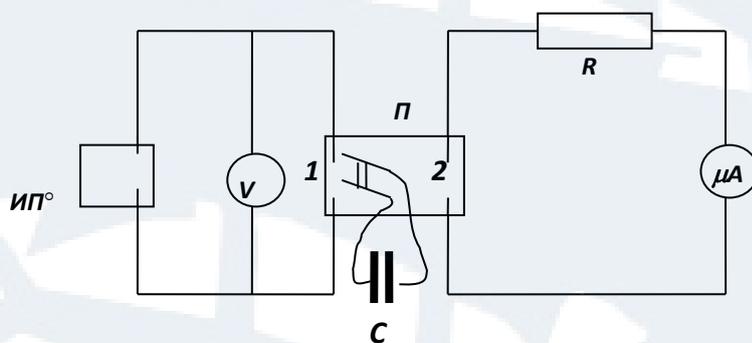


Рис. 4. Электрическая схема

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.
2. Проверить правильность сборки электрической цепи согласно рис. 4 и представить её на проверку преподавателю или заведующему лабораторией.
3. Включить источник постоянного тока и микроамперметр.

4. Замкнуть конденсатор на источник питания, измерить напряжение U_C в цепи, в дальнейшем его не менять. Величину напряжения U_C занести в таблицу.

5. Установить на магазине сопротивлений величину R по заданию преподавателя (в пределах от 10 до 50 кОм), записать его значение в таблицу.

6. Переключателем Π замкнуть конденсатор на сопротивление R и одновременно включить секундомер.

7. Снимать через каждые 5 с (начиная с 5 с и до 50 с) значения разрядного тока, величину тока записывать в таблицу. Опыт провести 3 раза.

Таблица

№ n/n	U_C В	R , кОм	t , с	i_1 , мкА	i_2 , мкА	i_3 , мкА	$\langle i \rangle$, мкА	$\ln \langle i \rangle$	C , Ф	r , кОм
1			5							
2			10							
3			15							
4			20							
5			25							
6			30							
7			35							
8			40							
9			45							
10			50							

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По значениям тока i_1, i_2, i_3 найти среднее значение величины тока $\langle i \rangle$ для каждого времени и по усредненным значениям определить $\ln \langle i \rangle$. Записать полученные значения в таблицу.

2. Построить график зависимости $\ln \langle i \rangle = f(t)$ (рис. 2).

3. Продлив линию графика до пересечения с осью $\ln \langle i \rangle$, определить $\ln i_0$, затем, по известному логарифму, найти величину начального тока i_0 . Поскольку значение тока получено в микроамперах, его нужно перевести в амперы.

4. Зная U_C , по формуле $r = \frac{U_C}{i_0}$ определить величину разрядного сопротивления r и занести полученное значение в таблицу.

5. Из графика найти тангенс угла наклона $tg(\alpha)$ прямой к оси абсцисс.

6. Из формулы (9) видно, что $tg\alpha = \frac{I}{rC}$. Следовательно:

$$C = \frac{I}{rtg\alpha}. \quad (10)$$

7. Построить график функции: $I = f(t)$.

8. Определить время релаксации при разрядке конденсатора, используя формулу (8).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. Что называют электроёмкостью уединенного проводника? Единицы измерения электроёмкости.

2. Записать формулы ёмкости уединенного проводника и ёмкости конденсатора.

3. Вывести формулы ёмкости плоского, цилиндрического, сферического конденсаторов.

4. От чего зависит ёмкость конденсатора?

5. Вывести формулы для определения ёмкости батареи при параллельном и последовательном соединении конденсаторов.

6. Каков физический смысл времени релаксации?

7. Вывести единицу измерения постоянной времени разряда.

8. Составить и решить дифференциальное уравнение для режима разрядки конденсатора через сопротивление (для заряда).

9. Доказать, что количество теплоты, выделившееся при разрядке конденсатора, равно энергии заряженного конденсатора в начальный момент времени.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2-4

Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнетрона

Цель работы: изучить движение заряженных частиц в магнитном поле; ознакомиться с методом магнетрона; определить удельный заряд электрона методом магнетрона.

ВВЕДЕНИЕ

На заряженную частицу q , движущуюся со скоростью \vec{V} в магнитном поле, индукция которого равна \vec{B} , действует сила \vec{F} . Эта сила называется **силой Лоренца**, или магнитной силой, и выражается формулой:

$$\vec{F} = q[\vec{V} \vec{B}]. \quad (1)$$

Сила Лоренца \vec{F} направлена перпендикулярно плоскости, в которой лежат векторы \vec{V} и \vec{B} . Направление \vec{F} выбирается так, чтобы последовательность векторов \vec{V} , \vec{B} , \vec{F} образовывала правовинтовую систему. Модуль силы Лоренца выражается формулой:

$$F = qVB \sin \alpha, \quad (2)$$

где α – угол между векторами \vec{V} и \vec{B} .

Траектория заряженной частицы в магнитном поле зависит от конфигурации поля, ориентации и величины вектора \vec{V} , отношения заряда частицы к её массе. Это отношение называется **удельным зарядом** частицы.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Сущность метода магнетрона, используемого в работе, состоит в следующем: электронный вакуумный диод L , электроды которого представляют собой коаксиальные цилиндры, помещается внутри катушки индуктивности L так, что ось лампы (катод) совпадает с осью катушки (осью Z).

Когда лампа включена в электрическую цепь, электроны, вылетающие из катода (K) лампы, при отсутствии тока в катушке, движутся радиально к аноду (A). При пропускании тока через катушку возникает магнитное поле, при этом лампа окажется в магнитном поле, параллельном оси лампы. На электроны, движущиеся от катода к аноду, начинает действовать сила Лоренца, вследствие чего траектория электрона искривляется.

При определенном отношении между скоростью электрона и индукцией магнитного поля катушки, электроны перестанут достигать анода, т. е. ток в лампе прекратится.

Рассмотрим движение электрона в лампе при наличии магнитного поля. Воспользуемся цилиндрической системой координат (рис. 1), тогда положение электрона определяется его расстоянием r от оси и полярным углом φ .

Электрон, вылетающий из катода, движется в плоскости, перпендикулярной оси Z , совпадающей с направлением магнитного поля катушки с током. На рис. 1 ось Z перпендикулярна к плоскости чертежа.

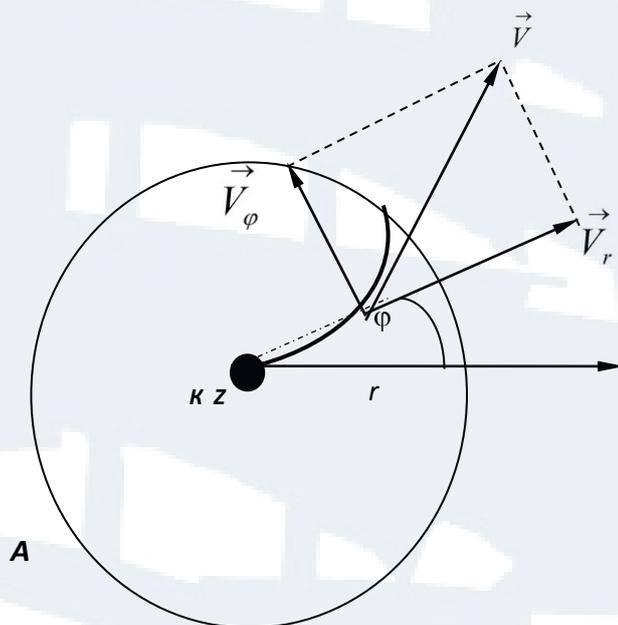


Рис. 1

Момент импульса электрона L_Z относительно оси Z равен:

$$L_Z = mV_\varphi r, \quad (3)$$

где $V_\varphi = r \frac{d\varphi}{dt}$ – составляющая скорости, перпендикулярная радиусу r ;
 m – масса электрона.

Момент магнитной силы M_z , действующий на электрон, относительно оси Z равен:

$$M_z = rF_\varphi = reV_r B, \quad (4)$$

где $F_\varphi = eV_r B$, $V_r = \frac{dr}{dt}$ – радиальная составляющая скорости электрона; e – заряд электрона. Запишем основное уравнение динамики вращательного движения:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}. \quad (5)$$

Спроецируем (5) на ось Z и подставим M_z и L_z , тогда получим:

$$re \frac{dr}{dt} B = \frac{d(mV_\varphi r)}{dt}. \quad (6)$$

Проинтегрировав уравнение (6), получим:

$$mV_\varphi r = \frac{1}{2} e B r^2. \quad (7)$$

Из (7) найдем V_φ :

$$V_\varphi = \frac{e B r}{2 m}. \quad (8)$$

Кинетическая энергия электрона равна работе сил электрического поля по его перемещению:

$$\frac{m(V_\varphi^2 - V_r^2)}{2} = eU, \quad (9)$$

где U – потенциал относительно катода точки поля, в которой находится электрон.

Подставляя в (9) значение V_φ из (8), получим:

$$eU = \frac{m}{2} \left[\frac{1}{4} \left(\frac{e}{m} \right)^2 B^2 r^2 - V_r^2 \right]. \quad (10)$$

При некотором критическом значении индукции магнитного поля $B_{кр}$, скорость электрона вблизи анода станет перпендикулярной к радиусу r , т. е. $V_r = 0$. Тогда уравнение (10) примет вид:

$$eU_a = \frac{m}{8} \left(\frac{e}{m} \right)^2 B_{кр}^2 r_a^2, \quad (11)$$

где U_a – потенциал анода относительно катода (анодное напряжение) при критическом токе $I_{кр}$;

r_a – радиус цилиндрического анода лампы.

Критическое значение магнитной индукции катушки с током $I_{кр}$ определяется из формулы:

$$B_{кр} = \mu_0 I_{кр} \frac{N}{\sqrt{L^2 + D^2}}, \quad (12)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;

$N = 2500$ – число витков катушки;

$L = 168$ мм – длина катушки;

$D = 85$ мм – диаметр катушки.

Из (11) находим выражение для удельного заряда электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{B_{кр}^2 r_a^2}. \quad (13)$$

Радиус анода лампы: $r_a = 1,7$ мм.

Таким образом, удельный заряд электрона можно вычислить, экспериментально определив $B_{кр}$, для чего необходимо найти критическое значение тока $I_{кр}$.

В работе используются следующие приборы и оборудование: ФПЭ-03 – кассета (включает в себя катушку индуктивности L , внутри которой находится электронный вакуумный диод \mathcal{L}); источник питания ИП; миллиамперметр mA . Внешний вид лабораторной установки изображен на рис. 2.

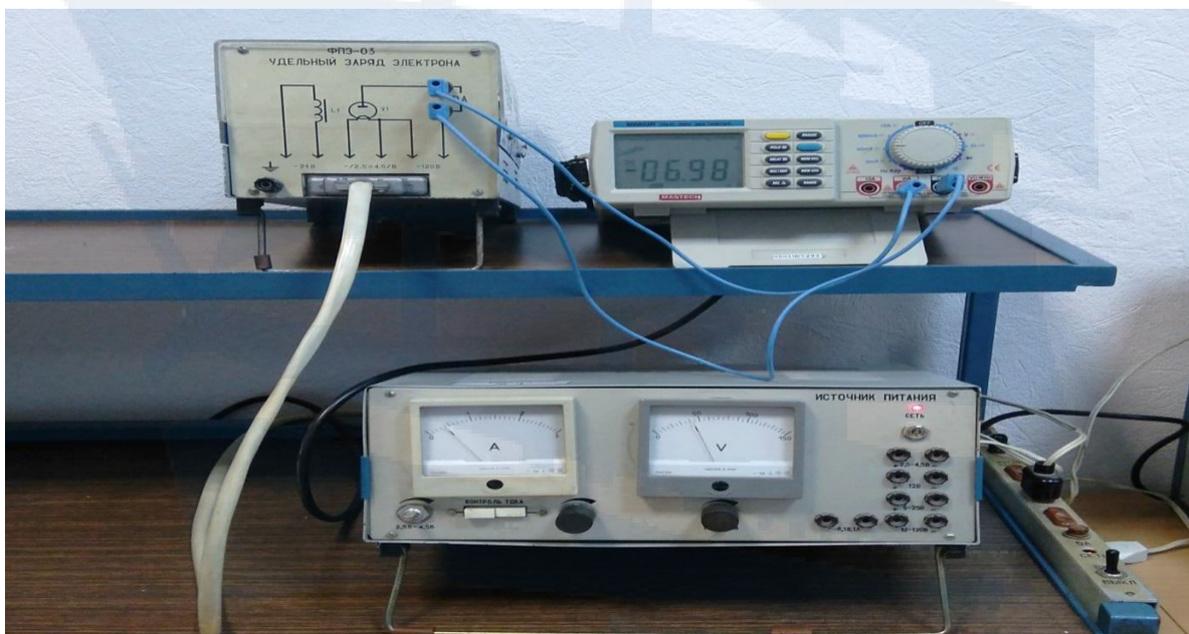


Рис. 2. Внешний вид лабораторной установки

Электрическая схема представлена на рис. 3.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.
2. Проверить правильность сборки электрической цепи согласно рис. 3 и представить её на проверку преподавателю или заведующему лабораторией.
3. Включить установку. Установить регуляторами на источнике питания значение тока $I_K = 0,6 \text{ A}$ и напряжение $U_A = 40 \text{ B}$. Дать прогреться лампе в течение 5 мин.

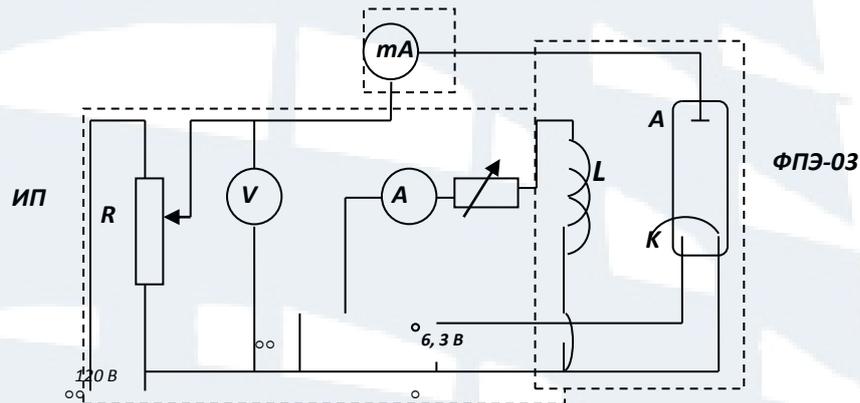


Рис. 3. Электрическая схема

4. Изменяя ток, текущий через катушку (I_K) в пределах от 0,6 до 2,4 A через 0,2 A, производить измерения анодного тока I_A миллиамперметром mA. Значения I_K и I_A занести в табл. 1. Установить регулятором напряжения $U_A = 50 \text{ B}$ и проделать измерения согласно п. 4. Произвести аналогичные измерения для $U_A = 60 \text{ B}$.

Таблица 1

$I_K, \text{ A}$	$U_A = 40 \text{ B}$	$U_A = 50 \text{ B}$	$U_A = 60 \text{ B}$
	$I_A, \text{ mA}$	$I_A, \text{ mA}$	$I_A, \text{ mA}$
0,6			
0,8			
1,0			
1,2			
1,4			
1,6			
1,8			
2,0			
2,2			
2,4			

5. По результатам измерений I_K и I_A для трех значений анодного напряжения построить графики функции $I_A = \varphi(I_K)$ (рис. 4).

6. Найти критическое значение тока $I_{кр}$ в катушке, для чего провести касательную к точке перегиба сбросовой характеристики на участке её спада и прямую линию, соответствующую изменению минимальных значений анодного тока, до взаимного пересечения (рис. 4).

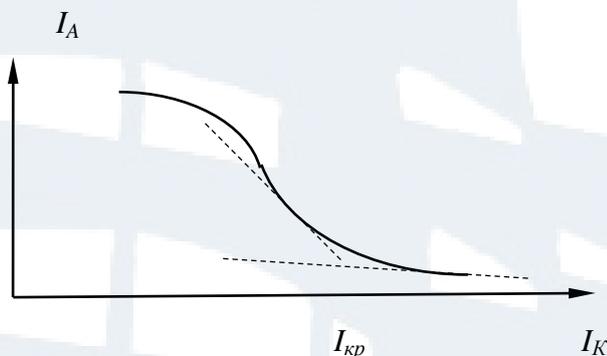


Рис. 4

7. Определить критическое значение $B_{кр}$ индукции магнитного поля по формуле (12) и занести его в табл. 2.

Таблица 2

$U_A,$ B	$I_{кр},$ A	$B_{кр},$ $Tл$	$(e/m)_{экс},$ $Кл/кг$	$\langle (e/m)_{экс} \rangle$ $Кл/кг$	$(e/m)_{табл},$ $Кл/кг$	ε
40						
50						
60						

8. Вычислить удельный заряд электрона по формуле (13) для трех значений анодного напряжения, найти его среднее значение.

9. Вычислить относительную погрешность ε полученной величины $\frac{e}{m}$ в сравнении с табличным значением по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\left(\frac{e}{m}\right)_{табл} - \langle \left(\frac{e}{m}\right)_{экс} \rangle}{\left(\frac{e}{m}\right)_{табл}} \quad (14)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. Что называется вектором магнитной индукции \vec{B} .
2. Определение сил Лоренца и Ампера. Как определяется направление силы Лоренца?
3. Закон Био-Савара-Лапласа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2-7

Изучение явления взаимной индукции

Цель работы: исследование явления взаимной индукции двух коаксиально расположенных катушек. Определение коэффициента взаимной индукции при различном положении катушек, при различных значениях питающего напряжения на одной из катушек, при различных частотах питающего напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим два контура 1 и 2, расположенные на некотором расстоянии друг от друга (рис. 1).

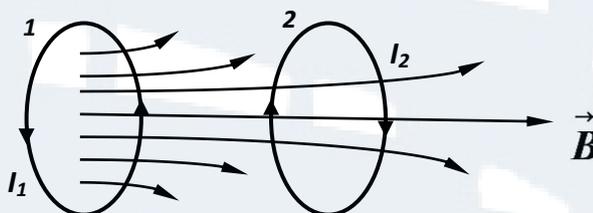


Рис. 1

Если по контуру 1 пропустить ток I_1 , то он создаёт поток магнитной индукции Φ_{21} через поверхность, ограниченную контуром 2, который будет пропорционален току I_1 :

$$\Phi_{21} = M_{21}I_1. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности M_{21} называется **коэффициентом взаимной индукции** контуров 1-2 или *взаимной индуктивностью контуров*. Коэффициент взаимной индукции зависит от формы и взаимного расположения контуров 1-2, а также от магнитных свойств окружающей среды.

При **изменении** тока I_1 в первом контуре, магнитный поток Φ_{21} через поверхность, ограниченную контуром 2, будет изменяться и, согласно явлению электромагнитной индукции, в нём возникнет ЭДС индукции ε_2 , которая в данном случае называется **ЭДС взаимной индукции**:

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}. \quad (2)$$

Если пропустить переменный ток I_2 через контур 2, то в контуре 1 возникнет ЭДС взаимной индукции ε_1 :

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}. \quad (3)$$

Как показывают соответствующие расчеты, коэффициенты взаимной индукции для данной пары контуров равны:

$$M_{21} = M_{12}. \quad (4)$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Лабораторная установка включает в себя следующие приборы и оборудование: ФПЭ-05 – кассета, внутри которой помещены две катушки индуктивности L_1 и L_2 на одной оси; штوك Ш со шкалой, показывающей взаимное расположение катушек L_1 и L_2 ; сопротивление $R=10^4 \text{ Ом} \pm 5 \%$; переключатели Π_1 и Π_2 ; ЗГ – звуковой генератор (генератор звуковой частоты), на панели которого расположен вольтметр; ЭО – электронный осциллограф (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки

Катушка L_2 надета на катушку L_1 и может перемещаться вдоль её оси. Питание катушек (L_1 или L_2) осуществляется от генератора Q , который вырабатывает напряжение:

$$U = U_0 \cos \omega t. \quad (5)$$

Вольтметр измеряет действующее значение напряжения:

$$U_{\text{действ}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (6)$$

Сопротивление R подобрано таким образом, что оно многократно превышает активное и индуктивное сопротивления катушек. В этом случае силу переменного тока, протекающего через катушку L_1 , можно определить по формуле:

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \cos \omega t. \quad (7)$$

Ток I_1 создает переменный магнитный поток через сечение катушки 2, в результате чего в ней возникает переменная ЭДС взаимной индукции ε_2 :

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega \sin \omega t. \quad (8)$$

Для измерения ЭДС используется осциллограф. Если переменное ЭДС подать на вход осциллографа, то на его экране будет наблюдаться синусоида (рис. 2).

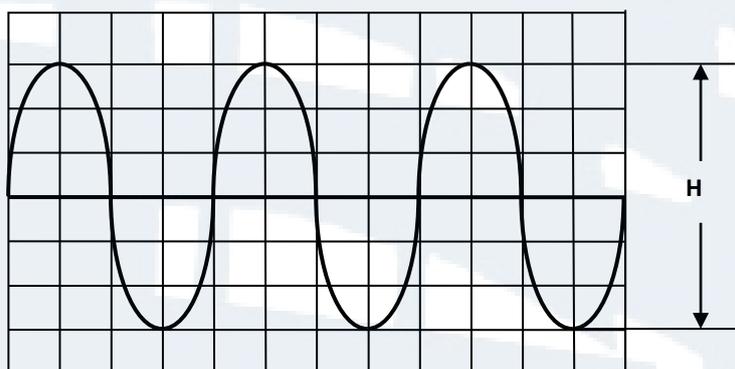


Рис. 2

Измерив в больших делениях шкалы расстояние H между крайними точками, получим удвоенное значение амплитуды сигнала. Для нахождения амплитуды ЭДС в вольтах требуется разделить значение H пополам и умножить на цену деления, которая определяется по положению переключателя «V/дел».

Из формулы (8) следует, что амплитуда ЭДС взаимной индукции в катушке 2 равна:

$$\varepsilon_{02} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega = M_{21} \frac{U_0}{R} 2\pi\nu, \quad (9)$$

где ν – частота звукового генератора. Из (9) имеем:

$$M_{12} = \frac{\varepsilon_{02} R}{2\pi\nu U_0}. \quad (10)$$

Если подать переменное напряжение на катушку 2 (переключатели Π_1 и Π_2 перебросить в противоположное направление), то получим:

$$M_{21} = \frac{\varepsilon_{01} R}{2\pi\nu U_0}. \quad (11)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Внешний вид лабораторной установки и электрическая схема показаны на рис. 1 и рис. 4.

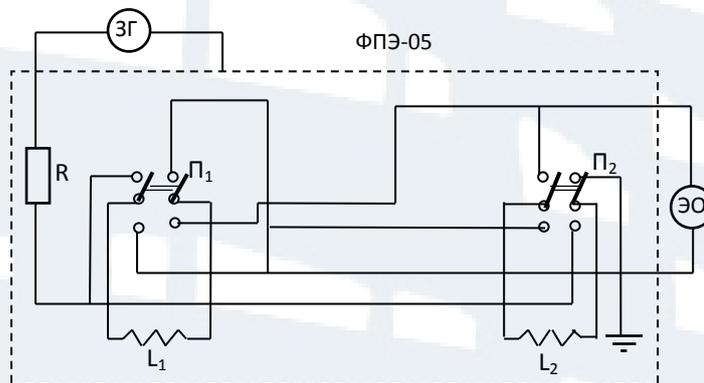


Рис. 4

Задание 1. Определение коэффициентов взаимной индукции M_{12} и M_{21} при различном взаимном положении катушек 1 и 2

1. Ознакомиться с работой электронного осциллографа и звукового генератора.
2. Задать напряжение $U_{действ}$ на генераторе и частоту сигнала ν генератора (по указанию преподавателя), записать эти значения в табл. 1.

Таблица 1

$Z, \text{см}$	$\varepsilon_{02}, \text{В}$	$M_{21}, \text{Гн}$	$\varepsilon_{01}, \text{В}$	$M_{12}, \text{Гн}$	Параметры
0					$U_{действ} =$
1					
2					
3					$U_0 =$
4					
5					
6					$\nu =$
7					
8					
9					$R = 10^4 \text{ Ом}$
10					

С помощью переключателей P_1 и P_2 подать напряжение $U_{действ}$ на катушку 1 и ЭДС с катушки 2 на осциллограф.

3. Установить подвижную катушку в крайнее положение ($Z = 0$). Перемещая её в противоположное крайнее положение через 1 см, измерять значения ЭДС взаимной индукции (ε_{02}) в цепи второй катушки. Полученные данные занести в табл. 1.

4. Поменять местами катушки 1 и 2, для чего перекинуть переключатели P_1 и P_2 . Повторить измерения по п. 4, данные занести в табл. 1 (ε_{01}).

Задание 2. Определение коэффициентов взаимной индукции $M_{12}(M_{21})$ при различных значениях амплитуды напряжения

1. Поставить подвижную катушку в среднее положение.
2. Задать частоту питающего напряжения по указанию преподавателя, записать её значение в табл. 2.

3. Измерять значения амплитуды ЭДС взаимной индукции ε_{02} при различных значениях напряжения $U_{действ}$ в цепи катушки 1, в интервале от 0,5 В до 5 В через 0,5 В. Полученные значения занести в табл. 2.

Таблица 2

$U_{действ}, В$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	$\nu =$
$\varepsilon_{02}, В$											$R = 10^4 \text{ Ом}$
$M_{12}, Гн$											

Задание 3. Определение коэффициентов взаимной индукции $M_{12}(M_{21})$ при различных частотах питающего напряжения

1. Поставить подвижную катушку в среднее положение.
2. Задать значение напряжения $U_{действ}$ по указанию преподавателя, записать его в табл. 3.

3. Измерять значения амплитуды ЭДС взаимной индукции ε_{02} при различных частотах звукового генератора от 5 до 30 кГц, данные занести в табл. 3.

Таблица 3

$\nu, кГц$	5	8	12	15	18	20	23	25	30
$\varepsilon_{02}, В$									
$M_{12}, Гн$									
$U_{действ} = R = 10^4 \text{ Ом}$									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По данным, полученным при выполнении задания 1, по формуле (10) определить коэффициенты взаимной индукции M_{12} и M_{21} при различном взаимном положении катушек 1 и 2. Результаты занести в табл. 1.

Построить графики зависимости M_{12} и M_{21} как функции координаты Z . Убедиться, что коэффициенты взаимной индукции для данной пары контуров в пределах ошибок опыта, – совпадают.

2. По данным, полученным при выполнении задания 2, по формуле (10) определить коэффициенты взаимной индукции M_{12} (M_{21}) при различных значениях амплитуды питающего напряжения. Результаты занести в табл. 2.

3. По данным, полученным при выполнении задания 3, по формуле (10) определить коэффициенты взаимной индукции M_{12} (M_{21}) при различных значениях частоты питающего напряжения. Результаты занести в табл. 3.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. В чем состоит явление взаимной индукции?
2. Записать формулу для ЭДС взаимной индукции.
3. Сформулировать закон электромагнитной индукции.
4. Записать формулу для ЭДС электромагнитной индукции.
5. Сформулировать правило Ленца.
6. Какая величина называется магнитным потоком, от чего он зависит? В каких единицах измеряется магнитный поток?
7. Как связаны между собой поток магнитной индукции и сила тока, протекающего через контур?
8. От чего зависит коэффициент взаимной индукции?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2-9

Исследование магнитных свойств ферромагнетиков, изучение гистерезиса ферромагнитных материалов

Цель работы: снять основную кривую намагничивания; изучить гистерезис ферромагнитных материалов; вычислить основные характеристики ферромагнетиков; найти работу по перемагничиванию ферромагнетика, остаточную намагниченность, величину коэрцитивной силы и магнитную проницаемость.

ВВЕДЕНИЕ

Все вещества обладают магнитными свойствами, т. е. являются **магнетиками**. Магнитные свойства веществ определяются величиной и ориентацией магнитных моментов атомов (молекул), которые, в свою очередь, определяются орбитальными магнитными моментами всех электронов данного атома.

По представлениям классической физики, электрон в атоме движется по круговой орбите, образуя **орбитальный ток** $I_{орб}$:

$$I_{орб} = \frac{e}{T} = e\nu = \frac{eV}{2\pi r}, \quad (1)$$

где e – элементарный заряд;

ν – частота обращения электрона по орбите радиуса r со скоростью V .

Токи, обусловленные движением электронов в атомах (молекулах), называют **микротоками или молекулярными токами**.

Орбитальному току $I_{орб}$ соответствует **орбитальный магнитный момент электрона** \vec{p}_m , модуль которого определяется следующим образом:

$$p_m = IS = I\pi r^2 = \frac{eVr}{2}. \quad (2)$$

Орбитальным магнитным моментом атома называется вектор \vec{P}_a равный геометрической сумме орбитальных магнитных моментов всех электронов атома:

$$\vec{P}_a = \sum_{i=1}^n \vec{p}_{mi}. \quad (3)$$

Внесём атом в магнитное поле с индукцией \vec{B}_0 . Если орбита электрона ориентирована относительно вектора \vec{B}_0 произвольным образом, составляя с ним угол α , то она приходит в такое движение вокруг \vec{B}_0 , при котором вектор магнитного момента электрона \vec{p}_m , сохраняя постоянным угол α , вращается вокруг вектора \vec{B}_0 с некоторой угловой скоростью $\vec{\omega}_L$ (рис. 1).

Такое движение называется **прецессией Лармора**, а ω_L называется угловой скоростью прецессии. Вследствие прецессии Лармора появляется дополнительный **орбитальный ток** ΔI_{orb} , которому соответствует наведенный орбитальный магнитный момент электрона $\Delta \vec{p}_m$ (рис. 1).

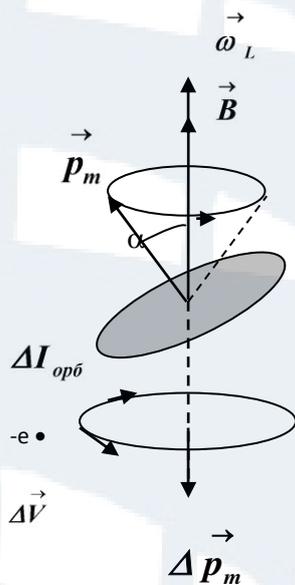


Рис. 1

Наведенный орбитальный момент атома равен:

$$\Delta \vec{P} = \sum_{i=1}^n \Delta \vec{P}_{mi} . \quad (4)$$

Вектор $\Delta\vec{P}$ противоположен вектору \vec{B}_0 по направлению. Наведенные составляющие магнитных полей атомов (молекул) складываются и образуют собственное магнитное поле вещества, ослабляющее внешнее магнитное поле. Этот эффект получил название **диамагнитного эффекта**. Диамагнетизм свойствен всем веществам.

Итак, вещества, внесенные в магнитное поле, намагничиваются. Для количественного описания намагничивания магнетиков вводят векторную величину \vec{J} – **намагниченность**:

$$\vec{J} = \frac{\vec{P}_{ma}}{\Delta V} = \frac{\sum \vec{P}_a}{\Delta V}, \quad (5)$$

здесь \vec{P}_{ma} – магнитный момент магнетика, равный векторной сумме магнитных моментов отдельных атомов (молекул); ΔV – объём магнетика.

По своим магнитным свойствам магнетики делятся на три основные группы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. К диамагнетикам относятся вещества, **магнитные моменты атомов (молекул) которых в отсутствие внешнего магнитного поля равны нулю**. При внесении диамагнетика во внешнее магнитное поле атомы (молекулы) вещества приобретают наведенные магнитные моменты $\Delta\vec{P}$, т. е. образуют собственное магнитное поле. Наведенные магнитные моменты $\Delta\vec{P}$ пропорциональны вектору \vec{B} и противоположны ему по направлению. Итак, **диамагнетики** – это вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном направлению вектора магнитной индукции \vec{B}_0 .

У парамагнетиков атомы (молекулы) обладают собственным магнитным моментом \vec{P}_a . В отсутствие внешнего магнитного поля магнитные моменты атомов \vec{P}_a ориентированы совершенно беспорядочно вследствие теплового движения атомов (молекул). При внесении парамагнетика во внешнее магнитное поле устанавливается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов (молекул) вещества по направлению вектора \vec{B}_0 , т. е. возникает собственное магнитное поле. Итак, **парамагнетики** это вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле по направлению вектора \vec{B}_0 .

В результате намагничивания магнетиков результирующее магнитное поле в веществе \vec{B} будет равно сумме магнитных индукций внешнего магнитного поля \vec{B}_0 и поля \vec{B}' , созданного микротоками (молекулярными токами):

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'. \quad (6)$$

Вектор \vec{B} зависит от магнитных свойств магнетика. Введем вектор \vec{H} , который называется **напряженностью магнитного поля**, он определяется следующим образом:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}. \quad (7)$$

Как показывает опыт, намагниченность \vec{J} прямо пропорциональна напряженности \vec{H} магнитного поля:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}, \quad (8)$$

здесь χ – безразмерная величина, называемая **магнитной восприимчивостью вещества**. Для диамагнетиков χ – отрицательная величина, для парамагнетиков χ – положительна. Абсолютное значение магнитной восприимчивости для диамагнетиков и парамагнетиков мало, составляет порядка 10^{-4} - 10^{-6} .

Подставив (8) в (7), получим:

$$\vec{H}(1 + \chi) = \frac{\vec{B}}{\mu_0}. \quad (9)$$

Введем величину: $\mu = 1 + \chi$, которая называется **магнитной проницаемостью вещества**. Тогда:

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}), \quad \mu = \frac{B}{\mu_0 H}. \quad (10)$$

Помимо диамагнетиков и парамагнетиков, называемых слабомагнитными веществами ($\mu \approx 1$), существуют сильномагнитные вещества – ферромагнетики, у которых магнитное поле \vec{B} может в сотни и тысячи раз превосходить внешнее магнитное поле \vec{B}_0 . **Ферромагнетики** – это кристаллические вещества, обладающие спонтанной (самопроизвольной) намагниченностью, следовательно, они намагничены даже при отсутствии внешнего магнитного поля.

В квантовой теории ферромагнетизма показано, что ответственными за магнитные свойства ферромагнетиков являются спиновые

(собственные) магнитные моменты электронов. При определенных условиях в кристаллах возникают обменные силы, которые заставляют магнитные моменты электронов, а соответственно, и магнитные моменты атомов, выстраиваться параллельно друг другу. В результате возникают области спонтанного (самопроизвольного) намагничивания, которые называются **доменами**. Размеры доменов **составляют** 10^{-4} - 10^{-6} м.

Домены обладают магнитными моментами $\vec{P}_{\text{дом}}$. При отсутствии внешнего магнитного поля магнитный момент ферромагнетика \vec{P}_ϕ равен нулю, так как магнитные моменты доменов ориентированы хаотически. Внешнее магнитное поле ориентирует по полю магнитные моменты не отдельных атомов, а магнитные моменты доменов. Поэтому с ростом напряженности внешнего магнитного поля \vec{H} намагниченность \vec{J} растет очень быстро.

Если для слабомагнитных веществ зависимость \vec{J} от \vec{H} является линейной, то для ферромагнетиков она имеет более сложный вид (рис. 2). Кривая $\vec{J} = \varphi(\vec{H})$ или $\vec{B} = \varphi(\vec{H})$ называется основной кривой намагничивания.

При $\vec{J} = \vec{J}_{\text{нас}}$ все магнитные моменты доменов ориентированы по полю, в результате наступает магнитное насыщение.

Магнитная индукция $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{J})$ с увеличением \vec{H} быстро растет, вследствие роста \vec{J} , а затем увеличивается по линейному закону (рис. 3).

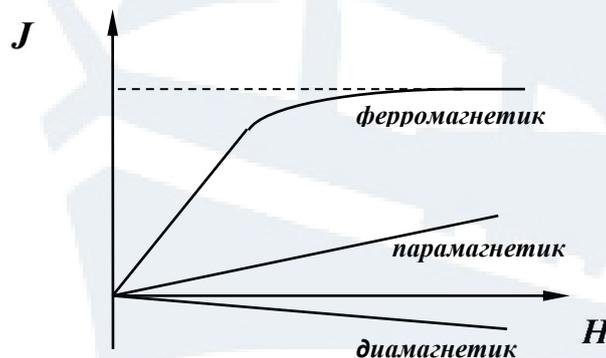


Рис. 2

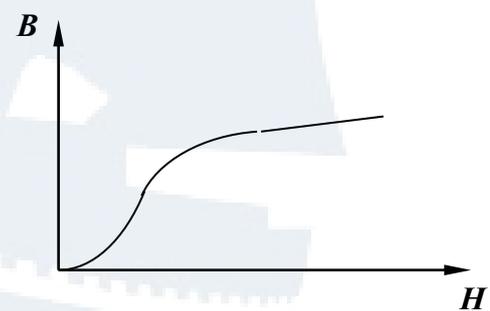


Рис. 3

Существенная особенность ферромагнетиков – не только большие значения магнитной проницаемости $\mu = (10^3-10^6)$, но и сложная зависимость $\mu = \varphi(H)$ (рис. 4). Как видно из этого рисунка, при больших

значениях \vec{H} магнитная проницаемость μ стремится к 1. Значения \vec{J} и \vec{B} зависят от предшествующего состояния ферромагнетика (зависимость от предыстории), что приводит к явлению **гистерезиса**.

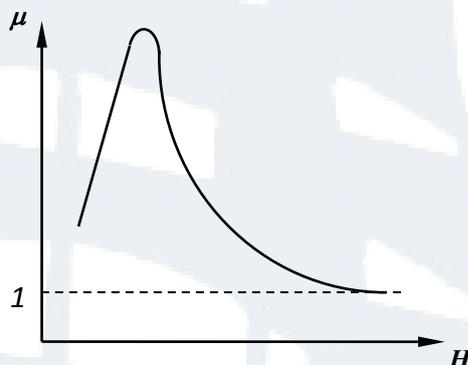


Рис. 4

При циклических изменениях величины и направления напряженности внешнего магнитного поля \vec{H} эта зависимость характеризуется кривой, называемой петлей гистерезиса (рис. 5).

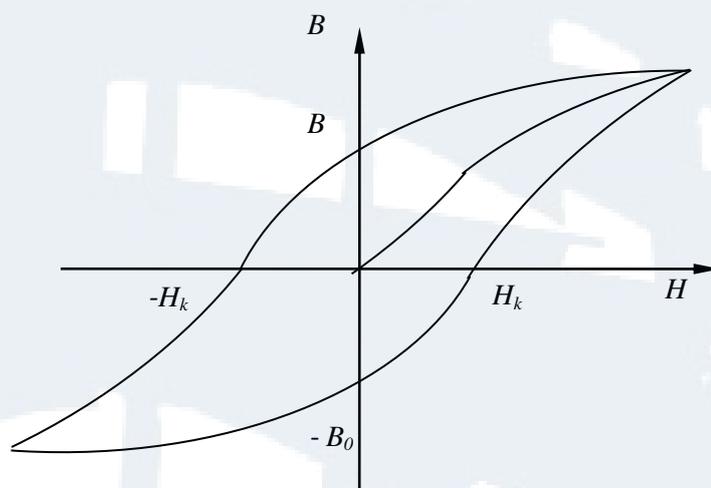


Рис. 5

Пусть ферромагнетик полностью размагничен. Во внешнем магнитном поле, напряженность которого H увеличивается, индукция B возрастает по **основной кривой намагничивания** OA до точки A (рис. 5). Если затем уменьшать H , то индукция B уменьшается по кривой AB_0 . При $H = 0$ индукция равна B_0 – **остаточное намагничивание**. Индукция B обращается в ноль только в размагничивающем магнитном поле, напряженность которого равна $(-H_k)$. Величина H_k называется **коэрцитивной силой**. В зависимости от H_k различают мягкие ферромагнетики: ($H_k \approx 1-10 \text{ A/м}$) и жесткие: ($H_k \approx 10^4-10^5 \text{ A/м}$).

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Внешний вид лабораторной установки и электрическая схема приведены на рис. 6 и 7. Она состоит из кассеты ФПЭ – 07, звукового генератора ЗГ, электронного осциллографа ЭО. Исследуемый образец, находящийся внутри кассеты, выполнен в виде тороидального трансформатора T , первичная обмотка которого содержит $N_1 = 200$ витков, а вторичная обмотка $N_2 = 50$ витков. Напряжение на первичную обмотку трансформатора подается с выхода звукового генератора через сопротивление $R_1 = 100 \text{ Ом} \pm 5 \%$. Вторичная обмотка трансформатора последовательно соединена с сопротивлением $R_2 = 24 \text{ кОм} \pm 5 \%$ и конденсатором $C = 0,22 \text{ мкФ} \pm 5 \%$.



Рис. 6. Внешний вид лабораторной установки

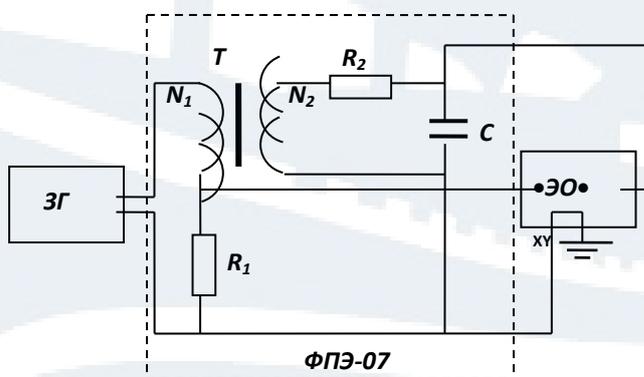


Рис. 7. Электрическая схема

С сопротивления R_1 на вход усилителя горизонтального отклонения «X» осциллографа PO подается напряжение U_x , пропорциональное напряженности магнитного поля H :

$$U_x = \frac{2\pi r_T R_1}{N_1} H, \quad (11)$$

здесь r_T – радиус обмотки тороида: $r_T = \frac{r_1 + r_2}{2}$, где $r_1 = 15,5$ мм и $r_2 = 9,25$ мм – внешний и внутренний радиусы тороида.

На вертикальный вход «Y» с конденсатора C подается напряжение U_y , пропорциональное индукции магнитного поля B :

$$U_y = \frac{N_2 S_T}{R_2 C} B, \quad (12)$$

здесь S_T – площадь поперечного сечения тороида:

$$S_T = (r_1 - r_2) b, \quad (13)$$

где $b = 7$ мм – толщина тороида.

Подав одновременно напряжения U_x и U_y на горизонтально и вертикально отклоняющие пластины осциллографа, получим на экране петлю гистерезиса. Напряжения U_x и U_y определяются по отклонению электронного луча на экране осциллографа:

$$U_x = k_x x; \quad U_y = k_y y, \quad (14)$$

здесь k_x и k_y – цена деления, которая определяется по положению переключателя « $V_x/\text{дел}$ » и « $V_y/\text{дел}$ » на панели осциллографа, x и y – число больших делений шкалы экрана осциллографа.

Из выражений (11), (12), (14) имеем для напряженности H :

$$H = \frac{N_1 k_x x}{2\pi R_1 r_T} \quad (15)$$

и для индукции B :

$$B = \frac{R_2 C k_y y}{N_2 S_T}. \quad (16)$$

По площади петли гистерезиса можно найти работу по перемагничиванию ферромагнетика A , которая расходуется на изменение его внутренней энергии. Соответствующие расчеты дают следующее выражение для **работы по перемагничиванию, отнесенной к единице объёма** ферромагнетика:

$$A_V = \frac{N_1 R_2 C k_x k_y}{2\pi r_T R_1 N_2 S_T} S_{\text{петли}}. \quad (17)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки и методом измерений.
3. Ознакомиться с работой звукового генератора и электронного осциллографа в режиме наблюдений фигур Лиссажу.
4. Проверить правильность сборки электрической цепи согласно рис. 7 и представить её на проверку преподавателю или заведующему лабораторией.
5. С разрешения преподавателя или заведующего лабораторией включить лабораторный стенд и приборы и дать им прогреться в течение 5 мин.
6. Установить следующие параметры выходного сигнала генератора: частоту – по заданию преподавателя, выходное напряжение «0 В».
7. Вырезать кальку по размеру экрана осциллографа.
8. Установить луч в центре экрана, затем, регулируя величину выходного напряжения, установить максимальную петлю гистерезиса, скопировать её на кальку. По положению переключателя « $V_x / \text{дел}$ » и « $V_y / \text{дел}$ » на панели осциллографа определить k_x и k_y .
9. Уменьшая величину выходного напряжения, получить семейство петель гистерезиса – не менее 5 петель. Для каждой петли снять координаты « x » и « y » её вершины. Все экспериментальные данные записать в табл. 1. Координаты « x » и « y » записываются в больших делениях шкалы экрана осциллографа.

Таблица 1

№ n/n	x , дел	k_x , $V_x / \text{дел}$	H , А/м	y , дел	k_y , $V_y / \text{дел}$	B , Тл	μ	r_T , м	S_T , м ²
1									
2									
3									
4									
5									

10. Установить максимальную петлю гистерезиса. Для этой петли записать координату « x_k », соответствующую коэрцитивной силе H_k и координату « $y_{ост}$ », соответствующую остаточной намагниченности B_o . Данные занести в табл. 2.

Таблица 2

$x_k, \text{дел}$	$H_k, \text{А/м}$	$y_{ост}, \text{дел}$	$B_{ост}, \text{Тл}$	$S_{петли}, \text{дел}^2$	$A_V, \text{Дж/м}^3$

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Зная данные лабораторной установки, определить r_T – радиус обмотки тороида и S_T – площадь поперечного сечения тороида.

2. По формулам (15) и (16) вычислить значения напряженности H и индукции B вершин каждой петли гистерезиса и записать их в табл. 1.

3. Изобразить графически основную кривую намагничивания в координатах $B = \varphi(H)$.

4. Зная значения H и B , для каждой петли найти магнитную проницаемость μ по формуле (10), данные записать в табл. 1.

5. По измеренным величинам x_k и $y_{ост}$, используя формулы (15) и (16), найти значения коэрцитивной силы H_k и остаточной намагниченности B_o . Результаты занести в табл. 2.

6. Максимальную петлю, зарисованную на кальке, скопировать на миллиметровую бумагу и подсчитать её площадь – $S_{петли}$ (в делениях).

7. По формуле (17) определить работу A_V по перемагничиванию ферромагнетика за один цикл, отнесенную к единице объёма. Полученные значения площади и работы записать в табл. 2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

для сдачи работы

1. Как влияет внешнее магнитное поле на движение электронов в атомах вещества?

2. Какие вещества называются диамагнетиками? Объяснить механизм их намагничивания.

3. Какие вещества называются парамагнетиками? Объяснить механизм их намагничивания. Присущ ли парамагнетикам диамагнитный эффект?

4. Какая величина называется намагниченностью магнетика?

5. Какая величина называется напряженностью магнитного поля?

6. Какие вещества называются ферромагнетиками? Объяснить механизм намагничивания ферромагнетиков.

7. Что называется гистерезисом? Какова причина его возникновения?

8. Что такое коэрцитивная сила, единица её измерения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-2

Изучение интерференции света в тонкой пленке

Цель работы: определить по методу колец Ньютона радиус кривизны линзы и длину волны красного светофильтра.

ВВЕДЕНИЕ

В работе изучают интерференционную картину, которая называется **кольца Ньютона**. В данной работе кольца Ньютона наблюдаются при отражении света от воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой 1 и плосковыпуклой линзой 2 с большим радиусом кривизны R (рис. 1). В качестве источника света используется лампа накаливания. Для получения излучения, близкого к монохроматическому, применяют светофильтры, пропускающие узкий спектральный интервал. Лучи, отражённые верхней поверхностью пластинки и нижней поверхностью линзы, когерентны и при наложении могут интерферировать.

Наблюдаемая интерференционная картина представляет собой **полосы равной толщины**. Полосы равной толщины локализованы вблизи поверхности воздушного клина.

Как показывает расчет, условия максимумов и минимумов интенсивности света при интерференции в тонкой плёнке, освещаемой длиной волны λ_0 , в отраженном свете определяются формулами:

$$\text{максимумы: } 2dn \cos \beta + \frac{\lambda_0}{2} = 2m \frac{\lambda_0}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

$$\text{минимумы: } 2dn \cos \beta + \frac{\lambda_0}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

здесь d – толщина тонкой пленки; n – показатель преломления среды; β – угол падения света с длиной волны λ_0 ; m – порядок интерференционного максимума или минимума.

В работе свет падает на линзу нормально ($\cos \beta = 1$), показатель преломления воздушного слоя $n = 1$, тогда из формул (1) и (2) получим условие наблюдения максимумов интенсивности света:

$$2d + \frac{\lambda_0}{2} = 2m \frac{\lambda_0}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

и условие наблюдения минимумов интенсивности света:

$$2d + \frac{\lambda_0}{2} = (2m + 1)\frac{\lambda_0}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (4)$$

где d – толщина воздушного слоя.

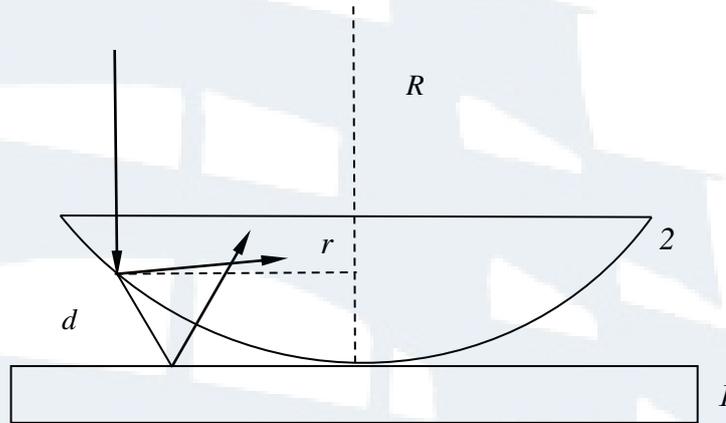


Рис. 1. Ход лучей при интерференции в отраженном свете

Геометрическим местом точек с одинаковой разностью хода – являются окружности с центром в точке соприкосновения линзы с пластинкой, следовательно, интерференционная картина будет представлять собой систему концентрических светлых и тёмных колец. Для центра колец толщина слоя $d = 0$. Там образуется тёмное пятно, которому в формуле (4) соответствует $m = 0$.

Радиус кольца r , радиус кривизны линзы R и толщина слоя d связаны соотношением (рис. 1):

$$r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2. \quad (5)$$

Пренебрегая малой величиной d^2 , из выражения (5) получаем:

$$r^2 = 2Rd. \quad (6)$$

Из формулы (6) и условий (3) и (4) следуют соотношения для радиусов светлых колец:

$$r_{m \text{ св}}^2 = R(2m - 1)\frac{\lambda_0}{2}. \quad (7)$$

Соотношения для радиусов тёмных колец:

$$r_{m \text{ темн}}^2 = Rm\lambda_0. \quad (8)$$

Измерив радиус r m -го светлого или тёмного кольца и зная λ_0 , по формулам (7) и (8) можно определить радиус кривизны линзы R . Однако в месте соприкосновения линзы с пластинкой обычно возникает упругая деформация стекла, что приводит к погрешностям при определении R по формулам (7) и (8), особенно при использовании колец с не-

большим номером m . Эту погрешность можно исключить, используя графический способ расчета R . График зависимости r_m^2 от m представляет собой прямую линию. Определив тангенс угла наклона α_1 этой прямой к оси абсцисс, можно найти R :

$$R = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\lambda_0}. \quad (9)$$

Зная радиус кривизны R линзы и сняв зависимость r_m^2 от m для другого светофильтра, из формулы (9) можно найти неизвестную длину волны λ_2 света, пропускаемого другим светофильтром:

$$\lambda_2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{R}. \quad (10)$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Фото установки представлено на рис. 2.

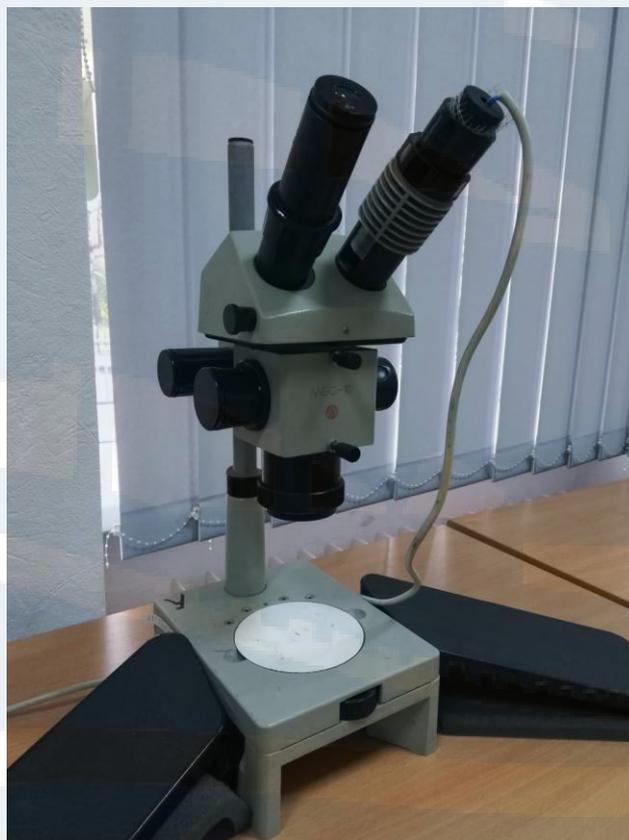


Рис. 2. Внешний вид установки

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Откинув тубус с осветителем, поместить зеленый светофильтр в микроскоп.
2. Включить осветитель, для чего на панели блока питания тумблер «сеть» поставить в положение «вкл».
3. На предметный столик поместить оправу с пластинкой и линзой.
4. Перемещая оправу по предметному столику, найти в поле зрения окуляра картину колец (рис. 3).

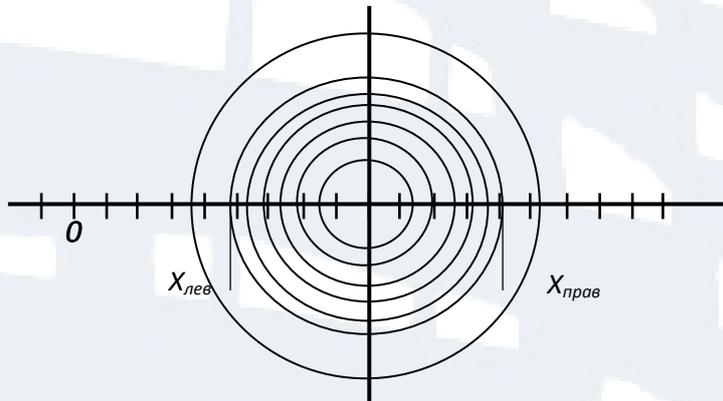


Рис. 3. Определение радиусов колец Ньютона

5. Перемещая оправу, добиться, чтобы окулярная шкала микроскопа располагалась по диаметру колец.
6. Измерить радиусы пяти темных колец. Измерения начинать с третьего кольца. Найти радиусы колец по формуле:

$$r_{гор} = \frac{X_{прав} - X_{лев}}{2}.$$

7. Повернув окулярную шкалу на 90° , снова определить радиусы пяти колец, аналогично п. 6. Данные занести в табл. 1. При этом:

$$r_{верт} = \frac{X_{верх} - X_{низ}}{2}.$$

8. Вычислить среднее значение радиусов по формуле:

$$\langle r \rangle = \frac{r_{гор} + r_{верт}}{2}.$$

9. Поместить в микроскоп красный светофильтр и произвести измерения радиусов колец Ньютона так же, как и в пп. 6 и 7. Данные занести в табл. 2.
10. Определить цену деления окулярной шкалы.

Для этого поместить на столик микроскопа, вместо линзы, масштабную линейку. Расположить окулярную и масштабную шкалы вдоль одной линии. Заметить, какое число целых делений окулярной шкалы имеет такую же длину, как и 1 мм масштабной шкалы. Рассчитать цену деления шкалы:

$$a = \frac{1 \text{ мм}}{\ell}.$$

11. Рассчитать радиусы всех измеренных колец в миллиметрах:

$$r_m = a \langle r \rangle.$$

12. Результаты занести в табл. 1 и 2.

Таблица 1

№ кольца m	$X_{\text{прав}} \text{ дел}$	$X_{\text{лев}} \text{ дел}$	$X_{\text{верх}} \text{ дел}$	$X_{\text{ниж}} \text{ дел}$	$r_{\text{гор}} \text{ дел}$	$r_{\text{верт}} \text{ дел}$	$\langle r \rangle \text{ дел}$	$a, \text{ мм}$	$r_m, \text{ мм}$	$r_m^2, \text{ мм}^2$	$\lambda_{\text{зел}}, \text{ нм}$	$R, \text{ м}$
1											520 ± 10	
2												
3												
4												
5												

13. Построить графики зависимости r_m^2 от m для зеленого светофильтра. Найти по графику $tg \alpha_{\text{зел}} = \frac{\Delta r_m^2}{\Delta m}$.

14. По формуле (9) рассчитать радиус кривизны линзы R , учитывая, что $\lambda_{\text{зел}} = (520 \pm 10) \text{ нм}$.

Таблица 2

№ кольца m	$X_{\text{прав}} \text{ дел}$	$X_{\text{лев}} \text{ дел}$	$X_{\text{верх}} \text{ дел}$	$X_{\text{ниж}} \text{ дел}$	$r_{\text{гор}} \text{ дел}$	$r_{\text{верт}} \text{ дел}$	$\langle r \rangle \text{ дел}$	$r_m, \text{ мм}$	$r_m^2, \text{ мм}^2$	$R, \text{ м}$	$\lambda, \text{ нм}$
1											
2											
3											
4											
5											

15. По формуле (10) вычислить длину волны второго светофильтра, подставляя значение радиуса кривизны линзы, вычисленного в п. 14.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
для сдачи работы

1. Как образуются полосы равного наклона?
2. Как образуются кольца Ньютона в отраженном и проходящем свете? Нарисовать ход лучей.
3. Чему равна оптическая разность хода лучей в данной работе?
4. Вывести формулу для радиуса m -го светлого кольца Ньютона.
5. Интерференция в тонких плёнках, вывод формул (1) и (2).
6. Как образуются полосы равной толщины?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-6

Изучение дифракции Фраунгофера на одной щели и на дифракционной решетке с помощью лазера

Цель работы: изучить дифракцию Фраунгофера на одной щели и на дифракционной решетке. Определить ширину щели и период дифракционной решетки.

ВВЕДЕНИЕ

Если на пути распространения плоской волны поставить дифракционную решетку (рис. 1), то в фокальной плоскости линзы Л будет наблюдаться дифракционная картина. Здесь $d = a + b$ – период дифракционной решетки, Δ – оптическая разность хода лучей, φ – угол дифракции.

Из рис. 1 следует, что $\Delta = d \sin \varphi$.

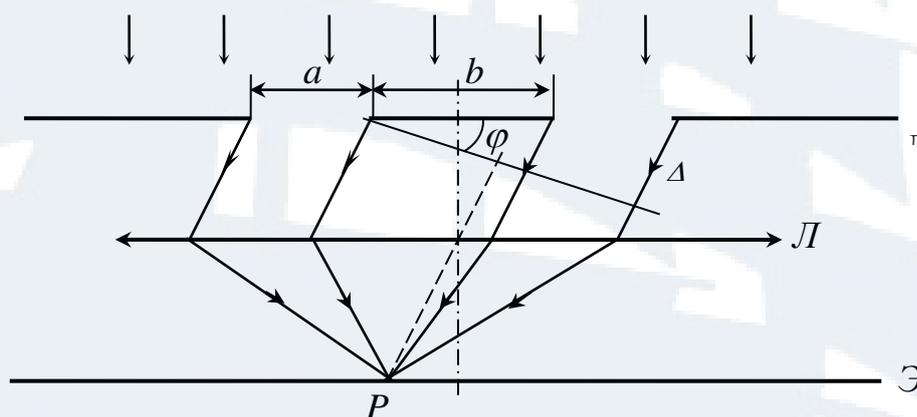


Рис. 1. Дифракция на дифракционной решетке

С другой стороны $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$. При максимуме интенсивности:

$$\Delta \varphi = \pm 2\pi n. \text{ Соответственно, } 2\pi n = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi \text{ или}$$

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad m = 0, 1, 2 \dots \quad (1)$$

Таким образом, (1) является условием **главного максимума** при дифракции на дифракционной решетке.

Поставим на пути плоской волны щель шириной a . Разобьем щель на зоны Френеля. Из рис. 2 видно, что:

$$\Delta = a \sin \varphi. \quad (2)$$

Тогда число зон Френеля, которое укладывается на ширине щели равно Z :

$$Z = \frac{\Delta}{\lambda/2} = \frac{a \sin \varphi}{\lambda/2}, \quad (3)$$

т. е. $a \sin \varphi = Z \frac{\lambda}{2}$.

Из теории Френеля следует, что если число Z – четное, т. е. $Z = 2k$, то на экране в точке P' будет наблюдаться **минимум** интенсивности света, при этом:

$$a \sin \varphi = Z \frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda, \quad k = 1, 2, 3... \quad (4)$$

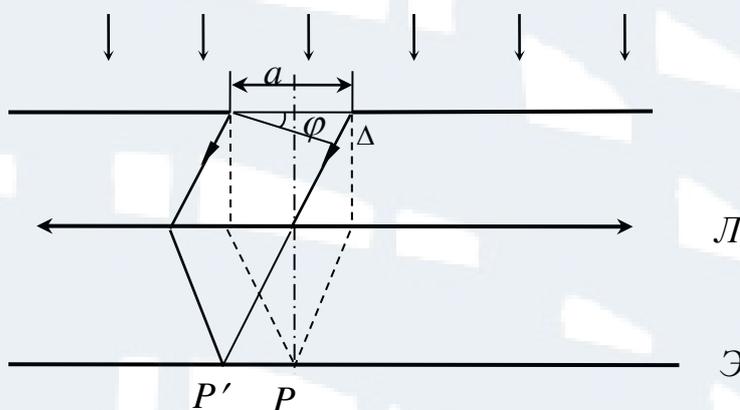


Рис. 2. Дифракция на одной щели

Если Z нечетное, т. е. $Z = 2k + 1$, то на экране в точке P' будет наблюдаться **максимум** интенсивности света, при этом:

$$a \sin \varphi = \pm (2k + 1) \lambda / 2, \quad k = 1, 2, 3... \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) представляют собой условия минимумов и максимумов при дифракции на одной щели.

Дифракционная картина будет наблюдаться в фокальной плоскости линзы L .

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема и вид установки представлены на рис. 3 и 4. На рис. 3 обозначены: 1 – лазер, являющийся источником плоской монохроматической волны ($\lambda = 630 \text{ нм}$), падающей нормально на экран 2 с щелью шириной a (или на дифракционную решетку с периодом d); 3 – белый экран с миллиметровой шкалой для наблюдения дифракционной картины и измерения ширины дифракционных полос, 4 – источник питания.

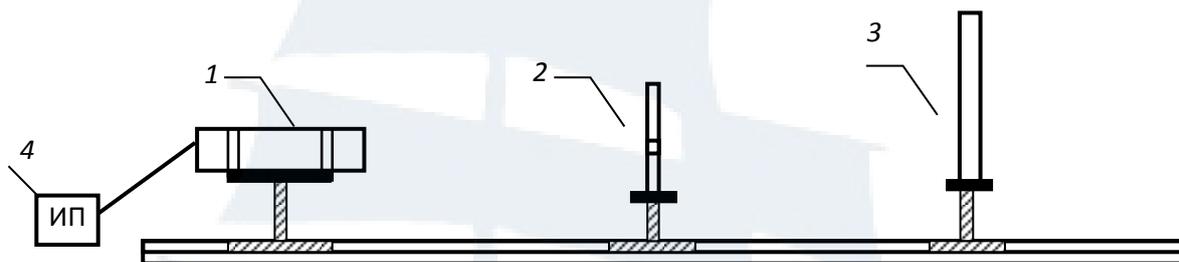


Рис. 3. Схема установки



Рис. 4. Внешний вид установки

Экран устанавливают на достаточно большом расстоянии L от щели, чтобы $\frac{d^2}{\lambda L} \ll 1$. В этом случае на экране будет наблюдаться дифракция Фраунгофера, так как в каждую точку экрана приходит практически параллельный пучок лучей. Обычно d меньше или порядка $0,1$ мм, поэтому достаточно ограничиться значениями L порядка нескольких десятков сантиметров. По картине дифракции от одной щели можно определить ширину щели a . Из формулы $a \sin \varphi = k\lambda$ при малых углах дифракции ($\sin \varphi \approx \varphi$) следует, что угловая ширина центрального максимума $\varphi = \frac{\lambda}{a}$. Следовательно, ширина центрального

максимума Δx на экране: $\Delta x = \frac{2L\lambda}{a}$, где L – расстояние между экраном и щелью. Измерив Δx по шкале на экране и L по линейке на оптической скамье, можно найти величину a по формуле:

$$a = \frac{2\lambda L}{\Delta x}. \quad (6)$$

По дифракционной картине от дифракционной решетки определяют расстояние между центрами щелей d по формуле:

$$d = \frac{\lambda L}{\langle \Delta x \rangle}. \quad (7)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. Определение ширины щели a .

1. Включить лазер с разрешения преподавателя.

Внимание! Лазерное излучение опасно при прямом попадании в глаза.

2. Поставить экран с одной щелью между лазером и экраном (не менее 25 см от выходного окна лазера).

3. Измерить по линейке на оптической скамье расстояние L между щелью и экраном. Добиться, чтобы лазерный луч проходил через щель. Найти такое положение щели, чтобы на экране наблюдалась чёткая дифракционная картина.

4. Измерить по шкале на экране ширину центрального максимума Δx . Измерения провести 5 раз, каждый раз меняя L . Данные занести в табл. 1. Найти a_i по формуле:

$$a_i = \frac{2\lambda L_i}{\Delta x_i}.$$

5. Найти погрешность измерения ширины щели методом обработки результатов прямого измерения. Найти относительную ошибку измерения по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \langle a \rangle}{\langle a \rangle}.$$

Упражнение 2. Определение периода дифракционной решетки.

1. Поместить на оптическую скамью дифракционную решетку на расстоянии 40-50 см. Расстояние L записать в табл. 2.

Таблица 1

№ n/n	Δx_i мм	L_i мм	a_i мм	$\langle a \rangle$ мм	Δa_i мм	Δa мм	ε	Справочные данные
1								$\lambda = 630 \text{ нм}$
2								
3								
4								
5								

Таблица 2

№ n/n	l_i мм	m_i	$\Delta x^l_i = \frac{l_i}{m_i}$ мм	d_i мм	d мм	$\langle d \rangle$ мм	Δd мм	ε	Справочные данные
1									$\lambda = 630 \text{ нм}$ $L =$
2									
3									
4									
5									

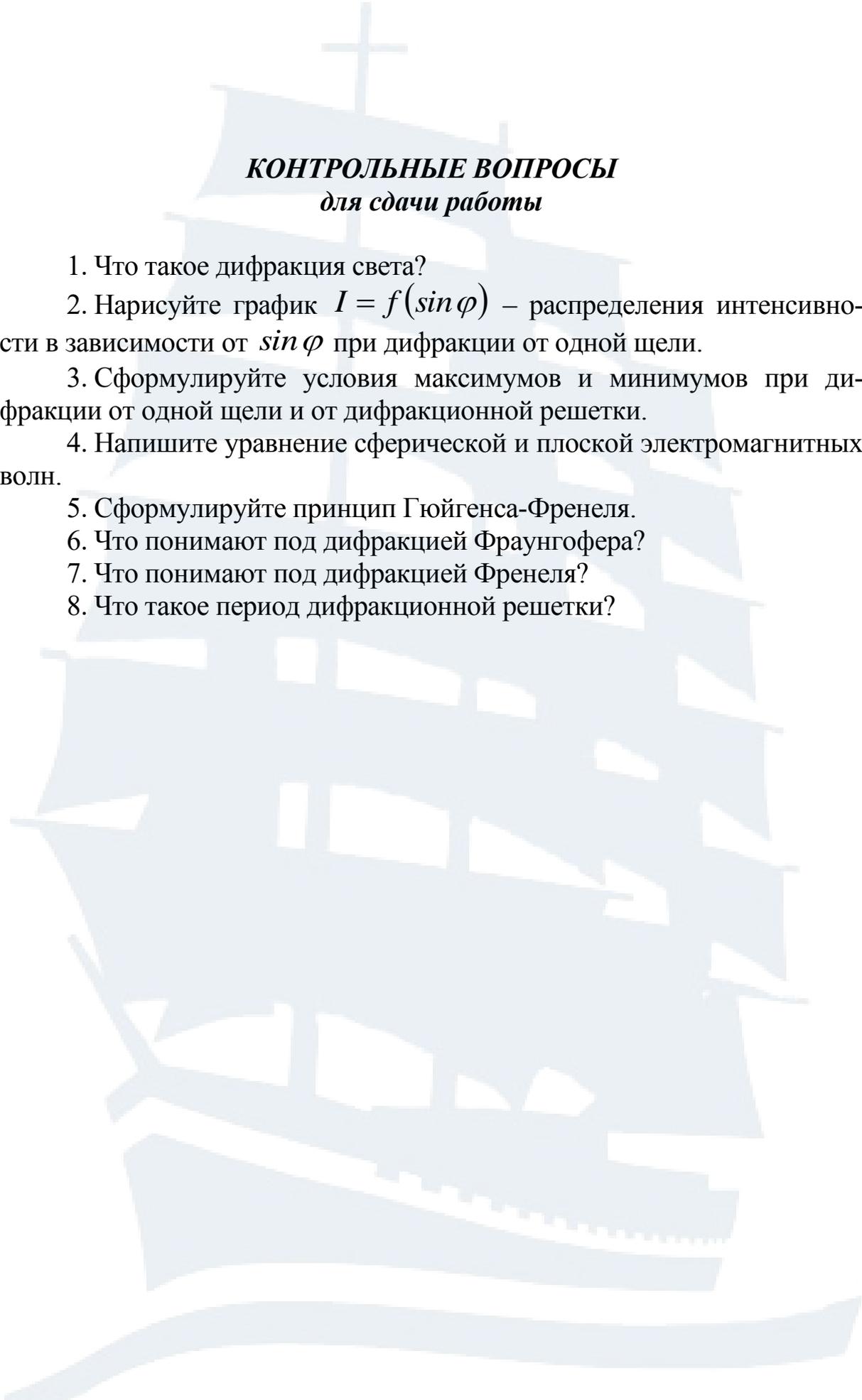
2. Добиться четкого изображения дифракционной картины на экране.

3. По шкале на экране определить расстояние от первого дифракционного максимума слева до первого дифракционного максимума справа от центрального максимума. Полученное значение разделить на 2, результат записать в табл. 2. Аналогичные измерения провести для 3-5 максимумов. Данные измерений занести в табл. 2.

4. Определить постоянную дифракционной решетки по формуле (7).

5. Рассчитать погрешность Δd методом обработки результатов прямого измерения и относительную погрешность ε по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d}.$$



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

для сдачи работы

1. Что такое дифракция света?
2. Нарисуйте график $I = f(\sin \varphi)$ – распределения интенсивности в зависимости от $\sin \varphi$ при дифракции от одной щели.
3. Сформулируйте условия максимумов и минимумов при дифракции от одной щели и от дифракционной решетки.
4. Напишите уравнение сферической и плоской электромагнитных волн.
5. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
6. Что понимают под дифракцией Фраунгофера?
7. Что понимают под дифракцией Френеля?
8. Что такое период дифракционной решетки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-7

Получение и исследование поляризованного света

Цель работы: ознакомиться с методами получения линейно-поляризованного света и некоторыми его свойствами, проверить закон Малюса, определить угол Брюстера и показатель преломления вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Свет представляет собой электромагнитные волны. Плоская электромагнитная волна является поперечной. Вектор напряжённости электрического поля \vec{E} и вектор напряжённости магнитного поля \vec{H} (или вектор индукции магнитного поля \vec{B}) взаимно перпендикулярны и располагаются в плоскости, перпендикулярной скорости \vec{v} распространения волны. Они образуют правую тройку векторов: \vec{E} , \vec{H} , \vec{v} . Химическое и биологическое действие света связано с вектором \vec{E} , поэтому вектор напряжённости электрического поля называют **световым**.

Естественный свет представляет собой совокупность волн, излучаемых независимо друг от друга множеством атомов и молекул, с разными фазами и с различными равновероятными направлениями вектора \vec{E} . При некоторых условиях возможно получить такое поведение вектора \vec{E} , когда за период колебаний конец этого вектора описывает замкнутую линию – эллипс, круг или прямую. Такой свет называется **поляризованным**, а упорядочение колебаний светового вектора каким-либо образом называется поляризацией света. В зависимости от того, какую линию описывает конец вектора \vec{E} , различают эллиптически поляризованный свет, поляризованный по кругу и линейно (или плоско-) поляризованный свет.

Глаз не отличает естественный свет от поляризованного, но имеется целый ряд явлений, свойственных только поляризованному свету, благодаря которым он и обнаруживается. Источниками линейно-поляризованного света являются лазеры. Получение поляризованного света из естественного возможно при разнообразных физических эффектах: прохождении света через анизотропные среды, отражении от поверхности диэлектриков и др. Устройства для получения поляризованного света называют **поляризаторами**.

Плоскость, проходящая через электрический вектор \vec{E} и направление распространения волны – вектор \vec{v} , называется плоскостью **поляризации** линейно-поляризованной волны.

Степень поляризации P света, прошедшего через поляризатор, определяется соотношением:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}, \quad (1)$$

где I_{min} , I_{max} – минимальная и максимальная интенсивность света.

Оптической осью кристалла называется направление в анизотропном кристалле, вдоль которого свет распространяется, не испытывая двойного лучепреломления.

Главной плоскостью или главным сечением одноосного кристалла для какого-либо луча, называется плоскость, проходящая через этот луч и оптическую ось кристалла.

Всякий поляризатор может быть использован для исследования поляризованного света, т. е. в качестве анализатора. Пусть на анализатор падает линейно-поляризованная волна с амплитудой напряжённости электрического поля E_0 , а плоскость колебаний этой волны образует с плоскостью главного сечения поляризатора угол φ .

Интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды напряжённости электрического поля: $I_0 \sim (E_0^2)$. В световой волне на выходе анализатора амплитуда напряжённости электрического поля равна $E_0 \cos \varphi$, а интенсивность света:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi. \quad (2)$$

Соотношение (2) выражает закон Малюса: интенсивность плоскополяризованного света, вышедшего из анализатора, равна произведению интенсивности плоскополяризованного света, падающего на анализатор, на квадрат косинуса угла между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

Способы получения плоскополяризованного света.

1. *Отражение света от поверхности диэлектрика.* Отражённый от диэлектрика свет всегда частично поляризован. Степень поляризации отражённого луча зависит от относительного показателя преломления n_{12} и от угла падения α . При падении луча естественного света (\vec{E}) на плоскость под некоторым углом, называемым углом Брюстера α_B ,

отражённый луч E_{\perp} полностью поляризован, а преломленный – частично поляризован. Соотношение

$$\operatorname{tg}\alpha_B = n_{21} \quad (3)$$

отражает закон Брюстера. Плоскость колебаний вектора \vec{E} в отражённом свете перпендикулярна плоскости падения.

Существование угла Брюстера легко понять, если учесть, что отражённая волна – результат излучения электромагнитных волн электронами среды, совершающими колебания под действием преломлённой волны. В случае ортогональности отражённой и преломлённой волн колебания электронов, возбуждаемые компонентом E_{\parallel} , совпадают по направлению с отражённой волной и их излучение не даст вклада в её интенсивность. В результате в отражённой волне отсутствует компонент E_{\parallel} (рис. 1).

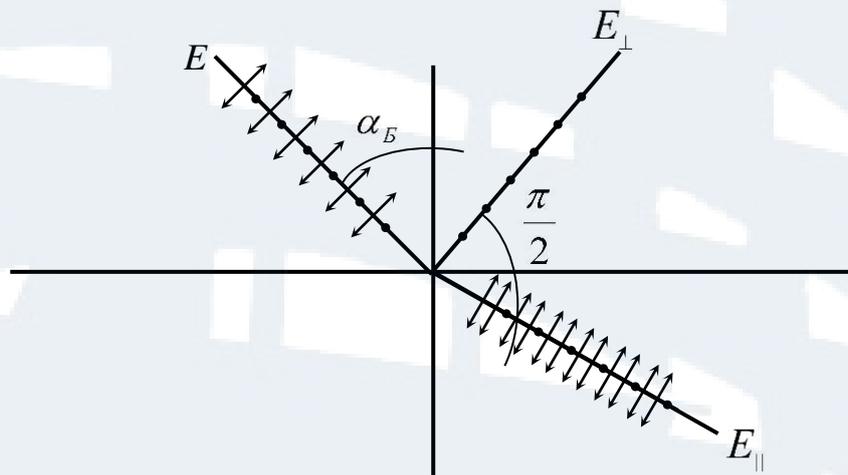


Рис. 1. Отраженный луч полностью поляризован

Если на диэлектрик под углом Брюстера падает плоскополяризованный свет, у которого вектор \vec{E} лежит в плоскости падения, то отраженный луч будет отсутствовать (рис. 2). Именно это свойство используется в данной работе.

2. *Преломление света в стопе стеклянных пластин.* Для увеличения степени поляризации проходящего света используют стопу стеклянных пластин, расположенных под углом Брюстера к падающему свету. В этом случае можно получить практически полностью поляризованный свет.

3. *Двойное лучепреломление.* Некоторые кристаллы обладают свойством двойного лучепреломления. Преломляясь в таком кристалле, световой луч разделяется на два линейно-поляризованных луча со взаимно перпендикулярными направлениями колебаний. Один из лучей

называется обыкновенным (o), второй – *необыкновенным* (e). Обыкновенный луч подчиняется законам преломления, а необыкновенный – нет. Отклоняя один из лучей в сторону, можно получить на выходе линейно поляризованный свет (на этом принципе работает призма Николя).

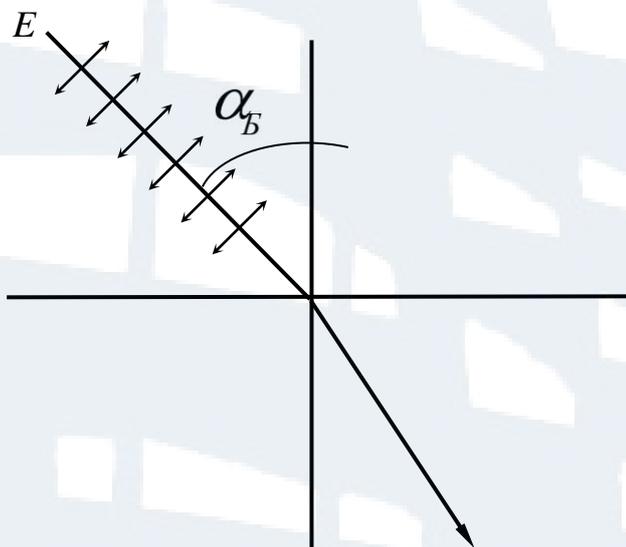


Рис. 2. Отсутствие отраженного луча

4. *Поляроиды*. В некоторых кристаллах (турмалин) одна из преломленных волн поглощается больше чем другая (явление дихроизма). Это явление положено в основу действия поляроидов, одного из видов поляризаторов. Поляроиды представляют собой обычно тонкие целлюлозные пленки с введенными в них одинаковым образом ориентированными кристалликами сульфата йодистого хинина. Пленка защищена от механических повреждений и действия влаги пластинками из стекла.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка (рис. 3) собрана на оптической скамье и включает следующие приборы:

- 1 – источник питания, регулятор интенсивности светового пучка;
- 2 – осветитель, источник естественного света;
- 3 – поляризатор (в работе используются 2 поляризатора);
- 4 – черное зеркало;
- 5 – фотоприёмник;
- 6 – прибор для измерения фототока (микроамперметр).
- 7 – оптическая скамья.

Поляризатор 3 заключён в оправу с лимбом, позволяющую вращать поляризатор вокруг горизонтальной оси. Чёрное зеркало крепится на площадке с лимбом, которую можно вращать вокруг вертикальной оси.

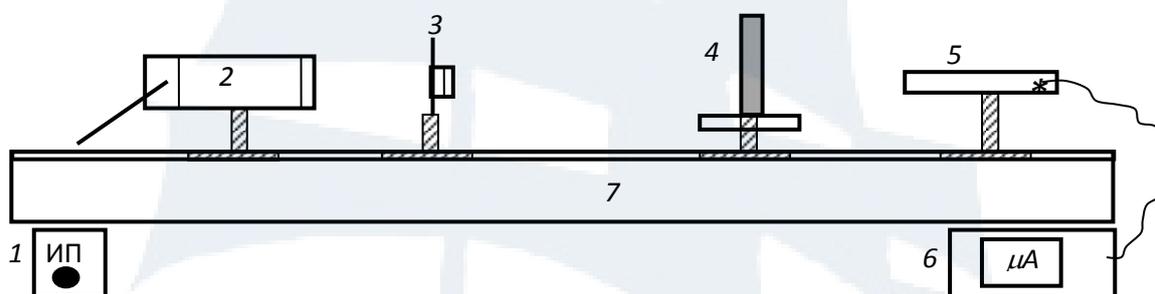


Рис. 3. Схема установки



Рис. 4. Внешний вид установки

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. Определение угла Брюстера и показателя преломления материала, из которого изготовлено черное зеркало.

1. На оптическую скамью установить осветитель 2, поляризатор 3 и черное зеркало 4.
2. Включить осветитель кнопкой «сеть» на источнике питания.
3. Установить показания на шкале поляризатора «0», на шкале чёрного зеркала 45° .
4. Прошедший сквозь поляризатор и **отражённый** от зеркала свет наблюдают сбоку, при этом наблюдатель располагается так, чтобы изображение осветителя после отражения от черного зеркала было видно вблизи оси поворота зеркала. Поворачивая плоскость поляроида во-

круг направления луча, можно заметить, что яркость отражения в чёрном зеркале изменяется. Плоскость поляроида нужно оставить в том положении, когда яркость минимальна. После этого вращают зеркало вокруг вертикальной оси, добиваясь минимальной интенсивности отраженного света, и наблюдают отраженный от зеркала свет. Поворачивая по очереди на небольшие углы поляриод и зеркало, уточнить их положения по визуально наблюдаемому минимуму отражения в чёрном зеркале. Записать угол поворота чёрного зеркала α_B . Измерения провести 4 раза. Найти среднее значение $\langle \alpha_B \rangle$ и определить $\Delta \alpha_B$ как ошибку прямого измерения. Все данные и расчеты занести в табл. 1.

5. По углу Брюстера определить коэффициент преломления материала, из которого изготовлено зеркало, используя формулу (3). Ошибку измерений определить по формуле:

$$\Delta n = \frac{\Delta \alpha_B}{\cos^2 \alpha_B}. \quad (4)$$

Таблица 1

α_{B1}	α_{B2}	α_{B3}	α_{B4}	$\langle \alpha_B \rangle$	$\Delta \alpha_B$	n	Δn

Упражнение 2. Изучение закона Малюса.

1. Установить на оптической скамье 7 поляризатор, анализатор и фотоприемник 5.

2. Фотоприемник подключить к микроамперметру 6.

3. Включить микроамперметр, предварительно установив шкалу измерений на «10».

4. Установить шкалы поляризатора и анализатора на «0».

5. Вращая анализатор, добиться максимального отклонения стрелки микроамперметра. Согласно формуле (2), для этого положения $\varphi = 0, I = I_0$.

6. Вращая анализатор в пределах полного оборота, выписать показания микроамперметра через каждые 30° , данные записать в табл. 2.

7. Построить график экспериментальной зависимости $\frac{I}{I_0} = f(\varphi)$

в полярных координатах. Для этого на каждом луче, проведённом из центра O под углом φ , в выбранном масштабе отложить значение вели-

чин $\frac{I}{I_0}$, соответствующих этому углу φ . Точки соединить плавной кри-

вой. На этом же чертеже аналогичным образом построить теоретическую зависимость $\cos^2 \varphi = f(\varphi)$.

8. Сделать вывод о выполнении закона Малюса и определить степень поляризации по формуле (1).

Таблица 2

№ измерения	φ анализатора	I , мкА	$\frac{I}{I_0}$	$\cos^2 \varphi$
1	0°			
2	30°			
3	60°			
4	90°			
5	120°			
6	150°			
7	180°			
8	210°			
9	240°			
10	270°			
11	300°			
12	330°			
13	360°			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. Какой свет называется поляризованным?
2. Перечислите способы получения поляризованного света.
3. Сформулируйте законы Малюса и Брюстера.
4. Покажите, что при выполнении условия Брюстера отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.
5. Какой вектор называют световым?
6. Чему равна интенсивность плоскополяризованного света, вышедшего из поляризатора, если на поляризатор падает естественный свет интенсивности $I_{ест}$?
7. В чем заключается явление двойного лучепреломления? Где это явление используется?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-9

Изучение спектра излучения ртутной лампы и определение постоянной Планка

Цель работы: изучить спектры излучения нагретых тел, произвести градуировку монохроматора, определить постоянную Планка.

ВВЕДЕНИЕ

Нагретые твердые тела являются источниками излучения электромагнитных волн различной длины. Спектры излучения бывают нескольких видов. Так, если на пути света, излучённого спиралью лампы накаливания, поставить призму, то на экране будет наблюдаться **сплошной** спектр. Вещества в газообразном атомарном и молекулярном состоянии дают соответственно **линейчатый** и **полосатый** спектры.

Поставим между лампой накаливания и призмой кювету с водным раствором $K_2Cr_2O_7$, при этом в коротковолновой (зеленой) области спектра наблюдается темная полоса. Это происходит потому, что данный раствор в этой части спектра поглощает электромагнитное излучение. Причина такого поглощения следующая: ионы Cr_2O_7 в водном растворе $K_2Cr_2O_7$, могут диссоциировать согласно уравнению:



где ΔW – энергия, необходимая для диссоциации одного иона. Если энергия кванта, проходящего через раствор: $\varepsilon = \hbar\omega = h\nu$, больше или равна энергии ΔW , необходимой для разложения одного иона, т. е. $\varepsilon \geq \Delta W$, то фотон будет поглощён ионом Cr_2O_7 и его энергия пойдёт на диссоциацию. Таким образом, все кванты, энергия которых больше некоторой предельной, будут поглощаться раствором $K_2Cr_2O_7$.

Пусть наименьшая энергия, достаточная для диссоциации иона равна $\varepsilon = \Delta W$, тогда:

$$\Delta W = \hbar\omega_{min} = \frac{2\pi c\hbar}{\lambda_{max}},$$

где c – скорость света в вакууме; λ_{max} – длина волны, соответствующая границе поглощения излучения в сплошном спектре при прохождении света через раствор; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка.

Определив опытным путем λ_{max} , можно вычислить постоянную Планка по формуле:

$$h = \frac{\Delta W \lambda_{max}}{2\pi c}, \quad (1)$$

где $\Delta W = 3,64 \cdot 10^{-19}$ Дж; $c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ – скорость света в вакууме.

Длину волны λ_{max} можно определить с помощью призмного спектрометра (монохроматора). Для этого предварительно необходимо произвести **градуировку прибора по эталонному спектру** (в нашей работе – спектру ртути), т. е. **снять зависимость по шкале прибора φ^0 от длины волны λ** . Построив градуировочный график, можно найти λ_{max} , предварительно определив отсчёт φ_{max}^0 , соответствующий границе поглощения (рис. 1).

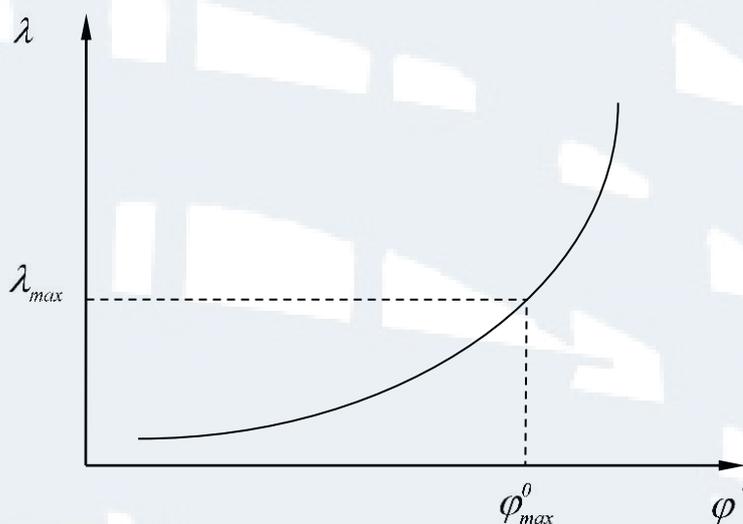


Рис. 1. Градуировочный график

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из источников света – в одном случае ртутной лампы, в другом – лампы накаливания, кюветы с поглощающим раствором и спектрального призмного прибора – монохроматора. Ртутная лампа является источником линейчатого спектра и служит для градуировки монохроматора. Лампа накаливания является источником сплошного спектра и служит для определения длины волны, соответствующей границе поглощения λ_{max} с помощью градуировочного графика моно-

хроматора. Коротковолновая часть этого спектра поглощается кюветой с раствором $K_2Cr_2O_7$.

Схема лабораторной установки показана на рис. 2.

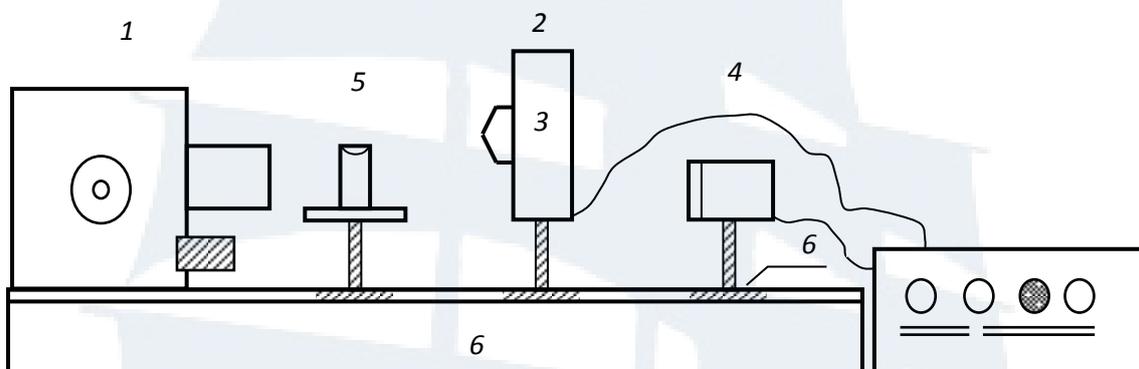


Рис. 2. Схема установки:

1 – монохроматор; 2 – ртутная лампа; 3 – блок питания; 4 – лампа накаливания; 5 – кювета с раствором $K_2Cr_2O_7$; 6 – оптическая скамья

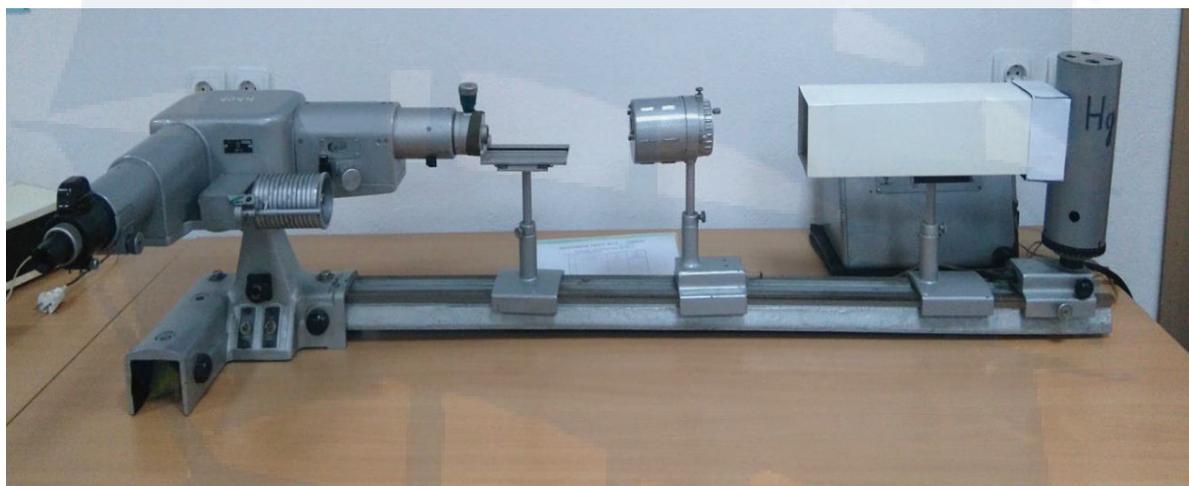


Рис. 3. Внешний вид установки

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Градуировка монохроматора.

1. Убедитесь, что на оптической скамье находится только ртутная лампа.

2. Включите блок питания и зажгите ртутную лампу. **Внимание!** Во избежание повреждения сетчатки глаза ультрафиолетовыми

лучами, избегайте прямого попадания излучения ртутной лампы в глаза.

3. Наблюдая линейчатый спектр ртутной лампы через окуляр зрительной трубы, добейтесь резкого изображения линий.

4. Снимите отсчеты, соответствующие девяти спектральным линиям, изображённым на стандартной таблице (смотрите спектр излучения атомов ртути). Цвет линии, длину волны λ (взять из таблицы) и отсчёт по барабану монохроматора, соответствующий данной длине волны, запишите в табл. 1.

Таблица 1

N_0 n/n	Цвет линии	$\lambda, \text{Å}$	φ^0
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

5. Длина волны в таблице указана в ангстремах, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$. Для отсчёта положения спектральной линии её центр совмещают с остриём указателя. Отсчёт производится по делениям барабана φ^0 .

6. Выключите ртутную лампу.

Задание 2. Определение границы поглощения сплошного спектра.

1. Установите на оптическую скамью лампу накаливания. Включите её и, вращая барабан монохроматора, наблюдайте в окуляре сплошной спектр. Установите в поле зрения зелёный свет.

2. Поместите кювету с раствором $K_2Cr_2O_7$ перед щелью монохроматора.

3. Наблюдая сплошной спектр, найдите границу поглощения и, совмещая с ней указатель, снимите отсчёт по барабану. Измерения повторите 5 раз, каждый раз вращением барабана смещая указатель на несколько десятков делений влево или вправо от границы поглощения. Результаты запишите в табл. 2.

Таблица 2

$\frac{N_0}{n/n}$	φ^0_{max}	$\langle \varphi^0_{max} \rangle$	$\langle \lambda_{max} \rangle, \text{ \AA}$
1			
2			
3			
4			
5			

4. После окончания работы выключите установку.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Найдите среднее значение отсчёта $\langle \varphi^0_{max} \rangle$, соответствующего границе поглощения. Результаты запишите в табл. 2.
2. Постройте градуировочный график $\lambda = f(\varphi)$.
3. По градуировочному графику, зная φ^0_{max} , найдите длину волны, соответствующую границе поглощения $\langle \lambda_{max} \rangle$. По формуле (1) рассчитайте постоянную Планка \hbar . Сравните найденное значение \hbar с табличным.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ для сдачи работы

1. Какие виды спектров электромагнитного излучения существуют?
2. Где и для чего в установке используется явление дисперсии?
3. Опишите связь линейчатых спектров со структурой энергетических уровней атомов (на примере атома водорода).
4. В чём заключается гипотеза Планка?
5. Что называется постоянной Планка, какова её размерность?
6. По какой формуле определяется минимальная порция энергии излучения?
7. Какой спектр называется линейчатым? Описать его возникновение.
8. Какой спектр называется сплошным? Описать его возникновение.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В процессе изучения курса физики студент-заочник должен выполнить четыре контрольные работы: № 1 по разделу «Механика», № 2 по разделам «Молекулярная физика и термодинамика», № 3 по разделам «Электричество и магнетизм», № 4 по разделам «Оптика. Элементы атомной физики и квантовой механики».

Контрольные работы должны быть сданы **на проверку до начала каждой сессии!**

Студент-заочник выбирает тот вариант контрольной работы, номер которого совпадает с последней цифрой номера его зачетной книжки. Номера задач необходимо выбирать согласно таблицам, данным к каждой контрольной работе.

При выполнении контрольных работ необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Контрольные работы выполняются только по условиям задач данного пособия.

2. Контрольные работы выполняются в школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения о студенте-заочнике: специальность, учебная группа, номер варианта Ф.И.О. студента.

3. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля. Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы.

4. **Все записи выполняются только от руки!**

5. Условия задач переписываются полностью без сокращений.

6. Далее записываются краткие условия задачи с переводом единиц измерения в систему СИ.

7. Обязательно, там, где это возможно, аккуратно карандашом с помощью чертежных принадлежностей следует выполнить рисунок, поясняющий содержание задачи.

8. Далее нужно записать решение в общем виде. Решение сопровождается краткими, но исчерпывающими пояснениями. Обязательно сформулировать **законы**, на которых базируется решение. **Разъяснить буквенные обозначения в формулах.**

9. Получив решение в общем виде, нужно проверить его размерность. Для этого в правую часть полученной рабочей формулы вместо буквенных обозначений нужно подставить соответствующие единицы измерений в системе СИ, произвести с ними необходимые действия.

10. Убедившись в правильности общего решения, подставить в него вместо буквенных обозначений числовые значения. Произвести вычисления, руководствуясь правилами приближенных вычислений.

11. После проверки преподавателем контрольной работы студент обязан выполнить указания согласно полученной рецензии.

12. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с незачтенной.

13. Зачтенные контрольные работы предъявляются экзаменатору. Студент должен быть готов во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1 **Механика**

Таблица 1

Вариант	Номера задач							
0	101	111	121	131	141	151	161	171
1	102	112	122	132	142	152	162	172
2	103	113	123	133	143	153	163	173
3	104	114	124	134	144	154	164	174
4	105	115	125	135	145	155	165	175
5	106	116	126	136	146	156	166	176
6	107	117	127	137	147	157	167	177
7	108	118	128	138	148	158	168	178
8	109	119	129	139	149	159	169	179
9	110	120	130	140	150	160	170	180

Задачи к контрольной работе № 1

101. Корабль движется по экватору на восток со скоростью $v_1 = 30$ км/ч. С юго-востока под углом $\varphi = 60^\circ$ к экватору дует ветер со скоростью $v_2 = 15$ км/ч. Найти скорость v ветра относительно корабля и угол φ между экватором и направлением ветра в системе отсчёта, связанной с кораблём.

102. Два пловца должны попасть из точки А на одном берегу в прямо противоположную точку В на другом берегу. Для этого один из них решил переплыть реку по прямой АВ, другой же – всё время держать курс перпендикулярно к течению, а расстояние, на которое его

снесёт, пройти пешком по берегу со скоростью v . При каком значении v оба пловца достигнут точки В за одинаковое время, если скорость течения $v_1 = 2,0$ км/ч и скорость каждого пловца относительно воды $v_2 = 2,5$ км/ч?

103. От бакена, который находится на середине широкой реки, отошли две лодки, А и В. Обе лодки стали двигаться по взаимно перпендикулярным прямым: лодка А – вдоль реки, а лодка В – поперёк. Удалившись на одинаковое расстояние от бакена, лодки вернулись затем обратно. Найти отношения движения времён лодок τ_A/τ_B , если скорость каждой лодки относительно воды в $\eta = 1,2$ раза больше скорости течения.

104. Лодка движется относительно воды со скоростью в $n = 2,0$ раза меньше скорости течения реки. Под каким углом к направлению течения лодка должна держать курс, чтобы её снесло течением как можно меньше?

105. Два тела бросили одновременно из одной точки: одно – вертикально вверх, другое – под углом $\zeta = 60^\circ$ к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти расстояние между телами через $t = 1,70$ с.

106. Две частицы движутся с ускорением g в однородном поле тяжести. В начальный момент частицы находились в одной точке и имели скорости $v_{01} = 3,0$ м/с и $v_{02} = 4,0$ м/с, направленные горизонтально и в противоположные стороны. Найти расстояние между частицами в момент, когда векторы их скоростей окажутся взаимно перпендикулярными.

107. Три точки находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной a . Они начинают одновременно двигаться с постоянной по модулю скоростью v , причём первая точка всё время держит курс на вторую, вторая – на третью, третья – на первую. Через сколько времени точки встретятся?

108. Точка А движется равномерно со скоростью \vec{v} так, что вектор \vec{v} всё время «нацелен» на точку В, которая в свою очередь движется прямолинейно и равномерно со скоростью $u > v$. В начальный момент \vec{v} перпендикулярна \vec{u} и расстояние между точками равно L . Через сколько времени точки встретятся?

109. Кабина лифта, у которой расстояние от пола до потолка равно 2,7 м, начала подниматься с постоянным ускорением $1,2$ м/с². Через 2,0 с после начала подъёма с потолка кабины стал падать болт. Найти:

а) время свободного падения болта;

б) перемещение и путь болта за время свободного падения в системе отсчёта, связанной с шахтой лифта.

110. Две частицы, 1 и 2, движутся с постоянными скоростями v_1 и v_2 по двум взаимно перпендикулярным к точке их пересечения O . В момент $t = 0$ частицы находились на расстоянии L_1 и L_2 от точки O . Через сколько времени после этого расстояние между частицами станет наименьшим? Чему оно равно?

111. Наклонная плоскость, образующая угол $\alpha = 25^\circ$ с плоскостью горизонта, имеет длину $l = 2$ м. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за время $t = 2$ с. Определить коэффициент трения μ тела о плоскость.

112. Материальная точка массой $m = 2$ кг движется под действием некоторой силы F согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1$ м/с², $D = -0,2$ м/с³. Найти значения этой силы в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 5$ с. В какой момент времени сила равна нулю?

113. Молот массой $m = 1$ т падает с высоты $h = 2$ м на наковальню. Длительность удара $\tau = 0,01$ с. Определить среднее значение силы $\langle F \rangle$ удара.

114. Шайба, пущенная по поверхности льда с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с, остановилась через $t = 40$ с. Найти коэффициент трения μ шайбы о лед.

115. Материальная точка массой $m = 1$ кг, двигаясь равномерно, описывает четверть окружности радиусом $r = 1,2$ м в течение времени $t = 2$ с. Найти изменение Δp импульса точки.

116. Тело массой $m = 5$ кг брошено под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти: 1) импульс силы F , действующей на тело, за время его полета; 2) изменение Δp импульса тела за время полета.

117. Шарик массой $m = 100$ г упал с высоты $h = 2,5$ м на горизонтальную плиту, масса которой много больше массы шарика, и отскочил от нее вверх. Считая удар абсолютно упругим, определить импульс p , полученный плитой.

118. Шарик массой $m = 300$ г ударился о стену и отскочил от нее. Определить импульс p_1 , полученный стеной, если в последний момент перед ударом шарик имел скорость $v_0 = 10$ м/с, направленную под углом $\alpha = 30^\circ$ к поверхности стены. Удар считать абсолютно упругим.

119. Гладкий наклонный желоб имеет в нижней части горизонтальный участок. По желобу соскальзывает с высоты $h = 2$ м брусок массой $m = 0,2$ кг. Начальная скорость v_0 бруска равна нулю. Опреде-

лить изменение Δp импульса бруска и импульс p , полученный желобом при движении тела.

120. Ракета массой $m = 1$ т, запущенная с поверхности Земли вертикально вверх, поднимается с ускорением $a = 2g$. Скорость v струи газов, вырывающихся из сопла, равна 1200 м/с. Найти расход горючего.

121. Катер массой $m = 2$ т с двигателем мощностью $N = 50$ кВт развивает максимальную скорость $v_{max} = 25$ м/с. Определить время t , в течение которого катер после выключения двигателя потеряет половину своей скорости. Принять, что сила сопротивления движению катера изменяется пропорционально квадрату скорости.

122. Снаряд массой $m = 10$ кг выпущен из зенитного орудия вертикально вверх со скоростью $v_0 = 800$ м/с. Считая силу сопротивления воздуха пропорциональной скорости, определить время t подъема снаряда до высшей точки. Коэффициент сопротивления $k = 0,25$ кг/с.

123. С вертолета, неподвижно висящего на некоторой высоте над поверхностью Земли, сброшен груз массой $m = 100$ кг. Считая, что сила сопротивления воздуха изменяется пропорционально скорости, определить, через какой промежуток времени τ ускорение a груза будет равно половине ускорения свободного падения. Коэффициент сопротивления $k = 10$ кг/с.

124. Моторная лодка массой $m = 400$ кг начинает двигаться по озеру. Сила тяги F мотора равна $0,2$ кН. Считая силу сопротивления F_c пропорциональной скорости, определить скорость v лодки через $\tau = 20$ с после начала ее движения. Коэффициент сопротивления $k = 20$ кг/с.

125. Катер массой $m = 2$ т трогается с места и в течение времени $\tau = 10$ с развивает, при движении по спокойной воде, скорость $v = 4$ м/с. Определить силу тяги F мотора, считая ее постоянной. Принять силу сопротивления F_c движению пропорциональной скорости; коэффициент сопротивления $k = 100$ кг/с.

126. Начальная скорость v_0 пули равна 800 м/с. При движении в воздухе за время $t = 0,8$ с ее скорость уменьшилась до $v = 200$ м/с. Масса m пули равна 10 г. Считая силу сопротивления воздуха пропорциональной квадрату скорости, определить коэффициент сопротивления k . Действием силы тяжести пренебречь.

127. Парашютист, масса которого $m = 80$ кг, совершает затяжной прыжок. Считая, что сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости, определить, через какой промежуток времени τ скорость движения парашютиста будет равна $0,9$ от скорости установившегося движения. Коэффициент сопротивления равен $k = 10$ кг/с. Начальная скорость парашютиста равна нулю.

128. В лодке массой $m_1 = 240$ кг стоит человек массой $m_2 = 60$ кг. Лодка плывет со скоростью $v_1 = 2$ м/с. Человек прыгает с лодки в горизонтальном направлении со скоростью $v = 4$ м/с (относительно лодки). Найти скорость u движения лодки после прыжка человека в двух случаях: 1) человек прыгает вперед по движению лодки и 2) в сторону, противоположную движению лодки.

129. На полу стоит тележка в виде длинной доски, снабженной легкими колесами. На одном конце доски стоит человек. Масса человека $M = 60$ кг, масса доски $m = 20$ кг. С какой скоростью v (относительно пола) будет двигаться тележка, если человек пойдет вдоль доски со скоростью (относительно доски) $u = 1$ м/с? Массой колес пренебречь. Трение во втулках не учитывать.

130. На железнодорожной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием $M = 15$ т. Орудие стреляет вверх под углом $\varphi = 60^\circ$ к горизонту в направлении пути. С какой скоростью v_1 покатится платформа вследствие отдачи, если масса снаряда $m = 20$ кг и он вылетает со скоростью $v_2 = 600$ м/с?

131. Снаряд массой $m = 10$ кг обладал скоростью $v = 200$ м/с в верхней точке траектории. В этой точке он разорвался на две части: меньшая массой $m_1 = 3$ кг получила скорость $u_1 = 400$ м/с в прежнем направлении. Найти скорость u_2 второй, большей части после разрыва.

132. Два конькобежца массами $m_1 = 80$ кг и $m_2 = 50$ кг, держась за концы длинного натянутого шнура, неподвижно стоят на льду один против другого. Один из них начинает укорачивать шнур, выбирая его со скоростью $v = 1$ м/с. С какими скоростями u_1 и u_2 будут двигаться по льду конькобежцы? Трением пренебречь.

133. Диск радиусом $R = 40$ см вращается вокруг вертикальной оси. На краю диска лежит кубик. Принимая коэффициент трения $\mu = 0,4$, найти частоту n вращения, при которой кубик соскользнет с диска.

134. Акробат на мотоцикле описывает «мертвую петлю» радиусом $r = 4$ м. С какой наименьшей скоростью v_{min} должен проезжать акробат верхнюю точку петли, чтобы не сорваться?

135. К шнуру подвешена гиря. Гирию отвели в сторону так, что шнур принял горизонтальное положение, и отпустили. Как велика сила T натяжения шнура в момент, когда гиря проходит положение равновесия? Какой угол φ с вертикалью составляет шнур в момент, когда сила натяжения шнура равна силе тяжести гири?

136. Мотоцикл едет по внутренней поверхности вертикального цилиндра радиусом $R = 11,2$ м. Центр тяжести мотоцикла с человеком расположен на расстоянии $l = 0,8$ м от поверхности цилиндра. Коэффи-

коэффициент трения μ покрышек о поверхность цилиндра равен 0,6. С какой минимальной скоростью v_{min} должен ехать мотоциклист? Каков будет при этом угол φ наклона его к плоскости горизонта?

137. Материальная точка массой $m = 3$ кг двигалась под действием некоторой силы, направленной вдоль оси Ox согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $A = 12$ м, $B = -2$ м/с, $C = 2$ м/с², $D = -0,2$ м/с³. Найти мощность N , затрачиваемую на движение точки, в моменты времени $t_1 = 3$ с и $t_2 = 6$ с.

138. С какой наименьшей высоты h должен начать скатываться акробат на велосипеде (не работая ногами), чтобы проехать по дорожке, имеющей форму «мертвой петли» радиусом $R = 4$ м, и не оторваться от дорожки в верхней точке петли? Трением пренебречь.

139. Камешек скользит с наивысшей точки купола, имеющего форму полусферы. Какую дугу α опишет камешек, прежде чем оторвется от поверхности купола? Трением пренебречь.

140. Мотоциклист едет по горизонтальной дороге. Какую наименьшую скорость v он должен развить, чтобы, выключив мотор, проехать по треку, имеющему форму «мертвой петли» радиусом $R = 4$ м? Трением и сопротивлением воздуха пренебречь.

141. При выстреле из орудия снаряд массой $m_1 = 10$ кг получает кинетическую энергию $T_1 = 1,8$ МДж. Определить кинетическую энергию T_2 ствола орудия вследствие отдачи, если масса m_2 ствола орудия равна 600 кг.

142. Ядро атома распадается на два осколка массами $m_1 = 1,6 \cdot 10^{-25}$ кг и $m_2 = 2,4 \cdot 10^{-25}$ кг. Определить кинетическую энергию T_2 второго осколка, если энергия T_1 первого осколка равна 18 нДж.

143. Тонкий однородный стержень длиной $l = 50$ см и массой $m = 400$ г вращается с угловым ускорением $\varepsilon = 3$ рад/с² около оси, проходящей перпендикулярно стержню через его середину. Определить вращающий момент M .

143. На горизонтальную ось насажены маховик и легкий шкив радиусом $R = 5$ см. На шкив намотан шнур, к которому привязан груз массой $m = 0,4$ кг. Опускаясь равноускоренно, груз прошел путь $S = 1,8$ м за время $t = 3$ с. Определить момент инерции маховика. Массу шкива считать пренебрежимо малой.

144. Вал массой $m = 100$ кг и радиусом $R = 5$ см вращался с частотой $n = 8$ с⁻¹. К цилиндрической поверхности вала прижали тормозную колодку с силой $F = 40$ Н, под действием которой вал остановился через $t = 10$ с. Определить коэффициент трения μ .

145. На цилиндр намотана тонкая гибкая нерастяжимая лента, массой которой по сравнению с массой цилиндра можно пренебречь. Свободный конец ленты прикрепили к кронштейну и предоставили цилиндру опускаться под действием силы тяжести. Определить линейное ускорение a оси цилиндра, если цилиндр: 1) сплошной; 2) полый тонкостенный.

146. Через блок, имеющий форму диска, перекинут шнур. К концам шнура привязали грузики массой $m_1 = 100$ г и $m_2 = 110$ г. С каким ускорением a будут двигаться грузики, если масса m блока равна 400 г? Трение при вращении блока ничтожно мало.

147. Через неподвижный блок массой $m = 0,2$ кг перекинут шнур, к концам которого подвесили грузы массами $m_1 = 0,3$ кг и $m_2 = 0,5$ кг. Определить силы натяжения T_1 и T_2 шнура по обе стороны блока во время движения грузов, если масса блока равномерно распределена по ободу.

148. Шар массой $m = 10$ кг и радиусом $R = 20$ см вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Уравнение вращения шара имеет вид $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$, где $B = 4$ рад/с², $C = -1$ рад/с³. Найти закон изменения момента сил, действующих на шар. Определить момент сил M в момент времени $t = 2$ с.

149. Человек стоит на скамье Жуковского и ловит рукой мяч массой $m = 0,4$ кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью $v = 20$ м/с. Траектория мяча проходит на расстоянии $r = 0,8$ м от вертикальной оси вращения скамьи. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться скамья Жуковского с человеком, поймавшим мяч, если суммарный момент инерции J человека и скамьи равен 6 кг·м²?

150. На краю горизонтальной платформы, имеющей форму диска радиусом $R = 2$ м, стоит человек массой $m_1 = 80$ кг. Масса m_2 платформы равна 240 кг. Платформа может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр. Пренебрегая трением, найти, с какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если человек будет идти вдоль ее края со скоростью $v = 2$ м/с относительно платформы.

151. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой $m_1 = 60$ кг. На какой угол φ повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя его, вернется в исходную точку на платформе? Масса m_2 платформы равна 240 кг. Момент инерции J человека рассчитывать, как для материальной точки.

152. Платформа в виде диска радиусом $R = 1$ м вращается по инерции с частотой $n_1 = 6$ мин⁻¹. На краю платформы стоит человек,

масса которого равна 80 кг. С какой частотой n будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции J платформы равен $120 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Момент инерции человека рассчитывать, как для материальной точки.

153. В центре скамьи Жуковского стоит человек и держит в руках стержень длиной $l = 2,4 \text{ м}$ и массой $m = 8 \text{ кг}$, расположенный вертикально по оси вращения скамьи. Скамья с человеком вращается с частотой $n_1 = 1 \text{ с}^{-1}$. С какой частотой n_2 будет вращаться скамья с человеком, если он повернет стержень в горизонтальное положение? Суммарный момент инерции J человека и скамьи равен $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

154. Человек стоит на скамье Жуковского и держит в руках стержень, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамьи. Стержень служит осью вращения колеса, расположенного на верхнем конце стержня. Скамья неподвижна, колесо вращается с частотой $n = 10 \text{ с}^{-1}$. Радиус R колеса равен 20 см, его масса $m = 3 \text{ кг}$. Определить частоту вращения n_2 скамьи, если человек повернет стержень на угол 180° ? Суммарный момент инерции J человека и скамьи равен $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Массу колеса можно считать равномерно распределенной по ободу.

155. Кинетическая энергия T вращающегося маховика равна 1 кДж. Под действием постоянного тормозящего момента маховик начал вращаться равнозамедленно и, сделав $N = 80$ оборотов, остановился. Определить момент M силы торможения.

156. Маховик, момент инерции J которого равен $40 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, начал вращаться равноускоренно из состояния покоя под действием момента силы $M = 20 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Вращение продолжалось в течение $t = 10 \text{ с}$. Определить кинетическую энергию T , приобретенную маховиком.

157. Пуля массой $m = 10 \text{ г}$ летит со скоростью $v = 800 \text{ м/с}$, вращаясь около продольной оси с частотой $n = 3\,000 \text{ с}^{-1}$. Принимая пулю за цилиндр диаметром $d = 8 \text{ мм}$, определить полную кинетическую энергию T пули.

158. Сплошной цилиндр массой $m = 4 \text{ кг}$ катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Линейная скорость v оси цилиндра равна 1 м/с. Определить полную кинетическую энергию T цилиндра.

159. Обруч и сплошной цилиндр, имеющие одинаковую массу $m = 2 \text{ кг}$, катятся без скольжения с одинаковой скоростью $v = 5 \text{ м/с}$. Найти кинетические энергии T_1 и T_2 этих тел.

160. Шар катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Полная кинетическая энергия T шара равна 14 Дж. Определить кинетическую энергию T_1 поступательного и T_2 вращательного движения шара.

161. Определить линейную скорость v центра шара, скатившегося без скольжения с наклонной плоскости высотой $h = 1$ м.

162. Сколько времени t будет скатываться без скольжения обруч с наклонной плоскости длиной $l = 2$ м и высотой $h = 10$ см?

163. Тонкий прямой стержень длиной $l = 1$ м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Стержень отклонили на угол $\varphi = 60^\circ$ от положения равновесия и отпустили. Определить линейную скорость v нижнего конца стержня в момент прохождения через положение равновесия.

164. Карандаш длиной $l = 15$ см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую ω и линейную v скорости будет иметь в конце падения: 1) середина карандаша? 2) верхний его конец? Считать, что трение настолько велико, что нижний конец карандаша не проскальзывает.

165. Центры масс двух одинаковых однородных шаров находятся на расстоянии $r = 1$ м друг от друга. Масса m каждого шара равна 1 кг. Определить силу F гравитационного взаимодействия шаров.

166. Как велика сила F взаимного притяжения двух космических кораблей массой $m = 10$ т каждый, если они сблизятся до расстояния $r = 100$ м?

167. Ракета, пущенная вертикально вверх, поднялась на высоту $h = 3\,200$ км и начала падать. Какой путь s пройдет ракета за первую секунду своего падения?

168. Радиус R планеты Марс равен $3,4 \cdot 10^6$ м, ее масса $M = 6,4 \cdot 10^{23}$ кг. Определить напряженность g гравитационного поля на поверхности Марса.

169. Радиус Земли в $n = 3,66$ раза больше радиуса Луны; средняя плотность Земли в $k = 1,66$ раза больше средней плотности Луны. Определить ускорение свободного падения g_L на поверхности Луны, если на поверхности Земли ускорение свободного падения g считать известным.

170. Радиус R малой планеты равен 250 км, средняя плотность $\rho = 3$ г/см³. Определить ускорение свободного падения g на поверхности планеты.

171. Масса Земли в $n = 81,6$ раза больше массы Луны. Расстояние l между центрами масс Земли и Луны равно $60,3 R$ (R – радиус Земли). На каком расстоянии r (в единицах R) от центра Земли находится точка, в которой суммарная напряженность гравитационного поля Земли и Луны равна нулю?

172. Искусственный спутник обращается вокруг Земли по окружности на высоте $h = 3,6 \cdot 10^6$ м. Определить линейную скорость v спутника. Радиус R Земли и ускорение свободного падения g на поверхности Земли считать известными.

173. Период T вращения искусственного спутника Земли равен 2 ч. Считая орбиту спутника круговой, найти, на какой высоте h над поверхностью Земли движется спутник.

174. Стационарный искусственный спутник движется по окружности в плоскости земного экватора, оставаясь все время над одним и тем же пунктом земной поверхности. Определить угловую скорость ω спутника и радиус R его орбиты.

175. Катер массы m движется по озеру со скоростью v_0 . В момент времени $t = 0$ выключили его двигатель. Считая силу сопротивления пропорциональной скорости катера, $F = -k v$, найти:

- а) время движения катера с выключенным двигателем;
- б) скорость катера в зависимости от пути, пройденного с выключенным двигателем, а так же полный путь до остановки.

176. Пуля, пробив доску толщиной h , изменила свою скорость от v_0 до v . Найти время движения пули в доске, силу сопротивления пропорциональной квадрату скорости.

177. Небольшой брусок начинает скользить по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. Коэффициент трения зависит от пройденного пути x по закону $k = \gamma x$, где γ – постоянная. Найти путь, пройденный бруском до остановки, и его максимальную скорость на этом пути.

178. На горизонтальной плоскости с коэффициентом трения k лежит тело массы m . В момент времени $t = 0$ к нему приложили горизонтальную силу, зависящую от времени как $F = bt$, где b – постоянный вектор. Найти путь, пройденный телом за первые t секунд действия этой силы.

179. Самолёт делает «мёртвую петлю» радиуса $R = 500$ м с постоянной скоростью $v = 360$ км/ч. Найти вес лётчика массы $m = 70$ кг в нижней, верхней и средней точках петли.

180. Шарик, подвешенный на нити, качается в вертикальной плоскости так, что его ускорение в крайнем и нижнем положениях равны по модулю друг другу. Найти угол ξ отклонения нити в крайнем положении.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2
Молекулярная физика и термодинамика

Таблица 2

<i>Вариант</i>	<i>Номера задач</i>							
0	201	211	221	231	241	251	261	271
1	202	212	222	232	242	252	262	272
2	203	213	223	233	243	253	263	273
3	204	214	224	234	244	254	264	274
4	205	215	225	235	245	255	265	275
5	206	216	226	236	246	256	266	276
6	207	217	227	237	247	257	267	277
7	208	218	228	238	248	258	268	278
8	209	219	229	239	249	259	269	279
9	210	220	230	240	250	260	270	280

Задачи к контрольной работе № 2

201. Определить число N атомов в 1 кг водорода и массу одного атома водорода.

202. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа при нормальных условиях равна 480 м/с. Сколько молекул содержит 1 г этого газа?

203. В сосуде вместимостью 1 л находится кислород массой 1 г. Определить концентрацию молекул кислорода в сосуде.

204. В сосуде вместимостью 5 л при нормальных условиях находится азот. Определить: 1) количество вещества ν ; 2) массу кислорода; 3) концентрацию n его молекул в сосуде.

205. Определить количество вещества водорода, заполняющего сосуд объёмом 3 л, если концентрация молекул газа в сосуде $2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$.

206. Определить давление, оказываемое газом на стенки сосуда, если его плотность равна $0,01 \text{ кг/м}^3$, а средняя квадратичная скорость молекул газа составляет 480 м/с.

207. Определить наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет $0,35 \text{ кг/м}^3$.

208. Найти число молекул водорода в 1 см^3 , если давление равно 200 мм рт. ст. Средняя квадратичная скорость его молекул при данных условиях равна $2\,400 \text{ м/с}^2$.

209. Определить: 1) наиболее вероятную v_b ; 2) среднюю арифметическую $\langle v \rangle$; 3) среднюю квадратичную $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ скорости молекул азота при 27°C .

210. Определить среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_0 \rangle$ поступательного движения молекул газа, находящегося под давлением $0,1$ Па. Концентрация молекул газа равна 10^{13} см $^{-3}$.

211. В закрытом сосуде вместимостью 20 л находятся водород массой 6 г и гелий массой 12 г. Определить давление и молярную массу газовой смеси в сосуде, если температура смеси $T = 300$ К.

212. Баллон вместимостью $V = 20$ л содержит смесь водорода и азота при температуре 290 К и давлении 1 МПа. Определить массу водорода, если масса смеси равна 150 г.

213. Определить плотность смеси газов водорода массой $m_1 = 8$ г и кислорода массой $m_2 = 64$ г при температуре $T = 290$ К и при давлении $0,1$ МПа. Газы считать идеальными.

214. В баллоне находилось 10 кг газа при давлении 10^7 Па. Найти, какое количество газа взяли из баллона, если окончательное давление стало равно $2,5 \cdot 10^6$ Па. Температуру газа считать постоянной.

215. Найти массу сернистого газа (SO_2), занимающего объём 25 л при температуре 27°C и давлении 760 мм рт. ст.

216. В баллоне вместимостью 15 л находится азот под давлением 100 кПа при температуре $t_1 = -27^\circ\text{C}$. После того как из баллона выпустили азот массой 14 г, температура газа стала равной $t_2 = 17^\circ\text{C}$. Определить давление азота, оставшегося в баллоне.

217. Азот массой 7 г находится под давлением $p = 0,1$ МПа и температуре $T_1 = 290$ К. Вследствие изобарного нагревания азот занял объём $V_2 = 10$ л. Определить: 1) объём V_1 газа до расширения; 2) температуру T_2 газа после расширения; 3) плотности газа до и после расширения.

218. В баллоне содержится газ при температуре $t_1 = 100^\circ\text{C}$. До какой температуры t_2 нужно нагреть газ, чтобы его давление увеличилось в два раза?

219. При нагревании идеального газа на $\Delta T = 1$ К при постоянном давлении, объём его увеличился на $1/350$ первоначального объёма. Найти начальную температуру T газа.

220. Польный шар объёмом $V = 10$ см 3 , заполненный воздухом при температуре $T_1 = 573$ К, соединили трубкой с чашкой, заполненной ртутью. Определить массу ртути, вошедшей в шар при остывании воздуха в нем до температуры $T_2 = 293$ К. Изменением объёма шара пренебречь.

221. Пылинки, взвешенные в воздухе, имеют массу 10^{-18} г. Во сколько раз уменьшится их концентрация при увеличении высоты на 10 м? Температура воздуха 300 К.

222. На какой высоте над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на ее поверхности? Считать, что температура воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

223. Барометр в кабине летящего вертолета показывает давление $p = 90$ кПа. На какой высоте h летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал давление $p_0 = 100$ кПа? Считать, что температура T воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

224. Определить отношение давления воздуха на высоте 1 км к давлению на дне скважины глубиной 1 км. Воздух у поверхности Земли находится при нормальных условиях, и его температура не зависит от высоты.

225. Определить относительное число w молекул идеального газа, скорости которых заключены в пределах от нуля до одной сотой наиболее вероятной скорости.

226. Водород находится при нормальных условиях и занимает объём $V = 1$ см³. Определить число N молекул в этом объёме, обладающих скоростями, меньшими некоторого значения $v_{\max} = 1$ м/с.

227. Какая часть молекул азота при 150 °С обладает скоростями от 30 м/с до 325 м/с?

228. В сосуде находится 8 г кислорода при температуре 1600 К. Какое число молекул кислорода имеет кинетическую энергию поступательного движения, превышающую значение $6,65 \cdot 10^{-20}$ Дж.

229. При какой температуре 50 % всех молекул имеют кинетическую энергию поступательного движения, превышающую 1 эВ.

230. Определить долю w молекул идеального газа, энергии которых отличаются от средней энергии поступательного движения молекул при той же температуре не более чем на 1 %.

231. Определять среднюю длину свободного пробега молекул углекислого газа при температуре 100 °С и давлении 0,1 мм рт. ст. Диаметр молекулы углекислого газа принять равным $3,2 \cdot 10^{-8}$ см.

232. Найти среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при нормальных условиях. Диаметр молекулы воздуха принять равным $3 \cdot 10^{-8}$ см.

233. Найти среднее число, столкновений в 1 с молекул азота при температуре 27 °С и давлении $p = 400$ мм рт. ст.

234. В сосуде объёмом 0,5 л находится кислород при нормальных условиях. Найти общее число столкновений между молекулами кислорода в этом объёме за 1 с.

235. Найти среднюю длину свободного пробега атомов гелия в условиях, когда плотность гелия $\rho = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$.

236. В сосуде находится углекислый газ, плотность которого $\rho = 1,7 \text{ кг/м}^3$; средняя длина свободного пробега его молекул при этих условиях равна $7,9 \cdot 10^{-6} \text{ см}$. Найти диаметр молекул углекислого газа.

237. Найти коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега молекул при этих условиях равна $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

238. Найти коэффициент диффузии гелия при нормальных условиях.

239. При каком давлении отношение коэффициента внутреннего трения некоторого газа к коэффициенту его диффузии равно 0,3 г/л, а средняя квадратичная скорость его молекул равна 632 м/с?

240. Найти коэффициент внутреннего трения азота при нормальных условиях, если коэффициент диффузии для него при этих условиях равен $0,142 \text{ см}^2/\text{с}$.

241. Считая азот идеальным газом, определить его удельную теплоёмкость: 1) для изобарного процесса; 2) для изохорного процесса.

242. В закрытом сосуде находится смесь азота массой $m_1 = 56 \text{ г}$ и кислорода массой $m_2 = 64 \text{ г}$. Определить изменение внутренней энергии этой смеси, если ее охладили на 20° .

243. Кислород массой 32 г находится в закрытом сосуде под давлением 0,1 МПа при температуре 290 К. После нагревания давление в сосуде повысилось в 4 раза. Определить: 1) объём сосуда; 2) температуру, до которой газ нагрели; количество теплоты, сообщенное газу.

244. Определить количество теплоты, сообщенное газу, если в процессе изохорного нагревания кислорода объёмом 20 л его давление изменилось на $\Delta p = 100 \text{ кПа}$.

245. Азот массой 280 г расширяется в результате изобарного процесса при давлении 1 МПа. Определить работу расширения и конечный объём газа, если на расширение затрачена теплота 5 кДж, а начальная температура азота 290 К.

246. Азот массой 14 г сжимают изотермически при температуре 300 К от давления 100 кПа до давления 500 кПа. Определить изменение внутренней энергии газа, работу сжатия и количество выделившейся теплоты.

247. Некоторый газ массой 1 кг находится при температуре 300 К и под давлением 0,5 МПа. В результате изотермического сжатия давление газа увеличилось в два раза. Работа, затраченная на сжатие, $A = -432$ кДж. Определить: 1) какой это газ; 2) первоначальный удельный объём газа.

248. Азот массой 50 г находится при температуре 280 К. В результате изохорного охлаждения его давление уменьшилось в 2 раза, а затем в результате изобарного расширения температура газа в конечном состоянии стала равной первоначальной. Определить работу, совершенную газом, и изменение внутренней энергии газа.

249. При адиабатическом расширении кислорода ($\nu = 2$ моль), находящегося при нормальных условиях, его объём увеличился в 3 раза. Определить изменение внутренней энергии газа и работу расширения газа.

250. Азот массой 1 кг занимает при температуре 300 К объём $0,5 \text{ м}^3$. В результате адиабатического сжатия давление газа увеличилось в 3 раза. Определить: 1) конечный объём газа; 2) его конечную температуру; 3) изменение внутренней энергии газа.

251. Идеальный двухатомный газ совершает цикл Карно, график которого изображен на рис. 1. Объёмы газа в состояниях В и С соответственно, $V_1 = 12$ л и $V_2 = 16$ л. Найти термический КПД цикла.

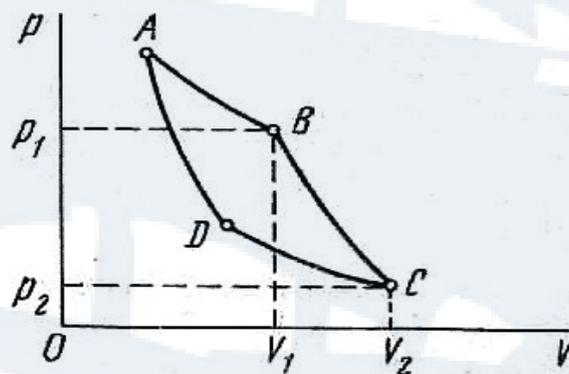


Рис. 1

252. Идеальный двухатомный газ, занимающий объём 2 л, подвергают адиабатическому расширению, в результате которого его объём возрос в $n = 5$ раз. После этого газ подвергли изобарному сжатию до первоначального объёма, а затем он в результате изохорного нагревания возвращен в первоначальное состояние. Построить график цикла и определить термический КПД цикла.

253. Рабочее тело (идеальный газ) теплового двигателя совершает цикл, состоящий из последующих процессов: изобарного, адиабатического и изотермического. Построить график этих процессов в координатах P и V и найти КПД цикла.

254. В результате изобарного процесса газ нагревается от 300 К до 600 К. Определить термический КПД теплового двигателя.

255. Азот массой 500 г, находящийся под давлением 1 МПа при температуре 127 °С, подвергли изотермическому расширению, в результате которого давление газа уменьшилось в $n = 3$ раза. После этого газ подвергли адиабатическому сжатию до начального давления, а затем он был изобарно сжат до начального объёма. Построить график цикла и определить работу, совершенную газом за цикл.

256. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, 70 % количества теплоты, полученной от нагревателя, отдает холодильнику. Количество теплоты, получаемое от нагревателя, равно 5 кДж. Определить: термический КПД цикла и работу, совершенную при полном цикле.

257. Идеальный газ совершает цикл Карно, термический КПД которого равен 0,4. Определить работу изотермического сжатия газа, если работа изотермического расширения составляет 400 Дж.

258. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя 500 К, холодильника – 300 К. Работа изотермического расширения газа составляет 2 кДж. Определить термический КПД цикла и количество теплоты, отданное газом при изотермическом сжатии холодильнику.

259. Оболочка воздушного шара имеет вместимость $V = 1\,600\text{ м}^3$. Найти подъёмную силу F водорода, наполняющего оболочку, на высоте, где давление $p = 60\text{ кПа}$ и температура $T = 280\text{ К}$. При подъёме шара водород может выходить через отверстие в нижней части шара.

260. Многоатомный идеальный газ совершает цикл Карно, при этом в процессе адиабатического расширения объём газа увеличивается в $n = 4$ раза. Определить термический КПД цикла.

261. Во сколько раз необходимо увеличить объём $\nu = 5$ моль идеального газа при изотермическом расширении, если его энтропия увеличилась на 57,6 Дж/К?

262. При нагревании двухатомного идеального газа ($\nu = 3$ моль) его термодинамическая температура увеличилась в 2 раза. Определить изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорно; 2) изобарно.

263. Смешали воду массой $m_1 = 5\text{ кг}$ при температуре $T_1 = 280\text{ К}$ с водой массой $m_2 = 8\text{ кг}$ при температуре $T_2 = 350\text{ К}$. Найти: 1) темпера-

туру T смеси; 2) изменение ΔS энтропии, происходящее при смешивании.

264. В результате изохорного нагревания водорода массой $m = 1$ г давление p газа увеличилось в два раза. Определить изменение ΔS энтропии газа.

265. Найти изменение ΔS энтропии при изобарическом расширении азота массой $m = 4$ г от объема $V_1 = 5$ л до объема $V_2 = 9$ л.

266. Кусок льда массой $m = 200$ г, взятый при температуре $t_1 = -10^\circ\text{C}$, был нагрет до температуры $t_2 = 0^\circ\text{C}$ и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры $t = 10^\circ\text{C}$. Определить изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов.

267. Лед массой $m_1 = 2$ кг при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$ был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Определить массу m_2 израсходованного пара. Каково изменение ΔS энтропии системы лед-пар?

268. Кислород массой $m = 2$ кг увеличил свой объем в $n = 5$ раз один раз изотермически, другой – адиабатически. Найти изменения энтропии в каждом из указанных процессов.

269. Водород массой $m = 100$ г был изобарически нагрет так, что объем его увеличился в $n = 3$ раза, затем водород был изохорически охлажден так, что давление его уменьшилось в $n = 3$ раза. Найти изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов.

270. Азот массой 28 г адиабатически расширили в $n = 2$ раза, а затем изобарно сжали до первоначального объема. Определить изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.

271. Углекислый газ массой 2,2 кг находится при температуре 290 К в сосуде вместимостью 30 л. Определить давление газа, если газ реальный. Поправки a и b принять равными соответственно $0,361 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$ и $4,28\cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

272. Плотность азота $\rho = 140 \text{ кг}/\text{м}^3$, его давление $p = 10 \text{ МПа}$. Определить температуру газа, если газ реальный. Поправки a и b принять равными соответственно $0,135 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$ и $3,86\cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

273. Азот ($\nu = 3$ моль) расширяется в вакуум, в результате чего объем газа увеличивается от $V_1 = 1$ л до $V_2 = 5$ л. Какое количество теплоты Q необходимо сообщить газу, чтобы его температура осталась неизменной? Поправку a принять равной $0,135 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$.

274. Углекислый газ массой 88 г занимает при температуре 290 К объем $1\,000 \text{ см}^3$. Определить внутреннюю энергию газа, если газ реальный. Поправку a принять равной $0,361 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$.

275. При определении силы поверхностного натяжения капельным методом, число капель глицерина, вытекающего из капилляра, составляет $n = 50$. Общая масса глицерина 1 г, а диаметр шейки капли в месте отрыва 1 мм. Определить поверхностное натяжение глицерина.

276. Считая процесс образования мыльного пузыря изотермическим, определить работу, которую надо совершить, чтобы увеличить его диаметр от $d_1 = 6$ мм до $d_2 = 60$ мм. Поверхностное натяжение мыльного раствора принять равным 40 мН/м.

277. Давление воздуха внутри мыльного пузыря на 200 Па больше атмосферного. Определить диаметр d пузыря. Поверхностное натяжение мыльного раствора 40 мН/м.

278. Вертикальный капилляр погружен в воду. Определить радиус кривизны мениска, если высота столба воды в трубке $h = 20$ мм. Плотность воды $\rho = 1$ г/см³, поверхностное натяжение $\sigma = 73$ мН/м.

279. Капилляр с внутренним радиусом 0,5 мм опущен в жидкость. Определить массу жидкости, поднявшейся в капилляре, если её поверхностное натяжение равно 60 мН/м.

280. Пользуясь законом Дюлонга и Пти, определить во сколько раз удельная теплоёмкость железа больше удельной теплоёмкости золота.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Электричество и магнетизм

Таблица 3

Вариант	Номера задач							
0	301	311	321	331	341	351	361	371
1	302	312	322	332	342	352	362	372
2	303	313	323	333	343	353	363	373
3	304	314	324	334	344	354	364	374
4	305	315	325	335	345	355	365	375
5	306	316	326	336	346	356	366	376
6	307	317	327	337	347	357	367	377
7	308	318	328	338	348	358	368	378
8	309	319	329	339	349	359	369	379
9	310	320	330	340	350	360	370	380

Задачи к контрольной работе № 3

301. Два одинаковых маленьких шарика массой $m = 0,1$ г каждый подвешены на непроводящих нитях длиной $\ell = 1$ м к одной точке. После того как шарикам были сообщены одинаковые заряды q , они разошлись на расстояние $r = 9$ см. Определить заряды шариков. Диэлектрическая проницаемость воздуха $\varepsilon = 1$.

302. Три одинаковых заряда $q = 34,3$ нКл каждый расположены в вершинах правильного треугольника, в центре которого помещен отрицательный заряд q_1 . Найти абсолютную величину этого заряда, если данная система находится в равновесии в воздухе.

303. Четыре одинаковых заряда $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 40$ нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Найти силу F , действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

304. Два одинаковых проводящих заряженных шарика находятся на расстоянии $r = 60$ см. Сила отталкивания F_1 шаров равна 70 мкН. После того как шарики привели в соприкосновение и удалили друг от друга на прежнее расстояние, сила отталкивания возросла и стала равной $F_2 = 160$ мкН. Вычислить заряды q_1 и q_2 , которые были на шариках до их соприкосновения. Диаметр шариков считать много меньшим расстояния между ними.

305. Расстояние d между двумя точечными зарядами $q_1 = 2$ нКл и $q_2 = 4$ нКл равно 60 см. Определить точку, в которую нужно поместить третий заряд q_3 так, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Определить заряд q_3 и его знак. Устойчивое или неустойчивое будет равновесие?

306. Тонкий стержень длиной $\ell = 10$ см равномерно заряжен. Линейная плотность заряда равна $\tau = 1$ мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от ближайшего его конца находится точечный заряд $q = 100$ нКл. Определить силу F взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

307. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau = 1,5$ нКл/см. На продолжении оси стержня на расстоянии $d = 12$ см от его конца находится точечный заряд $q = 0,2$ мкКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

308. Тонкое кольцо радиусом $R = 10$ см несет равномерно распределенный заряд $q = 0,1$ мкКл. На перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его середины, находится точечный заряд $Q = 10$ нКл. Определить силу F , действующую на точечный заряд

со стороны заряженного кольца, если он удален от центра кольца на $\ell = 20$ см.

309. Треть тонкого кольца радиуса $R = 10$ см несет распределенный заряд $Q = 50$ нКл. Определить силу, действующую на точечный заряд $q = 1$ нКл, помещенный в центр кривизны кольца.

310. Четверть тонкого кольца радиусом $R = 10$ см несет равномерно распределенный заряд с линейной плотностью $\tau = 2$ мкКл/м. В центре кривизны кольца находится заряд $q = 10$ нКл. Определить силу взаимодействия точечного заряда и четверти кольца.

311. Тонкое кольцо несет распределенный заряд $Q = 0,2$ мкКл. Определить напряженность электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке A , равноудаленной от всех точек кольца на расстояние $r = 20$ см. Радиус кольца $R = 10$ см.

312. Треть тонкого кольца радиусом $R = 10$ см несет распределенный заряд $Q = 50$ нКл. Определить напряженность электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке O , совпадающей с центром кольца.

313. По тонкой нити, изогнутой по дуге окружности радиусом $R = 10$ см, равномерно распределен заряд $Q = 20$ нКл. Определить напряженность поля, создаваемого этим зарядом в точке, совпадающей с центром кривизны дуги, если длина нити равна четверти длины окружности.

314. Определить напряженность поля, создаваемого зарядом равномерно распределенным по тонкому прямому стержню с линейной плотностью заряда $\tau = 200$ нКл/м, в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от ближайшего конца. Длина стержня $\ell = 40$ см.

315. По тонкому кольцу радиусом $R = 20$ см равномерно распределен с линейной плотностью $\tau = 0,2$ мкКл/м заряд. Определить напряженность электрического поля, создаваемого распределенным зарядом в точке A , находящейся на оси кольца на расстоянии $h = 2R$ от его центра.

316. Расстояние d между двумя точечными зарядами $Q_1 = 8$ нКл и $Q_2 = -5$ нКл равно 40 см. Вычислить напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами.

317. Одинаковые по модулю ($q = 18$ нКл), но разные по знаку заряды расположены в двух вершинах равностороннего треугольника. Сторона треугольника $a = 2$ м. Определить напряженность и потенциал электрического поля в третьей вершине треугольника. Окружающая среда – воздух.

318. В двух противоположных вершинах квадрата со стороной $a = 30$ см находятся заряды $q = 0,2$ мкКл. Найти напряженность и потенциал электрического поля в двух других вершинах квадрата.

319. Два разноименных точечных заряда, модули которых q одинаковы и равны 2 мкКл, находятся в воздухе на расстоянии $r = 10$ см друг от друга. Определить напряженность и потенциал поля в точке, находящейся на таком же расстоянии от положительного заряда и лежащей на линии, которая проходит через этот заряд перпендикулярно к прямой, соединяющей заряды.

320. В вершинах квадрата со стороной $a = 5$ см находятся положительные заряды $Q = 2$ нКл. Определить напряженность электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата.

321. Пылинка массой $m = 200$ мкг, несущая на себе заряд $Q = 40$ нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $U = 200$ В, пылинка имела скорость $v = 10$ м/с. Определить скорость v_0 пылинки до того, как она влетела в поле.

322. Электрон, двигаясь в вакууме по силовой линии электрического поля, полностью теряет свою скорость между точками с разностью потенциалов $U = 400$ В. Определить, какой была скорость электрона, когда он попал в электрическое поле.

323. Какой путь по силовой линии проходит α -частица до полной остановки в однородном тормозящем электрическом поле напряженностью $E = 2$ кВ/м, если начальная скорость её $v = 20$ Мм/с. Заряд α -частицы $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, её масса $m = 6,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

324. Электрон с энергией $T = 400$ эВ (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R = 10$ см. Определить минимальное расстояние a , на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если её заряд $Q = -10$ нКл.

325. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью заряда $\tau = 1$ нКл/см. Какую скорость приобретает электрон, приблизившись под действием поля к нити вдоль линии напряженности с расстояния $r_1 = 1,5$ см до $r_2 = 1$ см?

326. Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $\tau = 20$ пКл/м. Определить разность потенциалов двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $r_1 = 8$ см и $r_2 = 12$ см.

327. Электростатическое поле создается положительно заряженной с постоянной поверхностной плотностью $\sigma = 10 \text{ нКл/м}^2$ бесконечной плоскостью. Какую работу надо совершить, чтобы перенести электрон вдоль линии напряженности с расстояния $r_1 = 2 \text{ см}$ до $r_2 = 1 \text{ см}$?

328. Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 100 \text{ В}$ электрон имел скорость $v_1 = 6 \text{ мм/с}$. Определить потенциал φ_2 точки поля, в которой скорость v_2 электрона будет равна $0,5 v_1$.

329. Какой минимальной скоростью v_{\min} должен обладать протон, чтобы достигнуть поверхности заряженного до потенциала $\varphi = 400 \text{ В}$ металлического шара (рис. 2).

330. ЭДС батареи $\varepsilon = 24 \text{ В}$. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{\max} = 10 \text{ А}$. Определить максимальную мощность P_{\max} , которая может выделяться во внешней цепи.

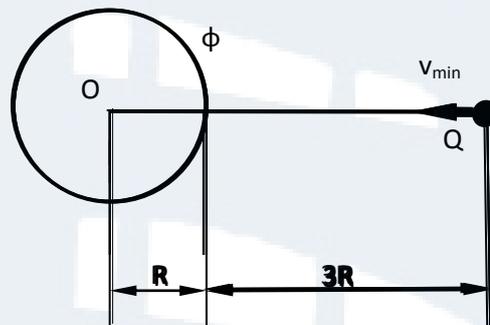


Рис. 2

331. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r = 4 \text{ кОм}$. Амперметр показывает силу тока $I = 0,3 \text{ А}$, а вольтметр – напряжение $U = 120 \text{ В}$. Определить сопротивление R катушки. Определить относительную погрешность ε , которая будет допущена при измерении сопротивления, если пренебречь силой тока, текущего через вольтметр.

332. От батареи, ЭДС которой $\varepsilon = 600 \text{ В}$ требуется передать энергию на расстояние $\ell = 1 \text{ км}$. Потребляемая мощность $P = 5 \text{ кВт}$. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов $d = 0,5 \text{ см}$.

333. Три одинаковых источника тока соединены последовательно и замкнуты проводником, сопротивление которого $R = 1,5 \text{ Ом}$. При этом соединении сила тока в проводнике $I_1 = 2 \text{ А}$. При параллельном

соединении источников в том же проводнике идет ток силой $I_2 = 0,9$ А. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление каждого источника.

334. Амперметр, сопротивление которого $R_a = 2$ Ом, рассчитан на токи силой до $I_a = 0,1$ А. Его требуется использовать для измерения токов силой до $I = 10$ А. Сколько метров медной проволоки с площадью поперечного сечения $S = 1,7 \cdot 10^{-6}$ м² необходимо для этого присоединить к амперметру? Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

335. Какую относительную погрешность делают, вычисляя сопротивление R по показаниям амперметра и вольтметра (рис. 3) без учета силы тока, проходящего через вольтметр? Амперметр показывает $I_a = 2,4$ А, вольтметр – $U_v = 7,2$ В. Сопротивление вольтметра $R_v = 1\ 000$ Ом.

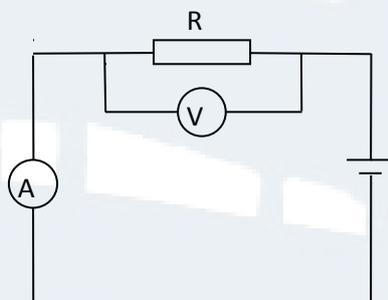


Рис. 3

336. Обмотка электродвигателя постоянного тока сделана из провода общим сопротивлением $R = 2$ Ом. По обмотке работающего двигателя, включенного в сеть с напряжением $U = 110$ В, идет ток силой $I = 10$ А. Какую мощность потребляет двигатель? Каков КПД двигателя?

337. Определить напряжение источника, к которому с помощью нихромового провода длиной $\ell = 19,2$ м и диаметром $d = 3 \cdot 10^{-4}$ м надо подключить лампочку мощностью $P = 40$ Вт, рассчитанную на напряжение $U_{л} = 120$ В, чтобы она горела нормально. Удельное сопротивление нихрома $\rho = 1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

338. При внешнем сопротивлении $R_1 = 8$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,8$ А, при сопротивлении $R_2 = 15$ Ом сила тока $I_2 = 0,5$ А. Определить силу тока $I_{к.з.}$ короткого замыкания источника ЭДС.

339. При силе тока $I_1 = 3$ А во внешней цепи батареи выделяется мощность $P_1 = 18$ Вт, при силе тока $I_2 = 1$ А – соответственно $P_2 = 10$ Вт. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.

340. По двум бесконечно длинным параллельным прямым проводам текут в одинаковом направлении токи силой $I_1 = 10$ А и $I_2 = 15$ А.

Расстояние между проводами $a = 10$ см. Определить напряженность H магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на $r_1 = 8$ см и от второго на $r_2 = 6$ см.

341. Два бесконечно длинных прямых провода скрещены под прямым углом. По проводам текут токи силой $I_1 = 100$ А и $I_2 = 50$ А. Расстояние между проводами $d = 20$ см. Определить индукцию B магнитного поля в точке А, одинаково удаленной от обоих проводников (рис. 4).

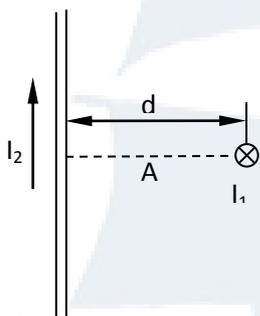


Рис. 4

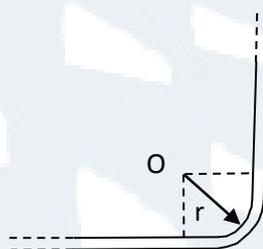


Рис. 5

342. По бесконечно длинному прямому проводу, изогнутому так, как это показано на рис. 5, течет ток $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O , если $r = 10$ см (рис. 7).

343. Два бесконечно длинных прямых проводника расположены параллельно на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи $I_1 = I_2 = 5$ А в противоположных направлениях. Найти величину и направление напряженности магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 10 см от каждого проводника.

344. Ток $I = 20$ А идет по бесконечно длинному проводу, согнутому под прямым углом. Найти индукцию магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на $a = 10$ см.

345. Из проволоки длиной 1 м сделана квадратная рамка. По этой рамке течет ток силой $I = 10$ А. Найти напряженность магнитного поля в центре рамки.

346. По бесконечно длинному проводу, изогнутому так, как это показано на рис. 6, течет ток $I = 200$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.

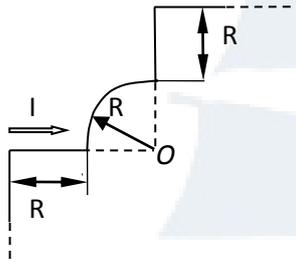


Рис. 6

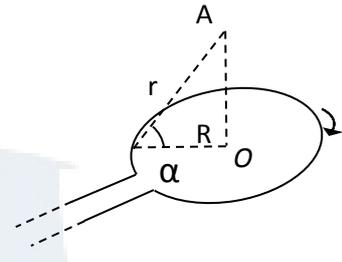


Рис. 7

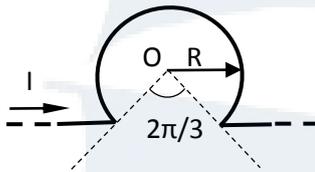


Рис. 8

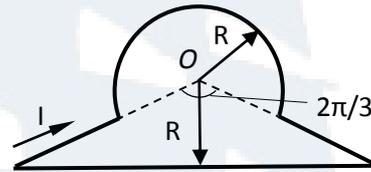


Рис. 9

347. По тонкому кольцу течет ток $I = 80$ А. Определить индукцию магнитного поля B в точке A , равноудаленной от точек кольца на расстоянии $r = 10$ см (рис. 7). Угол $\alpha = \pi/6$.

348. Бесконечно длинный тонкий проводник с током $I = 50$ А имеет изгиб (плоскую петлю) радиусом $R = 20$ см (рис. 8). Определить в точке O магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током.

349. По плоскому контуру из тонкого провода течет ток $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током в точке O (рис. 9). Радиус R изогнутой части контура равен 10 см.

350. По прямому горизонтально расположенному проводу пропускают ток $I_1 = 10$ А. Под ним на расстоянии $R = 1,5$ см находится параллельный ему алюминиевый провод, по которому пропускают ток $I_2 = 1,5$ А. Определить, какой должна быть площадь поперечного сечения алюминиевого провода, чтобы он удерживался незакрепленным.

351. Контур из провода, изогнутого в форме квадрата со стороной $a = 0,5$ м, расположен в одной плоскости с бесконечным прямолинейным проводом с током $I = 5$ А так, что две его стороны параллельны проводу. Сила тока в контуре $I_k = 1$ А. Определить силу, действующую на контур, если ближайшая к проводу сторона контура находится на расстоянии $b = 10$ см.

352. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи в одном направлении $I_1 = 20$ А и $I_2 = 30$ А. Какую работу (на еди-

ницу длины проводников) надо совершить, чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния 20 см?

353. Тонкий провод в виде дуги, составляющей треть кольца радиусом $R = 10$ см, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл. По проводу течет ток $I = 20$ А. Плоскость, в которой лежит дуга, перпендикулярна линиям магнитной индукции, и подводящие провода находятся вне поля. Определить силу F , действующую на провод.

354. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $d = 20$ см друг от друга, текут одинаковые токи $I = 400$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить для каждого из проводов отношение силы, действующей на него, к его длине.

355. Очень короткая катушка содержит $N = 100$ витков тонкого провода. Катушка имеет круглое сечение диаметром $d = 4$ см. Найти магнитный момент p_m катушки при силе тока $I = 1$ А.

356. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S = 250$ см², содержащая $N = 500$ витков провода, по которому течет ток $I = 5$ А, помещена в однородное магнитное поле напряженностью $H = 1$ кА/м. Найти: 1) магнитный момент p_m катушки; 2) вращающий момент M , действующий на катушку, если ось катушки составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с линиями поля.

357. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом $r = 53$ пм. Вычислить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока и механический момент M , действующий на круговой ток, если атом помещен в магнитное поле, линии индукции которого параллельны плоскости орбиты электрона. Магнитная индукция B поля равна 0,1 Тл.

358. Стержень длиной $\ell = 20$ см заряжен равномерно распределенным зарядом с линейной плотностью $\tau = 0,2$ мкКл/м. Стержень вращается с частотой $n = 10$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. Определить магнитный момент p_m , обусловленный вращением стержня.

359. Диск радиусом $R = 8$ см несет равномерно распределенный по поверхности заряд ($\sigma = 100$ нКл/м²). Определить магнитный момент p_m , обусловленный вращением диска, относительно оси, проходящей через его центр и перпендикулярной плоскости диска. Угловая скорость вращения диска $\omega = 60$ рад/с.

360. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 300 В, движется параллельно прямолинейному длинному проводу на расстоянии

4 мм от него. Какая сила подействует на электрон, если по проводнику пустить ток 5 А ?

361. Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона R_1 больше радиуса кривизны траектории электрона R_2 ?

362. Альфа-частица, кинетическая энергия которой равна 500 эВ, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное скорости её движения. Индукция магнитного поля 0,1 Тл. Найти: 1) силу, действующую на частицу; 2) радиус окружности, по которой движется частица; 3) период обращения частицы.

363. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 6$ кВ, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению поля и начинает двигаться по винтовой линии. Индукция магнитного поля $B = 13$ мТл. Найти: 1) радиус витка винтовой линии; 2) шаг винтовой линии.

364. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл, стал двигаться по окружности радиуса 5 см. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

365. Протон влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению поля и движется по винтовой линии, радиус которой 1,5 см. Индукция магнитного поля равна 0,1 Тл. Найти кинетическую энергию протона.

366. Электрон в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл движется по окружности. Найти силу эквивалентного кругового тока, создаваемого движением электрона.

367. Альфа-частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 300$ В и, попав в однородное магнитное поле, стала двигаться по винтовой линии радиусом $R = 1$ см и шагом $h = 4$ см. Определить индукцию B магнитного поля.

368. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 100$ В и, влетев в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл, стала двигаться по винтовой линии с шагом $h = 6,5$ см и радиусом $R = 1$ см. Определить отношение заряда частицы к её массе.

369. Электрон движется в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0,2$ мТл по винтовой линии. Определить скорость электрона, если радиус винтовой линии $R = 3$ см, а шаг винтовой линии $h = 9$ см.

370. Плоская квадратная рамка со стороной $a = 20$ см лежит в одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом, по которому

течет ток $I = 100$ А. Рамка расположена так, что ближайшая к проводу сторона параллельна ему и находится на расстоянии $d = 10$ см от провода. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий рамку.

371. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 1$ Тл находится плоская катушка из 100 витков радиусом $r = 10$ см, плоскость которой с направлением поля составляет угол $\beta = 60^\circ$. По катушке течет ток $I = 10$ А. Определить: 1) вращающий момент, действующий на катушку; 2) работу, которую надо совершить, чтобы удалить катушку из магнитного поля.

372. Круговой проводящий контур радиусом $r = 5$ см и током $I = 1$ А находится в магнитном поле, причем плоскость контура перпендикулярна направлению поля. Напряженность поля равна 10 кА/м. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на 90° вокруг оси, совпадающей с диаметром контура.

373. Квадратный контур со стороной $a = 10$ см, в котором течет ток $I = 6$ А, находится в магнитном поле с индукцией $B = 0,8$ Тл, причем плоскость его составляет угол $\beta = 50^\circ$ к линиям магнитной индукции. Какую работу надо совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?

374. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S = 100$ см². Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50$ А, его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить индукцию магнитного поля B , если при перемещении контура была совершена работа $A = 0,4$ Дж.

375. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл находится прямой провод длиной $\ell = 20$ см, концы которого замкнуты вне поля. Сопротивление R всей цепи равно 0,1 Ом. Найти силу F , которую надо приложить к проводу, чтобы перемещать его перпендикулярно линиям индукции со скоростью $v = 2,5$ м/с.

376. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 50$ с⁻¹ вокруг вертикальной оси стержень длиной $\ell = 0,4$ м. Определить ЭДС индукции, возникающей в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции.

377. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,35$ Тл равномерно с частотой $n = 480$ мин⁻¹ вращается рамка, содержащая 500 витков площадью $S = 50$ см². Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить максимальную ЭДС индукции в рамке.

378. Проволочный виток радиусом $r = 4$ см, имеющий сопротивление $R = 0,01$ Ом, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,04$ Тл. Плоскость витка составляет угол $\beta = 30^\circ$ с линиями магнитного поля. Какой заряд Q протечет по витку, если магнитное поле исчезнет?

379. Рамка из провода сопротивлением $R = 0,04$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,6$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 200$ см². Определить заряд Q , который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от 0 до 45° ; 2) от 45° до 90° .

380. Сила тока в проводнике с сопротивлением $R = 10$ Ом за время $t = 50$ сек равномерно нарастает от $I_1 = 5$ А до $I_2 = 10$ А. Определить количество теплоты Q , выделившееся за это время в проводнике.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

Оптика. Элементы атомной физики и квантовой механики

Таблица 4

Вариант	Номера задач							
0	401	411	421	431	441	451	461	471
1	402	412	422	432	442	452	462	472
2	403	413	423	433	443	453	463	473
3	404	414	424	434	444	454	464	474
4	405	415	425	435	445	455	465	475
5	406	416	426	436	446	456	466	476
6	407	417	427	437	447	457	467	477
7	408	418	428	438	448	458	468	478
8	409	419	429	439	449	459	469	479
9	410	420	430	440	450	460	470	480

Задачи к контрольной работе № 4

401. В опыте с зеркалами Френеля расстояние d между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние ℓ от них до экрана равно 5 м. В желтом свете ширина интерференционных полос равна 6 мм. Определить длину волны желтого света.

402. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга $d = 0,5$ мм ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить расстояние ℓ от щелей до экрана, если ширина интерференционных полос равна 1,2 мм.

403. В опыте Юнга расстояние ℓ от щелей до экрана равно 3 м. Определить угловое расстояние между соседними светлыми полосами, если третья светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на расстоянии 4,5 мм.

404. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластинку ($n = 1,5$), то центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны $\lambda = 0,5$ мкм. Определить толщину пластинки.

405. Определить, во сколько раз изменится ширина интерференционных полос на экране в опыте с зеркалами Френеля, если фиолетовый светофильтр (0,4 мкм) заменить красным (0,7 мкм).

406. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления $n = 1,33$ под углом $i = 45^\circ$ падает параллельный пучок белого света. Определить, при какой наименьшей толщине пленки зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в желтый свет.

407. На стеклянный клин ($n = 1,5$) нормально падает монохроматический свет ($\lambda = 698$ нм). Определить угол между поверхностями клина, если расстояние между двумя соседними интерференционными минимумами в отраженном свете равно 2 мм.

408. На тонкую мыльную пленку ($n = 1,33$) под углом $i = 30^\circ$ падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. Определить угол между поверхностями пленки, если расстояние между интерференционными полосами в отраженном свете равно 4 мм.

409. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны 4 м выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить длину волны падающего монохроматического света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3 мм.

410. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм, падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью, и наблюдение ведется в проходящем свете. Радиус кривизны линзы $R = 4$ м. Определить показатель преломления жидкости, если радиус второго светлого кольца $r = 1,8$ мм.

411. Определить радиус третьей зоны Френеля для случая плоской волны. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения равно 1,5 м. Длина волны 0,6 мкм.

412. Дифракция наблюдается на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света ($\lambda = 0,5$ мкм). Посередине между источником света и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец на экране является наиболее темным.

413. Дифракция наблюдается на расстоянии ℓ от точечного источника монохроматического света ($\lambda = 0,5$ мкм). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачный диск диаметром 5 мм. Определить расстояние ℓ , если диск закрывает только центральную зону Френеля.

414. На узкую щель шириной $a = 0,05$ мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 694$ нм. Определить направление света на вторую светлую дифракционную полосу (по отношению к первоначальному направлению света).

415. На щель шириной $a = 0,1$ мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном параллельно щели. Определить расстояние ℓ от щели до экрана, если ширина центрального дифракционного максимума $b = 1$ см.

416. На дифракционную решетку длиной $\ell = 1,5$ мм, содержащей $N = 3\,000$ штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 550$ нм. Определить: 1) число максимумов, наблюдаемых в спектре дифракционной решетки; 2) угол, соответствующий последнему максимуму.

417. Определить число штрихов на 1 мм дифракционной решетки, если углу $\varphi = 30^\circ$ соответствует максимум четвертого порядка для монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм.

418. Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку, имеющую 300 штрихов на 1 мм, если угол между направлениями на максимумы первого и второго порядков составляет 12° .

419. Узкий параллельный пучок рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 245$ пм падает на естественную грань монокристалла каменной соли. Определить расстояние d между атомными плоскостями монокристалла, если дифракционный максимум второго порядка

наблюдается при падении излучения к поверхности монокристалла под углом скольжения $\theta = 61^\circ$.

420. Узкий параллельный пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на грань кристалла с расстоянием d между его атомными плоскостями 0,3 нм. Определить длину волны рентгеновского излучения, если под углом $\theta = 30^\circ$ к плоскости грани наблюдается дифракционный максимум первого порядка.

421. Определить степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 3 раза больше амплитуды, соответствующей его минимальной интенсивности.

422. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора составляет 30° . Определить изменение интенсивности прошедшего через них света, если угол между главными плоскостями равен 45° .

423. Определить, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через два николя, расположенные так, что угол между их главными плоскостями 60° , а в каждом из николей теряется 8 % интенсивности падающего на него света.

424. Угол между плоскостями пропускания поляроидов равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 4$ раза. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

425. Определить, под каким углом к горизонту, должно находиться Солнце, чтобы лучи, отраженные от поверхности озера ($n = 1,33$), были максимально поляризованы.

426. Угол падения луча на поверхность стекла равен 60° . При этом отраженный луч оказался максимально поляризованным. Определить угол преломления луча.

427. Луч света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле падения отраженный луч максимально поляризован?

428. Пластика кварца толщиной $d_1 = 1$ мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определенной длины волны на угол $\varphi_1 = 30^\circ$. Определить толщину d_2 кварцевой пластинки, помещенной между параллельными николями, чтобы данный монохроматический свет гасился полностью.

429. Определить массовую концентрацию C сахарного раствора, если при прохождении света через трубку длиной 20 см с этим раство-

ром плоскость поляризации света поворачивается на угол 10° . Удельное вращение $[\alpha]$ сахара равно $1,17 \cdot 10^{-2}$ рад·м²/кг.

430. Раствор глюкозы с массовой концентрацией $C_1 = 0,21$ г/см³, находящийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через раствор, на угол $\varphi_1 = 24^\circ$. Определить массовую концентрацию C_2 глюкозы в другом растворе в трубке такой же длины, если он поворачивает плоскость поляризации на угол $\varphi_2 = 18^\circ$.

431. Вычислить истинную температуру T вольфрамовой раскаленной ленты, если радиационный пирометр показывает температуру $T_{рад} = 2,5$ кК. Принять, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна $a_T = 0,35$.

432. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 500$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

433. Температура абсолютно черного тела $T = 2$ кК. Определить длину волны λ_0 , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) для этой длины волны.

434. Определить температуру T и энергетическую светимость абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_0 = 600$ нм.

435. Из смотрового окошечка печи излучается поток $\Phi_e = 4$ кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8$ см².

436. Поток излучения абсолютно черного тела $\Phi_e = 10$ кВт, максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_0 = 0,8$ мкм. Определить площадь S излучающей поверхности.

437. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_{01} = 780$ нм) на фиолетовую ($\lambda_{02} = 390$ нм)?

438. Определить поглощательную способность a_T серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром, равна $T_{рад} = 1,4$ кК, тогда как истинная температура T тела равна $3,2$ кК.

439. Принимая Солнце за черное тело и учитывая, что его максимальной спектральной плотности энергетической светимости соответствует длина волны $\lambda = 500$ нм, определить: температуру поверхности Солнца; энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за 10 мин; массу, теряемую Солнцем за это время за счет излучения.

440. Определить температуру тела, при которой оно при температуре окружающей среды $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ излучало энергии в 10 раз больше, чем поглощало.

441. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310\text{ нм}$. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падают лучи с длиной волны $\lambda = 200\text{ нм}$.

442. Фотон с энергией 10 эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс p , полученный пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.

443. На фотоэлемент с катодом из лития падают лучи с длиной волны $\lambda = 200\text{ нм}$. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{min} , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

444. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta = \pi/2$. Определить импульс p , приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была $1,02\text{ МэВ}$.

445. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\theta = \pi/2$? Энергия фотона до рассеяния равна $0,51\text{ МэВ}$.

446. Фотон с длиной волны 15 пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона 16 пм . Определить угол θ рассеяния.

447. В результате эффекта Комптона фотон с энергией $1,02\text{ МэВ}$ был рассеян на свободных электронах на угол $\theta = 150^{\circ}$. Определить энергию рассеянного фотона.

448. Давление p света длиной волны $\lambda = 400\text{ нм}$, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 нПа . Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10\text{ с}$ на площадь $S = 1\text{ мм}^2$ этой поверхности.

449. Определить коэффициент ρ отражения поверхности, если при энергетической освещенности $E_e = 120\text{ Вт/м}^2$ давление p света на нее оказалось равным $0,5\text{ мкПа}$.

450. На зеркальную поверхность площадью $S = 6\text{ см}^2$ падает нормально поток излучения $\Phi_e = 0,8\text{ Вт}$. Определить давление p и силу давления F света на эту поверхность.

451. Определить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на основной.

452. Определить первый потенциал возбуждения φ атома водорода.

453. Атом водорода находится в возбужденном состоянии, характеризуемом главным квантовым числом $n = 4$. Определить возможные спектральные линии в спектре водорода, появляющиеся при переходе атома из возбужденного состояния в основное.

454. Определить, на сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda = 4,86 \cdot 10^{-7}$ м.

455. Определить длину волны спектральной линии, излучаемой при переходе электрона с более высокого уровня энергии на более низкий уровень, если при этом энергия атома уменьшилась на 10 эВ.

456. Определить скорость v движения электрона по третьей орбите атома водорода.

457. Определить частоту вращения электрона по второй орбите атома водорода.

458. Определить частоту света, излучаемого атомом водорода, при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом $n = 2$, если радиус орбиты электрона изменился в $k = 9$ раз.

459. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы удалить электрон со второй боровской орбиты атома водорода за пределы притяжения его ядром.

460. Электрон выбит из атома водорода, находящегося в основном состоянии, фотоном энергии 17,7 эВ. Определить скорость электрона за пределами атома.

461. Определить дефект массы Δm и энергию связи E_{CB} ядра атома тяжелого водорода.

462. Определить энергию связи ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$. Масса нейтрального атома гелия равна $6,6467 \cdot 10^{-27}$ кг.

463. Энергия связи E_{CB} ядра, состоящего из трех протонов и четырех нейтронов, равна 39,3 МэВ. Определить массу нейтрального атома, обладающего этим ядром.

464. Определить, во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного изотопа уменьшится за три года, если за один год оно уменьшилось в 4 раза.

465. Постоянная радиоактивного распада изотопа ${}^{210}_{82}\text{Pb}$ равна 10^{-9}с^{-1} . Определить время, в течение которого распадется $2/5$ начального количества ядер этого радиоактивного изотопа.

466. Активность некоторого радиоактивного изотопа в начальный момент времени составляла 100 Бк. Определить активность этого изо-

топа по истечении промежутка времени, равного половине периода полураспада.

467. Покоившееся ядро полония ${}_{84}^{200}\text{Po}$ испускает α -частицу с кинетической энергией 5,77 МэВ. Определить: 1) скорость отдачи дочернего ядра; 2) какую долю кинетической энергии α -частицы составляет энергия отдачи дочернего ядра.

468. Определить энергию, выделяющуюся в результате реакции ${}_{12}^{23}\text{Mg} \rightarrow {}_{23}^{11}\text{Na} + {}_1^0\text{e} + {}_0^0\nu$. Массы нейтральных атомов магния и натрия соответственно равны $3,8184 \cdot 10^{-26}$ кг и $3,8177 \cdot 10^{-26}$ кг.

469. Определить, является ли реакция ${}_{3}^{7}\text{Li} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{4}^{7}\text{Be} + {}_0^1\text{n}$ экзотермической или эндотермической. Определить энергию ядерной реакции.

470. Определить, выделяется или поглощается энергия при ядерной реакции ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{1}^{1}\text{H} + {}_{8}^{17}\text{O}$. Массы ядер, участвующих в реакции: $m({}_{7}^{14}\text{N}) = 2,3253 \cdot 10^{-26}$ кг, $m({}_{2}^{4}\text{He}) = 6,6467 \cdot 10^{-27}$ кг, $m({}_{1}^{1}\text{H}) = 1,6737 \cdot 10^{-27}$ кг, $m({}_{8}^{17}\text{O}) = 2,8229 \cdot 10^{-26}$ кг.

471. Стронций имеет гранецентрированную кубическую решетку. Определить расстояние d между ближайшими соседними атомами, если параметр решетки $a = 0,605$ нм.

472. Определить число z элементарных ячеек в единице объёма кристалла бария (решетка объёмно-центрированная кубическая). Плотность ρ бария считать известной.

473. Найти плотность ρ кристалла неона, если известно, что решетка гранецентрированная кубическая. Постоянная решётки $a = 0,451$ нм.

474. Барий имеет объёмно-центрированную кубическую решетку. Плотность ρ кристалла бария равна $3,5 \cdot 10^3$ кг/м³. Определить параметр a решётки.

475. Германиевый образец нагревают от 0 до 17 °С. Принимая ширину запрещенной зоны германия равной 0,66 эВ, определить, во сколько раз возрастет его удельная проводимость.

476. Тонкая пластинка из кремния шириной 2 см помещена перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0,5$ Тл). При плотности тока 2 мкА/мм², направленной вдоль пластины, холловская разность потенциалов равна 2,8 В. Определить концентрацию n носителей тока.

477. Подвижность электронов и дырок в кремнии соответственно равна $\mu_n = 1,5 \cdot 10^3$ см²/(В·с) и $\mu_p = 5 \cdot 10^2$ см²/(В·с). Вычислить посто-

янную Холла R_H для кремния, если удельное сопротивление кремния $\rho = 6,2 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

478. Удельное сопротивление кремния с примесями $10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Определить концентрацию n_p дырок и их подвижность μ_p . Полупроводник обладает только дырочной проводимостью и постоянная Холла $R_H = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

479. Концентрация n носителей в кремнии равна $5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, подвижность электронов $\mu_n = 0,15 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и дырок $\mu_p = 0,05 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Определить сопротивление кремниевого стержня длиной 5 см и сечением 2 мм^2 .

480. Собственный полупроводник (германиевый) имеет при некоторой температуре удельное сопротивление $\rho = 0,5 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Определить концентрацию n носителей тока, если подвижность электронов $\mu_n = 0,38 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и дырок $\mu_p = 0,18 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2009. – 718 с.

2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: АСАДЕМІА, 2008. – 560 с.

3. Крукович Н.П., Корнева И.П. Механика и молекулярная физика. Конспект лекций. – Калининград: БГАРФ, 2008. – 97 с.

4. Крукович Н.П. Физика. Часть 1. Механика и молекулярная физика. Лабораторный практикум. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2018. – 148 с.

5. Смурыгин В.М. Часть 2. Электричество и магнетизм. Лабораторный практикум по физике. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2018. – 104 с.

7. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Фундаментальные физические постоянные

Таблица

<i>Физическая величина</i>	<i>Символ</i>	<i>Значение</i>	<i>Единицы</i>
Ускорение свободного падения	g	9,81	$м/с^2$
Гравитационная постоянная	G	$6,672 \cdot 10^{-11}$	$Н \cdot м^2 / кг^2$
Масса электрона	m_e	$9,1095 \cdot 10^{-31}$	кг
Заряд электрона	e	$1,6022 \cdot 10^{-19}$	Кл
Удельный заряд электрона	e/m_e	$1,76 \cdot 10^{11}$	Кл/кг
Масса протона	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27}$	кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$	$Ф \cdot м^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$Гн \cdot м^{-1}$
Магнетон Бора	μ_B	$9,274 \cdot 10^{-24}$	Дж \cdot Тл $^{-1}$
Ядерный магнетон	μ_N	$5,051 \cdot 10^{-27}$	Дж \cdot Тл $^{-1}$
Скорость света в вакууме	c	$2,9979 \cdot 10^8$	м/с
Атомная единица массы	<i>а. е. м.</i>	$1,6605 \cdot 10^{-27}$ 931,5	кг МэВ
Число Авогадро	N_A	$6,0221 \cdot 10^{23}$	моль $^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	8,3144	Дж/(моль \cdot К)
Постоянная Больцмана	k	$1,3806 \cdot 10^{-23}$	Дж/К
Объём моля идеального газа при нормальных условиях	V_m	$22,414 \cdot 10^{-3}$	$м^3 \cdot моль^{-1}$

Окончание табл.

<i>Физическая величина</i>	<i>Символ</i>	<i>Значение</i>	<i>Единицы</i>
Постоянная Фарадея	$F = e \cdot N_A$	96484,56	Кл·моль ⁻¹
Постоянная Ридберга	R' $R = c \cdot R'$	10973731,77 $3,29 \cdot 10^{15}$	m^{-1} s^{-1}
Постоянная Планка	h $\hbar = h/2\pi$	$6,626 \cdot 10^{-34}$ $1,0545 \cdot 10^{-34}$	Дж·с Дж·с
Комптоновская длина волны электрона	λ_c	$2,43 \cdot 10^{-12}$	м
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-12}$	Дж
Радиус первой борховской орбиты	r_B	$0,5291 \cdot 10^{-10}$	м
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$	Вт·м ⁻² ·К ⁴
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,898 \cdot 10^{-3}$	м·К
1 электрон-вольт	1 эВ	$1,602 \cdot 10^{-19}$	Дж



978210002174

Нина Павловна Крукович

ФИЗИКА

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных и контрольных работ
для студентов специальности 25.05.03
«Техническая эксплуатация транспортного
радиооборудования»
заочной формы обучения

*Ведущий редактор Н.В. Желтухина
Младший редактор Г.В. Деркач*

*Компьютерное редактирование
О.В. Савина*

*Подписано в печать 27.12.2019 г.
Усл. печ. л. 9,4. Уч.-изд. л. 9,6.*

Лицензия № 021350 от 28.06.99.

Печать офсетная.

Формат 60x90/16.

Заказ № 1542. Тираж 42 экз.

*Доступ к архиву публикации и условия доступа к нему:
<http://bgarf.ru/academy/biblioteka/elektronnyj-katalog/>*

БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»

**Издательство БГАРФ,
член Издательско-полиграфической ассоциации высших учебных заведений
236029, Калининград, ул. Молодежная, 6.**

БГАРФ