ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 6E2133CC3BE1AA675ED8BC2769943B3E
Владелец: Павлятенко Геннадий Владимирович
Действителен: с 24.07.2023 до 16.10.2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ К.Г. РАЗУМОВСКОГО
Донской казачий государственный институт пищевых технологий и бизнеса (филиал)

УТВЕРЖДАЮ
И. о. зав. кафедрой
Биотехнологии, химии и аквакультуры
_____ /Вассель Н.П./
«13» февраля 2023 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Б1.О.03.05 Общепрофессиональный модуль

ФИЗИКА

Кафедра:	**Физики, математики и инф. технологий**
Направление подготовки:	**35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура**
Направленность (профиль):	**Технологические процессы в рыбоводстве**
Тип образовательной программы:	**прикладной бакалавриат**
Квалификация выпускника:	**бакалавр**
Форма обучения:	**Заочная**
Год набора:	**2022 год**
Общая трудоемкость:	**144 часов/3 з.е.**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 00AA7853CEFA35F0837BA866654F3503A6
Владелец: Павлятенко Геннадий Владимирович
Действителен: с 08.12.2025 до 03.03.2027

Ростов-на-Дону, 2023

Программу составили:
ст.преп. Ставцев А.Ю,
д.ф.-м.н., профессор Таран В.П.

Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Физика»
разработана составлена на основании учебного плана, утвержденного ученым советом «24» февраля 2022 г. протокол № 6 в соответствии с ФГОС ВО Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура (приказ Минобрнауки России от 17.07.2017 г. № 668).

Руководитель ОПОП
к.х.н., доцент _____ Вассель Н.П.

И.о. зав.кафедрой «Физики, математики и инф. технологий, к.э.н. Мурат Е.П.

Рабочая программа обсуждена на заседании выпускающей кафедры
Биотехнология, химия и аквакультура
Протокол от «13» февраля 2023 г. № 6

И. о. зав. кафедрой

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙПРОГРАММЫ И ОБЪЕМ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПО СЕМЕСТРАМ

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ),СООТНЕСЕННЫЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙРАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6. ОЦЕНОЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1. Цели:

Заключается в получении обучающимися теоретических знаний, формирование базового уровня знаний следующих разделов физики: механики, термодинамики и молекулярной физики, электричества и магнетизма, оптики, основ физики атома и атомного ядра, необходимого для изучения специальных учебных дисциплин, формирование общепрофессиональной компетенции, формирование базового уровня знаний в основных методах и средствах измерения физических величин; формирование общей культуры в сфере производственной деятельности, под которой понимается способность использовать полученные знания, умения и навыки для решения инженерных и технологических задач, обеспечивающих высокий уровень качества и безопасности продукции привитие навыков современных видов математического мышления;

1.2. Задачи:

Изучение основных законов следующих разделов физики: механики, термодинамики и молекулярной физики, электро– и магнитостатики, электродинамики, оптики, основ физики атома и атомного ядра; получение навыков решения физических задач применение и изучение методов измерений в физике и технике и методов оценки точности

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ И ОБЪЕМ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПО КУРСАМ

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

Дисциплина относится к обязательной части ОПОП и обязательна для освоения.

Связь с последующими дисциплинами (модулями), практиками

№ п/п	Наименование	Курс	Шифр компетенции
1	Биология клетки	2	ОПК-1
2	Биохимия	2	ОПК-1
3	Зоология	2	ОПК-1
4	Иностранный язык в профессиональной деятельности	2	УК-4, ОПК-1
5	Молекулярная биология	2	ОПК-1
6	Ознакомительная практика	2	УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6, УК-7, ОПК-1, УК-9, УК-10, ОПК-7
7	Пакеты прикладных программ для профессиональной деятельности	2	ОПК-7, ОПК-1
8	Математические методы в аквакультуре	3	ОПК-1, ОПК-5
9	Технологическая практика	3	УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6, УК-8, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, УК-9, ОПК-7
10	Физиология и этология рыб	3	ОПК-1
11	Ихтиология	4	ОПК-1

Распределение часов дисциплины

Курс	1		Итого	
Вид занятий	УП	РП		
Лекции	2	2	2	2
Лабораторные	2	2	2	2
Практические	4	4	4	4
Итого ауд.	8	8	8	8
Контактная работа	8	8	8	8
Сам. работа	127	127	127	127
Часы на контроль	9	9	9	9
Итого	144	144	144	144

Вид промежуточной аттестации:

Экзамен 1 курс

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций и индикаторов их достижения:

ОПК-1:Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий;

ОПК-1.1: Знает основы высшей математики и математической статистики, математического анализа и моделирования
ОПК-1.2: Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и методов математического анализа и моделирования
ОПК-1.3: Владеет основными законами естественнонаучных дисциплин для решения стандартных задач в области водных биоресурсов и аквакультуры

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименования разделов, тем, их краткое содержание и результаты освоения /вид занятия/	Курс	Часов	Интеракт.	Прак. подг.	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
	Раздел 1.Механика. Молекулярная физика и термодинамика.						
1.1	**Тема 1. Кинематика поступательного и вращательного движения. Динамика поступательного и вращательного движения в классической механике. Целью изучения данного предмета заключается в получении обучающимися теоретических знаний, формирование базового уровня знаний следующих разделов физики: механики, термодинамики и молекулярной физики, электричества и магнетизма, оптики, основ физики атома и атомного ядра, необходимого для изучения специальных учебных дисциплин, формирование общепрофессиональной компетенции, формирование базового уровня знаний в основных методах и средствах измерения физических величин. Знать: Как применять программные средства компьютерной графики и визуализации результатов деятельности, оформлять отчеты. Уметь: применять программные средства компьютерной графики и визуализации результатов деятельности, оформлять отчеты и презентации с помощью современных офисных информационных технологий Владеть: навыками работы с программными средствами компьютерной графики и визуализации результатов деятельности, оформлять отчеты и презентации с помощью современных офисных информационных технологий, текстовых и графических редакторов, средств печати /Лек/**	1	2	0	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ОПК-1.3	Устный опрос
1.2	**Тема 1. Кинематика поступательного и вращательного движения. Динамика поступательного и вращательного движения в классической механике. Элементы**	1	2	0	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ОПК-1.3	Устный опрос, отчет по лабораторной работе

	релятивистской механики. /Лаб/						
1.3	**Тема 1. Тема 1. Кинематика поступательного и вращательного движения. Динамика поступательного и вращательного движения в классической механике. Элементы релятивистской механики. Основы молекулярной–кинетической теории. Основы термодинамики. Явления переноса в термодинамических неравновесных системах. Реальные Газы. /Ср/**	1	127	0	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ОПК-1.3	Устный опрос, тестирование
1.4	**Тема 1. Кинематика поступательного и вращательного движения. Динамика поступательного и вращательного движения в классической механике. Элементы релятивистской механики. /Пр/**	1	4	0	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ОПК-1.3	Устный опрос
	Раздел 2.Контроль						
2.1	**Экзамен /Экзамен/**	1	9	0	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ОПК-1.3	Вопросы к экзамену Итоговый тест

Перечень применяемых активных и интерактивных образовательных технологий:

Игровые технологии

Технологии игрового обучения — это способы, методы и приемы, с помощью которых преподаватель задает ситуации, в которых должны оказаться ученики для получения знаний или практического полезного опыта; формирует обстоятельства, побуждающие учеников к самостоятельному принятию решений — чтобы потом сделать выводы, проработать ошибки; предлагает выбор - разные социальные роли и «маски», варианты решения задач, которые позволяют лучше узнать себя, проконтролировать свое поведение, эффективнее справиться со сложным делом; создает среду для повышения мотивации с помощью активизации воображения, «духа соперничества», азарта, групповой деятельности

Информационные технологии

Личностно ориентированная технология, способ организации самостоятельной деятельности учащихся, направленный на решение задачи учебного проекта

Кейс-технология

Технология включает в себя: индивидуальную самостоятельную работу обучаемых с материалами кейса (идентификация проблемы, формулирование ключевых альтернатив, предложение решения или рекомендуемого действия); работу в малых группах по согласованию видения ключевой проблемы и ее решений; презентацию и экспертизу результатов малых групп на общей дискуссии (в рамках учебной группы)

Проектная технология

Стандартизированный метод оценки знаний, умений, навыков учащихся, который помогает выявить и сформировать индивидуальный темп обучения, пробелы в текущей итоговой подготовке

Технологии математической статистики

Методы сбора и обработки статистической информации для получения научных и практических выводов

Технология развития критического мышления

Технология направлена на развитие ученика, основными показателями которого являются оценочность, открытость новым идеям, собственное мнение и рефлексия собственных суждений

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Рекомендации по выполнению домашних заданий в режиме СРС

Самостоятельная работа студентов включает в себя выполнение различного рода заданий, которые ориентированы на более глубокое усвоение материала изучаемой дисциплины. По каждой теме учебной дисциплины студентам, как правило, преподавателем предлагается перечень заданий для самостоятельной работы для учета и оценивания её посредством БРС. Задания для самостоятельной работы должны исполняться самостоятельно и представляться в установленный преподавателем срок, а также соответствовать установленным требованиям по структуре и его оформлению (см. соответствующие ЕМУ… действующей редакции).

Студентам следует:

- Руководствоваться регламентом СРС, определенным РПД;
- Своевременно выполнять все задания, выдаваемые преподавателем для самостоятельного выполнения;

Использовать в выполнении, оформлении и сдаче заданий установленные кафедрой требования, обозначенные в «Единых методических указаниях… (ЕМУ)…» для соответствующих видов текущего/рубежного/промежуточного контроля.
┐ При подготовке к зачету/экзамену, параллельно с лекциями и рекомендуемой литературой, прорабатывать соответствующие научно-теоретические и практико- прикладные аспекты дисциплины.
Рекомендации по работе с источниками информации и литературой
Любая форма самостоятельной работы студента (подготовка к семинарскому занятию, написание эссе, курсовой работы, доклада и т.п.) начинается с поиска и изучения соответствующих источников информации, включая специализированную и учебную литературу.
В каждой РПД указана основная и дополнительная литература. Основная литература, как правило - это учебники и учебные пособия. Дополнительная литература - это учебные издания прошлых лет (более 10-ти) монографии, сборники научных трудов, журнальные и газетные статьи, различные справочники, энциклопедии, интернет ресурсы и прочее….
Любой выбранный источник информации (сайт, поисковый контент, учебное пособие, монографию, отчет, статью и т.п.) необходимо внимательно просмотреть, определившись с актуальностью тематического состава данного информационного источника.
┐ в книгах - следует ознакомиться с оглавлением и научно-справочным аппаратом, прочитать аннотацию и предисловие; целесообразно ее пролистать, рассмотреть иллюстрации, таблицы, диаграммы, приложения - такое поверхностное ознакомление позволит узнать, какие главы следует читать внимательно, какие прочитать быстро, какие просто просмотреть на будущее;
┐ при работе с интернет-источником - целесообразно систематизировать (поименовать в соответствии с наполнением, сохранять в подпапки-разделы и т.п. приемы) или иным образом выделять важную для себя информацию и данные;
┐ если книга/журнал/компьютер не являются собственностью студента, то целесообразно записывать название книг, статей, номера страниц, которые привлекли внимание, а позже, следует возвратиться к ним, и перечитать нужную информацию более предметно.

Выделяются следующие виды записей при работе с литературой:
· Конспект - краткая схематическая запись основного содержания научной работы. Целью является не переписывание произведения, а выявление его логики, системы доказательств, основных выводов. Хороший конспект должен сочетать полноту изложения с краткостью.
· Цитата - точное воспроизведение текста; заключается в кавычки; точно указывается источник, автор, год издания (или, номер источника из списка литературы - в случае заимствованного цитирования) в прямоугольных скобках.
· Тезисы - концентрированное изложение основных положений прочитанного материала.
· Аннотация - очень краткое изложение содержания прочитанной работы (поисковый образ).
· Резюме – краткие выводы и положения работы, ее концептуальные итоги.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

6.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования индикаторов их достижения в процессе освоения ОПОП

ОПК-1:Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий;

Недостаточный уровень:

Не знает фундаментальные разделы наук о Земле

Не умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования

Не владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании

Пороговый уровень:

Удовлетворительно знает фундаментальные разделы наук о Земле

Удовлетворительно умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования

Удовлетворительно владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании

Продвинутый уровень:

Хорошо знает фундаментальные разделы наук о Земле

Хорошо умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования

Хорошо владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании

Высокий уровень:

Отлично знает фундаментальные разделы наук о Земле

Отлично умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования

Отлично владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании

6.2. Шкала оценивания в зависимости от уровня сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций

Характеристики индикаторов достижения компетенций	**1. Недостаточный: компетенции не сформированы.**	**2. Пороговый: компетенции сформированы.**	**3. Продвинутый: компетенции сформированы.**	**4. Высокий: компетенции сформированы.**
Знания:	Знания отсутствуют.	Сформированы базовые структуры знаний.	Знания обширные, системные.	Знания твердые, аргументированные, всесторонние.
Умения:	Умения не сформированы.	Умения фрагментарны и носят репродуктивный характер.	Умения носят репродуктивный характер применяются к решению типовых заданий.	Умения успешно применяются к решению как типовых, так и нестандартных творческих заданий.
Навыки:	Навыки не сформированы.	Демонстрируется низкий уровень самостоятельности практического навыка.	Демонстрируется достаточный уровень самостоятельности устойчивого практического навыка.	Демонстрируется высокий уровень самостоятельности, высокая адаптивность практического навыка.

Описание критериев оценивания

Обучающийся демонстрирует: - существенные пробелы в знаниях учебного материала; - допускаются принципиальные ошибки при ответе на основные вопросы билета, отсутствует знание и понимание основных понятий и категорий; - непонимание сущности дополнительных вопросов в рамках заданий билета; - отсутствие умения выполнять практические задания, предусмотренные программой дисциплины; - отсутствие готовности (способности) к дискуссии и низкая степень контактности.	Обучающийся демонстрирует: - знания теоретического материала; - неполные ответы на основные вопросы, ошибки в ответе, недостаточное понимание сущности излагаемых вопросов; - неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы; - недостаточное владение литературой, рекомендованной программой дисциплины; - умение без грубых ошибок решать практические задания, которые следует выполнить.	Обучающийся демонстрирует: - знание и понимание основных вопросов контролируемого объема программного материала; - твердые знания теоретического материала; -способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, выявлять противоречия, проблемы и тенденции развития; - правильные и конкретные, без грубых ошибок ответы на поставленные вопросы; - умение решать практические задания, которые следует выполнить; - владение основной литературой, рекомендованной программой дисциплины; - наличие собственной обоснованной позиции по обсуждаемым вопросам. Возможны незначительные оговорки и неточности в раскрытии отдельных положений вопросов билета, присутствует неуверенность в ответах на дополнительные вопросы.	Обучающийся демонстрирует: - глубокие, всесторонние и аргументированные знания программного материала; - полное понимание сущности ивзаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, точное знание основных понятий в рамках обсуждаемых заданий; - способность устанавливать и объяснять связь практики и теории; - логически последовательные, содержательные, конкретные и исчерпывающие ответы на все задания билета, а также дополнительные вопросы экзаменатора; - умение решать практические задания; - свободное использование в ответах на вопросы материалов рекомендованной основной и дополнительной литературы.
0 - 59 баллов	**60 - 69 баллов**	**70 - 89 баллов**	**90 - 100 баллов**
Оценка «незачет», «неудовлетворительно»	**Оценка «зачтено/удовлетворительно», «удовлетворительно»**	**Оценка «зачтено/хорошо», «хорошо»**	**Оценка «зачтено/отлично», «отлично»**

Оценочные средства, обеспечивающие диагностику сформированности компетенций, заявленных в рабочей программе по дисциплине (молулю) для проведения промежуточной аттестации

ОЦЕНИВАНИЕ УРОВНЯ ЗНАНИЙ: Теоретический блок вопросов. Уровень освоения программного материала, логика и грамотность изложения, умение самостоятельно обобщать и излагать материал.
1. Недостаточный уровень
Не владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании
Не умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования
Не знает фундаментальные разделы наук о Земле
2. Пороговый уровень
Удовлетворительно владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании

Удовлетворительно умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования
Удовлетворительно знает фундаментальные разделы наук о Земле
3. Продвинутый уровень
Хорошо владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании
Хорошо знает фундаментальные разделы наук о Земле
Хорошо умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования
4. Высокий уровень
Отлично владеет навыками базовых знаний наук о Земле и природопользовании
Отлично умеет применять базовые знания наук о Земле при решении задач в области экологии и природопользования
Отлично знает фундаментальные разделы наук о Земле

В случае, если сумма рейтинговых баллов, полученных при прохождении промежуточной аттестации составляет от 0 до 9 баллов, то зачет/ зачет с оценкой/ экзамен НЕ СДАН, независимо от итогового рейтинга по дисциплине.
В случае, если сумма рейтинговых баллов, полученных при прохождении промежуточной аттестации находится в пределах от 10 до 30 баллов, то зачет/ зачет с оценкой/ экзамен СДАН, и результат сдачи определяется в зависимости от итогового рейтинга по дисциплине в соответствии с утвержденной шкалой перевода из 100-балльной шкалы оценивания в 5- балльную.
Для приведения рейтинговой оценки по дисциплине по 100-балльной шкале к аттестационной по 5-балльной шкале в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет) используется следующая шкала:

Аттестационная оценка по дисциплине	Рейтинговая оценка по дисциплине
"ОТЛИЧНО"	90 - 100 баллов
"ХОРОШО"	70 - 89 баллов
"УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО"	60 - 69 баллов
"НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО"	менее 60 баллов
"ЗАЧТЕНО"	более 60 баллов
"НЕ ЗАЧТЕНО"	менее 60 баллов

6.3. Оценочные средства текущего контроля (примерные темы докладов, рефератов, эссе)
1. Какое движение называется вращательным.
2. Назовите характеристики вращательного движения и дайте им определение.
3. Связь характеристик поступательного и вращательного движений.
4. Что называется моментом силы и моментом инерции.
5. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения.
6. Какое движение называется колебательным.
7. Что такое период и частота колебаний.
8. Напишите уравнение гармонического колебания.
9. Напишите уравнения скорости и ускорения при колебательном движении.
10. Что такое математический и физический маятники. Напишите формулы периодов их колебаний.
11. Сформулируйте и напишите уравнение 1–го закона термодинамики в общем виде и через параметры состояния.
12. Напишите уравнение 1–го закона термодинамики для изопроцессов.
13. Что такое теплоемкость, и какие теплоемкости различают у газов.
14. Напишите уравнение Майера для молярных теплоемкостей.
15. Какие явления переноса вы знаете, и какие физические величины переносятся в этих процессах.

Полный перечень вопросов и тестов см в приложении

6.4. Оценочные средства промежуточной аттестации.
Примерный перечень вопросов для экзамена
1. Напишите и поясните уравнение диффузии.
2. Напишите и поясните уравнение теплопроводности.
3. Напишите и поясните уравнение для силы внутреннего трения.
4. Что такое электрическое поле.
5. Назовите характеристики электрического поля и напишите формулы для их определения в поле, создаваемом точечным зарядом.
6. Дайте определение электрическому току и условиям его существования.
7. Запишите выражения законов Ома для участка цепи, замкнутой цепи и закона Ома в дифференциальной форме.
8. Что такое магнитное поле? Чем создается магнитное поле и каковы его характеристики?
9. Сформулируйте и напишите формулы законов Ампера, Био–Савара–Лапласа и закона полного тока.
10. Приведите формулы для расчета напряженностей магнитных полей, создаваемых:
– прямолинейным бесконечным проводником с током;
– отрезком прямолинейного проводника с током;

– кольцевым проводником с током в центре витка;
– соленоидом во внутренней области.
11. Какие виды волн Вы знаете.
12. Что такое стоячая волна, узлы и пучности стоячей волны.
13. Резонанс.
14. Скорость звука, число Маха, полёты на сверхзвуковых скоростях.

Базу тестов см в приложении

6.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)
Учебным планом не предусмотрено

6.6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
Рекомендации по подготовке к лекционным занятиям

Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Именно поэтому контроль над систематической работой студентов всегда находится в центре внимания кафедры.

Студентам необходимо:

- Перед каждой лекцией просматривать РПД и предыдущую лекцию, что, возможно, позволит сэкономить трудозатраты на конспектировании новой лекции (в случае, когда предыдущий материал идет как опорный для последующего), ее основных разделов и т.п.;

- На некоторые лекции приносить вспомогательный материал на бумажных носителях, рекомендуемый лектором (таблицы, графики, схемы). Данный материал необходим непосредственно для лекции;

- При затруднениях в восприятии лекционного материала, следует обратиться к рекомендуемым и иным литературным источникам и разобраться самостоятельно. Если разобраться в материале все же не удалось, то существует график консультаций преподавателя, когда можно обратиться к нему за пояснениями или же прояснить этот вопрос у более успевающих студентов своей группы (потока), а также на практических занятиях. Важно не оставлять масштабных «белых пятен» в освоении материала.

Рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Студентам следует:

· приносить с собой рекомендованную преподавателем к занятию литературу;

· до очередного практического занятия, по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;

· при подготовке к практическим занятиям рекомендуется использовать не только лекции, учебную литературу, но и нормативно-правовую документацию в случае её актуальности по теме, а также материалы прикладных тематических исследований;

· теоретический материал следует соотносить с прикладным, так как в них могут применяться различные подходы, методы и т.п. инструментарий, которые не всегда отражены в лекции или рекомендуемой учебной литературе;

· в начале практических занятий, определить с преподавателем вопросы по разрабатываемому материалу, вызывающему особые затруднения в его понимании, освоении, необходимых при решении поставленных на занятии задач;

· в ходе занятий формулировать конкретные вопросы/ответы по существу задания;

· на занятиях, доводить каждую задачу до окончательного/логического решения, демонстрируя понимание проведенных расчетов (анализа, ситуаций).

Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющие письменного выполнения лабораторной работы/иного задания преподавателя, или не подготовившиеся к данному практическому занятию, рекомендуется отчитаться преподавателю по пропущенным темам занятий одним из установленных методов (самостоятельно переписанный конспект, реферат-отработка, выполненная лабораторно-практическая работа/задание и т.п.), не позже соответствующего следующего занятия.

Студенты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на теме, к началу зачетной сессии, упускают возможность получить положенные рейтинговые баллы за работу в соответствующем семестре, со всеми вытекающими последствиями.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1. Рекомендуемая литература	
7.1.1. Основная литература	
Л.1.1	Савельев И. В. Механика. Молекулярная физика [Электронный ресурс]:учебное пособие для ВПО. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 436 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/142380
Л.1.2	Кузнецов С.И., Рогозин К.И. Вся физика на ладони: интерактивный справочник [Электронный ресурс]:Справочная литература. - Москва: Вузовский учебник, 2021. - 252 с. – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/document?id=373209
Л.1.3	Демидченко В.И., Демидчекно И.В. Физика [Электронный ресурс]:Учебник. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2020. - 581 с. – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/document?id=372962
Л.1.4	Карманов Ф.И., Острейковский В. А. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad [Электронный ресурс]:Учебное пособие. - Москва: ООО "КУРС", 2019. - 208 с. – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/document?id=355561
Л.1.5	Романов В.П. Концепции современного естествознания: Практикум [Электронный ресурс]:Учебное пособие. - Москва: Вузовский учебник, 2019. - 128 с. – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/document?id=367335
Л.1.6	Романов В.П. Концепции современного естествознания [Электронный ресурс]:Учебное пособие для студентов вузов. - Москва: Вузовский учебник, 2019. - 286 с. – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/document?id=373202
Л.1.7	Калашников Н. П., Муравьев-Смирнов С. С. Общая физика. Сборник заданий и руководство к решению задач [Электронный ресурс]:учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 524 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/130574
7.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение в том числе отечественного производства	
7.2.1	Microsoft Windows 7
7.2.2	Kaspersky Endpoint Security
7.2.3	Microsoft Office 2013 Standard
7.3. Перечень профессиональных баз данных, информационных справочных систем и ресурсов сети Интернет	
7.3.1	Электронно-библиотечная система "Лань". Режим доступа: https://e.lanbook.com/
7.3.2	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека онлайн". Режим доступа: https://biblioclub.ru/
7.3.3	Электронно-библиотечная система "Znanium.com". Режим доступа: https://znanium.com/
7.3.4	ПЛАТФОРМА ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИЯ «РАЗУМ». Режим доступа: https://razoom.mgutm.ru/
7.3.5	Справочно-правовая система "Гарант". Режим доступа: https://www.garant.ru/
7.3.6	Научная электронная библиотека "eLIBRARY.RU". Режим доступа: https://www.elibrary.ru/
7.3.7	Компьютерная справочно-правовая система "КонсультантПлюс". Режим доступа: http://www.consultant.ru/
7.3.8	Электронно-библиотечная система "Юрайт". Режим доступа: https://biblio-online.ru/

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1	**Адрес: Ростов-на Дону, Семашко, 55, аудитория 29** - Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа; занятий семинарского типа; для курсового проектирования (выполнения курсовых работ); для проведения групповых и индивидуальных консультаций; для текущего контроля и промежуточной аттестации : Рабочие места обучающихся; Рабочее место преподавателя; Переносной ноутбук; Доска меловая; Учебно- наглядные пособия.

9. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Организация образовательного процесса для лиц с ограниченными возможностями осуществляется в соответствии с «Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса» Министерства образования и науки РФ от 08.04.2014г. № АК-44/05вн. В образовательном процессе используются социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Студенты с ограниченными возможностями здоровья, в отличие от остальных студентов, имеют свои специфические особенности восприятия, переработки материала. Подбор и разработка учебных материалов производится с учетом индивидуальных особенностей. Предусмотрена возможность обучения по индивидуальному графику, при составлении которого возможны различные варианты проведения занятий: в академической группе и индивидуально, на дому с использованием дистанционных образовательных технологий.

Актуализация с учетом развития науки, техники, культуры, экономики, техники, технологий и социальной сферы

Руководитель ОПОП
Канд. хим наук, доц .Н.П. Вассель_____

Рабочая программа актуализирована, обсуждена и одобрена на заседании обеспечивающей кафедры

Физики, математики и инф. технологий

Протокол от_____2023 г. № _
Зав. кафедрой Мурат Е.П._____

Рабочая программа согласована на заседании выпускающей кафедры

Биотехнологии, химиии аквакультуры

Протокол от_____2023 г. № _
Зав. кафедрой Вассель Н.П._____

Лабораторный практикум по дисциплине “Физика”

Введение.

Лабораторный практикум по физике предназначен для закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях. При выполнении лабораторных работ студент имеет возможность проверить правильность основных законов по всем разделам физики.

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения, всех факультетов. Количество и тематика лабораторных работ устанавливается кафедрой с учетом планов изучения физики для различных специальностей.

Общие правила выполнения и оформления лабораторных работ.

Подготовка к выполнению лабораторной работы должна быть сделана до начала занятий в лаборатории. Во время подготовки необходимо уяснить следующее:

~ какой закон изучается в данной работе? Физический смысл измеряемой величины, в каких единицах она измеряется.

~ каким методом проводятся измерения?

~ как механически определяется измерение каждой операции в данной работе?

~ студент должен получить у лаборанта бланки протокола и ознакомиться с установкой.

~ перед началом работы студент опрашивается преподавателем по теории данной лабораторной работы.

~ после выполнения работы оформленный протокол измерений и подсчета конечной (искомой) величины должен быть проверен преподавателем, подписан им и отмечен в журнале отчета.

~ для получения окончательного зачета по данной работе студент обязан ответить на все теоретические вопросы по данной работе.

В лабораторном практикуме приведены основы теории обработки результатов измерений.

Основы теории обработки результатов.

В 1960 г. XI генеральная конференция по мерам и весам приняла систему единиц физических величин, которая названа «Международная система единиц» (французское название «System International» или сокращение по-русски «СИ»).

Принятием государственного стандарта ГОСТ 8.417–81. Международная система единиц введена как обязательная при изучении всех дисциплин.

Все единицы, входящие в СИ подразделяются на две категории: основные и производные. Основные единицы независимы друг от друга, а производные устанавливаются с помощью уравнений, связывающих физические величины друг с другом.

Основные единицы приведены в таблице 1. Следует обратить внимание на единицы, получившие название в честь выдающихся ученых – физиков. Наименование единиц (как основных, так и производных) пишется со строчной буквы, а обозначение – с прописных.

Таблица №1.

Физическая величина	**Единица СИ**	
	Наименование	**Обозначение**
Длина	Метр	м
Масса	Килограмм	кг
Время	Секунда	с
Сила электрическ оготока	Ампер	А
Термодинамическая температура	Кельвин	К
Количество вещества	Моль	Моль
Сила света	Кандела	кд

Определение основных единиц физических величин, а также наименование и обозначение производных единиц даны в соответствующих разделах курса физики.

Наряду с основными и производными единицами в системе СИ введены следующие две дополнительные единицы:

- радиан – единица, равная углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу;
- стерадиан – единица, равная телесному углу (вершина в центре сферы), вырезающему из поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

В соответствии с рекомендациями международного комитета мер и весов дополнительные единицы интерпретируются как производные единицы.

Для удобства записи данных вводятся десятичные кратные и дольные единицы физических величин. С этой целью предусмотрен (табл. 2) ряд множителей, равных $10^{к}$ (здесь «к» – целое положительное или отрицательное число), и приставок к наименованиям и обозначениям единиц.

Таблица №2.

Множитель	Приставка		Множитель	Приставка	
	Наименование	обозначение		наименование	обозначение
10^{18}	Экса	Э	10^{-1}	деци	д
10^{15}	Пета	П	10^{-2}	санти	с
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	милли	м
10^{9}	гига	Г	10^{-6}	микро	мк
10^{6}	мега	М	10^{-9}	нано	н
10^{3}	кило	к	10^{-12}	пико	п
10	дека	д	10^{-15}	фемто	ф

Погрешности измерения.

Измерения физических величин принципиально не могут быть идеально точными, каждый результат измерения отягчен погрешностями.

Погрешностью измерения:

$$\Delta X = \left|\overline{X} - X\right| \quad (1)$$

называется отклонение ΔX результата изменения X от истинного значения X измеряемой величины.

В уравнении (1) погрешность ΔX выражена в тех же единицах, что и измеряемая величина X . Такая погрешность называется абсолютной. Чаще оказывается удобней пользоваться относительной погрешностью, представляющей собой отношение абсолютной погрешности измерений к измеряемой величине:

$$\square \square \frac{\square X}{\overline{X}} \sim \frac{\square X}{X}$$

(2)

Погрешности классифицируются по свойствам и причинам возникновения.

По свойствам различаются погрешности систематические и случайные. Составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины в неизменных условиях, называется систематической. Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же физической величины, называется случайной.

По причинам возникновения погрешности подразделяется на личные, методические и инструментальные.

К личным погрешностям относятся погрешности, возникающие при отсчетах по шкалам приборов, при отсчетах промежутков времени и т.п. В лабораторном практикуме эта составляющая, как правило, невелика и носит случайный характер.

Методическая погрешность возникает из–за недостаточной разработанности теории всех явлений, которые положены в основу измерений, и из–за неточности тех соотношений, которые используются для расчета искомой величины по данным эксперимента. В лабораторном практикуме эти соотношения точно описывают изучаемое явление, но они не всегда учитывают разнообразие сравнительно небольших влияний внешних факторов, изменение которых носит случайный характер (колебание температуры помещения, электрические и магнитные помехи, нестабильность источника тока и др.). По своим свойствам методические погрешности, встречающиеся в лабораторном практикуме, носят случайный характер.

Инструментальная погрешность измерения возникает из–за несовершенства средств измерений. В условиях лабораторного практикума инструментальная погрешность определяется классом точности приборов. Она носит как систематический, так и случайный характер.

Обнаруженная и оцененная систематическая погрешность исключается из результата измерения путем введения соответствующей поправки, в то время как случайная погрешность снижается путем многократных измерений физической величины. Поэтому основное внимание в лабораторном практикуме уделяют случайным погрешностям измерений.

При определении значения любой физической величины, истинное значение которой X, теоретически мыслимо получить бесконечный набор измеренных значений экспериментальных «точек» $X_1, X_2 ... X_i ...$ Такой набор называется генеральной совокупностью значений. Для генеральной совокупности ее

характеристики определяются довольно просто. Например, истинное значение в этом случае равно среднему значению, т.е.

$$X = \bar{X} = \lim_{n \to \infty} \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

(3)

Просто вычисляется и характеристика разброса экспериментальных данных около X – дисперсия D(x).

На самом деле в распоряжении исследования имеется не бесконечная, а ограниченная совокупность – ряд $x_1, x_2, ...,$ измеренных значений величины X. Эту ограниченную совокупность рассматривают как выборку из генеральной совокупности. Понятно, что ограниченный объем измерительной информации не позволяет в общем случае ожидать, что характеристики выборки в точности равны характеристикам генеральной совокупности. Задача обработки результатов измерений состоит в том, чтобы, пользуясь ограниченным объемом измерений (выборкой объема n из генеральной совокупности), наилучшим образом приближенно оценить истинное значение и разброс данных этого значения (дисперсию). Такими научными оценками являются соответственно средне арифметическое значение

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

(4)

выборочная дисперсия отдельных измерений

$$D(x) = \sigma^2(x) = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

(5)

и выборочная дисперсия результата измерений

$$D(x) = \sigma^2(x) = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{i=1}^{} x_i$$

(6)

где $(x_i - x)$ отклонение отдельных значений от среднего x;

σ_x среднее квадратичное отклонение от среднего.

Как уже говорилось, нельзя ожидать, что $\bar{x} = X$. Можно лишь утверждать, что с некоторой заранее заданной (доверительной) вероятностью погрешность измерений будет не больше некоторого числа (7) Δx, т.е.

$x \square x$ $\square \square x$ $\left| \quad \right|$ $-$

где $\bar{\ }$ характеризует точность оценки величины $\underline{x}$. Интервал $\square\underline{x} \square \square\underline{x}; x \square \square\underline{x}\square$, $\square x$ равный $2\square$ и заключающий в себе истинное значение X, называется x доверительным. После обработки результат измерения должен быть записан в виде

$$x \square \bar{x} \square \square x \tag{8}$$

Чтобы рассчитать $\square\bar{x}$, должна быть задана (выбрана) заранее доверительная вероятность. В лабораторном практикуме по физике принято считать доверительную вероятность равной 0,96. Выбор такого значения вероятности типичен для физических измерений средней точности.

Для расчета доверительной точности необходимо знать не только доверительную вероятность, но и закон распределения случайной величины $_i \square \bar{x}\square$. $\square x$ Этот закон вообще говоря, должен быть установлен для каждого конкретного ряда измерений. При большом числе измерений наиболее распространенным является <u>нормальный закон распределения погрешности.</u>

На рис.1 представлена ось значений x, где за нуль (начало отчёта) выбрано среднее значение $\bar{x}$. Экспериментальные значения x_i могут быть положительными и отрицательными относительно выбранного нуля и теоретически могут располагаться в различных точках оси x, т.е. то нуля до бесконечности. Очевидно, что из n экспериментальных значений (“точек”) большинство их расположится симметрично относительно нуля и вблизи нуля, в то время как вероятность появления очень близких значений x_i при достаточно точных измерениях чрезвычайно мала.

Выберем на расстоянии x от нуля интервал $\square x$. $\square n$ экспериментальных Число значений, попадающих в этот интервал, тем больше, чем больше $\square x$ и объём выборки n: $\square n \sim n\square x$. Переходя к бесконечно малым значениям, получаем:

$$dn \square nf(x)dx \tag{9}$$

Функция $f(x)$ называется функцией распределения вероятности. Эта функция характеризует вероятность появления отклонения $(x_i \square \bar{x})$ в зависимости от его величины.

Распределение вероятности называют нормальным, если оно описывается дифференциальной функцией

$$f(x) \square \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[\square(x \square \bar{x})^2 / 2\square^2 \tag{10}$$

где σ– средне квадратичное отклонение случайной величины от среднего.

График функции $f(x)$ приведен на рис. 2. Расчеты показывают, что при нормальном

распределении в интервал ±σ попадает 68% всех экспериментальных точек, а уже в интервал ±2σ –96% (то есть почти все). Как видно при выбранной доверительной вероятности 0,96 и при нормальном законе распределения отклонений экспериментальных значений от среднего, доверительный интервал равен $2\Delta x \; \Delta \; 4\Delta(x)$

При малом числе измерений распределение подчиняется другому закону, а именно закону распределения Стьюдента. Это распределение при больших объемах выборки n переходит в нормальное распределение.

При принятых допущениях погрешность измерений, равную $\bar{\Delta x}$ (половине доверительного интервалу $2\Delta_x$), можно интерпретировать как предельную погрешность. Её вычисляют по формуле

$$\Delta\bar{x} \; \Delta\Delta\Delta(x) \; \Delta\sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i-1}^{n}(x_i-\bar{x})^2},$$

(11)

в которой параметры ψ берут из табл. 3, рассчитанной из распределения Стьюдента для различных объёмов выборки *n*. Как видно, малое число *n* измерений приводитк тому, что одновременно вырастают ψ и подкоренное выражение. Тем самым увеличивается доверительный интервал, в пределах которого находится истинное значение измеряемой величины, а следовательно растёт погрешность Δx.

Таблица 3.

n	ψ	n	ψ
3	4,30	9	2,31
4	3,16	10	2,26
5	3,78	15	2,15
6	2,57	20	2,09
7	2,45	50	2,01
8	2,37	100	1,96

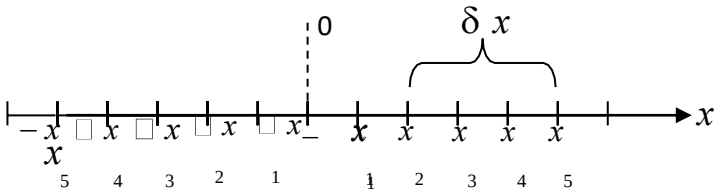


Рис. 1

Модуль 1. Механика

Лабораторная работа

№2

«Определение ускорения свободного падения»

1. Краткая теория

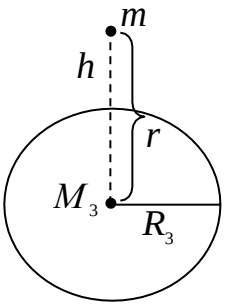
Гравитационное поле Земли или поле тяготения, (как и любое другое поле), это особый вид существования материи и представляет собой область пространства вокруг Земли (как массы), в котором на любую другую массу обнаруживается действие силы.

Эта сила определяется законом всемирного тяготения Ньютона:

$$F_{тяг} = \gamma \frac{M_3}{r^2} \qquad (1)$$

где $\gamma = 6{,}62 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$ – гравитационная постоянная, r – расстояние между центрами взаимодействующей тел.

В данном случае $r = R_3 + h$.



Основными характеристиками гравитационного поля являются: напряжённость и потенциал.

В данной работе мы будем определять напряжённость поля – силовую характеристику его, которая численно равна силе, действующей на единицу массы в данной точке поля:

$$g = \frac{F_{тяг}}{m} = \frac{\gamma \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}}{m} \qquad \left[\frac{Н \cdot м^2}{кг^2} \cdot \frac{кг}{м^2} = \frac{Н}{кг} = \frac{кг \cdot м}{кг \cdot с^2} = \frac{м}{с^2}\right]$$

Напряжённость поля по размерности совпадает с ускорением и величина эта называется ускорением свободного падения.



Ускорение свободного падения поля Земли или напряжённость поля можно найти, используя законы колебания математического маятника. Математическим маятником называется идеализированная система, состоящая из подвешенной длинной невесомой нерастяжимой нити с грузом на конце, размерами которого можно пренебречь. Период колебания математического маятника зависит от значения ускорения свободного падения в данном месте Земли:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (3)$$

где l – длина нити математического маятника.

Из формулы (3) найдём $g = \frac{F}{m}$.

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \qquad (4)$$

2. Описание установки. Порядок выполнения работы.

Математический маятник сконструирован так, что длина нити может меняться. Устанавливают определённую длину нити маятника l и записывают его значение в таблицу. Затем отсчитывают n полных колебаний маятника, отклонив его на малый угол и записывают время этих колебаний. Повторяют измерения несколько раз с разной длиной нити маятника. Определяют период колебания. Находят несколько значений ускорения свободного падения, определяют его среднее значение, абсолютную и относительную ошибку измерения.

Протокол лабораторной работы №2.

l	n	t	T	g	Δg

$g_{ср} =$ $\quad \Delta g_{ср} =$ $\quad \varepsilon = \frac{\Delta g_{ср}}{g_{ср}} \cdot 100\% =$

$g \pm (g_{ср} \pm \Delta g_{ср})$ %

Вопросы для самопроверки к работе №2.

1. Что такое гравитационное поле? Какие ещё поля Вам известны?
2. Назовите основные характеристики гравитационного (поля тяготения) поля.
3. Напишите закон Всемирного тяготения и как используется он для нахождения формулы для напряжённости гравитационного поля Земли.
4. Вычислите численные значения ускорения свободного падения для: а) Земли; б) Луны.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по механике « Определение ускорения свободного падения».

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа №3

«Изучение законов вращательного движения»

1. Краткая теория

Тело, деформациями которого в условиях данной задачи можно пренебречь, называется абсолютно твёрдым телом. Твердое тело можно рассматривать как систему материальных точек, взаимное расположение которых остаётся неизменным.

Вращательным называют такое движение твердого тела, при котором все его точки движутся в параллельных плоскостях ⊥ оси вращения и описывают окружности с центрами, лежащими на одной неподвижной прямой $00'$, называемой осью вращения (рис.1). При вращательном движении твердого тела все его точки, находящиеся на различных расстояниях r_i от оси вращения, за единицу времени проходят различные пути ΔS_i, следовательно, имеют различные линейные скорости $\bar{\upsilon}_i$ и ускорение $\bar{a}_i$.

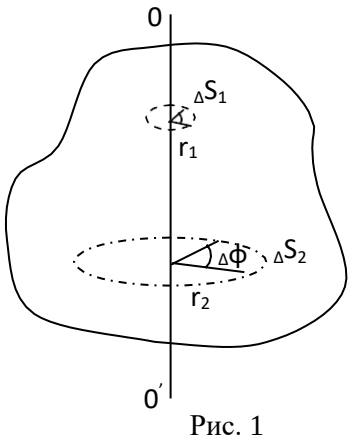


Рис. 1

Для описания кинематики вращательного движения тела нужно задать положение в пространстве оси вращения, угловую скорость □ и угловое ускорение □ в любой момент времени. Между угловыми и линейными характеристиками точек вращающегося тела имеется следующая связь

$$S \square \square \square r$$

$$\square \square \square \quad (1) \quad \square r$$

$$a \square \square \quad \square r$$

где r – расстояние данной точки от оси вращения.

Для описания динамики вращательного движения необходимо ввести в рассмотрение ещё две физические величины: момент силы M и момент инерции I .

Моментом силы относительно оси 0` (рис.2) называется величина M, определяемая векторным произведением

$$\square \square \overrightarrow{\square} \vec{r} \square \vec{F} \square \ ,$$

где r □ радиус– вектор, проведённый из точки 0 в точку приложения силы (т.А). Если r и $\vec{F}$ лежат в плоскости рисунка, то вектор М расположен перпендикулярно к плоскости рисунка и направлен “от нас ”. На рис. 2 вектор М обозначается кружком с вписанного в него крестиком. Модуль вектора момента силы равен:

$$M = rF\sin\alpha = Fl, \quad (3)$$

где α – угол между направлениями $\vec{r}$ и $\vec{F}$, а $l = r\sin\alpha$ – плечо силы $\vec{F}$, т.е. длина перпендикуляр из точки 0 на прямую, вдоль которой действует сила $\vec{F}$. Вращательное движение вызывает только перпендикулярная к r составляющая силы $\vec{F}$. Момент инерции тела относительно некоторой оси – скалярная физическая величина, являющаяся мерой инерции тела при вращательном движении относительно этой оси.

Момент инерции материальной точки, находящейся на расстоянии r от оси вращения, равен

$$I = mr^2, \quad (4)$$

где m – масса материальной точки. Момент инерции любого твёрдого тела относительно некоторой оси равен сумме моментов инерции всех его элементов (материальных точек) m_i относительно этой оси, т.е.

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad \text{или} \quad I = \int_m r^2 dm \quad (5)$$

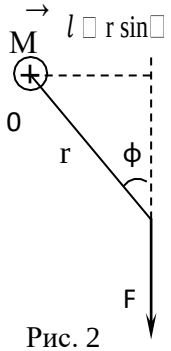


Рис. 2

Для тел простейший формы момент инерции сплошного цилиндра, кольца радиуса R и однородного стержня относительно оси проходящей через центр масс этих тел равен соответственно:

$$I_0 = \frac{1}{2}mR^2 \qquad I_0 = mR^2; \quad I_0 = \frac{1}{12}ml^2 \tag{6}$$

где (l – длина стержня)

В случае, если ось, относительно которой определяется момент инерции I , расположена на расстоянии d от оси вращения, проходящей через центр масс тела,и параллельной ей, а момент инерции определяется по теореме Штейнера:

$$I = I_0 + md^2 , \tag{7}$$

где m– масса тела; I_0 – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс.

При вращательном движении момент силы и момент инерции играют ту же роль, что сила и масса при поступательном движении. Как известно, основным уравнением динамики поступательного движения является II закон Ньютона $F = ma$. Аналогично этому при вращательном движении основное уравнение динамики имеет вид

$$M = I\varepsilon$$

В данной работе необходимо проверить закономерности при вращательном движении:

1. При постоянном моменте инерции I системы угловое ускорение пропорционально вращательному моменту M, т.е.

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}_1 = \frac{M_1}{M_2}$$

1. При постоянном вращательном моменте силы M угловое ускорение системы ε обратно пропорционально моменту инерции J силы, т.е.

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}_1 = \frac{I_2}{I_1}$$

Описание установки

Установка представляет собой систему, состоящую из двух шкивов (радиус r_1 и r_2), закреплённых на одной оси 00, и четырёх спиц, на которых закреплены грузы одинаковой массы m_1. Грузы можно перемещать вдоль спиц, закрепляя их на разных расстояниях R от оси. Вся система может приводиться во вращательное движение посредством опускания гири массой m, прикреплённой к шнуру, который намотан на один из шкивов (рис. 3)

Поворачивая всю систему рукой, мы будем наматывать шнур на шкив и тем самым поднимем гирю m на высоту h.

В начале опыта, когда мы удерживаем систему в неподвижном состоянии, а гиря находится наверху, нить натянута силой тяжести этой гири. Но как только мы прекратим удерживать систему, гиря начинает равноускоренно падать с ускорением $a = 2h/t^2$, где h– высота падения груза, t – время падения. При этом возникает сила $ma = mg - F_н$. В результате сила натяжения шнура будет равна разности двух сил: $F_н = mg - ma = m(g - a)$ где g– ускорение силы тяжести.

Результатирующая сила F приводит во вращение всю систему. Вращательный момент этой силы равен

$$M = m(g - a)r, \quad (1)$$

а с учётом основного уравнения динамики вращательного движения (I) и выражения для ε, и $M = F \cdot r$ получаем:

$$m(g - a)r = Ia/r \quad (2)$$

где r–расстояние от линии действия силы до оси вращения, I – момент инерции системы. Таким образом, измеряя h и t, можно определить a, ε, M и I: $a = 2h/t^2$;

$$\varepsilon = a/r = 2h/t^2 \cdot r; \quad M = m(g - 2h/t^2)r; \quad I = I_0 = 4m_1R^2, \quad (3)$$

где I_0 =0,007 кг.м^2 – момент инерции спиц, $4m_1R^2$– момент инерции четырёх грузов m_1.

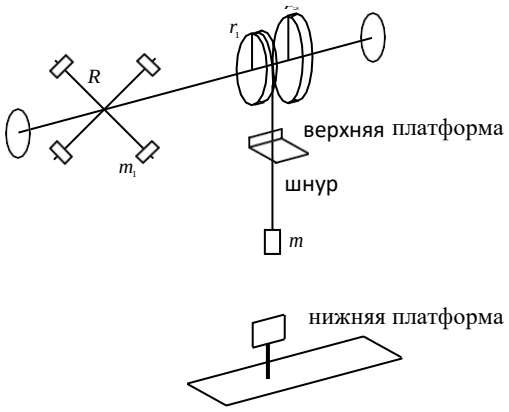


Рис. 3

3. Порядок выполнения работы

А. Проверка правильности соотношения

$\square_1/\square_2 = \square_1/\square_2$ *при постоянном моменте инерции системы I .*

1. Включают секундомер.
2. Закрепляют грузы m_1 на спицах на заданном расстоянии R от оси вращения. Устанавливают нижнюю платформу так, чтобы она находилась под верхней платформой на заданном расстоянии от неё h. При опущенных платформах наматывают шнур на блок радиуса r_1, поднимают груз выше верхней платформы. Устанавливают в горизонтальном положении сначала нижнюю, а затем верхнюю платформы.
3. Нажимают кнопку “сброс” на секундомере.
4. Поворотом крестовины устанавливают груз m на расстоянии *1–2мм* от верхней платформы и опускают крестовину. Груз начинает падать. При соприкосновении груза m (набора гирь) с верхней платформой последняя опускается и тем самым включает секундомер, который отключается при соприкосновении груза с нижней платформой. Последняя опускается и тем самым включает секундомер. Время

падения груза t (показание секундомера) записывают в протокол. Этот опыт повторяют три раза, так что в протокол записывают три значения времени падения; t_1,t_2 и t_3.

5. Повторяют опыт, т.е. операции, указанные в п. 2–4, на другом блоке, радиус которого r_2.
6. По формулам (3) определяют $\square_1$ $\square_2$ M_1, M_2 соответственно при r_1 и r_2.
, ;
7. Расчётным путём определяют отношения $\square_1/\square_2$ и $\square_1/\square_2$ и сравнивают их.

Б. Проверка правильности соотношения

$\square_1/\square_2 = J_2/J_1$ *при постоянном моменте силы M.*

8. изменяют положения R грузов m_1 на крестовине на другое и наматывают шнур на один из блоков радиуса r (значения r и R задаются преподавателями или лаборантом).
9. Последовательно выполняют операции, указанные в п. 2–5.
10. Расчетным путём определяют отношения $\square_1/\square_2 = J_2/J_1$ и сравнивают их.

Рекомендуемая форма протокола выполнения лабораторной работы приведены ниже.

Протокол лабораторной работы № 3.

Опыты при I = const (R= const)

№	R	r	t_1	t_2	t_3	<t>	a	□	1.1.	I

Опыт при M= const (r const)

Вопросы для самопроверки к работе №3

1. Какое движение называется вращательным?
2. Что такое угловая скорость, угловое ускорение.
3. Дайте определение момента инерции материальной точки и твердого тела.

4. Что такое момент силы?
5. Напишите основное уравнение динамики вращательного движения.
6. Сформулируйте закон сохранения момента импульса.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Маятник Обербека для лабораторной работы по механике «Изучение законов вращательного движения».

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа №4

«Определение момента инерции тел методом колебаний»

1. Краткая теория.

Колебательным называют такое движение, при котором тело, выйдя из некоторого начального состояния, многократно возвращается к нему. Промежуток времени, через который колебания повторяются, называется, периодом колебаний Т. Колебательные процессы играют большую роль в современной технике. В зависимости от физической природы повторяющегося процесса различают колебания механические, электромагнитные др. В зависимости от характера воздействия, оказываемого на колебательную систему, различают свободные (собственные), вынужденные, затухающие автоколебания и др.

Простейшими являются свободные (собственные) колебания, т.е. такие, при которых смещение колеблющейся величины от положения равновесия описываются уравнением вида.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \qquad (1)$$

Решение этого уравнения представляет собой уравнение гармонических колебанийи имеет вид:

$$x = A\sin(\omega_0 t + \varphi_0) \qquad (2)$$

где x – смещение, A– максимальное смещение, называемое амплитудой колебаний, $\omega t + \varphi_0$ – фаза колебаний, φ_0 – начальная фаза, ω_0 – круговая (циклическая) собственная частота колебаний.

Физическим маятником называется твёрдое тело (рис.1), которое совершает колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести $p = mg$ около неподвижной горизонтальной оси 0 (её след на рис.1 – точка подвеса маятника). На рис.1 точка С является центром масс тела. Маятник находится в равновесном положении, когда ось 0С вертикальна. Расчёт, выполненный исходя из закона сохранения механической энергии, даёт следующие выражение для период колебаний такого маятника;

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} \quad (3)$$

где I момент инерции маятника, l расстояние от точки 0 до центра масс (точки С), m–масса маятника, g – ускорение свободного падения.

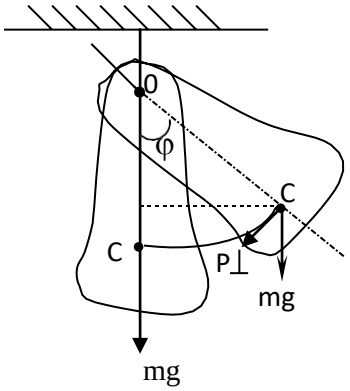


Рис. 1

Из формулы (3) получаем следующее выражение для расчета момента инерции I:

$$I = \frac{mgl}{4\pi^2}T^2, \quad (4)$$

или

$$I = aT^2, \quad (5)$$

где

$$a = \frac{mgl}{4\pi^2} \quad (6)$$

Цель работы – определение момента инерции твёрдого тела сложной конфигурации из экспериментальных данных о периоде Т колебаний этого тела.

2. Порядок выполнения работы.

1. С помощью специального устройства находят положение центра тяжести исследуемого тела.
2. Измеряют l – расстояние от точки подвеса маятника до центра масс.
3. Отклоняют тело от положения равновесия на небольшой угол ($7–10^0$) и отпускают. Тело начинает колебаться.
4. При одном из крайних положений тела запускают секундомер и измеряют время *t*, за которое совершено *N* колебаний. Находят период колебаний $T = t / N$ для разных значений *N*.

5. Опыт повторяют не менее пяти раз. Для каждого значения T рассчитывают значение I по формуле (4) или (5) и (6).
6. Определяют погрешность измерения момент инерции ΔI.

Рекомендуемая форма протокола выполнения лабораторной работы приведена ниже.

Протокол лабораторной работы №4.

№ опыта	N	t	T	T^2	I	$<I>$	ΔI

Вопросы для самопроверки к работе №4

1. Какое движение называется колебательным.
2. Назовите основные характеристики колебательного движения.
3. Что такое математический и физический маятник.
4. Напишите формулы для определения периодов колебания математического и физического маятника.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

Установка для лабораторной работы по механике «Определение момента инерции тел методом колебаний»

Лабораторная работа №5.

«Определение скорости распространения

звукаметодом стоячих волн»

1. Краткая теория.

В сплошной реальной среде частицы вещества связаны между собой упругими силами. При выведении частицы из положения равновесия на нее будут действовать силы, стремящиеся возвратить ее обратно в это положение. Под действием этих сил частица приобретает кинетическую энергию и по инерции пройдет через положение равновесия, т.е. придет в колебательное движение (см. работу 4). Её колебания будут с некоторым опозданием передаваться соседним частицам и процесс будет распространяться в пространстве. Процесс распространения колебаний в

окружающей среде называется волновым процессом ли волной. Волна графически изображается так же, как и колебание, т.е. синусоидой.

Если колебания происходят перпендикулярно направлению распространения колебаний, то волна называется поперечной. Если колебания происходят вдоль направления распространения колебаний, то волна называется продольной.

Расстояние (по направлению распространения волны) между двумя ближайшими точками, которые колеблются в одной фазе, называется длиной волны. Длинна волны □ , период Т, частота □ и скорость □ распространения волны связаны простыми зависимостями:

□ □ □ □ □ □□ □ □ □_ 1 ;
v ; □; v
(1)

Скорость распространения волн зависит от свойств среды, в которой они распространяются. Для газов □ □ $\sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$;

где □ – показатель степени адиабаты, R– универсальная газовая постоянная, равная $8{,}32 \cdot 10^3$ *Дж*/(*кмоль* □ *К*), Т– температура в кельвинах. Для воздуха

□ □ $\sqrt{\text{T}}$ м/с
(2) 20 □

Если колебание источника (вибратора), находящегося в точке *P* (рис.1) определяется уравнением $S = A\cos\omega t$, то колебание точки М, находящейся на расстоянии х от начала координат, определяется уравнением:

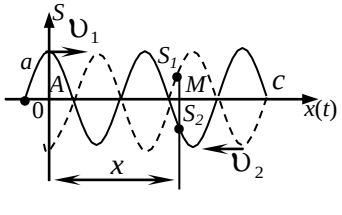
$$S = A\cos(\omega t - 2\pi \frac{x}{\lambda}) \quad ,$$

(3)

которое называют уравнением бегущей волны. Вид уравнения показывает, что колебание точки *M* повторяет колебания точки *P*, но сдвинутого по фазе на величину □□ □ . Важно отметить, что сдвиг фаз □ определяется не □2□ x □ □

абсолютным значением величины x, а отношением x к

□ , так как изменение фазы на величины синуса не изменяет. Пусть две
2□



волны одного периода и одинаковой амплитуды идут навстречу друг другу с одинаковой скоростью.

Смещение S в точке M (рис.1) от каждой волны будет определяться уравнениями:

$$S_1 = A\cos(\omega t - 2\pi \frac{x}{\lambda}) \;;\; S_2 = A\cos(\omega t + 2\pi \frac{x}{\lambda}) \quad (4)$$

Принимаем, что первая волна (сплошная линия) распространяется в направлении от точки P к точке C, а вторая волна (пунктирная линия) – от точки C к точке P. Поэтому во втором равенстве перед начальной фазой, в отличии от первого равенства, стоит противоположный знак (положительный). Складывая эти колебания, получимуравнение определяющее колебания точки M:

$$S = S_1 + S_2 = 2A\cos(2\pi \frac{x}{\lambda})\cos\omega t \quad (5)$$

Это есть уравнение стоячий воды. Здесь S–смещение колеблющейся точки,находящейся на расстоянии x от O. Из уравнения (5) следует:

1) колебание является гармоническим и имеет тот же период, что и у встречных волн:

2) амплитуда колебания, равная

$$A_c = \left| 2A\cos(2\pi \frac{x}{\lambda}) \right| \quad (6)$$

зависит от положения точек M, т.е. от значения x, и не зависит от времени.

В тех точках,
где

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = n\pi, \quad (n = 0,1,2....), \quad (7)$$

амплитуда достигает максимального значения $A_c=2A$. Эти точки называются пучностями стоячей волны. В тех точках, где

$$2\pi\frac{x}{\lambda}=\pi(n+\frac{1}{2}), \quad (8)$$

амплитуда колебаний обращается в ноль. Эти точки называются узлами стоячей волны.

Из условий (7) и (8) получается значения координат пучностей и узлов:

$$x_{пучн}=n\frac{\lambda}{2}; \qquad x_{узл}=(n+\frac{1}{2})\frac{\lambda}{2} \quad (9)$$

Точки среды, находящихся в узлах, колебаний не совершают. Из (9) следует, что расстояние между соседними пучностями, как и расстояние между соседними узлами, равно λ/2. Пучности и узлы сдвинуты друг относительно друга на четверть длины волны.

Множитель $2A\cos(2\pi\frac{x}{\lambda})$ при переходе через нулевое значение меняет знак. Поэтому фазы колебаний по разные стороны узла, отличаются на π, т.е. все точки, лежащее по разные стороны от узла колеблются в противофазе (рис.1). Все точки, заключённые между двумя соседними узлами, колеблются синфазно (в одной фазе, но с разными амплитудами).

В отличии от бегущей волны, в стоячей волне отсутствует перенос энергии. Это проявляется и в том, что положение узлов и пучностей со временем не меняется, поэтому и волны называются стоячими. Отсутствие переноса энергии является следствием того, что образующие эту волну прямая и обратная волны переносят энергию в равных количествах, но в противоположных направлениях.

Колебательное движение упругой среды при частоте колебаний в пределах от 20 до 20000Гц воспринимается нашим ухом, как ощущение звука. Колебания с частотой большей или меньшей частоты звуковых колебаний с физической точки зрения ничем специфическим не отличается от звуковых колебаний, различие лишь в физиологическом воздействии. Поэтому в физике понятие “звуковые колебания ”имеет более широкий смысл: оно охватывает все упругие колебания, распространяющиеся в виде волнового процесса в газах, жидкостях и твёрдых телах. Упругие колебания с частотой выше 20000Гц называется ультразвуками, а колебание с частотой ниже 20Гц–инфразвуком.

Для определения скорости распространения звуковых волн Кундт воспользовался стоячими волнами.

2. Описание установки

Установка представляет собой генератор звуковых импульсов (рис.2), к которому с помощью микродинамика 3 присоединяется металлическая трубка 1 с устройством для прослушивания звука 2.

Генератор может подавать на динамик синусоидальные электрические колебания заданной частоты. Эти колебания динамик преобразует в звуковые. В трубке может перемещаться шток с поршнем с помощью рукоятки 4. Звуковая волна, отражаясь от поршня, создаёт стоячую волну. Перемещая поршень, можно ощущать усиление звука (в пучностях) и гашение (в узлах). Расстояние между соседними пучностями равно половине длины волны, что при расчете скорости звука необходимо учитывать.

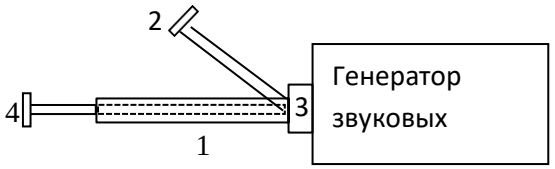


рис. 2

3. Порядок выполнения работы

1. От звукового генератора на динамик подают сигналы заданной частоты. Перемещают поршень до появления условного нулевого максимума звука. Отмечают это положение.
2. Плавно перемещают поршень и подчитывают несколько максимумов звука. Перемещение прекращают на одном из максимумов.
3. Если было пройдено n максимумов (не считая нулевого) на расстоянии l, то длина волны □ □ $2l/n$. Скорость звука при данной температуре воздуха находят по формуле

$$\square\ \square\ \square\ \square\square\ \frac{\square\ 2}{l\square}\ \frac{}{n}, \qquad (10)$$

где ν– частота звука.

4. Опыт проводят для нескольких частот ν. Из всех найденных значений υ берут среднее.

Протокол лабораторной работы №5

ν	n	□	λ	υ	Δυ

$\upsilon_{ср}$ □ □ □ □ □ □) □

(□ $_{ср}$ $_{ср}$

$\Delta\upsilon_{ср}$ □

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

Установка для лабораторной работы по механике «Определение скорости распространения звука методом стоячих волн»

Модуль 2. Молекулярная физика и термодинамика

Лабораторная работа №6.

«Градуирование газового термометра»

1. Краткая теория

Параметры

состояния

Основными особенностями газов, резко выделяющими их из рядов жидких и твёрдых тел, являются: а) огромная сжимаемость; б) произвольное расширение, при котором занимается весь объём, доступный газу, иначе говоря – газы не имеют свободной поверхности; в) очень малая вязкость.

Вследствие этих особенностей газы легко поддаются внешним воздействиям и меняют своё состояние. Для характеристики состояния газа выбирают такие величины, которые изменяясь с изменением состояния, допускали бы измерение приборами. Среди таких величин, называемых параметрами состояния, наиболее важное значение три параметра: объём *V,* давление *P* и температура *T*. Объём обычно измеряются в $м^3$, $см^3$ и литрах – *л*.

Давление, т.е. сила, перпендикулярная поверхности и приходящаяся на единицу поверхности, измеряется в паскалях ($1Па=1Н/м^2$ – единица в СИ).

Следует различать:

а) физическая атмосфера или нормальная равна давлению столба ртути высотой 760мм, что в переводе на другие единицы даёт 1 атм=760 мм. рт. ст.= $1{,}013 \cdot 10^5$ Па;

б) техническая атмосфера 1ат=1кгм/$см^2$= $0{,}98 \cdot 10^5$ Па.

Понятие температуры

Температура – физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы. Температура одинакова для всех частей изолированной системы, находящейся в термодинамическом равновесии. Если изолированная термодинамическая система не находится в равновесии, то с течением времени переход энергии (теплопередача) от более нагретых частей системы к менее нагретым приводит к выравниванию температуры во всей системе (нулевое начало термодинамики). В

равновесных условиях температура пропорциональна средней кинетической энергии частиц тела.

Температура не может быть измерена непосредственно. Об изменении температуры судят по изменению других физических свойств тел (объёма, давления, электрического сопротивления, эдс, интенсивности излучения и др.), однозначно с ней связанных (так называемых термодинамических свойств). Любой метод измерения температуры связан с определением температурной шкалы.

Методы измерения температуры различны для различных диапазонов измеряемых температур, они зависят от условий измерений и требуемой точности. Их можно разделить на две основные группы: контактные и безконтактные. Для контактных методов характерно то, что прибор, измеряющий температуру среды, должен находиться в тепловом равновесии с ней, т.е. иметь с ней одинаковую температуру. Основными узлами всех приборов для измерения температуры являются чувствительный элемент, где реализуется термометрическое свойство, и измерительный прибор, связанный с элементом.

Согласно молекулярно–кинетической теории идеального газа температура есть величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул идеального газа. Учитывая термодинамический смысл температуры, можно свести измерение температуры любого тела к измерению средней кинетической энергии молекул идеального газа.

Однако на практике измеряют не энергию молекул по их скорости, а давление газа, которое находится в прямопропорциональной зависимости от энергии.

По молекулярно–кинетической теории идеального газа температура T является мерой средней кинетической энергии поступательного движения молекул:

$$\frac{m \square \square^{2} \square}{2} \square \frac{3}{2} kT ,$$

(1)

где $k \square 1{,}38 \square 10^{\square 23} Дж/К$ – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура в кельвинах.

Основное уравнение молекулярно–кинетической теории идеального газа, устанавливающее зависимость давления p от кинетической энергии поступательного движения молекул газа, имеет вид:

$$P = \frac{2}{3} n_0 \left(\frac{m \vartheta^2}{2} \right),$$

(2)

где n_0 – число молекул в единице объёма, т.е. концентрация.

Используя уравнение (1) и (2), получаем зависимость

$$p = n_0 kT$$

(3)

между давлением и температурой, которая позволяет установить, что давление идеального газа пропорционально его абсолютной температуре и концентрации молекул, где

$$n_0 = \frac{n}{V}$$

(4)

Измерение температуры основано на следующих двух опытных фактах:

а) если имеются два тела, каждое из которых находится в тепловом равновесиис одним и тем же третьем телом, то все три тела имеют одну и ту же температуру;

б) изменение температуры всегда сопровождается непрерывным изменением по меньшей мере одного из параметров, не считая самой температуры, характеризующего состояния тела, например: объём, давление, электропроводность и др. Первое из этих положений позволяет сравнивать температуры различных тел, не приводя их в соприкосновение между собой.

Второе положение позволяет выбрать один из параметров в качестве термометрического.

В общем случае температура определяется как производная от энергии в целом по его энтропии. Так определяемая температура всегда положительная (поскольку кинетическая энергия всегда положительная), её называют температурой или температурой по термодинамической шкале температур и обозначают *T*. Заединицу абсолютной температуры в системе СИ (Международная система единиц) принят кельвин (*K*). См. «Введение». Часто температуру измеряют по шкале Цельсия ($t, {}^{\circ}C$), она связана с T (K) равенством

$$t = T - \frac{1}{\alpha} T - 273{,}15 \quad T = (273{,}15 + t^{\circ}C)K;$$

(5
)

где $\square$ – термический коэффициент объёмного расширения газа.

Уравнение Клапейрона–Менделеева и изопроцессы

Пусть некоторый газ переходит из состояния, определяемого параметрами p_0, V_0, T_0, в состоянии с p, V, T. Указанные параметры связаны равенством

$$\frac{pV}{\square T} \quad \frac{p_0 V_0}{T_0} \tag{6}$$

Это равенство называют уравнением состояния. Оно принимает простой вид, если массу газа выразить в молях.

Молем называют количество вещества, содержащее столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде ^{12}C массой 0,012кг.

Моль любого вещества при нормальных условиях (давление 760 мм. рт. ст. и температура $0^{\circ}C$) занимает одинаковый для всех газов объём – 22,4 литра. Следовательно, для одного моля полученное уравнение (6) имеет вид:

$$\frac{pV}{T} \square \frac{p_0 V_0}{T_0} \square \square \frac{1{,}013 \square 10^5 Н/м^2 \square 22{,}4 \square 10^{\square 3} м^3/моль}{273К} 8{,}31 \square Дж/(моль \square К)$$

Полученную постоянную величину обозначают буквой R

$$R \square \frac{p_0 V_0}{T_0} \square 8{,}31 Дж/(моль \square К) \square 8{,}13 \square 10^3 Дж/(кмоль \square К)$$

и называют молярной газовой постоянной.

Очевидно, что для $\square$ молей газа получим

$$\frac{pV}{\square T} \quad \frac{m}{\square\square M} R \qquad \text{или} \qquad pV \square \frac{m}{M} RT \square\square RT \tag{7}$$

,

где m – масса газа;

M – молярная масса данного газа;

$\square$ – число молей газа.

Это уравнение называют уравнением Клапейрона–Менделеева.

Процессы в газах, протекающие при неизменности какого–либо параметра, называют **изопроцессами**.

Процесс, протекающий при неизменной температуре, называется **изотермическим**. Уравнение изотермического процесса (закон Бойля–Мариотта) записывается так:

$$pV = p_0V_0 = const,$$

(8)

где p_0, V_0, V – давление объём данной массы газа в начальной и конечном состояниях.

Процесс, протекающий при неизменном давлении, называется **изобарическим.** Уравнение изобарического процесса (закон Гей–Люссака) может быть представлен в виде:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \quad \text{или} \quad V = V_0(1 + \gamma t),$$

(9)

где V_0 – объём газа при 0^0C;

V – объём того же газа при температуре Т;

γ – термический коэффициент объёмного расширения газа, одинаковый для всех газов: $\gamma = \frac{1}{273} K^{-1}$.

Величину $(1 + \gamma t)$ называют биномом объёмного расширения.

Процесс, протекающий при неизменном объёме, называется **изохорическим**. Уравнение изохорического процесса называют уравнением Шарля

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} \quad \text{или} \quad \frac{p}{p_0} = (1 + \gamma t)$$

(10)

где β – термический коэффициент давления.

Для идеальных газов, т.е. газов, точно подчиняющихся законам Бойля–Мариотта и Гей–Люссака,

$$\gamma = \beta = \alpha$$

(11)

На рис. 1 показаны графики изопроцессов в координатах p, V .

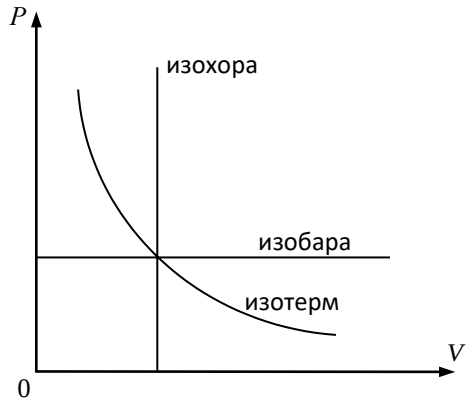


Рис. 1

2. Описание прибора

Одним из приборов для измерения температуры является газовый термометр.

Стеклянный баллон *A* (рис. 2), опущенный в сосуд *C* с водой, соединён капиллярной трубкой *B* с манометром M_1M_2. Трубка имеет кран *K*. Оба колена манометра соединены резиновой трубкой *E*. В трубке M_1 имеется указатель *У* (стеклянное острие или метка). Для сохранения постоянного объёма газа в баллоне *A* каждый раз перед отсчётом давления надо подводить уровень жидкости до соприкосновения с остриём *У* или меткой.

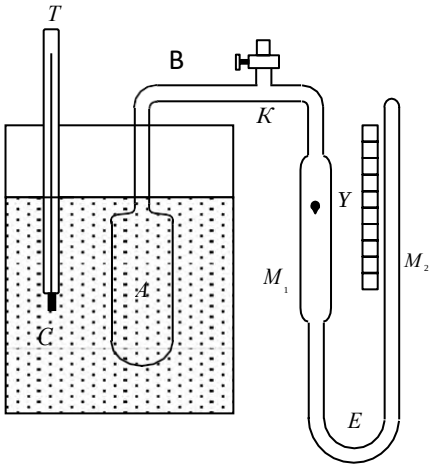


Рис. 2

Изменение уровня жидкости в левом колене производится перемещениеправого колена M_2. Температура жидкости измеряется термометром *T*.

3. Порядок выполнения работы

1. Наполняют сосуд *C* водой и опускают в него баллон *A*.

2. Открывают кран K, поднимая или опуская правое колено M_2 манометра, подводят уровень жидкости в левом колене под остриё У или метку. При открытом кране K давления воздуха в баллоне равно атмосферному. Обозначают его P и определяют по барометру. Температуру t_1 воздуха в баллоне принимают равной температуре воды и записывают в таблицу.

3. Закрывают кран K и включают нагреватель. Нагрев воду примерно $1 \square 2^{\circ}C$ на
, выключают нагреватель. Перемешивая воду, ожидают пока температура воды перестанет повышаться.

4. Приведя уровень жидкости в левом колене опять в соприкосновение с острием или меткой, измеряют температуру воды (воздуха в баллоне) t_2 и разность уровней жидкости в коленах манометра $\square p$. Результаты измерений записывают в таблицу.

5. Нагревают воду ещё на $1 \square 2^{\circ}C$ и повторяют те же операции, которые указаны в пунктах 3 и 4. Опыт повторяют не менее 5 раз примерно через равные интервалы температур. Полученные значения $\square t \square t_2 \square t_1$ и $\square p$ откладывают (рис. 3) на графике и по полученным точкам строят прямую, проходящую через начало координат. Взяв какую–либо точку на этой прямой, легко найти отношение $\frac{\square t}{\square p}$, а зная отношение $\frac{\square t}{\square p} \square$ можно вычислить величину $\square t \square c \square \square p$. Если жидкость в манометре заменить другой жидкостью плотностью $\square_1$, то коэффициент c нужно заменить на $c \square c \square \frac{\square}{\rho_1}$.

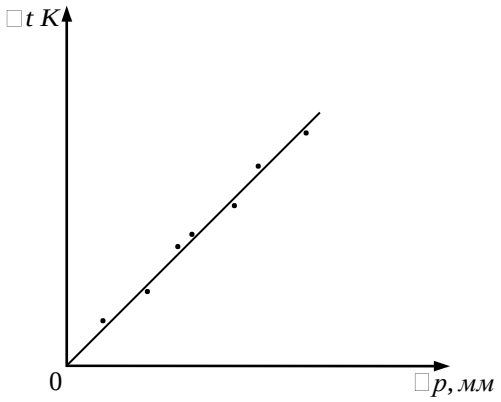


Рис. 3

Протокол лабораторной работы №6.

Таблица результатов градуирования газового термометра

Атмосферное давление P_1=

Начальная температура t_1 =

Плотность жидкости в манометре □ =

Величина	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Примечание**
t_2						
□p						
□t						

Вопросы для самопроверки к работе №6

1. В чём отличие газов от твёрдых и жидких тел? Какими основными параметрами определяется состояние газа?

2. Что такое давление? В каких единицах измеряют давление? Что принято за единицу давления в системе СИ?

3. Расскажите о порядке выполнения работы.

4. Что такое тепловое равновесие? Чем оно характеризуется?

5. Что такое температура? Что характеризует температура?

6. На каких опытных фактах основано измерение температуры?

7. В каких единицах измеряют температуру?

8. Что называют изопроцессом? Какие вы знаете изопроцессы? Напишите уравнение изопроцессов?

9. Сформулируйте словами уравнение состояния идеального газа.

10. Напишите уравнение Клапейрона–Менделеева. Сформулируете его словами.

11. Что называют универсальной газовой постоянной?

12. Расскажите об устройстве газового термометра.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

Установка для лабораторной работы по молекулярной физике «Градуированиегазового термометра»

Лабораторная работа №7.

«Определение показателя степени в уравнении Пуассона методом Клемана –Дезорма»

1. Краткая теория.

Процесс, происходящий при полной тепловой изоляции системы, т.е. без поступления и отдачи теплоты, называется адиабатным. Для создания адиабатных условий система должна быть идеально изолирована. Адиабатный процесс – это одно из проявлений *I* начала термодинамики, как закона сохранения и превращения энергии: $dQ \square \frac{m}{V} C_v dT \square pd$ при условии, что dQ = 0.

Если решить соотношение: $\frac{m}{\square} C_v dT \square \square dV \square \frac{m}{\square} \frac{RT}{V} dV$

методом разделения переменных, то получим уравнение, описывающее закономерности адиабатного процесса:

$$PV \square const \quad (1)$$

$$\square V^{\square\square 1} \square const \quad (2)$$

Всякий реальный процесс можно рассматривать лишь как более или менее точное приближение к адиабатному. Близким к адиабатному можно считать быстрые процессы, т.е. протекающие столь быстро, что теплообмен системы с внешними телами не успевает осуществляться.

Уравнение (1) можно предоставить в виде $(1 \square \frac{\square^{\square\square 1}}{\square^{\square}}) \square const$, если $V^{\square} \frac{\square RT \square^{\square}}{\square \square \square}$;

где $\square \square C_P / C_V$ – показатель степени адиабаты, C_P– молярная теплоёмкость при постоянном давлении *P*, C_v– теплоёмкость при постоянном объёме *V*, *T*– температура. Так как $C_P > C_V$, то всегда $\square \square 1$.

Цель работы – определить показатель адиабаты γ для воздуха.

1. Описание установки.

Установка, реализующая метод, показана на рис.1. Она состоит из сосуда *A* объёмом 10–12 литров, насоса *C* для закачки воздуха и манометрической *U*– образной трубки, в обеих коленах которой находится вода (рис.1). Соединение сосуда с окружающим воздухом осуществляется краном *B*.

До начала опыта краны *B* и *E* (последний соединяет насос с сосудом) открыты.

Абсолютная температура воздуха в сосуде равна T_0. Давление *P* равна

атмосферному P_0, таким образом параметры начального состояние P_0, T_0.

В опыте создаются и анализируются следующие термодинамические состояния.

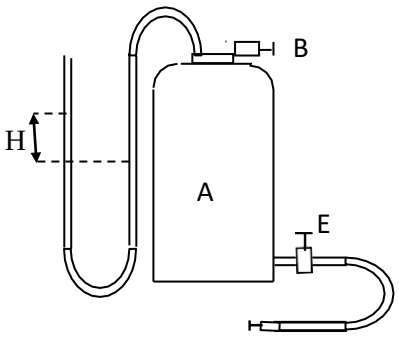


рис. 1

Состояние 1: кран *B* закрыт, кран E открыт. С помощью насоса накачиваем воздух в сосуд. При этом давление и температура в сосуде повысится. Закрываем кран E и ждём некоторое время, за которое произойдет теплообмен газа в сосуде с окружающей средой. В результате установится темпера $T_1=T_0$ и повышенное давление P_1:

$$P_1 \square P_0 \square \square_1 \tag{3}$$

где H_1– измеряемое на опыте давление столба воды, соответствующее давлению в сосуде. Так как в манометрической трубке отсчет высоты ведётся по линейной шкале от некоторого нулевого значения 00, то

$$\square_1 \square h_л \square h_п$$

где $h_л$ и $h_п$– расстояние от 00 до мениска жидкости соответственно в правом и левом колене трубки (рис.1). Параметры состояния равны P_1, T_0.

Состояние 2. Кран *E* закрыт, кран *B* быстро открывается. При этом воздух в сосуде адиабатически расширяется и давление достигает P_0. За это время воздух охлаждается до температуры T_2. Параметры состояния равны P_0, T_2.

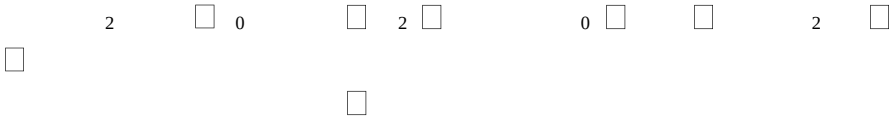
Состояние 3. Кран *B* после открытия столь же быстро закрывается; давление внутри сосуда начинает возрастать, т.к. охладившийся при адиабатном расширении воздух в сосуде вновь нагревается. Когда температура сравняется с температурой окружающего сосуд воздуха $T_3=T_0$, возрастает давление прекратится, достигнув некоторого значения

$$P_3 \square P_0 \square \square_2 \tag{4}$$

Параметры состояние 3 равны P_3, T_0.

Итак, при переходе из 1 состояния во 2 происходит адиабатное расширение, подчиняющейся закону Пуассона (1), которое запишем в форме (1□). С учётом выражения (3) получаем:

$$P \square \square 1 \quad P_1 \square \quad \square P_1 \quad \square \square \quad \square \square \quad \square \square



Переход из состояния 2 в 3 происходит при постоянном объёме, т.е. согласно закону Гей– Люссака:

$$\frac{P_3}{P_0} \square \frac{\square_0}{\square_2} \square \frac{P_3}{P_0} \square \frac{P_0 \square}{\square_2 P_0} \square 1 \square \frac{\square}{P_0} \tag{6}$$

В уравнении (5) величина $\square_1 / P_0 \square \square$ и $(T_0 – T_2)/T_2 << 1$

1

Логарифмируя левую и правую части уравнения и учитывая, что при малых x справедливо приближенное равенство $\ln x \simeq x$, вместо (5)с учётом (6) получаем

$$(\square \square 1) \frac{\square_1}{\square_0} \square \square \left(\frac{\square_0 \square_2}{\square_2}\right) \square \frac{\square \square 1}{\square} \square_1 \square \square_2 \square \square \square \frac{\square_1}{\square_1 \square \square_2} \tag{7}$$

Полученное уравнение позволяет определить значение γ по двум показаниям манометра (H_1и H_2).

1. Порядок выполнения работы

Закрыв плотно экран *B*, открывают кран *E* и накачивают в сосуд (или выкачивают) воздух. Закрывают кран *E,* ожидают, когда установится постоянное давление воздуха в сосуде. После этого производят отчет разности H_1 уровеня жидкости в коленах манометра. Затем открывают на короткое время кран *B,* соединяют воздух сосуда с атмосферным воздухом и в момент, когда давление в сосуде будет равно атмосферному, закрывают кран. Снова ожидают, когда установится давление в сосуде после прошедшего адиабатного расширения (или сжатия).

Производят отчет по манометру величины H_2 и вычисляют значение величины γ по формуле (7).

Опыт повторяют не менее пяти раз и из всех значений величины определяют среднее значение □ . Все результаты измерений записывают в таблицу. Рекомендуемая форма протокола выполнения лабораторной работы приведены ниже.

Протокол лабораторной работы №7

№ опытов	$h_{лев}$	$h_{пр}$	H_1	$h_{лев}$	$h_{пр}$	H_2	γ	Δγ
1								
2								
3								
4								
5								

6								

Среднее значения $\gamma_{ср}$ $\Delta\gamma_{ср}$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\gamma_{ср}}{\gamma_{ср}} \cdot 100\%$$

Результат: $\gamma_{ср} \pm \Delta\gamma_{ср}$

Вопросы для самопроверки к работе №7

1. Напишите уравнение I начала термодинамики.
2. Что такое внутренняя энергия газа?
3. Что такое молярная теплоемкость при $\nu = const$ и $p = const$.
4. Напишите уравнение Майера.
5. Запишите I начало термодинамики для изохорического, изобарического и изотермического процессов.
6. Какой процесс называется адиабатным?
   Запишите соотношение между P и V, T и V при адиабатном процессе.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по молекулярной физике «Определение показателя степени в уравнении Пуассона методом Клемана – Дезорма».

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа №8.

«Определение коэффициента вязкости жидкости по методу Стокса»

1. Краткая теория.

Движение молекул газа в термодинамической равновесной системе полностью хаотично. Из основных представлений кинетической теории следует, что газы испытывают в 1 секунду порядка 10^9 столкновений (соударений). Число столкновений (среднее) за 1с

$$Z = \sqrt{2}\, d^2 n \langle v \rangle_{ср},$$

где d – эффективный диаметр молекул газа;

n – концентрация (т.е. число молекул в единице объёма); $n = \frac{p}{KT}$;

$\langle v \rangle_{ср}$ – средняя арифметическая скорость молекул.

Расстояние, которое проходит молекула между двумя последовательными соударениями называется средней длиной свободного пробега □ □ □

$$\square \square \square \frac{1}{\pi\sqrt{2}d^2 n};$$

В газах и жидкостях вследствие хаотичного движения молекул происходит необратимый процесс переноса различных физических величин. Эти явления объединяются общим названием «явление переноса».

I. Перенос массы от мест с более высокой концентрацией молекул к местам с более низкой концентрацией называют диффузией.

Эта масса определяется уравнением:

$$M \square \square Д \frac{dc}{dx} \square \square S \square t$$

Здесь $\square S$ – площадка, нормальная к потоку продиффундирующему через неё массы M;

$\square t$ – время движения молекул через площадку $\square S$;

$\frac{dc}{dx}$ – градиент концентрации; $c \square n \square m_0$; m_0 – масса одной молекулы газа;

Д – коэффициент диффузии: $Д \square \frac{1}{3} \square \square \square \square \square \square \square .$

II. Перенос импульса молекулами из соприкасающихся слоёв газа или жидкости, в которых молекулы движутся с разными скоростями в одном направлении, определяют силы внутреннего трения (их называют вязкостью).

Сила внутреннего трения F между двумя слоями жидкости определяется уравнением

$$F \square \square \frac{d\square}{dx} \square S,$$

здесь $\frac{d\square}{dx}$ – градиент скорости, т.е. изменение скорости на единицу длины в направлении оси x.

Коэффициент вязкости – $\square \square \frac{1}{3} \square \square \square_{ср}$

□ □ □ □ , где □ – плотность газа или жидкости.

III. Перенос энергии происходит вследствие хаотичного движения молекул из областей с более высокой температуры и обладающих большей энергией ($E = \frac{3}{2}kT$) в области с более низкой температурой. Этот процесс называется **теплопроводностью**. Перенос энергии определяется уравнением

$$Q = -\varkappa \frac{dt}{dx} \Delta S \Delta t$$

где Q – количество теплоты, перенесённое через изотермическую площадку ΔS за время Δt;

$\frac{dt}{dx}$ – градиент температуры;

$\varkappa$ – коэффициент теплопроводности.

$$\varkappa = C_v \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle_{ср} \lambda_{ср} \rho C_v;$$

C_v – удельная изохорическая теплоёмкость.

При движении тела в вязкой среде возникает сопротивление этому движению. При малых скоростях и обтекаемой форме тела сопротивления обусловлена вязкостью жидкости. Слой жидкости, непосредственно прилегающий к твёрдому телу, прилипает к его поверхности и увлекается им. Следующий слой увлекается за телом с меньшей скоростью. Таким образом, между слоями возникают силы внутреннего трения.

При падении шарика радиуса r в вязкой жидкости, находящеёся в мензурке (рис. 1), на него действует две противоположно направленные силы. Одна из них f обусловлена гравитацией за вычетом выталкивающих (архимедовой) силы. Другая сила F обусловлена внутренним тернием. Из теории следует, что

$$f = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_1)g$$

(1)

$$F = 6\pi\eta r\upsilon$$

(2)

где η – коэффициент вязкости (или внутреннего трения);

ρ – плотность вещества шарика;

ρ_1 – плотности жидкости;

g – ускорение силы тяжести;

$\square$ – скорость шарика.

Цель работы – измерение вязкости жидкости $\square$ методом Стокса.

Как видно из (2), сила растёт с увеличением скорости до тех пор, пока не установится равенство сил f и F:

$$\frac{4}{3}\square r^3(\square\ \square\ \square_1)g\ \square\ 6\square\square r\square$$

(3)

С этого момента шарик движется равномерно и прямолинейно (установившиеся движение). Из (3) следует, что коэффициент вязкости

$$\square\ \square\frac{2}{9}(\square\ \square\ \square_1)gr^2/\square$$

(4)

В методе Стокса по этой формуле, измерив r и $\square$ и пользуясь известными значениями $\square$ ρ_1 и g, определяют вязкость жидкости.

,

2. Порядок выполнения работы.

В стеклянный цилиндр наливают жидкость, коэффициент вязкости которой нужно определить. На цилиндр наносят две горизонтальные метки K_1 и K_2 на расстоянии l друг от друга (рис. 1). При определении коэффициента вязкости употребляют очень маленькие металлические шарики, диаметр которых измеряют под микроскопом. Для измерения диаметра шарик кладут на предметный столик, вращением кремальерного винта микроскопа подводят объектив микроскопа к шарику (но не касаясь шарика), а затем, наблюдая через окуляр микроскопа вращают кремальерный винт, медленно поднимая объектив, устанавливают ясную видимость контура шарика. Затем отсчитывают число делений окулярного микрометра, которое укладывается на диаметре шарика. Если цена деления окулярного микроскопа равна n, а на диаметре укладывается N деления, то диаметр равен $d\ \square\ nN$.

Измерив диаметр шарика, подносят его к поверхности жидкости, ближе к центру, а глаз устанавливают против верхней метки K_1 так, чтобы она вся сливалась в одну прямую. Опускают шарик в жидкость и в момент прохождения шарика через метку пускают в ход секундомер. Затем аналогичным образом устанавливают глаз против нижней метки K_2 и в момент прохождения шарика через вторую метку останавливают секундомер. Верхняя метка наносится с таким расчётом, чтобы

скорость шарика при подходе к метке была уже установившейся, следовательно $\square \square l / t$. Подставляя эти значения в формулу (4), окончательно получим:

$$\square \square)gn^2 \frac{(\square \square \square_1}{18l} N^2 t \square kN^2 t \quad (5)$$

где $k \square (\square \square \square)gn^2 /18l$ – величина для данного прибора постоянная.
$_1$

Необходимо сделать не менее 10 измерений. Все результаты измерений записывают в таблицу.

Расчёты выполняют на программируемом микрокалькуляторе «Электроника МК64» или вручную.

Рекомендуемая форма протокола выполнения лабораторной работы приведены ниже.

Протокол лабораторной работы №8

Плотность материала шарика $\square$ =

Плотность жидкости $\square_1$ =

Расстояние между метками *l*=

Цена деления окулярного микроскопа *n*=

Постоянный множитель *k*=

Величина					
N					
N^2					
T					
$\square$					
$\square$ $\square$					

Вопросы для самопроверки к работе №8

1. Какие явления переноса Вы знаете.
2. Что называется вязкостью?
3. Напишите уравнения, описывающие явления внутреннего трения и коэффициента вязкости.
4. Как изменяется коэффициент вязкости при изменении температуры.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по молекулярной физике «Определение коэффициента вязкости жидкости по методу Стокса».

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа №9.

«Определение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении»

1. Краткая теория.

Теплоёмкостью тела массой m называется физическая величина, равная количеству теплоты, необходимое для того чтобы повысить его температуру на 1 градус, т.е.

$$C = \frac{dQ}{dT} = \frac{mcdT}{dT} = mC_{уд},$$

где $C_{уд}$ – удельная теплоёмкость вещества, т.е. количество теплоты, необходимое для нагревания 1кг вещества на 1К.

Если теплоёмкость отнесена к одному молю вещества, то она называется молярной

$$C = \frac{dQ}{\frac{m}{M} dT};$$

теплоёмкость зависит от конкретного изопроцесса, который совершается над системой.

Различают теплоёмкость при постоянном объёме C_{v} и при постоянном давлении $C_{\text{р}}$.

$$C_{\text{v}} = \frac{dQ_{\text{v}}}{\frac{m}{M} dT} = \frac{\frac{m}{M} \frac{i}{2} RdT}{\frac{m}{M} dT} = \frac{i}{2} R \quad (1)$$

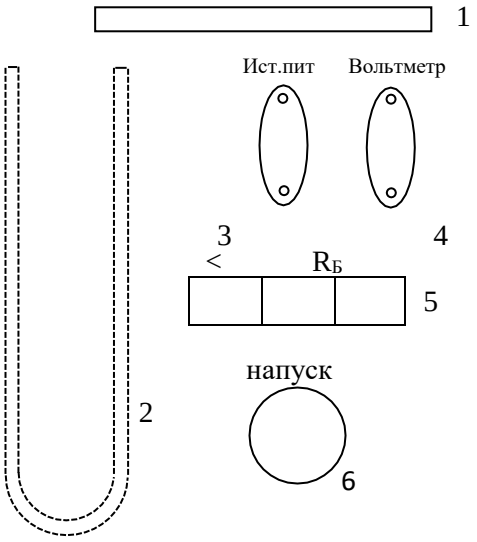
$$C_p = \frac{dQ_p}{\frac{m}{M}dT} = \frac{\frac{m}{M}\frac{i}{2}RdT + \frac{m}{M}RdT}{\frac{m}{M}dT} = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R \qquad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что $C_p = C_V + R$ – уравнение Майера.

Цель работы: Экспериментальное определение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении методом протока; изучение методов измерения разности температур и расхода воздуха.

Схема установки №1 дана на рис.1.

На передней панели расположены табличка с названием работы – 1; водяной манометр *U* с измерительной линейкой – 2; гнёзда для подключения источника питания – 3; и вольтметра – 4; трёхгрупповой переключатель – 5 – для последовательного подключения вольтметра (мультиметра) к термопаре и балластному сопротивлению и нагревателю, клапан – 6 для подачи воздуха в установку.



В работе определяется количество тепла, отдаваемое нагревателем воздуха в единицу времени $Q = I_H U_H$, массовый расход воздуха m, разность температур воздуха на входе и выходе сосуда Дьюара. Теплопроводность воздуха T определяется из соотношения:

$$C_p = \frac{Q}{T \cdot m} \quad (3)$$

1. Порядок выполнения работы.

1. Соединить мультиметр (вольтметр) приборного модуля 4 (рис.1) с помощью проводов с гнёздами кнопочного переключателя объектов измерения модуля (рис. 4).
2. Соединить источник питания приборного модуля 3 (рис. 1) с помощью проводов с гнёздами нагревателя модуля №1 (рис. 4).
3. Включить электропитание приборного модуля тумблером «Сеть», компрессор тумблером «Компрессор», источник питания, мультиметр (вольтметр) 20В.
4. Убедитесь в том, что на выходе источника питания отсутствует напряжение. При этом регулятор напряжения приборного модуля необходимо поставить против часовой стрелки до упора.
5. Нажать кнопку R_H кнопочного переключателя модуля №1 для измерения напряжения на нагревателе.
6. Регулятором напряжения источника питания на приборном модуле установить первое из заданных значений напряжения на нагревателе: $U_{H_1} = 2B$, $U_{H_2} = 4B$, $U_{H_3} = 6B$ $U_H = 8B$ $U_H = 10B$.

, , 4 5

Произвести отсчёт и записать измеренное значение в табл. 1.

7. Нажать кнопку клапана пневнопровода для подачи воздуха в сосуд Дьюара и удерживать её до окончания операций, указанных в пунктах 8, 9.
8. Нажать кнопку < переключателя модуля №1, переключить предел измерения мультиметра (вольтметра) на приборном модуле на 200мВ.
9. Наблюдать за показателями мультиметра (вольтметра), измеряющего термо–ЭДС термопары, до тех под, пока прибор не будет регистрировать постоянное во времени значение термо–ЭДС (примерно через 3–5 мин. после открытия клапана пневнопровода). Произвести отсчёт и записать измеренное значение в таб. 1 ( ).
10. Нажать кнопку $R_Б$ кнопочного переключателя модуля №1 и произвести отсчёт напряжения на балластном сопротивлении. Результат записать в табл. 1.
11. Произвести отсчёт разности уровней жидкости в монометре и определитель перепад давлений на концах капилляра по формуле

$$\Delta P = \rho g h$$

(4)

где ρ – плотность жидкости, ($кг/м^3$), h – перепад уровней, ($м$).

12. Определить расход воздуха в установке, используя соотношение Пуазейля:

$$m = \frac{\pi r_0^4 \Delta P}{8 l r} \rho_в$$

(5)

где r_0 – радиус капилляра, ($м$), l – длина капилляра, ($м$), r – коэффициент внутреннего трения воздуха при данной температуре, ($Па \cdot с$).

13. Пункты 5–11 повторить для следующих значений напряжения на нагревателе (П.6).

Данные установки

Радиус капилляра: $r_0 =$

Длина капилляра: $l =$

Балластное сопротивление: $R_0 =$

Коэффициент внутреннего трения воздуха: $r =$

Протокол лабораторной работы №9

Таблица I

№ п/п	$U_Н$, В	$U_К$, В	$\Delta\Delta$, мВ	Q, Дж/с	ΔT, К
1					
2					
3					

Обработка результатов измерений

1. Определить по ртутному термометру температуру воздуха к лаборатории и принять её равной температуре воздуха на входе в калориметр $T_{вх}$.
2. По табл. 2 определить термо–ЭДС $E_{вх}$ хромель алюминевой термопары, соответствующую $T_{вх}$.
3. Прибавляя к каждому измеренному значению $\Delta\Delta$, значение $E_{вх}$, определить по табл. 2 температуру воздуха на выходе из калориметра $T_{вых}$.
4. Рассчитать разность температур воздуха на выходе и входе калориметра $\Delta T = T_{вых} - T_{вх}$, записать полученное значение в табл. 1.

5. Рассчитать $Q = I_H U_H \frac{U R}{R_0} U_H$, записать полученные значения в табл. 1.
6. По полученным данным построить график линейной зависимости $Q = f(\Delta T)$.
7. Провести оптимальную прямую через набор экспериментальных точек.
8. Определить тангенс угла наклона оптимальной прямой по формуле:

$$C_p m = (I_H U_H)_0 / \Delta T_0 \quad (6)$$

9. Рассчитать удельную теплоёмкость воздуха при постоянном давлении

$$C_p m = (I_H U_H)_0 / m \Delta T_0 \quad (7)$$

Градуированная характеристика хромель–копелевой термопары (по СТ СЭВ1059–79) (табл. 2).

Прилагается к данной работе:

В качестве данных установки может быть задан массовой расход воздуха, который является постоянным в течении всего опыта.

Вопросы для самопроверки к работе №9

1. В чём отличие газов от твёрдых и жидких тел? Какими основными параметрами определяется состояние газа?
2. Какую величину определяют в работе?
3. Дайте определение теплоёмкостей (удельной, молярной). Что такое C_V и C_P?
4. Напишите уравнение Майера и I начало термодинамики для изобарного процесса.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

Установка для лабораторной работы по молекулярной физике «Определение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении»

Лабораторная работа №10.

«Определение коэффициента теплопроводности методом нагретой нити»

1. Краткая теория.

Движение молекул газа в термодинамической равновесной системе полностью

хаотична. Из основных представлений кинетической теории следует, что газы

испытывают в 1 секунду порядка 10^9 столкновений (соударений). Число столкновений (среднее) за 1с

$$\langle Z \rangle = \sqrt{2} d^2 n_{ср} \langle v \rangle,$$

где d – эффективный диаметр молекул газа;

n – концентрация (т.е. число молекул в единице объёма); $n = \frac{p}{KT}$;

$\langle v \rangle_{ср}$ – средняя арифметическая скорость молекул.

Расстояние, которое проходит молекула между двумя последовательными соударениями называется средней длиной свободного пробега $\langle \lambda \rangle$

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\pi \sqrt{2} d^2 n};$$

В газах и жидкостях вследствие хаотичного движения молекул происходит необратимый процесс переноса различных физических величин. Эти явления объединяются общим названием «явления переноса».

I. Перенос массы от мест с более высокой концентрацией молекул к местам с более низкой концентрацией называют **диффузией**.

Эта масса определяется уравнением:

$$M = -Д \frac{dc}{dx} \Delta S \Delta t$$

Здесь ΔS – площадка, нормальная к потоку, продиффундирующему через неё массы M;

Δt – время движения молекул через площадку ΔS;

$\frac{dc}{dx}$ – градиент концентрации; $c = n m_0$; m_0 – масса молекулы газа;

$Д$ – коэффициент диффузии: $Д = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle v \rangle_{ср}$.

II. Перенос энергии происходит вследствие хаотичного движения молекул из областей с более высокой температуры и обладающих большей энергией ($E = \frac{3}{2} kT$)

теплопроводностью. Перенос энергии определяется уравнением

в области с более низкой температурой. Этот процесс называется

теплопроводностью. Перенос энергии определяется уравнением

$$Q \square \square x \frac{dT}{dx} \square \square S \square t$$

где Q – количество теплоты, перенесённое через изотермическую площадку $\square S$ за время $\square t$;

$\frac{dT}{dx}$ – градиент температуры;

x – коэффициент теплопроводности.

$$x \square \square C_v \square \frac{1}{3} \square_{cp} \square \square \square \square \square \square C_v;$$

C_v – удельная изохорическая теплоёмкость.

При движении тела в вязкой среде возникает сопротивление этому движению. При малых скоростях и обтекаемой форме тела сопротивления обусловлена вязкостью жидкости. Слой жидкости, непосредственно прилегающий к твёрдому телу, прилипает к его поверхности и увлекается им. Следующий слой увлекается за телом с меньшей скоростью. Таким образом, между слоями возникают **силы внутреннего трения**.

При падении шарика радиуса r в вязкой жидкости, находящеёся в мензурке (рис. 1), на него действует две противоположно направленные силы. Одна из них f обусловлена гравитацией за вычетом выталкивающих (архимедовой) силы. Другая сила F обусловлена внутренним тернием. Из теории следует, что

$$f \square \frac{4}{3} \square r^3 (\square \square \square) g_1 \qquad (1)$$

$$F \square 6 \square \square r \square \qquad (2)$$

где $\square$ – коэффициент вязкости (или внутреннего трения);

$\square$ – плотность вещества шарика;

ρ_1 – плотности жидкости;

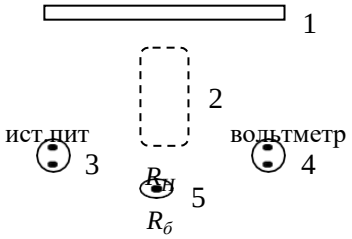
g – ускорение силы тяжести;

$\square$ – скорость шарика.

Цель работы: Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности воздуха, находящегося вокруг нагретой электрическим током нити. В работе определяется электрическая мощность, выделяемая в нити, и температура нити.

Схема модуля №3. схема измерений.

Нагреваемая вольфрамовая проволока – нить находится в цилиндрическом стеклянном баллоне с двойными стенками, между которыми залита вода. Температура воды в баллоне и, следовательно, температура стенки T_c трубки постоянна в течении опыта. Баллон с нитью укреплён в модуле №3, внешний вид которого показан на рис. 4. На панели модуля расположены: 1 – табличка с названием работы; 2 – баллон с нитью; 3 – гнёзда для подключения источника питания; 4 – гнёзда для подключения вольтметра (мультиметра); 5 – тумблер объектов измерения.



При нагревании нити, вдоль радиуса трубки создаётся градиент температуры. Площадь, через которую передаётся тепло, равна площади поверхности цилиндра, коаксиального с нагретой нитью. При этом можно записать:

$$dQ = -\frac{dT}{dr} 2\pi lrdr \quad (1)$$

где l – длина цилиндра радиуса r.

Из (1) можно определить мощность теплового потока через внутреннюю цилиндрическую поверхность трубки радиуса r_2.

$$P = \frac{2\pi l}{\ln r_2 / r_1} \int_{T_C}^{T_H} (T)dT \quad (2)$$

где r_1 – радиус нити, T_H – температура нити.

Опыт проводится при постоянной температуре трубки, равной T_c. При этом увеличение электрической мощности, выделяемой в нить, на величину $d\ P$ приводит к возрастанию её температуры на d T_H. Поэтому из (2) следует:

$$dP = \frac{2\pi l}{\ln r_2 / r_1} \lambda(T_H) dT_H$$

(3)

Так как вблизи нити теплопроводность воздуха определяется температурой нити, то в (3) величина $\lambda(T_H)$ относится к температуре нить T_H. При возрастании температуры нити на d T_H, дополнительный перенос тепловой мощности $d P$ от нити к стенке трубки определяется только теплопроводностью слоя воздуха вблизи нити. Из соотношения (3) получим:

$$\lambda(T_H) = \frac{\ln r_2 / r_1}{2\pi l} \frac{dP}{dT_H}$$

(4)

Для определения производной необходимо знать зависимость $P = f(T_H)$, которую находят по экспериментальным данным. Мощность теплового потока $P = I_H U_H$ находится по напряжению U_H, измеренному на нити, и току $I_H = U_r / R_0$, текущему через образцовое сопротивление R_0 и нить. Для определения тока измеряется напряжение на образцовом сопротивление $U_к$. Температура нити определяется из соотношения:

$$t = \frac{R_H - R_{OH}}{\alpha_t R_{OH}} {}^{\circ}C; \; T_H = (273{,}15 + t_H), \; K$$

(5)

где R_{OH} – сопротивление нити при $t = 0^{\circ}C$, (Ом); R_H – сопротивление нити при температуре опыта, (Ом); α_t – температурный коэффициент сопротивления материала нити, (1/град.). Формула (4) позволяет по найденной экспериментальной зависимости $P = f(T_H)$ определить $\lambda(T_H)$.

Дифференцируя (5) получаем:

$$\frac{dP_H}{dT_H} = \alpha_t R_0$$

(6)

Подставляя d T_H из (6) в (4), получаем:

$$\lambda(T_H) = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi l} \alpha_t R_0 \frac{dP}{dR_H}$$

(7)

Формула (7) позволяет использовать график зависимости $P = f(R_H)$ для нахождения производной dP/dR_H.

Порядок выполнения работы

1. Соединить источник питания приборного модуля с помощью проводов с вольфрамовой проволоки через гнёзда 3 (рис.4).
2. Соединить мультиметр (вольтметр) приборного модуля с гнёздами 4 (рис.4) тумблера переключателя объекта измерений.
3. Включить тумблером «Сеть» приборного модуля электропитание, источник питания тумблером 7 на приборном модуле (рис. 1), мультиметр (вольтметр) 6 (рис. 1). Установить предел измерения напряжений мультиметра (вольтметра) 20В.
4. Убедитесь в том, что на входе источника питания отсутствует напряжение. При этом регулятор напряжения 9 (рис. 1) необходимо повернуть против часовой стрелки до упора.
5. Переключить тумблер 5 объектов измерений в положении R_H для измерения напряжения на вольфрамовой проволоке (рис. 4).
6. Определить значения напряжения, подаваемые на вольфрамовую проволоку, при которых производятся измерения. Рекомендуемые значения напряжений, подаваемые на источнике питания: 2, 3, 4, 5, 6В.
7. Установить первое значение напряжения на источнике питания, следя за показаниями мультиметра (вольтметра). Произвести запись в табл.4.
8. Переключить тумблером объектов измерений на балластном сопротивлении.
9. Переключить предел измерения напряжения мультиметра (вольтметра) на 200МВ. Произвести отсчёт падения напряжения на балластном сопротивлении. Результат записать в таблицу.
10. Переключить предел измерения напряжения мультиметра (вольтметра) на 20В. Пункты 5–9 повторить для следующих значений напряжения на вольфрамовой проволоке.

Данные установки

Радиус нити: r_1 =

Внутренний радиус трубки: r_2 □

Сопротивление нити при 0^0 C: $R_{он}$ □

Температурный коэффициент сопротивления нити: □t □

Длина нити: □ □

Балластное сопротивление: R_0 □

Протокол лабораторной работы

№10Таблица 4

№ n/n	$И_н, В$	$И_к, нВ$	$I_н, А$	$R_н, Ом$	$T_н, К$	$P, Вт$	$x, Вт/м$
1							
2							
3							

Обработка результатов измерений

1. Вычислить $I_н = И_к / K_0$. Результаты вычислений записать в табл. 4.

2. Вычислить мощность теплового потока $P = I_н \cdot И_н$. Результаты вычислений записать в табл. 4.

3. Вычислить $R_н = И_н / I_н$. Результаты вычислений записать в табл. 4.

4. Построить на миллиметровой бумаге график зависимости $P = f(R_н)$. Провести с помощью лекал апроксимирующую кривую через совокупность экспериментальных точек.

5. Выбрать три точки кривой и графически определить производную $dP/dR_н$ в этих точках. Для этого произвести в выбранных точках касательные к кривой и определить тангенс наклона каждой из них.

6. Рассчитать по формуле (38) коэффициент теплопроводности, а по формуле (36) температуру в выбранных точках.

Вопросы для самопроверки к работе №10

1. Какую величину определяют в работе?

2. Как читается основной закон теплопроводности?

3. Что называется коэффициентом теплопроводности?

4. Что называют количеством теплоты?

5. Какой процесс называют теплопередачей?

6. Что называют тепловым потоком?

7. Что называют плотностью теплового потока?

8. Введите расчетные формулы и объясните значения всех величин, входящих в формулы.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

Установка для лабораторной работы по молекулярной физике «Определение коэффициента теплопроводности методом нагретой нити»

Модуль 3. Электричество и магнетизмЛабораторная работа №11

«Исследование электростатического поля»

1. Краткая теория.

Электростатическое поле представляет собой один из видов материи, возникающий вокруг любого неподвижного заряженного тела.

Оно проявляется в том, что передаёт действие одних наэлектризованных тел на другие, т.е. неподвижные электрические заряды вызывают в окружающем пространстве какие–то физические изменения, приводящие к тому, что на всякий другой заряд, помещённый на некотором расстоянии от рассматриваемого, действует сила. Взаимодействие двух зарядов заключается в том, что один из зарядов создаёт в окружающем его пространстве электрическое поле и это поле действует на другой заряд с определённой силой.

Эта сила, например, для двух точечных зарядов определяется законом Кулона:

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}\frac{\vec{r}}{r}, \quad (1)$$

где q_1 – источник поля, а q_2 – заряд, находящийся на расстоянии r от него;

ε – диэлектрическая проницаемость среды, которая показывает во сколько раз сила взаимодействия электрических зарядов в данной среде меньше, чем в вакууме.

Так как в одной и той же точке поля на разные по величине заряды q_2 действуют разные силы, то сила не может быть характеристикой поля.

Электрическое поле описывается двумя главными характеристиками *напряжённостью и потенциалом*. Из закона Кулона (1) следует, что сила F, действующая на заряд *q*, помещённый в данную точку электростатического поля, пропорциональна величине заряда.

$$\vec{F} = q\vec{E} \qquad (2)$$

Действительно, сама сила зависит от величины и знака заряда, и не может служить характеристикой поля. Но отношение силы к заряду уже не зависит от величины заряда *q* и характеризует только электрическое поле в данной точке:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \text{если } q_1 = Q \qquad (3)$$

где *r* – расстояние от заряда *Q*, создающего поле, до точки поля, напряжённость в которой определяется.

Напряжённостью E электрического поля в какой–либо точке поля называют силу, в которой поле действует на единичный положительный заряд, помещённый в эту точку поля. Направление напряжённости совпадает с направлением действия силы: $\vec{E} = \vec{F}/q$. Напряжённость является силовой характеристикой электрического поля.

Поле, напряжённость которого во всех точках имеет одинаковую величину и направление, называется однородным. Единицей напряжённости электрического поля является В/м.

Если поле созданj положительным точечным зарядом *Q*, то вектор напряжённости $\vec{E}$ направлен вдоль силовой линии – от заряда. Если отрицательным – к заряду.

Работа перемещения электрического заряда q в электрическом поле не зависит от формы пути перемещения, а определяется начальной и конечной точками перемещения и пропорциональна величине заряда. Следовательно, потенциальная энергия W заряда есть функция только координат и величины заряда q. Отношение потенциальной энергии заряда к величине заряда уже не зависит от величины заряда и характеризует электрическое поле в данной точке. Потенциальную энергию, которой обладает единичный положительный электрический заряд, помещённый в какую–либо точку поля, называют *потенциалом* поля в этой точке.

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

(4)

Работа перемещения электрического заряда q в электрическом поле равняется произведению величины переносимого заряда на разность потенциалов начальной и конечной точек пути:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

При $\varphi_2 = 0$, $\varphi_1 = \frac{A}{q}$

Потенциальная энергия заряда в какой–либо точке электрического поля равна работе, которую совершают силы поля при перемещении единичного положительного заряда из этой точки в бесконечно удалённую, т.е. за пределы электрического поля, где потенциал поля принимается равным нулю. Потенциал поля точечного заряда определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r}$$

(5)

Потенциал – энергетическая характеристика электрического поля. Как и всякая энергия, потенциал поля есть величина скалярная. Потенциал и напряжение измеряются в вольтах.

Электрическое поле можно задать, указав для каждой точки величину и направление вектора $\vec{E}$. Совокупность этих векторов образует поле вектора напряжённости электрического поля. Электрическое поле можно представить наглядно с помощью линий напряжённости. Линии напряжённости проводятся таким образом, чтобы касательная к ним в каждой точке совпадала с направлением вектора $\vec{E}$. Линии напряжённости $\vec{E}$ называются также *силовыми линиями* электрического поля.

Так как напряжённость поля в любой точке имеет вполне определённое направление, то силовые линии не могут пересекаться между собой. Они выходят из положительного заряда и входят в отрицательный заряд. Силовые линии поля положительного точечного заряда изображены на рис. 1.

Потенциал электрического поля является функцией координат. Но во всех реальных случаях можно выделить совокупность таких точек, потенциалы которых одинаковы. Геометрическое место точек с одинаковым потенциалом называется *эквипотенциальной поверхностью*. Пересекаясь с плоскостью, такая поверхность образует эквипотенциальную линию.

Из сказанного следует:

а) работа перемещения заряда вдоль эквипотенциальной поверхности равна нулю;

б) силовые линии в любой точке поля перпендикулярны к эквипотенциальной поверхности в этой точке;

в) поле стремится перемещать положительный заряд в направлениии уменьшения потенциала, а отрицательный заряд в направлении возрастания потенциала. Рис.2.

Из теории электростатического поля следует, что:

$$\bar{E} = -grad\varphi \qquad (6)$$

т.е. напряжённость электростатического поля в любой точке равна взятому с противоположным знаком градиенту потенциала в этой точке. Знак «минус» показывает, что напряжённость направлена в сторону убывания потенциала. В случае однородного поля:

$$E = -\frac{d\varphi}{dn} \qquad (7)$$

где dn – отрезок нормали к двум соседним эквипотенциальным линиям φ_1 и $\varphi_2 = \varphi_1 - d\varphi$.

Целью работы является изучение качественной картины плоского электростатического поля, создаваемого двумя металлическими электродами в слабопроводящей среде.

Описание аппаратуры и порядок выполнения работы

Прибор для исследований состоит из четырехугольной ванны на дне которой помещена координатная сетка и два электрода Э.

Ванна на 3 – 4 мм заполняется слегка подсоленной водой. вода имеет незначительную проводимость по сравнению с металлическими электродами, поэтому поверхность электродов Э можно считать поверхностью равного потенциала.

Для определения точек равного потенциала применяют щуп, выполненный в виде иглы. Щуп соединен через нульгальванометр с вольтметром. Равенство нулю

показаний нульгальванометра означает, что щуп находится на эквипотенциальной линии. При этом потенциал линии равен значению, которое показывает вольтметр.

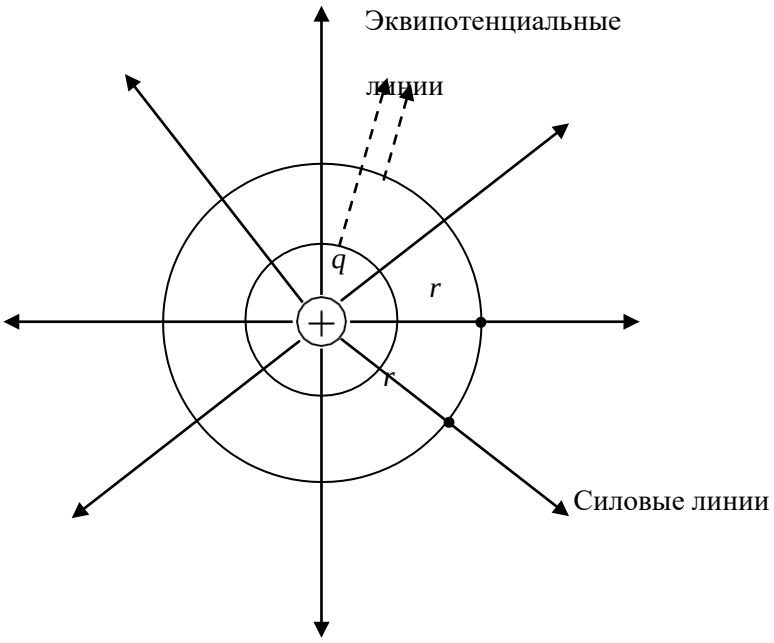


Рис. 1

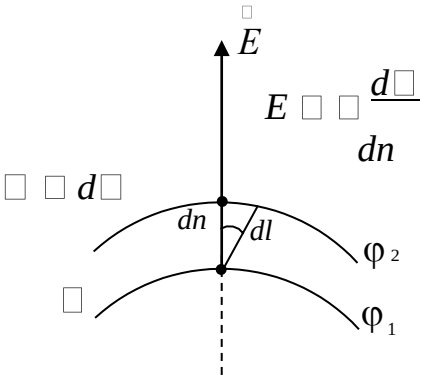


Рис. 2

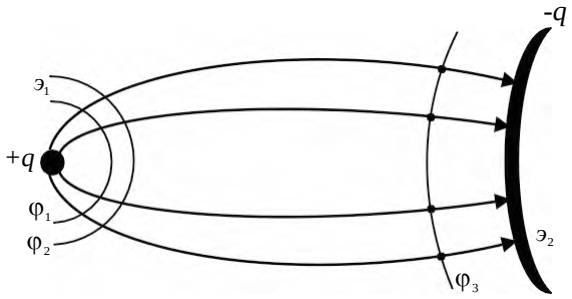


Рис. 3.

Построение и изучение картины электростатического поля проводится следующим образом:

1. Предварительно заготовьте один двойной тетрадный лист, линованный в клетку, который и будет Вашим протоколом выполнения лабораторной работы. На лист нанесите координатную сетку и положение электродов $Э_1$ и $Э_2$, как это имеет место в ванночке прибора.

2. После проверки схемы преподавателем или лаборантом включите источник напряжения; установите движком реостата заданное преподавателем показание вольтметра φ_1.

3. Перемещая щуп по осевой линии, соединяющей центры электродов, найдите такую точку, где стрелка гальванометра стоит на нуле. На координатной сетке отметьте эту точку. Ей соответствует значение потенциала φ_1.

4. Опустите щуп вниз от этой точки на 5–10 мм. Перемещайте его по линии, параллельной осевой, до тех пор, пока стрелка гальванометра вновь установится на нуле. Это будет вторая точка с тем же потенциалом φ_1 и т.д.

5. Повторяя пункт 4, найдите все возможные точки равного (одинакового) потенциала вокруг электрода $Э_1$.

6. По полученным точкам постройте плавную кривую, которая и будет эквипотенциальной линией с потенциалом φ_1, проведите к ним силовые линии (рис. 3).

7. Установите движком реостата показание вольтметра φ_2 и повторите опыт, находя вторую эквипотенциальную линию, потенциал которой задается преподавателем. Повторите опыты 3–6 для других значений потенциалов.

8. Зная, что силовые линии нормальны к эквипотенциальным линиям, укажите примерное расположение силовых линий.

Вопросы для самопроверки к работе №11

1. Какие существуют электрические заряды?
2. Напишите закон Кулона.
3. Что называется электростатическим полем?
4. Дайте определение основным характеристикам электростатического поля: напряжённости и потенциала.
5. В чём состоит принцип суперпозиции?
6. Что такое эквипотенциальные поверхности?
7. Чему равна работа по перемещению заряда в электростатическом поле?

Список рекомендуемой литературы

3. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по электричеству и магнетизму «Исследование электростатического поля».

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа №14

«Определение удельного сопротивления проводника»

1. Краткая теория

Если линейный проводник длиной l и площадью поперечного сечения S изготовлен из однородного материала, то его сопротивления определяется по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

а сопротивление R может быть экспериментально найдено из закона Ома:

$$U = IR \quad R = \frac{U}{I}, \quad (2)$$

где U – напряжение на концах исследуемого проводника, а I – сила тока в проводника.

Для того, чтобы определить удельное сопротивление проводника, необходимо собрать электрическую цепь, схема которой изображена на рис.1.

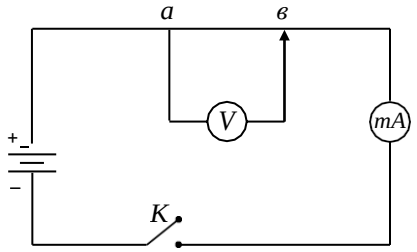


Рис. 1.

Между точками «а» и «в» включена проволока из исследуемого материала. Если диаметр проволоки d постоянен по всей длине, то площадь ее поперечного сечения

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

В данной работе $d = 0{,}5$ мм

Их соотношений (1) – (3) для расчета удельного сопротивления ρ получается расчетная формула:

$$\rho = \frac{\pi d^2 U}{4Il} \quad (4)$$

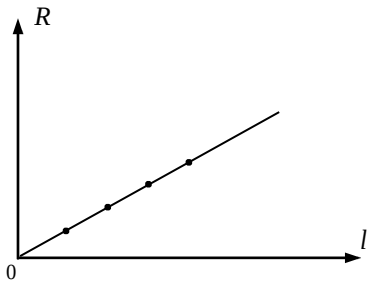


Рис. 2.

Для проверки формулы (1), отражающей зависимость сопротивления проволоки от ее длины l, определяют сопротивление проволоки R по формуле (2) при разных длинах l и строят график зависимости $R = f(l)$ – (рис.2)

Поскольку проволока однородна ($\rho = const$) и имеет одинаковое поперечное сечение по всей длине ($S = const$), то экспериментальные точки должны ложиться на прямую, проходящую через начало координат (рис.2)

Порядок выполнения работы.

1. Собираем электрическую схему, показанную на рис.1

2. Измеряем ток I и напряжение U при длинах проволоки l □ 0,1;0,2;0,3.....0,9 м

3. Данные измерения записываем в таблицу 1.

Протокол лабораторной работы

№14Таблица 1

$l, м$	0,1	0,2			
I, A					
U ,В					
□,*Ом* □ *м*				□ $_{ср}$	□□ $_{ср}$
R ,Ом				$R_{ср}$	□$R_{ср}$

4. По данным измерениям рассчитываем □ по ф–ле (4) и определяем R по формуле (1).

Вопросы для самопроверки к работе №14

1. Что такое электрический ток? Плотность тока?

2. Напишите формулу для сопротивления проводника.

3. Как зависит удельное сопротивление от температуры?

4. Чему равно сопротивление проводников при последовательном и параллельном сопротивлении?

5. Напишите закон Ома в дифференциальной форме; для участка цепи; для замкнутой цепи.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

Установка для лабораторной работы по электричеству и магнетизму «Определение удельного сопротивления проводника».

Лабораторная работа № 15

«Определение напряжённости магнитного поля Землис помощью тангенс–гальванометра»

1. Краткая теория

Магнитное поле образуется вокруг любого движущегося заряда, в частности вокруг проводника с током.

Свойства магнитного поля, образованного движущимся зарядами тождественны свойствам магнитного поля вокруг постоянных магнитов.

Основной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции B , направление которого совпадает с касательными к магнитным силовым линиям.

Магнитные силовые линии поля, образованного проводником с током,

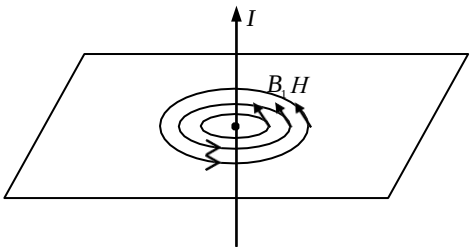


Рис. 1.

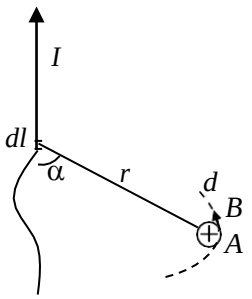


Рис. 1а.

представляют собой концентрические окружности, которые лежат в плоскостях, перпендикулярных проводнику с током, с центром на проводнике. (см. рис.1). Направление силовых линий определяется правилом буравчика.

Физический смысл вектора B , определяется из закона Ампера: на проводник с током I , помещенный в магнитное поле, действует сила, равная:

$$d\vec{F} = I\left[\vec{B}dl\right] \quad (1)$$

– векторная запись закона Ампера, или

$$dF = IBdl\sin\alpha \quad (2)$$

– скалярная запись. При $B \square const$ (т.е. если магнитное поле однородно) закон Ампера можно записать так:

$F \square IBl\sin\square$, откуда, при условии $\square \square 90^0$,

$$B \square \frac{F}{Il},$$

(3)

т.е. вектор магнитной индукции B определяется силой, действующей на проводник единичной длины, по которому течет ток силой в 1А.

Единицей измерения B служит Тл (тесла), размерность которой определяется из формулы (3): $\square Тл \square \square \frac{\square H \square}{\square A \square м \square \square}$.

Численное значение вектора магнитной индукции B определяется из закона Био–Савара–Лапласа (для элемента тока *dl*). В векторной форме

$$dB \square \frac{\square \square_0 I \square \square \square d\,l \square \square r \square \square}{4 \square r_3}, \quad \text{в скалярной записи} \quad – \quad dB \square \frac{\square \square_0 Idl\sin\square}{4 \square r^2}$$

(4)

где *r*– расстояние от элемента тока *dl* до т.А, где определяется элементарноезначение *dB* магнитного поля, $\square$ – угол между *dl* и *r* (рис. 1а);

$\square$ – магнитная проницаемость среды; $\mu_0 \square 4 \square \square 10^{\square 7} \frac{гн}{м}$ – магнитная постоянная.

Часто магнитное поле изучается в воздухе или вакууме и тогда рациональнее использовать для описания поля не B, а вектор напряженности H, который равен: $H \square \frac{B}{\square \square_0}$, т.е. не зависящий от магнитных свойств среды.

Тогда закон Био–Савара–Лапласа для dH запишется в виде:

$$dH \square \frac{Idl\sin\square}{4 \square r^2};$$

(5)

Используя формулу (5) можно найти напряженность магнитного поля, образованного проводником с током любой конфигурации. Например, магнитное поле, образованное круговым током, описывается вектором H, который в центре кругового тока направлен перпендикулярно плоскости круга. Численное значение H получим, если учесть, что

$l = 2\pi R$,

$\alpha = 90^0$ $\sin\alpha$, $= 1$.

$$H = \int dH = \int_0^{2\pi R} \frac{Idl\sin\alpha}{4\pi R^2} = \frac{I}{4\pi R^2}\int_0^{2\pi R} dl = \frac{I\cdot 2\pi R}{4\pi R^2} = \frac{I}{2R}$$; (рис 2).

Если поле образовано n– витками с током, то:

$$H = \frac{I \cdot n}{2R};$$

В случае, если поле образовано очень большим количеством витков N с током, намотанным на очень длинный каркас (т.е. образует соленоид), то для нахождения напряженности H внутри соленоида используют закон полного тока: $\oint Hdl = IN$; с другой стороны: $\oint Hdl = H \cdot l$, $IN = Hl$ и $H = \frac{IN}{l} = n$, где N– полное число тогда

витков соленоида, l– его длина; n– число витков соленоида на единице длины.

В любой точке над поверхностью Земли обнаруживается действие магнитных сил, земной магнетизм. В настоящее время существуют две гипотезы земного магнетизма:

1. Гипотеза, объясняющая наличие магнитного поля электрическими токами, циркулирующими на больших глубинах в жидком ядре Земли.

2.Гипотеза, основанная на предложении, что земная кора содержит в разных участках различное количество магнитных пород. Происхождение магнитного поля окончательно еще не выяснено.

Цель работы – определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли.

Описание метода измерения и установки.

Определение горизонтальной составляющей H_0 в нашей работе выполняется с помощью прибора, называемого тангенс–гальванометром.

Он состоит из нескольких десятков витков провода, намотанных на кольцо, в центре которого находится магнитная стрелка.

Если расположить катушку в плоскости магнитного меридиана и по ней пропустить ток I, то возникает магнитное поле тока с напряженностью $H_т$ в центре катушки, направленное перпендикулярно плоскости катушки. Таким образом, на стрелку будут действовать два взаимно перпендикулярных магнитных поля: магнитное поле Земли $H_З$ и магнитное поле тока $H_т$. на рис.1 изображено сечение катушки горизонтальной плоскостью. Стрелка отклонится на угол α и установится понаправлению равнодействующей H, т.е. по диагонали прямоугольника, сторонами которого будут $H_т$ и H_0–$H_З$. Из рис.1 получим:

$$H_т = H_З \cdot tg\alpha \qquad (1)$$

Применительно к магнитному полю, создаваемому круговым током, напряженность магнитного поля в центре катушки тангенс– гальванометра равна:

$$H_t \square \frac{In}{2R}$$

и следовательно,

$$H_3 = \frac{In}{2Rtg\alpha} \qquad (2)$$

зная число витков n тангенс–гальванометра, значение тока I, радиус кольца R и угол отклонения стрелки α, можно определить горизонтальную составляющую $H_0=H_3$.

Электрическая схема установки изображена на рис.3, где U – источник тока, Р – реостат, А – миллиамперметр, П – переключатель, меняющей направление тока, проходящего по тангенс– гальванометру ТГ, К–ключ.

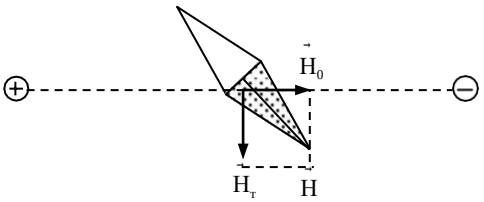


Рис.1

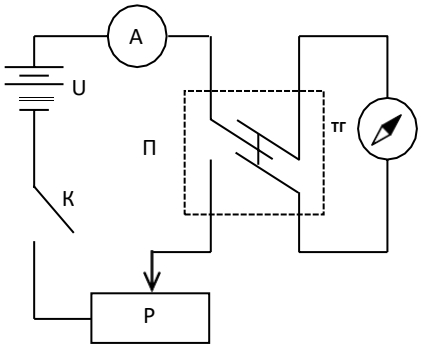


Рис.2

Порядок выполнения работы.

1. Проверяют электрическую схему установки.
2. Поворачивая подставку тангенс–гальванометра, устанавливают витки его катушки в плоскости магнитного меридиана (вдоль стрелки).
3. После проверки схемы преподавателем или лаборантом, замыкают ключ К и при помощи реостата или магазина сопротивлений устанавливают указанный преподавателем ток в цепи. Записывают угол отклонения стрелки α, причем записывают четыре значения угла для каждого значения тока: два при одном положении переключателя П, два – при другом его положении.
4. Опыты повторяют несколько раз при различных значениях силы тока, который измеряют миллиамперметром, а изменяют магазином сопротивлений.
5. Результаты измерений заносят в таблицу 1 протокола.
6. Для каждого отдельного опыта H_0 определяют по формуле (2). Значение $\alpha_{ср}$ находят как среднее арифметическое четырех отклонений.
7. Окончательный результат выражают в виде:

$$H_3 = H_{ср} \pm \Delta H_{ср}$$

Протокол лабораторной работы

№15Таблица 1

№	I	n	α_1	α_2	α_3	α_4	$\alpha_{ср}$	$tg\alpha$	H	ΔH

$H_{ср}$ = $\Delta H_{ср}$ =

$\varepsilon = \frac{\Delta H_{c}}{H_{ср}} \cdot 100\%$ =

Окончательный результат: $H_0 \pm \Delta H_{ср}$ = $H_{ср}$

Вопросы для самопроверки к работе №15

1. Что такое магнитное поле?
2. Назовите основную характеристику магнитного поля и единицы её измерения.
3. Сформулируйте закон Био–Савара–Лапласа.
4. Из какого закона можно определить физический смысл вектора магнитной индукции.
5. Напишите формулу зависимости между $\vec{B}$ и $\vec{H}$.
6. Запишите формулу для закона полного тока.

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по электричеству и магнетизму «Определение напряженности магнитного поля Земли с помощьютангенс–гальванометра»

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Модуль 4.Оптика

Лабораторная работа №24

«Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки»

Краткая теория

Дифракция

света

Развитие оптики вплоть до начала XX века базировалось в основном, на представлении о прямолинейности распространения света. Но уже в XVII веке были известны факты, указывающие на отступление от закона прямолинейного распространения. Это бывает в следующих случаях: когда луч света проходит через малое отверстие в непрозрачном экране; если на пути луча находится малое непрозрачное тело и если свет проходит около края непрозрачного предмета.

Если пучок параллельных лучей света встречает на своем пути непрозрачное круглое тело, то при достаточно малых размерах тела на экране, в середине геометрической тени, будет заметно с в е т л о е пятно в центре чередующихся темных и светлых колец. Это указывает на то, что свет распространяется и в область геометрической тени.

Если же пучок параллельных лучей света пропустить через достаточно малое круглое отверстие, то на экране, начиная с некоторого расстояния, по мере изменения расстояния между отверстием и экраном, будет появляться то с в е т л о е пятно, то т е м н о е пятно в центре чередующихся темных и светлых колец, диаметр которых значительно больше диаметра отверстия. Свет здесь распространяется в область геометрической тени.

Явление отклонения света от прямолинейного распространения в однородной среде, выражающееся в распространении света в область

геометрической тени, называется д и ф р а к ц и е й света.

Дифракция света показывает, что законы геометрической оптики, базирующиеся на законе прямолинейности распространения света, так же как и ряд других законов физики, оказываются справедливыми только в известных условиях.

Принцип Гюйгенса

Направление распространения света в области геометрической тени можно определить при помощи метода, получившего название принцип Гюйгенса, который объясняет механизм передачи волнового процесса (рис.1а). Гюйгенс рассматривал распространение световых волн как последовательное возмущение точек среды, в которой распространяется свет. По принципу Гюйгенса каждая точка волновой поверхности (фронта волны) является самостоятельным источником вторичных элементарных сферических волн. Поверхность, огибающая эти вторичные волны, является новой волновой поверхностью (фронтом волны). В изотропной среде световые лучи являются нормалями волновой поверхности.

Но принцип Гюйгенса позволил решать задачи распространения светового фронта, не отвечая на вопрос об интенсивности волн, идущих по разным направлениям. Оставался нерешенным и вопрос о прямолинейности распространения света. Эти недостатки принципа Гюйгенса устранил Френель, который дополнил принцип Гюйгенса идеей интерференции волн.

Принцип Гюйгенса – Френеля

Огибающая поверхность вторичных элементарных волн Гюйгенса рассматривается Френелем как поверхность, где вследствие взаимной интерференции элементарных волн результирующая волна имеет заметную интенсивность. При определении интенсивности (амплитуды) результирующей волны Френель предложил рассматривать поверхность фронта волны S как светящуюся поверхность. Излучение отдельных элементов dS поверхности S (рис. 1а) приходя в точку Е определяет своей совокупностью интенсивность излучения в этой точке. Так как фазы всех источников dS определяются излучением, идущим из точки О, то они будут когерентными и при сложении в точке Е будут интерферировать. Для вычисления интенсивности результирующей волны Френель предложил следующий прием, получивший название метода зон Френеля.

Метод зон Френеля

Соединим источник света О с рассматриваемой точкой М (рис.1б), разбиваем поверхность SS фронта волн на зоны такого размера, чтобы расстояние l от краев зоны до М отличались на полволны, т.е. радиусами:

$$l_0 = в; l_1 = в + \frac{\lambda}{2}; \; l_2 = в + \frac{2\lambda}{2}; l_3 = в + \frac{3\lambda}{2} \ldots l_n = в + \frac{n\lambda}{2}.$$

Если пренебречь малыми величинами второго порядка, то площадикаждой полученной зоны будут одинаковыми и равны

$$\Delta S = \frac{\lambda Rl}{R + в}, \text{ а радиус n–ой зоны } r_n = \sqrt{\frac{Rв\lambda}{R + в}} n \qquad (1)$$

При этом необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1. По мере удаления от центра С нормаль к волновой поверхности составляет все больший угол с направлением СМ и вследствие этого действие удаленных зон будет мало эффективным.

2. При построении зон по методу Френеля соответствующие точки двух соседних зон будут отличаться по фазе на π и при интерференции в точке М будут гасить друг друга.

Математические вычисления показывают, что действие безграничной световой поверхности S в точке М сводится к эквивалентному действию половины одной центральной зоны. Этим и объясняется прямолинейность распространения света.

Вопрос о том, что будет наблюдаться в точке М, максимум или минимум интенсивности от света, проходящего через отверстие SS, решается числом зон Френеля, которые укладываются в отверстии.

1. Если число зон будет четное, то зоны попарно погасят друг друга и в точке М будет минимум интенсивности.

2. Если число зон Френеля будет нечетное, то парные зоны погасят друг друга, а одна зона остается не погашенной и даст максимум интенсивности.

Дифракцию света, наблюдаемую от сферических волн, т.е. в случае, когда источник света находится на конечном расстоянии R, называют дифракцией Френеля.

Дифракцию света, наблюдаемую от параллельных лучей, т.е. в случае, когда источник света находится в бесконечности и фронт волны плоский, называют дифракцией Фраунгофера.

Если фронт волны плоский, то R = □ и площади □S_i, будут равны □S = □b□, а радиусn–ой зоны Френеля

$$r_n = \sqrt{\text{пв}\square} \qquad (2)$$

Дифракция от щели в параллельных лучах

Пусть мы имеем монохроматическую плоскую волну, т.е. лучи света имеют одинаковую частоту и идут параллельно.

Поместим на пути лучей (рис.2) перпендикулярно к их направлению непрозрачную пластинку с узкой щелью АВ, края которой перпендикулярны плоскости чертежа. В этом случае АВ будет фронтом волны. На рис. 2 щель АВ сильно увеличена.

По принципу Гюйгенса каждая точка волновой поверхности АВ является источником новых элементарных сферических волн, и поэтому из всех точек щели световые колебания будут распространяться во всех направлениях, заходя и в область геометрической тени.

В направлении СМ, нормально к щели, все волны идут в одинаковых фазах. Если на пути этих лучей поставить линзу L, она соберет их в своем фокусе М. Так как линза не изменяет соотношение фаз (разности хода), проходящих через нее лучей, то в точку М все лучи придут с одинаковой фазой. Такие лучи при сложении усилят друг друга, и на экране в направлении СМ мы увидим светлую полоску, которую называют нулевым максимумом.

Рассмотрим теперь параллельный пучок лучей, который распространяется от щели под некоторым углом □ к нормали и собирается линзой в точке Е. Из точки Е

проведем несколько дуг, начиная от края щели (точки А) на расстоянии $\frac{\square}{2}$ друг от друга, где □ – длина волны падающего света. Эти дуги разобьют поверхность АВ на зоны Френеля, число которых зависит от ширины щели и выбранного направления, определяемого углом □.

На рис. 2. ВР = □ следовательно таких зон Френеля в АВ две– АС и СВ.

Пусть ширина щели равна АВ = а, тогда разность хода крайних лучей

BP = □□Sin□ и число зон Френеля m определяется из равенства:

$$\frac{\square}{2} m \square \square \square \mathrm{Sin} \square \qquad (3)$$

Пользуясь методом Френеля, можно сделать следующий вывод.

В тех направлениях, в которых разность хода крайних лучей равна целому числу волн, т.е. четному числу полуволн, число зон Френеля будет четное, каждая пара зон погасится, и мы увидим на экране темные полосы – м и н и м у м ы. Математическое условие минимума можно записать равенством:

$$a \,\mathrm{Sin} \square = 2\,k \frac{\square}{2}, \text{ или } \mathrm{Sin} \square = \frac{2k}{a} \frac{\square}{2} \frac{\square}{a} k \square \square, \qquad (4)$$

где к – любое целое число, определяющее порядок соответствующего минимума, к – 1, 2, 3.....В тех направлениях, в которых разность хода крайних лучей равна нечетному числу полуволн, число зон Френеля будет нечетное, и мы увидим на экране светлые полосы, м а к с и м у м ы, Математически условие максимума можно записать равенством:

$$a\mathrm{Sin}\square = (2k + 1)\frac{\square}{2} \text{ или } \mathrm{Sin}\square = \qquad (5)$$

$$\frac{2k \square 1}{\square} \frac{\square}{2} \square$$

где k – любое целое число, определяющее порядок соответствующего максимума, k = 1, 2, 3 …

Следовательно, при нормальном падении параллельного пучка лучей на узкую щель мы увидим на экране за щелью центральную светлую полоску и симметрично расположенные по обе стороны темные и светлые полоски убывающей яркости.

На рис. 3 показано примерное распределение яркости (ось ординат) взависимости от синуса угла отклонения (ось абсцисс) для дифракционной картины даваемой одной щелью.

Из равенства (5) видно, что:

1) при постоянной длине волны с уменьшением ширины щели увеличивается угол отклонения, т.е. увеличивается расстояние между светлыми полосками;

2) при постоянной ширине щели с увеличением длины волны увеличивается угол отклонения, т.е. лучи с большей длиной волны дальше отклоняются от нулевого максимума.

Из этого следует, что если на щель падают не монохроматические (не одноцветные) лучи, а например, белые лучи, в состав которых входят волны всевозможных длин от 0,38 до 0,76 мкм, то мы получим на экране центральную белую полоску, а по сторонам симметрично расположатся дифракционные спектры 1, 2, 3... и т.д. порядков, разделенные темными промежутками.

Дифракционная решетка

Для получения ярких дифракционных спектров применяются дифракционные решетки. Дифракционная решетка представляет собою совокупность большого числа узких параллельных щелей одинаковой ширины, расположенных на равных расстояниях друг от друга. Простейшим примером дифракционной решетки является стеклянная пластинка, на которой делительной машиной нанесен ряд параллельных штрихов. Места, прочерченные машиной являются практически непрозрачными промежутками. Неповрежденные части пластинки играют роль щелей.

Рассмотрим дифракционную картину, даваемую решеткой. Картина дифракционных максимумов и минимумов, даваемых одной щелью, не зависит от положения щели, т.е. если щель переместить параллельно самой себе, то параллельно переместится и вся дифракционная картина. Поэтому, если в пластинке проделаны одинаковые параллельные щели (рис.4), то они дадут одинаковые дифракционные картины. Если на пути лучей, распространяющихся от щелей решетки, поместить линзу, а в фокальной плоскости линзы экран, то на экране в одну точку соберутся все параллельные лучи, идущие под одним и тем же углом □ к нормали.

Лучи идущие под другим углом, соберутся в другой точке. Освещенность каждой точки экрана будет зависеть как от интенсивности света, даваемого каждой щелью в отдельности, так и от результата интерференции лучей, прошедших через равные щели. В тех местах, где каждая из щелей дает минимум, будет минимум и при нескольких щелях. Но в тех местах, где каждая из щелей дает свет, не обязательно будет свет и при нескольких щелях. В некоторых направлениях лучи света, прошедшие через разные щели, могут вследствие интерференции гасить друг друга и давать добавочные, к даваемым каждой щелью, минимумы. Точно также в других направлениях лучи, складываясь, могут усиливать друг друга, давать максимумы.

Обозначим на рис. 4 ширину щели АВ = *а*, ширину непрозрачного промежутка ВС = в. Расстояние а + в = с называют периодом решетки или постоянной решетки.

В направлении нормали лучи идут в одинаковой фазе и при сложении (на рис.4 линза не показана) усилят друг друга, дадут светлую полоску, которую называют нулевым максимумом.

Возьмем лучи., распространяющиеся от щелей под некоторым углом к нормали, и проведем линию АР перпендикулярно к направлению лучей. От этой линии до экрана лучи, распространяющиеся от щелей, будут проходить одинаковые расстояния. Но до этой линии пути, пройденные лучами, различны. Разность хода лучей, идущих от соответственных точек соседних щелей, т.е. лучей, начинающихся у тождественных точек равна:

$$\Delta = PC = AC \cdot \sin\varphi = c \sin\varphi \qquad (6)$$

На рис. 4 ряд таких соответственных точек показан стрелками.

Если разность хода равна целому числу волн, т. е. четному числу полуволн, то все лучи, идущие от одной щели, будут при сложении усиливаться лучами, идущими от соответственных точек соседних щелей и в направлении, определяемом равенством:

$$c \sin\varphi = 2k\frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad \sin\varphi = \frac{2k}{c}\cdot\frac{\lambda}{2}, \qquad (7)$$

мы увидим светлую полоску – максимум. Величина к, равная любому целому числу начиная с 1, показывает порядок максимума. Из этого равенства следует, что положение максимумов не зависит от числа щелей решетки, а зависит только от длины волны падающего света и постоянной решетки.

Если разность хода будет равна нечетному числу полуволн, то все лучи щели при сложении погасятся лучами, идущими от соответственных точек соседних щелей. В направлении определяемом равенством

$$c \sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \text{ или } \sin\varphi = \frac{2k+1}{c}\cdot\frac{\lambda}{2}, \qquad (8)$$

мы увидим темную полоску, добавочный минимум.

Из формулы (7) следует, что лучи различной длины волны будут иметь максимум в различных направлениях. Поэтому, если на дифракционную решетку падает белый луч, то решетка разложит его, и на экране мы увидим дифракционный спектр, обращенный к центральной полосе фиолетовой линией.

Дифракционная решетка находит большое применение в спектральном анализе, обладая рядом преимуществ по сравнению с призматическим спектрографом. Разрешающая способность спектрографов с дифракционной

решеткой выше чем у спектрографов призматических. Для определения длины волны достаточно знать период решетки и расстояние от решетки до экрана, предварительной градуировки спектрометра не требуется.

Дифракционной решеткой может служить прозрачная жидкость или газ, в которых распространяется ультразвуковые волны. В этом случае по дифракционной картине можно определить длину ультразвуковых волн и скорость их распространения. Дифракция рентгеновских лучей при прохождении через кристалл позволяет определить структуру кристалла.

Лабораторная установка и порядок проведения работы

Принципиальная схема установки приведена на рис. 5. Установка собрана на оптической скамье 5

Работа состоит из двух частей.

Часть I

В первой части работы определяют постоянную дифракционной решетки по известной длине волны света, получаемого от монохроматического источника света,

Для определения постоянной решетки С поступают следующим образом:

1. Включают лазерную установку 1 (= 0,636 мкм). Рис.5

2. На пути лазерного луча устанавливают дифракционную решетку Д (в положение 3). На экране появится дифракционный спектр от монохроматического источника света: в центре яркое красное пятно (нулевой максимум), а по обе стороны от него – убывающие по интенсивности максимумы 1–го, 2–го, 3–го и т.д. порядка.

3. Устанавливают дифракционную решетку на заданном расстоянии h от экрана э. Расстояние измеряют по линейке 4.

4. Измеряют l_1 – расстояние между центрами максимумов 1–го порядка, симметричных относительно нулевого максимума. Затем измеряют l_2 – расстояние между центрами максимумов 2–го порядка.

Из формулы (7) определяют значение постоянной решетки С, используя данные для спектра 1–го порядка: k = 1, Sin $\varphi_1 = l_1/2h$, см. (рис. 5.) Вследствие малости угла
φ_1 можно положить Sin $\varphi_1 \approx$ tg φ_1.

Затем определяют значение постоянной решетки (С’’), используя данные для спектра 2–го порядка: k = 2, Sin $\varphi_2 = l_2/2h$.

Все измерения выполняют два раза для двух значений h, заданных преподавателем. Найденные значения C для двух значений h заносят в протокол и вычисляют среднее значение постоянной решетки и погрешность измерения.

Часть II

Во второй части работы определяют длину волны одной из линий спектра белого света. Спектр создается с помощью дифракционной решетки. Используют значение постоянной решетки C, полученное в первой части работы. Формула измерений в этом случае имеет вид:

$$\lambda = \frac{C \sin \varphi}{k} \qquad (9)$$

Для определения λ поступают следующим образом:

1. Включают источник белого света – проекционный фонарь (2 на рис.5). Между конденсором и объективом проекционного фонаря вставляется непрозрачная пластинка с узкой щелью. Перемещением объектива проекционного фонаря, добиваются того, что на экране будет видно отчетливое изображение щели.

2. На пути пучка белого света на заданном расстоянии от экрана ставят дифракционную решетку Д (в положение 3^1 на рис. 5). На экране появится яркий дифракционный спектр белого света, обращенный к центру картины фиолетовым цветом (см. Рис.6).

3. Измеряют расстояние между одинаковыми линиями спектра 1–го порядка l_1 (цвет линий задает преподаватель). Затем измеряют l_2 – расстояние между такими же линиями в спектре 2–го порядка.

По формуле (9) определяют λ_1 ($k = 1$, $\sin \varphi_1 = \frac{l_1}{2h}$) и λ_2 ($k = 2$, $\sin \varphi_2 = l_2/2h$) для двух значений h.

4. Найдя значения λ_1 и λ_2 для спектра 1–го и 2–го порядка, вычисляютсреднее значение длины волны и погрешность измерения.

Протокол лабораторной работы №24

Таблица результатов измерения

Длина волны крайних красных лучей 0,76 мкм

определение C				определение λ			
h	l	C	ΔC	h	l	λ	$\Delta\lambda$

Вопросы для самопроверки к работе №24

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по оптике «Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки»

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа №25

«Изучение явления поляризации света»

1. Краткая теория

Основные определения

Свет представляет собой электромагнитные колебания, распространяющиеся в виде электромагнитных волн. Электромагнитная волна характеризуется двумя периодически изменяющимися векторами: вектором напряженности электрического поля E и вектором напряженности магнитного поля H. Векторы E и H расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях и колеблются в одинаковых фазах. Колебания этих векторов в изотропной среде происходят в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения

колебаний – к лучу. Поэтому электромагнитные волны относятся к типу поперечных волн.

В большинстве случаев воздействия световых волн (такие как физиологические и фотохимические воздействия, люминесценция, фотоэффект, и т.д.) определяются вектором напряженности электрического поля, вектором Е.

Это положение легко понять, если рассматривать явление с точки зрения электронных представлений. Большинство явлений, наблюдаемых в веществе под действием света, связаны с воздействием на электроны. А так как электроны представляют собой электрические заряды, то сила, действующая на них, определяется в первую очередь электрическим полем, т.е. электрическим вектором электромагнитной волны, вектором Е. Магнитный вектор, вектор Н, играет лишь второстепенную роль и действие его непосредственно почти не сказывается. В соответствии с этим электрический вектор электромагнитной волны, вектор Е, называют с в е т о в ы м вектором. Поэтому в дальнейшем, говоря о колебаниях в с в е т о в о м л у ч е, мы всегда будем понимать под ними колебания вектора Е, который будем называть световым вектором. Если в световой волне колебания вектора напряженности электрического поля, вектора Е, происходят по всевозможным направлениям в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения (к лучу), то свет называется е с т е с т в е н н ы м. Если колебания вектора Е происходят только в о д н о м н а п р а в л е н и и, перпендикулярном лучу, то свет называется п о л я р и з о в а н н ы м. Плоскость, проходящая через направление колебаний вектора Е и через луч (рис. 1, плоскость А), называется плоскостью к о л е б а н и й вектора Е. Если колебания в каком–либо направлении ослаблены, то свет называется частично поляризованным.

Прибор, превращающий естественный свет в поляризованный, называется п о л я р и з а т о р о м, а прибор определяющий направление колебаний (гасящий поляризованную волну) называется а н а л и з а т о р о м.

Рассмотрим механическую аналогию поляризации света.

Если на пути распространения колебаний шнура поставить преграду с узкой щелью, то лишь при определенном положении щели за ней можно обнаружить прошедшие колебания.

Предположим, что колебания происходят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях – горизонтальной E_{xo} и вертикальной E_{yo}. Расположим на пути распространения таких колебаний одну за другой две щели так, чтобы первая была вертикальна, а вторая горизонтальна (рис. 2). Первая щель пропустит только те колебания, которые происходят в вертикальной плоскости и не

пропустит те колебания, которые происходят в горизонтальной плоскости. Прошедшие через первую щель колебания будут плоскополяризованными, а сама щель в данном случае будет поляризатором.

Вторая щель, расположенная горизонтально, не пропустит колебаний, происходящих в вертикальной плоскости и, следовательно, за щелью колебаний не будет. Если же повернуть вторую щель и поставить вертикально, то колебания пройдут через щель. Таким образом, вращая вторую щель, можно определить плоскость, в которой происходят колебания, т.е. вторая щель может служить анализатором.

Для световых волн аналогом щели при механических колебаниях являются некоторые кристаллы. Кроме того, поляризованный свет можно получить и при помощи обычного плоского зеркала или стопки стеклянных пластинок.

Поляризация при отражении и преломлении

Пусть на черное зеркало (в этом зеркале устранено отражение от второй поверхности) падает естественный свет. Световые колебания, как и любое колебание, происходящие в одной плоскости, можно разложить по правилу параллелограмма на два колебания, происходящие в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Следовательно, естественный луч света мы можем представить как луч, в котором колебания происходят в 2–х взаимно перпендикулярных направлениях, например в плоскости чертежа (рис.3), которую считаем совпадающей с плоскостью падения (условно отмечаются черточками) и в плоскости, перпендикулярной чертежу (отмечаются точками). Эти два вида колебаний будут по разному отражаться от зеркала из диэлектрика. Колебания, происходящие в плоскости, перпендикулярной к плоскости падения, будут отражаться независимо от угла падения. Колебания, происходящие в плоскости падения, с увеличением угла падения будут отражаться все меньше и меньше, а все больше и больше будут преломляться. При некотором угле падения $\alpha = \alpha_{пол}$ все эти колебания будут только преломляться и поглощаться нижней черной поверхностью зеркала. Следовательно, отраженный луч будет полностью поляризован в плоскости падения.

Угол падения $\alpha_{пол}$, при котором отраженный луч полностью поляризован, называется у г л о м п о л н о й п о л я р и з а ц и и.

Аналогичное явление мы будем иметь, если вместо зеркала возьмем стопку стеклянных пластин. При падении света под углом полной поляризации преломленный луч будет частично поляризован, так как он содержит помимо колебаний, расположенных в плоскости падения, некоторое количество колебаний,

расположенных в плоскости перпендикулярной к плоскости падения. Степень поляризации преломленного луча увеличивается с увеличением числа пластинок.

Угол полной поляризации $\alpha_{пол}$ при отражении от данного вещества определяется из равенства называемого законом Брюстера: тангенс угла полной поляризации равен показателю преломления отражающего вещества.

$$tg\ \alpha_{пол} = n,\ \alpha_{пол} = \alpha_{Бр} \qquad (1)$$

где n – показатель преломления отражающего вещества.

При падении света под углом полной поляризации отраженный луч будет полностью поляризован. Плоскость колебаний поляризованного при отражении луча, т.е. плоскость колебаний вектора Е будет перпендикулярна плоскости падения.

Из закона Брюстера и закона преломления $\frac{Sin\ \alpha}{Sin\ \beta} = n$ следует, что при падении луча на зеркало под углом полной поляризации, луч отраженный под углом полной поляризации и луч преломленный взаимно перпендикулярны.

Как и всякий поляризатор, зеркало в стопе пластинок могут служить не только поляризатором, но и анализатором.

Большей частью поляризованный свет получают путем преломления луча в кристаллах, обладающих двойным лучепреломлением.

Поляризация при двойном лучепреломлением

В природе существуют кристаллы (например исландский шпат), которые дают двойное преломление. Если смотреть через такой кристалл перпендикулярно к грани кристалла на предмет, то мы видим два изображения: одно неподвижное, а второе перемещается по мере вращения кристалла. Первое изображение называется о б ы к н о в е н н ы м, а второе н е о б ы к н о в е н н ы м. Это явление объясняется следующим образом. Кристаллы – тела анизотропные, их физические свойства, например скорость распространения световых колебаний, различны в различных направлениях. Но особенностью кристалла является то, что в нем можно выделить так называемую о п т и ч е с к у ю о с ь. Она характеризуется следующим: свойства кристалла одинаковы во всех тех направлениях, которые составляют с оптической осью кристалла равные углы. Это свойство справедливо для угла любой величины. Необходимо отметить, что оптическая ось не есть определенная линия, а только определенное направление.

Плоскость, проходящая через падающий луч и оптическую ось кристалла, называется г л а в н ы м с е ч е н и е м кристалла.

Скорость распространения света в кристалле будет зависеть от угла φ между направлением колебаний и направлением главной оси кристалла $\upsilon=\upsilon(\varphi)$.

Если луч света идет вдоль оптической оси кристалла, то все его колебания будут перпендикулярны к оптической оси ($\varphi=90^0$) и, следовательно, будут распространяться с одной и той же скоростью. Луч в этом случае не раздваивается и двойного изображения не будет.

Пусть луч света падает на кристалл под некоторым углом φ /рис.4/ к его оптической оси ОО. Разложим колебания в падающем луче на два взаимно перпендикулярных колебания: колебания, происходящие в плоскости главного сечения /плоскость чертежа/, и колебания, происходящие в плоскости, перпендикулярной главному сечению. Колебания, перпендикулярные к главному сечению кристалла/ на рис.4 обозначены точками/, будут распространяться в кристалле с той же скоростью, как и колебания луча, идущего вдоль оптической оси, так как при любом угле падения они составляют с осью кристалла угол 90^0.

Колебания, расположенные в плоскости главного сечения кристалла/ на рис.4 обозначены черточками/, будут распространяться с другой скоростью, т.к. они составляют с осью кристалла другой угол, равный $90^0 - \varphi$.

По закону преломления:

$$n = \frac{c}{\upsilon} = \frac{Sin\alpha}{Sin\ \beta}$$

где с – скорость распространения света в вакууме;

υ – скорость распространения света в данной среде;

α – угол падения; β – угол преломления.

Так как скорость распространения колебаний в кристалле зависит от угла φ, т.е. $\upsilon=\upsilon/\varphi/$, то колебания, перпендикулярные к главному сечению, и колебания, лежащие в плоскости главного сечения, будут распространяться в кристалле с различной скоростью и, следовательно, будут иметь различный показатель преломления Но при различном показателе преломления будут различны и углы преломления. В этом случае луч света раздваивается и дает двойное изображение. Лучи, колебания которых перпендикулярны к плоскости главного сечения, называются обыкновенными лучами, они дают неподвижное изображение. Лучи, колебания которых расположены в плоскости главного сечения, называются

необыкновенными лучами. Они не подчиняются закону преломления /показатель преломления зависит от угла падения/ и дают подвижное изображение, так как с поворотом кристалла изменится показатель преломления, а вместе с ним изменится и угол преломления.

Лучи обыкновенные и необыкновенные являются одновременно лучами поляризованными: обыкновенный луч поляризован в плоскости главного сечения, а необыкновенный луч поляризован в плоскости, перпендикулярной к плоскости главного сечения. Плоскости поляризации обыкновенного и необыкновенного лучей взаимно перпендикулярны.

Наибольшее различие в скоростях распространения лучей имеет место при распространении в направлении, перпендикулярном к главной оптической оси кристалла.

Поляризационная призма Николя

Призмы, служащие для получения поляризованного света, называют п о л я р и з а ц и о н н ы м и призмами. Поляризованная призма может служить и анализатором. Поляризационную призму Николя часто называют просто николь. Он состоит из кристалла АВСД исландского шпата, имеющего форму параллелепипеда /рис.5/. Кристалл разрезается наклонно по плоскости ВЕДР на две части, а затем склеивается канадским бальзамом. Показатель преломления канадского бальзама 1,549. Показатель преломления исландского шпата для обыкновенных лучей равен 1,658. Для необыкновенных лучей показатель преломления исландского шпата различен для различных направлений, для лучей, идущих параллельно длинным ребрам призмы, он равен 1,515.

Пусть естественный луч падает на нижнюю грань призмы /рис.5/ в плоскости главного сечения /плоскости чертежа/ под таким углом, что преломленные лучи, раздвоившись, идут почти параллельно продольным ребрам.

Необыкновенный луч, дойдя до слоя канадского бальзама, вступает в него как в тело более преломляющее и продолжает путь не отклоняясь, так как слой канадского бальзама очень тонок.

Обыкновенный же луч встречает слой бальзама как среду менее преломляющую и так как угол падения его больше предельного угла, то этот луч испытывает полное внутреннее отражение и поглощается зачерненной гранью призмы. Из призмы выходит один только необыкновенный луч, колебания которого параллельны главному сечению. Направление колебаний показано на рис.5.

Закон Малюса

Если на анализатор падает поляризованный луч, плоскость поляризации которого составляет угол α с плоскостью поляризации анализатора, то яркость J_2 прошедшего через анализатор луча определяется законом Малюса.

$$J_2 = J_1 \cos^2 \alpha \qquad (3)$$

где

J_1 – интенсивность луча падающего на анализатор(яркость);

J_2 – интенсивность луча, выходящего из анализатора без учета потерь в анализаторе;

α– угол между главной плоскостью поляризатора и главной плоскостью анализатора.

Если плоскости взаимно перпендикулярны, то будет полное затемнение поля зрения.

Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

В настоящей лабораторной работе для поляризации света применяются п о л я р о и д ы. Они представляют собой пленку целлулоида, в которую вкраплены кристаллики двоякопреломляющегося вещества (например, герапатита). Подобная пленка практически полностью поглощает обыкновенные лучи и пропускает необыкновенные. Поляризаторы изготавливают, помещая поляроидную пленку между двумя стеклянными пластинками.

Лабораторная установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 6 включает источник света I, два установленных последовательно друг за другом поляризатора 2 и 3 и фотоэлемент 4, подключенный к микроамперметру. Показания микроамперметра N пропорциональны интенсивности J_2 света, падающего на фотоэлемент, т.е. $J_2 \approx N$. Нижний поляризатор неподвижен, а верхний может поворачиваться на 360^0, при этом поворачивается плоскость $П_I - П_I^1$ поляризации поляроида и связанная с ним стрелка – указатель. Угол поворота отсчитывается по шкале неподвижного лимба.

Порядок выполнения работы

1. Включают источник естественного света I (электрическую лампочку).

2. Вращая верхний поляризатор 2 устанавливают стрелку так, чтобы интенсивность падающего на фотоэлемент 4 света была максимальной. В этом положении, соответствующем отметке «0» по шкале лимба, плоскости поляризации поляроидов параллельны друг другу. Записывают в таблицу полученное значение максимальной интенсивности света J_1, выраженное в показаниях амперметра.

3. Повернув поляризатор на угол $\alpha = 30^0$, записывают соответствующие этому положению показания микроамперметра в таблицу.

4. Опыт повторяют через каждые 30^0 вплоть до 360^0.

5. По экспериментальным данным находят соотношение J_2/J_1 для всех значений углов α. Данные заносят в таблицу, строят график

$$J_2 = f(\alpha)$$

6. Рассчитывают то же соотношение J_2/J_1 по закону Малюса (2) и полученные значения заносят в таблицу.

7. Вычисляют разность между значениями, полученными в п.п. 5 и 6. Эта разность характеризует точность выполнения закона Малюса при измерениях в данной лабораторной работе.

Протокол лабораторной работы №25

Вопросы для самопроверки к работе №25

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по оптике «Изучение явления поляризации света»

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа № 28

«Определение чувствительности фотоэлемента»

Краткая теория

Основные понятия

Фотоэлектрическим эффектом, или фотоэффектом, называют явление вырывания электронов из атомов и молекул вещества под действием света.

Если электроны, выбитые светом, вылетают за пределы вещества, то фотоэффект называется в н е ш н и м.

Внешний фотоэффект наблюдается главным образом у металлов. Если же, оторванные от своих атомов и молекул, электроны остаются внутри освещаемого вещества в качестве свободных электронов, то фотоэффект называется внутренним. Внутренний фотоэффект наблюдается у некоторых полупроводников и в меньшей степени, у диэлектриков. Явление внешнего фотоэффекта впервые было исследовано Столетовым в 1890 г. Явление внутреннего фотоэффекта было исследовано академиком Иоффе в 1908 г.

Приборы, действие которых основано на применении фотоэффекта, называются фотоэлементами.

Внешний фотоэффект, законы Столетова.

Схемы опытов Столетова по исследованию внешнего фотоэффекта изображена на рис. 1.

В вакуумной трубке помещают исследуемую пластинку К, служащую катодом, и вспомогательный электрод А, служащий анодом. Электроды К и А через потенциометр Р подключены к источнику напряжения ε. Напряжение между электродами, называемое анодным напряжением, измеряется вольтметром V, ток в цепи измеряется гальванометром Г.

Если пластинка К не освещается, то ток в цепи отсутствует, так как вакуумный промежуток между катодом и анодом тока не проводит. Если же исследуемую пластинку осветить светом через окно С, то свет вырвет из пластинки электроны, которые получили название фотоэлектронов.

Под действием электрического поля, созданного анодным напряжением, фотоэлектроны будут двигаться к аноду А и далее, по замкнутой цепи, через гальванометр Г к катоду К.

Гальванометр покажет наличие тока, который получил название фототока. При помощи потенциометра Р можно изменять величину и знак анодного напряжения. Следует иметь ввиду, что ток в цепи возникает и в том случае, когда анодное напряжение равно нулю, и даже при небольшом задерживающем отрицательном напряжении. Объясняется это тем, что вылетающие из катода фотоэлектроны обладают кинетической энергией, за счет которой совершается работа против сил задерживающего отрицательного потенциала.

На графике рис. 2, называемого вольт–амперной характеристикой, показана типичная зависимость силы фототока от анодного напряжения при неизменном световом потоке для двух значений светового потока Ф, причем $\Phi_1 < \Phi_2$.

Из графика видно, что с увеличением анодного напряжения фототок сначала возрастает, затем достигает максимума и дальнейшее увеличение анодного напряжения не изменяет фототока. Увеличение фототока объясняется тем, что не все вылетевшие из катода фотоэлектроны достигают анода. С увеличением анодного напряжения все большая часть фотоэлектронов будет достигать анода и при некотором значении напряжения все вылетевшие фотоэлектроны достигнут анода. Дальнейшее увеличение анодного напряжения уже не вызовет увеличения фототока. Максимальный фототок называют фототоком н а с ы щ е н и я.

При некоторой задерживающей разности потенциалов – фототок прекращается. Очевидно, максимальная кинетическая энергия вылетающих из катода фотоэлектронов равна работе перемещения фотоэлектрона через запирающую разность потенциалов:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = e\,U_3 \qquad (1)$$

где m и e – масса и заряд электрона;

υ – максимальная скорость вылетающих электронов;

U_3 – задерживающая разность потенциалов.

Определив опытным путем задерживающую разность потенциалов, можно вычислить максимальную скорость фотоэлектронов. В результате многочисленных тщательно поставленных опытов Столетов установил следующие закономерности фотоэффекта.

1. Сила фототока насыщения $i_н$, возникающая при освещении монохроматическим светом, пропорциональна световому потоку Ф падающему на катод.

$$i_н = к\,Ф \qquad (2)$$

Коэффициент пропорциональности к, равный силе фототока, выраженный в мкА, при освещенности катода потоком в 1 лм называется фоточувствительностью освещаемой пластинки, измеряется в мкА/лм.

2. Скорость фотоэлектронов увеличивается с увеличением частоты (с уменьшением длины волны) падающего света и не зависит от интенсивности светового потока.

3. Независимо от интенсивности светового потока фотоэффект начинается только при определенной (для данного металла) минимальной частоте (максимальной длине волны) называемой красной г р а н и ц е й

фотоэффекта. Красная граница фотоэффекта различна для различных веществ и является величиной, характерной для данного вещества.

Внешний фотоэффект и волновая теория света

Второй и третий законы фотоэффекта Столетова противоречат волновой теории света:

1. Чем больше интенсивность светового потока, тем большую кинетическую энергию должен был бы получить от него электрон. Поэтому скорость фотоэлектрона должна бы возрастать с увеличением интенсивности светового потока. Но этот вывод противоречит второму закону Столетова.
2. По волновой теории интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды волны. Поэтому свет любой длины волны, но достаточно большой интенсивности, т.е. большой амплитуды, должен был бы вырвать фотоэлектрон из металла, следовательно, не должно бы существовать красной границы фотоэффекта. Но этот вывод противоречит третьему закону Столетова.
3. Так как для вырывания электрона из металла нужно затратить энергию, то фотоэлектроны должны появляться только в том случае, если интенсивность света достаточна для вырывания электрона, т.е. должна существовать нижняя граница для интенсивности света. Но опыт показывает, что границы для интенсивности не существует. Свет, с частотой большей граничной, вырывает электрон как бы ни мала была его интенсивность.

Качественно электромагнитная теория света дает объяснение фотоэффекта, но объяснить количественные закономерности эта теория не в состоянии.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

Объяснение количественных закономерностей фотоэффекта было дано Эйнштейном на основе квантовых представлений о свете. По квантовой теории величина светового потока определяется количеством световых квантов (фотонов), падающих в единицу времени на поверхность металла, и световой поток не взаимодействует сразу со всеми электронами вещества (как световые волны), а осуществляется взаимодействие отдельных фотонов, с отдельными электронами. Процесс поглощения света веществом сводится к тому, что фотоны передают всю свою энергию частицам этого вещества. Т.е. в явлении фотоэффекта проявляются корпускулярные (квантовые) свойства света.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта имеет вид:

$$h\nu = A_{вых} + \frac{m\upsilon^2}{2} \qquad (3)$$

Энергия фотона $h\nu$, падающего на вещество, расходуется на работу вырывания электрона из вещества, равную А и называемую работой в ы х о д а, и на сообщение электрону кинетической энергии $\frac{m\upsilon^2}{2}$.

Таким образом, закон Эйнштейна является частным случаем закона сохранения и превращения энергии применительно к явлению фотоэффекта. В этом уравнении:

h – постоянная Планка, $h = 6{,}62 \cdot 10^{-31}$ Дж · с;

ν – частота падающего света, $\nu = \frac{c}{\lambda}$;

с – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с;

λ – длина волны падающего света;

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

υ – скорость вылетающих электронов.

Работа выхода электрона из металла зависит от природы вещества. Для многих металлов она вычислена и находится по справочным таблицам. Но легко может быть вычислена и опытным путем. Измеряет величину $A_{вых}$ обычно в электронвольтах (эв).

Уравнение Эйнштейна объясняет все закономерности фотоэффекта, установленные Столетовым.

1. Чем интенсивнее световой поток, тем больше фотонов падает на вещество, тем больше выбитых фотоэлектронов.

Следовательно, сила фототока насыщения должна быть пропорциональна световому потоку.

2. Чем больше частота (чем меньше длина волны) падающего света, тем больше энергия фотона, тем больше кинетическая энергия, сообщенная фотоэлектрону, так как работа выхода величина постоянная и не зависит от светового потока. Следовательно, скорость выбитых электронов должна возрастать с частотой по линейному закону.

3. С уменьшением частоты падающего света (увеличением длины волны) энергия падающих фотонов при некоторой частоте $\nu_{кр}$ (или длине волны $\lambda_{кр}$) может стать равной работе выхода.

$h\nu_{кр}=A_{вых}$ или $\frac{hc}{\lambda_{KP}}=A_{вых}$, (3')

откуда:

$$\upsilon_{к}=\frac{c}{\lambda_K}=\frac{A_{вых}}{h}, \quad \lambda_{кр}=\frac{hc}{A_{вых}} \qquad (4)$$

В этом случае скорость вылетающих фотоэлектронов (по уравнению 3) будет равна нулю, а (3/) определяет условие начала фотоэффекта.

Из равенства (4) определяется граничная частота $\nu_{кр}$ (или граничная длина волны $\lambda_{кр}$) называемая красной границей, т.е. максимальная длина волны, при которой начинается фотоэффект.

4. Так как фотон взаимодействует только с одним электроном, то не существует границы интенсивности света для фотоэффекта. Фотоэффект будет происходить при $h\nu \geq A_{вых}$, как бы ни была мала интенсивность света.

Внутренний фотоэффект

В кристаллических полупроводниках и некоторых диэлектриках наблюдается внутренний фотоэффект, состоящий в том, что под действием света увеличивается электропроводность этих веществ за счет возрастания в них числа свободных носителей тока – электронов проводимости и дырок.

По квантовым представлениям электроны могут находиться в атоме на определенном, разрешенном, энергетическом уровне. Под влиянием различных физических факторов электрон может переходить с одного разрешенного уровня на другой, но не может находиться на каком–либо промежуточном уровне – запрещенном уровне.

По принципу Паули на одном энергетическом уровне в изолированном атоме могут находиться не более двух электронов. При сближении N изолированных атомов энергетический уровень расщепляется на N близких по величине энергетических уровней, на каждом из которых может находиться не более двух электронов.

Совокупность этих уровней образует полосу, которую называют энергетической з о н о й. Энергетические зоны отделяют друг от друга области, в которых в силу квантовых законов электроны находиться не могут. Эти области называют з а п р е щ е н н ы м и зонами. Если на каждом разрешенном уровне находится два электрона, то зона называется з а п о л н е н н о й.

Целиком заполненные зоны в кристаллах называются в а л е н т н ы м и зонами, частично заполненные и пустые – называются зонами п р о в о д и м о с т и.

Следует знать, что энергетическая зона не имеет никаких пространственных размеров, а представляет собой понятие, отражающее тот факт, что тот или иной электрон кристалла может обладать энергиями, заключенными в определенных пределах. Этими пределами являются нижняя и верхняя граница зоны. В фразе "ширина запретной зоны" под словом "ширина" следует понимать не обычное геометрическое расстояние, а лишь то, что численное значение энергии электрона, находящегося на данном уровне, отличается от энергии электрона, находящегося на другом уровне, на Δ Е. Наиболее близкие к ядру электроны крепко связаны с ядрами и не принимают участия в проводимости. Электропроводимость возникает лишь за счет валентных электронов зоны проводимости. Структура спектра валентных электронов для металлов и полупроводников различна.

У металлов между зоной заполненной и зоной проводимости нет запретных уровней и электрон заполненной зоны имеет возможность перейти на свободные уровни зоны проводимости, рис. 3–а. У полупроводников энергетический спектр состоит из заполненной зоны разрешенных уровней, запрещенной зоны и зоны проводимости, рис. 3–б. Ширина запретной зоны определяет величину энергии ΔЕ, которую нужно дополнительно сообщить электрону, чтобы перевести его из заполненной зоны в зону проводимости. Эту энергию называют энергией активации и выражают в электронвольтах. Полупроводник будет электропроводным, если электрон из заполненной зоны перейдет в зону проводимости. Отсюда явление внутреннего фотоэффекта часто называют фотопроводимостью.

Механизм фотопроводимости объясняется следующим образом. При освещении поверхности полупроводника поглощенный фотон отдает свою энергию валентным электронам.

Если энергия фотона больше ширины запрещенной зоны, то электрон переходит в зону проводимости и становится электроном проводимости, а в заполненной зоне образуется свободное место, пустой уровень, получивший название "дырка". Образовавшаяся дырка может быть заполнена одним из ближайших соседних электронов, но тогда освободится место, которое только что занимал электрон, т.е. появится новая дырка и т.д. В возникшем процессе электрон будет перемещаться против направления электрического поля, а свободное место, заполняемое электронами, дырка, перемещается им навстречу – по направлению поля. В электрических и магнитных полях дырка ведет себя аналогично положительному заряду, величина которого равна заряду электрона. Таким

образом, один поглощенный фотон освобождает пару "электрон–дырка" и освещение полупроводника увеличивает количество носителей тока, следовательно, увеличивает ток при неизменном напряжении, что эквивалентно уменьшению сопротивления.

При освещении светом для которого $h\nu < \Delta E$, фотоэффекта не будет.

Частота $\nu_{кр}$, определяемая из равенства $h\ \nu_{кр} = \Delta E$, является красной границей внутреннего фотоэффекта.

Типы фотоэлементов

Широкое применение в технике четыре вида фотоэлемента.

а) Фотоэлементы с внешним фотоэффектом.

1. Вакуумные фотоэлементы, практически не обладающие инерционностью.

2. Газонаполненные фотоэлементы, обладающие большей, по сравнению с вакуумным, чувствительностью, но и большей инерционностью, т.е. изменения фототока запаздывают по времени относительно изменения светового потока.

б) Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом.

1. Фотосопротивления.

2. Вентильные фотоэлементы.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом обладает значительно большей инерционностью по сравнению с фотоэлементами основанными на внешнем фотоэффекте.

Порядок выполнения работы

В работе применяется селеновый фотоэлемент.

Устанавливают фотоэлемент и электролампу с известной силой света так, чтобы их центры были на одной горизонтали. Устанавливают фотоэлемент на указанном в работе расстоянии от электролампы и подсоединяют гальванометр к фотоэлементу. Включают лампу в сеть и устанавливают указанное в работе напряжение.

При освещении фотоэлемента гальванометр покажет наличие фототока. Записывают в таблицу расстояние R от фотоэлемента до электролампы и силу фототока i. Повторяют измерения измеряя расстояние через равные интервалы.

Пройдя весь указанный в работе интервал расстояний, выключают электролампу и отключают гальванометр от фотоэлемента.

Протокол лабораторной работы №28

Результаты измерений записывают в таблицу. Таблица результатов по определению чувствительности

фотоэлемента типа Фоточувствительная поверхность S=

Сила света лампы J =

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R										
i										
E										
Ф										

Обрабатывают результаты измерений.

Зная силу света J лампы при данном напряжении и расстояние от лампы до фотоэлемента, находят освещенность фотоэлемента по закону освещенности

E = $\frac{J}{R^2}$. Зная освещенность и светочувствительность площадь фотоэлемента, (она указана в работе), находят световой поток, падающий на фотоэлемент

Ф = ES

Зная световой поток Ф и силу фототока i, строят график зависимости i от Ф. Из графика находят чувствительность фотоэлемента к = $\frac{i}{\Phi}$.

Вопросы для самопроверки к работе №28

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по оптике «Определение чувствительности фотоэлемента».

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Модуль 5. Основы физики атома и атомного ядра

Лабораторная работа №26

«Градуирование спектроскопа и определение постоянной Планка»

1. Краткая теория

Спектры излучения

Световое излучение всех естественных источников света имеют более или менее сложный состав. Сложность состава так называемого белого света, даваемого солнцем или раскаленными твердыми и жидкими телами, легко обнаружить с помощью опыта Ньютона. Через узкую равномерно освещенную щель 0 /рис.1/ пропускают пучок лучей белого света и направляют их на прозрачную призму.

На рисунке щель расположена горизонтально, перпендикулярно плоскости чертежа. Грани призмы также перпендикулярны чертежу. Если пучок лучей после выхода из призмы падает на белый экран В, то на экране появляется вертикальная цветная полоска. На рис. 1 показаны только крайние ограничивающие пучки: красный и фиолетовый. Любое, параллельное щели, сечение этой полосы окрашено в один определенный цвет. Но различные, параллельные друг другу, сечения окрашены в различные цвета, постепенно переходящие друг в друга. Полученная цветная полоса называется с п е к т р о м исследуемого источника света.

С помощью специальных опытов было обнаружено, что в состав излучения большинства источников, помимо видимых лучей, входит большое количество лучей не воспринимаемых нашим глазом. Лучи, имеющие длину волны большую, чем красные лучи, преломляются меньше красных лучей и лежат за красным

концом спектра, их называют и н ф р а к р а с н ы м и и обнаруживают по тепловому действию. Лучи имеющие длину волны меньшую, чем фиолетовые, преломляются больше фиолетовых лучей и лежат за фиолетовой частью спектра, их называют у л ь т р а ф и о л е т о в ы м и и обнаруживают по химическому действию.

Совокупность лучей, испускаемых данным источником, называется с п е к т р о м и з л у ч е н и я источника. Спектры раскаленных твердых или жидких тел являются н е п р е р ы в н ы м и или сплошными. Спектры светящихся газов состоят из отдельных цветных линий или групп цветных линий, также спектры называются л и н е й ч а т ы м и. Спектры светящихся газов зависят от химической природы газа. Каждый газ или пар дает свой, характерный только для него спектр. Поэтому спектр светящегося газа дает возможность делать заключение об его химическом составе.Метод исследования, позволяющий по спектру излучения судить о химической природе тела, называется с п е к т р а л ь н ы м а н а л и з о м.

Дисперсия света

Проследим причины образования спектра. С точки зрения волновой теории всякий колебательный процесс можно характеризовать частотой колебаний, амплитудой и фазой. Амплитуда колебаний, точнее ее квадрат, определяет энергию колебаний. Фаза играет основную роль в явлении интерференции. Цвет всех лучей связан с частотой колебаний. В безвоздушном пространстве лучи любой частоты или длины волны распространяются с одинаковой скоростью. На основании соотношения $c=\lambda\nu$, частота ν обратно пропорциональна длине волны λ ($c=3.10^{8м}/_{с}$ – скорость света в вакууме).

Опыт показывает, что во всех более или менее плотных средах волны различной длины распространяются с различной скоростью. в силу этого, показатель преломления, представляющий отношение скорости с света в вакууме к скорости υ в данной среде:

$$n = \frac{c}{\upsilon} \qquad (1)$$

будет в одной и той же среде иметь различные значения для волн различной длины. Таким образом, входя в призму и выходя из нее, составные части белого луча испытывают различное преломление и выходят расходящимся цветным пучком.

Угол θ между гранями призмы /рис.1/, через одну из которых свет проходит, а через другую входит, называется п р е л о м л я ю щ и м

у г л о м п р и з м ы. Противоположная ему грань называется о с н о в а н и е м п р и з м ы. При прохождении через призму лучи отклоняются к основанию призмы. Опыт Ньютона показывает, что среди лучей видимого света наименее преломляемыми являются лучи красного цвета, за ними, по степени преломляемости, идут оранжевые, желтые, зеленые, голубые, синие, фиолетовые лучи. $n_{фиол} > n_{кр}$

Зависимость показателя преломления среды от длины волны света, а также оптические явления, в которых эта зависимость обнаруживается, носят названия д и с п е р с и я света, а получаемую на экране цветную полосу называют дисперсионным спектром. Дисперсия называется н о р м а л ь н о й, если показатель преломления возрастает с уменьшением длины. В противном случае дисперсия называется а н о м а л ь н о й.

После двухкратного преломления на входной и выходной гранях призмы луч оказывается отклоненным от первоначального направления на угол δ, называемый углом о т к л о н е н и я. Угол δ имеет наименьшее значение при симметричном ходе лучей, т.е. когда АВ параллельно основанию призмы. Угол φ между крайними лучами дисперсионного спектра называется у г л о м дисперсии. Количественной мерой дисперсии света является отношение изменения показателя преломления Δn к соответствующему изменению длины световой волны $\Delta\lambda$:

$$Д = \frac{\Delta n}{\Delta\lambda}$$

На явлении нормальной дисперсии основано действие призматических спектроскопов и спектрографов.

Сериальные формулы

Вопрос о спектрах представляется одним из центральных в современной физике: сюда относятся, например, такие обширные отделы современной физики, как учение о строении атома и молекул, учение об изотопах и др.

Линейчатые спектры состоят из ряда тонких прямых линий, которые могут быть расположены как в видимой, так и в инфракрасной и в ультрафиолетовой частях спектра. В видимой части они представляются светлыми линиями на темном фоне, причем цвет линии одинаков с цветом того места сплошного спектра, которые они занимают.

Линейчатый спектр показывает, что данное вещество испускает лучи не всевозможных длин волн / хотя бы в определенных пределах, но только лучи как бы избранные по каким–то правилам или законам. В течение долгого времени ученые тщетно старались найти какие–либо закономерности в распределении спектральных линий различных элементов, т.е. найти зависимость длины λ или частоты ν от какого–либо параметра.

Такую зависимость установил в 1885 году Бальмер для спектра водорода. Спектр водорода в видимой части из пяти линий: красной, зеленой, синей, фиолетовой 1 и фиолетовой 2.

Бальмер эмпирически установил, что длина волны спектральных линий водорода с большой точностью определяется формулой:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ или } \nu = cR\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right), \qquad (2)$$

где R – постоянное число, получившее название постоянной Ридберга

$R = 10967758 \ \frac{1}{м}$; $cR = 3{,}29 \cdot 10^{15}$ 1/сек;

n – целые числа, начиная с 3–х;

λ – длина волны;

$\frac{1}{\lambda}$ – получило название в о л н о в о е число $\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$;

ν – частота колебаний;

C – скорость распространения света в вакууме.

Подставляя в формулу (2) n = 3 получим значение длины волны для красной линии водорода; при n = 4 – для зеленой; при n = 5 – для синей и т.д.

Ряд спектральных линий, для которых λ (или ν) связаны между собой одной формулой, называется серией спектральных линий, а сама формула с е р и а л ь н о й.

Серия водородных линий, определяемых формулой (2), называется серией Бальмера. Она продолжается в ультрафиолетовой части спектра. Всего в ней было найдено 29 линий (от n=3 до n=31).

Были получены и другие сериальные формулы водородных линий. В общем случае сериальная формула для водорода имеет вид:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad \text{или } \nu = cR\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad (2/)$$

Известны серии Лаймана при n_1=1, для линий в ультрафиолетовой части спектра. Серия Пашена при n_1 = 3, для линий в инфракрасной части спектра. Известны и другие серии при

$$n_1 = 4,\ n_1 = 5,\ n_1 = 6.$$

Р. Ридберг показал, что в линейчатых спектрах не только водорода, но и других элементов, наблюдаются спектральные серии, причем частоты ν всех линий данной серии удовлетворяют соотношение:

$$\nu = T(n_1) - T(n_2) \qquad (3)$$

где n_1 и n_2 – целые числа, причем $n_2 \geq n_1+1$. Для данной серии n_1 имеет постоянное значение. Изменение числа n дает все линии данной серии. Функции T (n_1) и T (n_2) называются спектральными т е р м а м и. В. Ритц установил справедливость положения названного комбинационным принципом Ритца: частоты

спектральных линий излучения любого атома могут быть представлены в виде разности двух термов; составляя различные комбинации термов можно найти все возможные частоты спектральных линий этого атома. Например, беря разность термов для зеленой и красной линии водорода, получим:

$$R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right)-R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)=R\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{4^2}\right)$$

первую линию водорода серии Пашена. При неограниченном возрастании n частоты ν всех серий спектра сходятся к соответствующим границам. Граничные частоты серии водородного спектра $T(n)=\frac{R}{n^2}$.

Все усилия физиков вывести сериальные формулы из общих законов электромагнитной теории света оказалась безуспешным. Не только вывод формул, но даже простое качественное описание возникновения линейчатых спектров оказалось не под силу старой классической физике, хотя предложенная Резерфордом ядерная модель строения атома и была, в основном, правильной.

Ядерная модель строения атома по Резерфорду

К началу XX века было достоверно установлено, что в состав каждого атома входят отрицательно заряженные электроны и положительно заряженные частицы. В целом атом электронейтрален.

В 1911 г. английский физик Резерфорд предложил ядерную модель строения атома, сохранившую свое значение и до настоящего времени, хотя некоторые положения Резерфорда рассматриваются иначе с современной точки зрения. Согласно теории Резерфорда весь положительный заряд и почти вся масса атома (99,4%) сосредоточены в атомном ядре. Размер ядра ничтожно мал по сравнению с размером атома (10^{-13}см и 10^{-8}см). Вокруг ядра по замкнутым эллиптическим орбитам, которые в первом приближении можно считать круговыми, движутся электроны, образуя электронную оболочку атома. Заряд ядра равен по абсолютной величине суммарному заряду электронов. В 1919 году Резерфордом был открыт носитель положительного заряда–протон.

Согласно гипотезе, высказанной в 1923 году Д. Иваненко и являющейся теперь общепризнанной, в состав атомных ядер входят положительно заряженные протоны и электронейтральные нейтроны. Заряд протона по абсолютной величине равен заряду электрона. Масса протона почти равна массе нейтрона и в 1836 раз больше массы электрона. Число протонов в ядре равно порядковому номеру элемента в таблице Менделеева, а сумма протонов и нейтронов равна округленному до целого числа атомному весу.

Таким образом, атом в целом является совокупностью небольшого числа очень малых частиц–электронов, протонов и нейтронов, распределенных в сравнительно очень большом объеме.

Затруднения теории Резерфорда

Предложенная Резерфордом модель строения атома покоится на твердых экспериментальных данных и хорошо объясняет их. Но в то же время она не объясняет ни спектральных закономерностей, ни самого факта испускания атомом монохроматического излучения. В самом деле, движение электрона по орбите, как и всякое криволинейное движение, есть движение с ускорением. Согласно законам классической электродинамики криволинейное движение должно сопровождаться излучением света соответствующей частоты. В частности, при равномерном движении по кругу частота излучения равна частоте обращения по кругу. Следовательно, при движении электрона вокруг ядра атом должен излучать энергию. Но непрерывное уменьшение энергии приводит к непрерывному уменьшению радиуса орбиты электрона и электрон будет двигаться по спирали приближаясь к ядру. А так как скорость движения электрона остается неизменной, то увеличивается число оборотов в секунду, т.е. непрерывно должна увеличиваться частота излучении, спектр излучения должен быть непрерывным. Непрерывно приближаясь к ядру электрон через малую долю секунды должен упасть на ядро, т.е. атом должен являться неустойчивой системой.

Таким образом, применение классической электродинамики к модели атома Резерфорда приводит к полному противоречию с экспериментальными фактами. Согласно классической теории должно быть:

а) непрерывное приближение электрона к ядру, т.е. неустойчивость атома, но в действительности атом является весьма устойчивой системой;

б) спектр излучения должен быть только непрерывным, сплошным, в действительности же наблюдаются спектры линейчатые.

Для объяснения этих противоречий понадобилось новая физическая теория – квантовая теория.

Понятие о квантах и постоянная Планка

Целый ряд световых явлений, как например, фотоэффект, линейчатые спектры и другие, не могли быть объяснены с точки зрения волновой теории света и в начале XX века зарождается новая теория света– квантовая теория. В 1900 году ученый Макс Планк предложил теорию, согласно которой лучистая энергия испускается и поглощается не непрерывным волновым потоком, а как бы отдельными порциями, которые получили название квантов. По теории Планка величина энергии кванта ε пропорциональна частоте колебаний ν:

$$\varepsilon = h \cdot \nu \qquad (4)$$

Коэффициент пропорциональности h является универсальной постоянной т.е. независящей от условий опыта, и получили название п о с т о я н н о й Планка.

Кванты света получили название ф о т о н о в.

Одним из основным выводов теории относительности Эйнштейна является закон, устанавливающий взаимосвязь массы и энергии: $\varepsilon = m\,c2$

где m –масса тела; c –скорость света; ε –энергия связанная с массой m.

В силу этого закона фотон должен обладать массой:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \qquad (5!)$$

Так как фотон движется со скоростью света, то его масса покоя должна быть равна нулю, $m_0 = 0$, т.е. не существует покоящихся фотонов.

Обладая массой, фотон обладает и импульсом. Импульс фотона можно определить из равенства:

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = mc \qquad (5!!)$$

Таким образом, фотон подобно любой движущейся частице обладает энергией, массой, импульсом. Наличие у фотона массы и импульса экспериментально подтверждается опытами П.Н Лебедева по измерению светового давления.

Постулаты Бора

В 1913 г. Нильс Бор предложил новую теорию излучения, в которой ему удалось согласовать теорию атома Резерфорда с эмпирической формулой Бальмера.

В основу теории Бора положены следующие три постулата:

1. При движении электрона вокруг ядра атома возможны только те орбиты, для которых момент количества движения электрона кратен $\frac{h}{2\pi}$.

Математически это записывается равенством:

$$m\upsilon r = n\,\frac{h}{2\pi} \qquad (6)$$

где m – масса электрона; υ – скорость электрона;

r – радиус орбиты ; n – целое число 1,2,3,4.....

h – постоянная Планка.

Орбиты, удовлетворяющие указанному условию, называется в о з м о ж н ы м

и или стационарными. Число n называют г л а в н ы м квантовым числом.

2. Второй постулат утверждает: когда электрон движется по одной из возможных круговых орбит – атом не излучает.

Все попытки как–нибудь логически обосновать этот постулат оказались тщетным.

3. Если электрон под каким–либо воздействием переходит с орбиты, близкой к ядру на какую–либо другую более удаленную, то энергия атома увеличивается, на что требуется затрата внешней энергии. Но такое возбужденное состояние атома малоустойчиво и электрон падает обратно по направлению к ядру на более близкую возможную орбиту.

Третий постулат Бора утверждает: когда электрон перескакивает /падает/ с одной орбиты на другую, лежащую ближе к ядру атома, то потерянная атомом энергия переходит в один квант лучистой энергии, испускаемой атомом.

Положим, что электрон упадет с n_2–ой орбиты на n_1 –тую. Тогда потерянная энергия определяется равенством:

$$En_1 - En_2 = h\nu \text{ или } \nu = \frac{E_n - E_i}{h}, \qquad (7)$$

где En_2 и En_1 – энергия атома при положении электрона на n_2–ой и n_1 –ой орбите; ν *– частота излучения. Это так называемое условие частот Бора.*

Квантовая теория Бора строения атома сыграла важную роль в развитии физики. Количественно и весьма наглядно объяснив строение атома, она наметила правильный подход к изучению внутриатомных процессов.

Но использовать теорию Бора для расчета спектров многоэлектронных атомов оказалось невозможным. Ограниченность квантовой теории Бора обусловлена тем, что базируясь на к в а н т о в ы х исходных положениях, она пользуется законами к л а с с и ч е с к о й механики для описания движений электронов в атоме.

В современной же квантовой механике движение электронов в атоме характеризуется не одним, а четырьмя квантовыми числами. Да и сам электрон не считается сосредоточенным в одном месте, а рассматривается как электронное облако переменной плотности, причем плотность облака в любой точке объема атома пропорциональна в е р о я т н о с т и нахождения электрона в этой точке. Но законы, установленные квантовой механикой, уже не обладают той простотой и наглядностью, которая свойственна теории Бора.

Волны де Бройля

Сопоставление волновых и квантовых свойств света приводит к выводу, что свет одновременно обладает свойствами непрерывных электромагнитных волн

и свойствами дискретных частиц, фотонов, представляет диалектическое единство этих противоположных свойств. Однако в проявлении этих противоположных свойств имеется вполне определенная закономерность.

С уменьшением длины волны все более отчетливо проявляются квантовые свойства света. С этим связано, например, существование красной границы фотоэффекта (см. лабораторную работу № 28). Очень сложно наблюдать волновые свойства рентгеновских и гамма лучей, но отчетливо проявляются их квантовые свойства. И наоборот, у длинноволнового излучения квантовые свойства проявляются в малой степени и основную роль играют его волновые свойства. Одновременное существование у света волновых и квантовых свойств ставит вопрос об их сочетании и взаимозависимости.

В 1923 г. французский физик Луи де Бройль пришел к выводу, что двойственная квантово–волновая природа характерна не только для света. Де Бройль провел аналогию между обладающими волновыми и корпускулярными свойствами квантами света (фотонами) и любым телом микромира, обладающим импульсом, приписывая движущимся частицам волновые свойства.

Согласно идеям де Бройля с каждой движущейся частицей связан волновой процесс. Если количество движения (импульс) частицы $m\upsilon$, то длина волны де Бройля, которые он называл волнами материи, определяется равенством:

$$\lambda = \frac{h}{m\upsilon} \qquad (8)$$

Выразив отсюда h и подставив в уравнение первого постулата Бора, найдем:

$$2\pi r_n = n\lambda \qquad (9)$$

Следовательно, с точки зрения идей де Бройля возможными могут быть только те орбиты, на которых укладывается целое число волн де Бройля.

Следует иметь в виду, что для макроскопических тел длина волны де Бройля очень мала. Например, для тела массой 1г при скорости 1000м/сек длина волны де Бройля будет порядка 10^{-33}м –никаким экспериментом такую волну обнаружить невозможно и на любой орбите таких волн уложится целое число. Но в микромире, где массы частиц имеют порядок 10^{-31}кг, что сравнимо с порядком постоянной Планка, волны де Бройля имеют заметную длину и могут быть обнаружены.

Дальнейшее усовершенствование и уточнение идеи де Бройля придало волнам материи смысл волновой функции и сделало его концепцию основой современной квантовой механики.

Линейчатые спектры по теории Бора

Рассмотрим движение электрона на орбите радиуса *r.* Так как в случае водорода заряд ядра по модулю равен заряду электрона, кулоновская сила притяжения электрона к ядру выразится равенством:

$$F = \frac{Ъ^2}{\varepsilon r^2},$$

где e – заряд электрона ; ε – диэлектрическая проницаемость среды,

для вакуума и воздуха $\varepsilon = 1$.

Эта сила является центростремительной силой. Следовательно:

$$\frac{e^2}{\varepsilon r^2} = \frac{m\upsilon^2}{r} \quad \text{или} \quad \frac{e^2}{\varepsilon r} = m\upsilon^2 \qquad (10)$$

где m и υ – масса и скорость электрона.

Потенциал поля, создаваемого ядром, определяется по законам электростатики формулой $\varphi = \frac{e}{\varepsilon r}$. Находящийся в этом поле электрон обладает потенциальной энергией:

$$W = \cdot \varphi \cdot e = - \frac{Ъ^2}{\varepsilon r},$$

Следовательно, в левой части равенства (10) мы получим потенциальную энергию (с противоположным знаком) двух притягивающихся равных зарядов –заряда ядра и электрона, т.е. потенциальную энергию E_p атома; а в правой части – удвоенную кинетическую энергию E_k –электрона. Полная энергия атома будет равна:

$$E = E_p + E_k = - \frac{e^2}{\varepsilon r} + \frac{m\upsilon^2}{2} = - \frac{e^2}{2\varepsilon r}, \qquad (11)$$

Определив из равенства (6) скорость υ и подставив ее в равенство (10), найдем для n–ой орбиты:

$$r_n = \frac{\varepsilon n^2 h^2}{4\pi^2 me^2} \qquad (12)$$

Подставляя это значение радиуса орбиты в формулу 11, получим полную энергию электрона и на n–ой орбите:

$$En_2 = -\frac{2\pi^2 me^4}{\varepsilon^2 n^2 h^2} \qquad (13)$$

Аналогично этому для n_1 –ой орбиты будем иметь:

$$En_1 = -\frac{2\pi^2 me^4}{\varepsilon^2 i^2 h^2} \qquad (13^1)$$

Если поставить эти значения энергии в равенство (7), то после преобразования получим:

$$\nu = \frac{-}{\lambda} = \frac{2\pi^2 me^4}{\varepsilon^2 h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad (14)$$

Сравнивая формулу (14) с (2), мы замечаем что обе формулы по виду совершенно одинаковы, если положить в полученном равенстве (14) $n_1 = 2$

Очевидно:

$$cR = \frac{2\pi^2 me^4}{\varepsilon^2 h^3} \quad \text{и} \quad E_n = cR\ \frac{h}{n^2} \qquad (15)$$

Вычисленные различными методами обе части равенства /15/ оказались численно равными. Таким образом, теория Бора хорошо объясняет сериальные формулы и, в частности, сериальную формулу Бальмера. Спектральные линии этой серии получаются, если электрон перескакивает на 2–ю орбиту: красная – с 3–ей, зеленая – с 4 –ой, синяя – с 5–ой, фиолетовая с 6–ой орбиты. В общем случае n_1 показывает на какую орбиту перескакивает электрон, а n_2– с какой орбиты перескакивает.

На рис.2 образование спектральных линий водорода показано графически для 3–х серии на 6 первых орбитах. Для орбит, начиная с 3–ей, показана только $\frac{1}{4}$ часть орбиты. Расстояние между орбитами показано не в масштабе.

Энергетические уровни в атоме

В правой части формулы (12) все величины кроме n постоянны, следовательно, радиусы возможных орбит относятся между собой как квадрат чисел натурального ряда $rn_1 : rn_2 = n_1^2 : n_2^2$ Из формулы (13) видно, что энергия атома возрастает с увеличением главного квантового числа n или, что одно и то же, с увеличением радиуса орбиты электрона. При этом надо учитывать, что энергия E

отрицательна, поэтому уменьшение ее абсолютной величины соответствует возрастанию энергии.

Минимумом энергии атом обладает при движении электрона по ближайшей к орбите, n =1, а максимумом энергии при n=∞ т.е. при ионизации атома. Так как энергия такой системы, как атом водорода, не зависит от эксцентриситета эллипса, то этой же формулой можно пользоваться и при эллиптических орбитах с большой полуосью a = r

Из формулы (13) следует, что энергетические состояния атома водорода образуют последовательность энергетических уровней, изменяющихся в зависимости от главного квантового числа n. Величина полной энергии электрона, находящегося на возможной орбите, называется у р о в н е м энергии атома или энергетическим уровнем. На рис.3 схематично изображены уровни энергии водородного атома. Слева указаны порядковые номера уровней, справа соответствующие им энергии в электронвольтах. Уровень энергии, соответствующий n = 1, т.е. минимуму энергии, называется о с н о в н ы м уровнем, не возбужденным; все остальные уровни являются возбужденными.

В силу закона сохранения и превращения энергии самопроизвольный переход электрона на более далекую от ядра орбиту, т.е. переход атома на более высокий энергетический уровень невозможен. Для осуществления такого перехода необходимо сообщить атому определенное количество энергии, квант. Таким образом, атом может излучать и поглощать волны только вполне определенных длин (частот), чем и обусловлен линейчатый характер спектра.

Вывод расчетной формулы

Из формулы (14), зная длину волны λ, можно найти постоянную Планка h, если известны термы спектральных линий. Так как термы спектральных линий водорода известны, то, найдя длину волны линий водорода, можно вычислить постоянную Планка.

Из формулу (14):

$$h3 = \frac{2\pi^2 me^4}{c}\lambda\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (16)$$

/16/

Формула получена в системе СГСЭ. Чтобы перейти к единицам системы СИ вместо e^2 нужно поставить $\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}$, где ε_0 –электрическая постоянная;

$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9}$ Ф/м;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость, для вакуума и воздуха $\varepsilon = 1$. В системе СИ расчетная формула примет вид:

$$h^3 = \frac{me^4\lambda}{8\varepsilon^2\varepsilon_0^2 c}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (16/)$$

Эта формула и будет расчетной в работе.

Описание установки и порядок выполнения работы

Для качественных исследований видимой части спектра служат различного рода спектроскопы. .один из наиболее простых типов спектроскопа состоит из треножного штатива, на котором укреплены следующие оптические части (рис.4):

1. Коллиматор К, состоит из трубы, имеющей щель О, установленную в главном фокусе линзе А. Благодаря этому лучи, падающие из щели на линзу А, идут по выходе из нее параллельным пучком. Ширину щели можно изменять при помощи специального винта.

2. Призма Р, помещена на столике спектроскопа. Лучи из линзы А, падают на переднюю грань призмы Р, разлагаются в призме и выходят из нее системой лучей разных цветов и направлений в зависимости от длины волны. Причем все лучи одного цвета параллельны друг другу.

3. Затем лучи поступают в оптическую трубу Т через объектив В.

Так как выходящие из призмы параллельные лучи одного цвета имеют различное направление с параллельными лучами других цветов, то в фокальной плоскости объектива В получается ряд параллельных различно окрашенных изображений щели О. Эти изображения рассматриваются через окуляр Q. Для определения относительного расположения спектральных линий окуляр Q снабжен нитью. Смещая трубу Т относительно призмы, с помощью лимба можно совмещать нить окуляра с различными линиями спектра. Смещение трубы отсчитывается с помощью лимба и горизонтальной миллиметровой линейки, прилегающей к лимбу. при одном полном повороте лимба труба Т перемещается на один миллиметр горизонтальной линейки. Лимб разделен на 50 делений. Поэтому поворот лимба на 1 деление соответствует смещение трубы Т на 1/50 мм по линейке.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы необходимо выполнять следующие указания к работе:

a) без разрешения преподавателя приборы к питанию не подключать;
b) оберегать газоразрядную трубу от толчков и ударов, т.к. вакуумированные трубки легко взрываются;
c) передвигать подвижные части спектроскопа без нажима, иначе нарушится центрированность системы.

1. Трубку с водородом, укрепленную в держателе генератора "Спектр–1", подключают к питанию на щитке стола (6 В).

2. Устанавливают трубку с водородом против щели О коллиматора К.

3. Добиваются четкой видимости спектральных линий водорода. Определяют положение нескольких линий (цвет их указывается преподавателем) спектра водорода по шкале спектроскопа.

4. При помощи градуировочной кривой определяют длины волны указанных линий спектра водорода.

5. По формуле (16^{I}) вычисляют несколько значений постоянной Планка при тех значениях λ, которые соответствуют изученным линиям водорода. Из найденных значений находят среднее значение h, абсолютную и относительную. погрешность.

Протокол лабораторной работы №26

Вопросы для самопроверки к работе №26

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

Лабораторная работа №30

«Определение слоя половинного ослабления гамма–излучения в веществе»

1. Краткая теория.

Радиоактивность.

Радиоактивностью называется процесс самопроизвольного превращения ядер одного элемента в ядро другого за счет испускания α, $\beta\pm$ и γ – излучения.

α и β – излучения – это частицы с определенной массой и зарядом; γ – излучение(γ – квант) – это электромагнитное излучение с очень малой длиной волны, энергия которого равна $\varepsilon_\gamma = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$;

α – частицы – это ядра гелия; β – это поток электронов, $\beta+$ – поток позитронов.

γ – излучение в основном, сопровождает $\alpha-$ и $\beta-$ излучения, когда дочернее ядро из возбужденного состояния переходит в стационарное.

Основной закон радиоактивного распада выражается так:

$N = N_0 e^{-\lambda t}$,

где N_0 – число радиоактивных ядер в момент времени t = 0; N – число радиоактивных ядер, оставшихся нераспавшимися к моменту t.

λ – постоянная радиоактивного распада: $\lambda = \frac{ln2}{T_{1/2}}$, где $T_{1/2}$ – период полураспада.

2. Закон поглощения γ –излучения.

Гамма–кванты состоят из фотонов одной энергии или содержат группу фотонов с дискретными значениями энергии. Чаще всего энергия гамма–лучей находится в диапазоне от нескольких КэВ до нескольких МэВ.

Прохождение γ –излучения через вещество сопровождается его поглощением. При прохождении поглотителя толщиной Δx интенсивность J γ –лучей уменьшается на ΔJ, причем относительная интенсивность поглощения излучения пропорциональна толщине поглотителя:

$$\frac{\Delta J}{J} = -\mu \Delta x \qquad (1)$$

где μ – линейный коэффициент поглощения.

Если вместо конечной толщины Δx имеем бесконечно малую величину dx, бесконечно малое изменение интенсивности d J, то уравнение (1) примет вид:

$$\frac{dJ}{J} = -\mu\, dx \qquad (2)$$

Интегрируя это уравнение, получим

$$J = J_0\, e^{-\mu x} \qquad (3)$$

При рассмотрении процесса поглощения гамма–излучения веществом, полезным оказывается понятие о слое половинного поглощения $x_{1/2}$.

Слоем половинного поглощения называется толщина поглотителя, в котором поглощается половина падающих на него фотонов.

Эта величина выражается: $\frac{J}{J_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x_{\frac{1}{2}}}$

Тогда, логарифмируя, получим:

$$x_{\frac{1}{2}} = \frac{ln2}{\mu} = \frac{0{,}693}{\mu} \qquad (4)$$

До сих пор рассматривали явление поглощения гамма–лучей, не касаясь конкретного взаимодействия гамма–лучей с веществом, обусловливающего процесс поглощения и величину μ – коэффициента поглощения.

При прохождении γ – лучей через вещество происходит ослабление интенсивности первоначального пучка. Это ослабление интенсивности является результатом взаимодействия γ – квантов с электронами и атомами вещества, через которые они проходят.

Практически наиболее существенны три процесса взаимодействия с веществом: фотоэффект, комптоновское рассеяние и образование пар, приводящих к поглощению γ – излучения.

а. Ф О Т О Э Л Е К Т Р И Ч Е С К И Й Э Ф Ф Е К Т

Фотоэффектом называется такой процесс взаимодействия γ – кванта (фотона) с веществом, при котором γ – квант исчезает, полностью передавая свою энергию и импульс электрону и атому. При этом электроны выбрасываются за пределы атома с кинетической энергией

$$W_k = h\nu - Ai \qquad (5)$$

где hν – энергия γ – кванта; A_i – работа выхода электрона с i –ой оболочки атома.

Фотоэффект наиболее вероятен в том случае, когда энергия фотона близка к работе выхода А. Именно поэтому ослабление лучей вследствие фотоэффекта играет основную роль при малых энергиях ($E\gamma \leq 1$ МэВ). Фотоэффект возможен лишь на связанном электроне и не может быть на свободном электроне.

Вероятность фотоэффекта на К –оболочке атома $\delta_{фот} \approx \frac{Z^5}{E_\gamma}$ при

$E_\gamma >> Ак$ и $\delta_{фот} \approx \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}}$ при $E_\gamma > Ак \cdot$ ($A_к$ – работа выхода электрона на К – оболочке).

б. К О М П Т О Н О В С К О Е Р А С С Е Я Н И Е

Процесс рассеяния γ – квантов на свободных или слабосвязанных электронах называется комптон–эффектом. В результате рассеяния изменяется направление движения γ – кванта и уменьшается его длина волны:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

Вероятность комптоновского эффекта при $E_\gamma >> m_0c^2$ (m_0c^2 – энергия покоя электрона) равна $\delta_{комп} \approx \frac{Z}{E_\gamma}$.

в. О Б Р А З О В А Н И Е П А Р

Третьим процессом, приводящим к ослаблению γ – излучения при прохождении через вещество, является процесс образования пар. Согласно современной теории, падающий γ – квант полностью поглощается в области кулоновского поля ядра (или электрона), в результате чего возникает пара частиц: электрон–позитрон. Минимальная энергия фотона, необходимая для образования пары в области поля ядра, равна

$E = 2 E_{0e} = 2 m_0 c^2$

Вероятность образования пары

$\delta_{пар} \approx Z^5 / \ln E_\gamma$

Таким образом, поглощение γ – излучения веществом и величина μ обусловлена тремя рассмотренными процессами, каждый из которых, в зависимости от энергии γ – излучения и свойств поглощающего вещества, вносит

свой вклад в значение: $\mu = \mu_{фот} + \mu_{комп} + \mu_{пар}$. Величина $\mu_{фот}$, $\mu_{комп}$, $\mu_{пар}$, в свою очередь, определяется описанными выше вероятностями: $\mu \approx \mu_{фот} + \mu_{комп} + \mu_{пар}$.

Описание установки и порядок выполнения работы.

В данной работе необходимо проверить закон поглощения γ – излучения в веществе, построить график зависимости изменения интенсивности J γ – излучения от толщины поглотителя. По графику определить слой половинного поглощения для γ – излучения данной энергии и рассчитать коэффициент линейного поглощения μ . В качестве источника излучения используется радиоактивный изотоп C_0^{60} (E = 1,17 МэВ).

При выполнении работы используются приборы и принадлежности: радиометр–спектрометр (см. рис. 1); свинцовый домик типа "ТУР 74019 Robotron – masselectrone» ; источник γ – излучения C_0^{60}; набор пластин из оцинкованного железа (см. рис. 1). Радиометр–спектрометр состоит из сцинтилляционного датчика «Stintillation probe type – 484 B» и измерительного пульта «Nuclear analyzer – 482 B». Датчик присоединяется с помощью высоковольтного разъема (1) с измерительным пультом (1) и помещен внутри свинцового домика, напротив источника γ – излучения C_0^{60} .

Между источником гамма–излучения и сцинтилляционным датчиком в свинцовом домике имеются приспособления для установки пластин, которые служат поглотителем γ – излучения. Толщина поглотителя регулируется числом пластин.

1 – высоковольтный разъем датчика

2 – измеритель скорости счетчика и напряжения батарей

3 – переключатель поддиапазонов измерителя скорости счета

4 – дисплей

5 – переключатель дисплея

6 – тумблер Reset–start–star (сбор – пуск – стоп)

7 – переключатель селекции времени измерения

8 – регулятор высокого напряжения

9 – регулятор порога анализатора

10 – регулятор ширины окна анализатора

11 – переключатель режима измерения

12 – тумблер напряжения питания

Порядок выполнения: (см. обозначения на рис. 1 и приборе).

1. Включить сеть (тумблер ON – 12).

2. Установить высокое напряжение 1200 В на многооборотном патенциометре "High – Voltage" 400 1400 $\rightarrow$ 8.

3. На блоке «Analyzer» – установить тумблер «int– diff» $\rightarrow$ 12 в положение «int», ручку потенциометра 2 ΔE $\rightarrow$ 10 в положение 0.0, ручку потенциометра «E» $\rightarrow$ 9в положение 860.

4.Переключатель «rate» $\rightarrow$ 3 поставить в положение $3 \cdot 10^5$.

5. Ручку переключателя «time» $\rightarrow$ 7 поставить в положение «01».

6. Убедиться, что в свинцовом (защитном) домике нет пластин.

7.Тумблер «reset – start – stop» $\rightarrow$ 6 поставить в положение «start». На экране дисплея 4 появится точка (отсчет начался) через 6 секунд (0,1минуты) на экране дисплея 4 высветится число, соответствующее количеству γ – квантов, зарегистрированных детектором (датчиком) в отсутствие поглотителя. Это число n_0 записать в таблицу.

8. Установить в защитный домик 3 пластины и повторить п.7. Записать число n1, которое высветится на экране дисплея. Оно будет соответствовать количеству γ – квантов, прошедших 1–й поглощающий слой пластин.

9. Последовательно увеличивать число пластин, устанавливая в домик 6, 9, 12 ....i пластин и каждый раз повторять п.7, записывая значения n_2 , n_3 , ...n_i с экрана дисплея в таблицу.

10. По результатам измерения построить график зависимости $n_i/n_0 = f(i)$ (по оси координат $\frac{n_i}{n_0}$, по оси абсцисс – число пластин i). По графику определить слой половинного поглощения и вычислить значения μ; для этого вычислить толщину поглотителя, соответствующую слою половинного поглощения: $x_{\frac{1}{2}} =$ id, где d – толщина пластины (кг/м^3).

ПРИМЕЧАНИЕ.

Числа на экране дисплея высвечиваются в течении 4 секунд, если за это время Вы не успели записать показания, то необходимо нажать тумблер «Display» $\rightarrow$ 5 вверх и на экране дисплея высветиться это число, оно будет на экране до тех пор, пока Вы не отпустите тумблер.

Протокол лабораторной работы №30

Вопросы для самопроверки к работе №30

Список рекомендуемой литературы

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2010.

Материально–техническое обеспечение

1. Установка для лабораторной работы по ядерной физике «Определение слоя половинного ослабления гамма–излучения в веществе».

2. Программа для моделирования лабораторной работы на компьютере.

1.2. Правила оформления результатов выполнения заданий по каждой работе Лабораторного практикума

Лабораторный практикум по физике предназначен для закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях. При выполнении лабораторных работ студент имеет возможность проверить правильность основных законов по всем разделам физики.

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения, всех факультетов. Количество и тематика лабораторных работ устанавливается кафедрой с учетом планов изучения физики для различных специальностей.

Общие правила выполнения и оформления лабораторных работ.

Подготовка к выполнению лабораторной работы должна быть сделана до начала занятий в лаборатории. Во время подготовки необходимо уяснить следующее:

~ какой закон изучается в данной работе? Физический смысл измеряемой величины, в каких единицах она измеряется.

~ каким методом проводятся измерения?

~ как механически определяется измерение каждой операции в данной работе?

~ студент должен получить у лаборанта бланки протокола и ознакомиться с установкой.

~ перед началом работы студент опрашивается преподавателем по теории данной лабораторной работы.

~ после выполнения работы оформленный протокол измерений и подсчета конечной (искомой) величины должен быть проверен преподавателем, подписан им и отмечен в журнале отчета.

~ для получения окончательного зачета по данной работе студент обязан ответить на все теоретические вопросы по данной работе.

В лабораторном практикуме приведены основы теории обработки результатов измерений.

Контрольные вопросы (Устный опрос) по Физике

1. Какое движение называется вращательным.

2. Назовите характеристики вращательного движения и дайте им определение.

3. Связь характеристик поступательного и вращательного движений.

4. Что называется моментом силы и моментом инерции.

5. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения.

6.Какое движение называется колебательным.

7.Что такое период и частота колебаний.

8. Напишите уравнение гармонического колебания.

9. Напишите уравнения скорости и ускорения при колебательном движении.

10. Что такое математический и физический маятники. Напишите формулы периодов их колебаний.

11. Сформулируйте и напишите уравнение 1–го закона термодинамики в общем виде и через параметры состояния.

12. Напишите уравнение 1–го закона термодинамики для изопроцессов.

13. Что такое теплоемкость, и какие теплоемкости различают у газов.

14. Напишите уравнение Майера для молярных теплоемкостей.

15. Какие явления переноса вы знаете, и какие физические величины переносятся в этих процессах.

16. Напишите и поясните уравнение диффузии.

17. Напишите и поясните уравнение теплопроводности.

18. Напишите и поясните уравнение для силы внутреннего трения.

19.Что такое электрическое поле.

20. Назовите характеристики электрического поля и напишите формулы для их определения в поле, создаваемом точечным зарядом.

21. Дайте определение электрическому току и условиям его существования.

22. Запишите выражения законов Ома для участка цепи, замкнутой цепи и закона Ома в дифференциальной форме.

23. Что такое магнитное поле? Чем создается магнитное поле и каковы его характеристики?

24. Сформулируйте и напишите формулы законов Ампера, Био–Савара–Лапласа и закона полного тока.

25. Приведите формулы для расчета напряженностей магнитных полей, создаваемых:

– прямолинейным бесконечным проводником с током;
– отрезком прямолинейного проводника с током;
– кольцевым проводником с током в центре витка;
– соленоидом во внутренней области.

26. Какие виды волн Вы знаете.

27. Что такое стоячая волна, узлы и пучности стоячей волны.

28. Резонанс.

29. Скорость звука, число Маха, полёты на сверхзвуковых скоростях.

Тест начат	Среда, 2 июня 2021, 14:16
Состояние	Завершенные
Завершен	Среда, 2 июня 2021, 14:17
Прошло времени	20 сек.
Баллы	0,00/90,00
Оценка	**0,00** из 100,00

ВОПРОС 1

Нет ответа

Балл: 1,00

Кто является основателем квантовой теории?

- a. Фабрикант
- b. Шредингер
- c. Планк
- d. Де Бройль

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 2

Нет ответа

Балл: 1,00

Излучение с частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц соответствует в воздухе длине волны, равной: ...

- a. 775 нм
- b. 555 нм
- c. 777 нм
- d. 666 нм

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 3

Нет ответа

Балл: 1,00

В опыте по визуальному наблюдению силовых линий магнитного нужно насыпать железные опилки на бумагу и поднести снизу магнит. Какие вещества позволяют визуализировать электрическое поле?

a. Проводящие электролиты

b. Металлические опилки

c. Инертные газы

d. Кристаллы диэлектрика

e. Плазма

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 4

Нет ответа

Балл: 1,00

В каких направлениях движутся частицы среды при распространении продольных механических волн:

Выберите один ответ:

a. по направлению распространения волны и противоположном

b. в направлениях, перпендикулярных направлению распространения волны

c. в направлении противоположном распространению волны

d. только в направлении распространения волны

e. в любых направлениях

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 5

Нет ответа

Балл: 1,00

Окуляр – это ...?

- a. простая линза
- b. элемент оптической системы, обращённый к глазу наблюдателя, часть оптического прибора
- c. сложная линза
- d. собирающая линза
- e. рассеивающая линза

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 6

Нет ответа

Балл: 1,00

Какие вещества являются оптически активными?

- a. Величина оптической активности не зависит от агрегатного состояния вещества.
- b. Оптическая активность зависит от агрегатного состояния вещества.
- c. Вещества, обладающие способностью вращать плоскость поляризации.
- d. Переход вещества из оптически неактивного состояния в оптически активное - затяжной процесс.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 7

Нет ответа

Балл: 1,00

Что такое фотон? Это - ...

- a. “дырка” в твёрдом теле
- b. частица, обладающая массой электрона, но имеющая заряд противоположного знака
- c. квант электромагнитного излучения
- d. квазичастица, квант колебательного движения атомов криста
- e. нейтральная частица, способная перемещаться в пустоте со скоростью от 200 до 300 тысяч км/с

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 8

Нет ответа

Балл: 1,00

В каких единицах (в системе СИ) в термодинамике измеряется изменение энтальпии?

- a. в эргах
- b. в электрон-Вольтах
- c. в тепловых единицах
- d. в Джоулях

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 9

Нет ответа

Балл: 1,00

Кто был основоположником корпускулярной теории света?

- a. Эйнштейн
- b. Гюйгенс
- c. Геродот
- d. Ньютон

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 10

Нет ответа

Балл: 1,00

Когерентные волны - это волны, имеющие в любой точке пространства ...

- a. одинаковые скорости и частоты
- b. одинаковые скорости и постоянную разность фаз
- c. одинаковые частоты и постоянную разность фаз
- d. постоянную разность фаз и одинаковые амплитуды

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 11

Нет ответа

Балл: 1,00

Какие из ниже перечисленных физических явлений дало толчок к развитию квантовой теории света?

- a. дифракция
- b. фотоэффект
- c. магнитокалорический эффект
- d. интерференция
- e. дисперсия
- f. магнитострикция
- g. излучение чёрного тела

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 12

Нет ответа

Балл: 1,00

От каких характеристик зависит изменение внутренней энергии объекта?

- a. внутренняя энергия зависит от потенциальной и кинетической энергии объекта в пространстве
- b. от процесса
- c. внутренняя энергия - функция состояния

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 13

Нет ответа

Балл: 1,00

Количество излучаемой энергии, протекающей через единицу площади за единицу времени: - ...

a. коэффициент отражения

b. освещённость

c. световой поток

d. яркость

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 14

Нет ответа

Балл: 1,00

Как разделяются оптически активные вещества в зависимости от направления вращения плоскости поляризации?

a. По изомерному составу.

b. Невозможно различить природные органические соединения от синтетических.

c. Право- и левовращающие плоскость поляризации.

d. При помощи поляризации невозможно определить точно концентрацию оптически активных веществ.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 15

Нет ответа

Балл: 1,00

Вокруг каких зарядов, неподвижных или движущихся, существует электрическое поле?

a. электрическое поле существует только вокруг движущихся равномерно зарядов

b. магнитное поле существует вокруг неподвижных зарядов

c. электрическое поле существует вокруг всех зарядов

d. электрическое поле существует только вокруг движущихся ускоренно зарядов

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 16

Нет ответа

Балл: 1,00

Интерференцию от двух ламп накаливания нельзя наблюдать, так как световые волны, излучаемые ими ..

a. слишком малой интенсивности

b. слишком большой интенсивности

c. неполяризованные

d. некогерентные

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 17

Нет ответа

Балл: 1,00

Единицей измерения светового потока является – ...

- a. кд/м^2
- b. Эрстед
- c. кандела
- d. Фарад
- e. Вт/м^2
- f. люмен

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 18

Нет ответа

Балл: 1,00

Что должно произойти с любым живым организмом, если его превратить в изолированную термодинамическую систему?

- a. живой организм погибнет, так как в этой системе нет обмена энергией и веществом
- b. живой организм будет одновременно и жив и мёртв из-за квантовой неопределённости
- c. живой организм будет жить бесконечно долго, так как сумма энергий в изолированной системе - величина постоянная, а энтропия не уменьшается

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 19

Нет ответа

Балл: 1,00

Какая взаимосвязь между законом всемирного тяготения Ньютона и законом кулона?

a. Силы взаимодействия точечных зарядов и масс обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними.

b. Коэффициенты пропорциональности в законах Кулона и ньютона одинаковы.

c. Оба закона соответствуют принципу дальнодействия.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 20

Нет ответа

Балл: 1,00

Какова должна быть прозрачность призмы, для достижения эффекта двойного лучепреломления?

a. 10%

b. ≥30%

c. 20%

d. 25%

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 21

Нет ответа

Балл: 1,00

Отношение силы света, излучаемой поверхностью в каком-либо направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость: – …

- a. телесный угол
- b. яркость
- c. сила света
- d. освещённость

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 22

Нет ответа

Балл: 1,00

Почему человечеству грозит “энергетический кризис”?

- a. невозможность превращения рассеянной энергии в полезную работу
- b. увеличение энтропии в солнечной системе
- c. сравнительно низкий КПД энергоустановок
- d. истощение запасов полезных ископаемых

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 23

Нет ответа

Балл: 1,00

Дифракционная расходимость луча θ, где λ - длина волны, d - диаметр пучка определяется формулой: ...

a. $\theta = 1{,}55(\lambda/d)^2$

b. $\theta = 1{,}22\lambda/d$

c. $\theta = \lambda/d$

d. $\theta = 1{,}22d/\lambda$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 24

Нет ответа

Балл: 1,00

Косинус угла между поляризаторами в какой степени входит в закон Малюса?

a. 3

b. 4

c. 1/2

d. 2

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 25

Нет ответа

Балл: 1,00

Раздел оптики, в котором законы распространения света рассматриваются на основе представлений о световых лучах называется?

a. Физической оптикой

b. Тригонометрической оптикой

c. Геометрической оптикой

d. Математической оптикой

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 26

Нет ответа

Балл: 1,00

Как называется движение, при котором траектория повторяется через одинаковые промежутки времени:

Выберите один ответ:

a. вращательное

b. колебательное

c. свободное падение

d. поступательное

e. равномерное

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 27

Нет ответа

Балл: 1,00

Что такое поляроид?

- a. Поляроид - это пластинка λ/4.
- b. Поляроид - это изобретение с двулучепреломляющим веществом с сильным дихроизмом в области видимого спектра.
- c. Поляроид - это пластинка λ/2.
- d. Поляроид - это призма, которая превосходит по своим свойствам поляризатор.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 28

Нет ответа

Балл: 1,00

Оптические системы приборов, как правило, состоят: ...

- a. из нескольких линз
- b. от двух и более линз
- c. из десяти линз
- d. из одной линзы
- e. любое число линз

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 29

Нет ответа

Балл: 1,00

Какому условию должна удовлетворять длина волны света λ, падающего на поверхность металла,чтобы началось явление фотоэффекта?

Где:

A - работа выхода;

h - постоянная Планка;

υ - частота;

E_k - энергия электрона.

- *a.* $\lambda \geq A/h$
- *b.* $\lambda > E_k/h$
- *c.* $\lambda \leq hc/A$
- *d.* $\lambda > hc/A$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 30

Нет ответа

Балл: 1,00

Главное квантовое число *n* - ...

- a. определяет проекцию момента импульса электрона в атоме на заданное направление и характеризует ориентацию электронного облака в пространстве
- b. определяет номер энергетического уровня электрона в атоме, характеризует размер электронного облака и может принимать любые целочисленные значения, начиная с единицы: *n* = 1, 2, 3...
- c. определяет импульс электрона в атоме и характеризует форму электронного облака
- d. определяет момент импульса электрона в атоме и характеризует форму электронного облака

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 31

Нет ответа

Балл: 1,00

Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью *C*=888 пФ и катушки индуктивностью *L*=1 мГн. На какую длину волны в метрах настроен контур?

- a. 250
- b. 40
- c. 25
- d. 1775
- e. 17,75
- f. 400

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 32

Нет ответа

Балл: 1,00

Каким способом можно изменить полюса магнитной катушки с током?

- a. Увеличить силу тока.
- b. Поместить катушку в среду с другой проницаемостью μ.
- c. Изменить направление тока в катушке.
- d. Ввести в катушку сердечник.
- e. Отключить источник тока.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 33

Нет ответа

Балл: 1,00

На чём основана электростатическая защита?

- a. Применение поля противоположного направления.
- b. Применение защитных материалов с высокой диэлектрической проницаемостью ε.
- c. Применение катодной защиты.
- d. Применение заземления.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 34

Нет ответа

Балл: 1,00

В данной точке среды возникает интерференционный минимум, если ...

- a. разность хода волн равна нулю
- b. разность хода волн равна чётному числу полуволн
- c. разность хода волн равна разности фаз волн, умноженной на показатель преломления среды и длину пути
- d. разность хода волн равна нечётному числу полуволн
- e. разность хода волн равна разности фаз волн

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 35

Нет ответа

Балл: 1,00

Что характеризует световой поток?

a. мощность источника света

b. энергию света

c. напряжение источника света

d. сила источника света

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 36

Нет ответа

Балл: 1,00

Что такое формула “тонкой линзы”?

a. Связь фокусного расстояния и радиусов кривизны поверхностей тонкой линзы.

b. Связь фокусного расстояния, расстояния от предмета до линзы и от изображения до линзы.

c. Связь фокусного расстояния тонкой линзы и коэффициентов преломления сред.

d. Связь расстояний от предмета до линзы и от изображения до тонкой линзы.

e. Соотношение фазовой и групповой скоростей света в тонкой линзе.

f. Связь коэффициентов отражения и пропускания тонкой линзы.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 37

Нет ответа

Балл: 1,00

В каком виде колебаний наблюдается явление резонанса и при каких условиях:

Выберите один ответ:

a. свободные колебания при совпадении их частоты с частотой свободных колебаний в другой системе

b. вынужденные колебания при совпадении собственной частоты колебаний с частотой вынуждающей силы

c. свободные колебания при совпадении их частоты с собственной частотой колебаний в системе

d. вынужденные колебания при увеличении амплитуды колебаний периодически действующей силы

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 38

Нет ответа

Балл: 1,00

Отражение, при котором угол, под которым отражается падающий свет, в точности равен углу, под которым он падает на поверхность называется – ...

a. плоским

b. стеклянным

c. зеркальным

d. фронтальным

e. ровным

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 39

Нет ответа

Балл: 1,00

Определите импульс фотона (кг•м)/с, длина волны которого равна 500 нм. h = $6,6•10^{-34}$ Дж•с.

- a. $2,6•10^{-26}$
- b. $1,3•10^{-25}$
- c. $2,7•10^{-27}$
- d. $1,3•10^{-27}$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 40

Нет ответа

Балл: 1,00

Что такое дифракционный предел?

- a. Переход дифракции в геометрическую оптику.
- b. Соотношение длины волны излучения и размеров препятствия.
- c. Минимальное значение размера пятна (пятно рассеяния), которое можно получить, фокусируя электромагнитное излучение.
- d. Предельное условие возникновения дифракции.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 41

Нет ответа

Балл: 1,00

Кто установил закон прямолинейного распространения света?

- a. Ньютон.
- b. Эвклид.
- c. Платон.
- d. Аристотель.
- e. Геродот.
- f. Архимед.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 42

Нет ответа

Балл: 1,00

Какие виды дифракционных решёток существуют?

- a. Применение мутных растворов с неконтролируемыми неоднородностями.
- b. Дифракция осуществляется многолучевой интерференцией многомерной дифракционной решёткой.
- c. Одномерные, двумерные, пространственные.
- d. Отражательные и пропускающие.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 43

Нет ответа

Балл: 1,00

Что такое вторичные волны при дифракции?

- a. Падающая вторичная волна не должна огибать какое-либо непрозрачное тело.
- b. Для объяснения необходимо найти соотношения между амплитудой и частотой волны при дифракции вторичных волн.
- c. Суперпозиция когерентных волн от вторичных источников.
- d. Объяснение данного явления возможно лишь с помощью принципа Гюйгенса.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 44

Нет ответа

Балл: 1,00

Как соотносятся углы падения и отражения в соответствующем законе оптики?

- a. Равны с противоположным знаком.
- b. Равны.
- c. Не зависят друг от друга.
- d. Отличаются в 2 раза.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 45

Нет ответа

Балл: 1,00

В данной точке среды возникает интерференционный максимум, если ...

- a. разность хода волн равна нулю
- b. разность хода волн равна разности фаз волн
- c. разность хода волн равна нечётному числу полуволн
- d. разность хода волн равна чётному числу полуволн

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 46

Нет ответа

Балл: 1,00

Какие из перечисленных ниже условий необходимы для возникновения вынужденных механических колебаний:

Выберите один ответ:

- a. существование одного положения равновесия тела в пространстве, в котором равнодействующая всех сил равна нулю
- b. силы трения в системе должны быть малы
- c. должна существовать внешняя сила, периодически действующая на тело
- d. при смещении тела из положения равновесия равнодействующая сил должна быть отлична от нуля и направлена к положению равновесия

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 47

Нет ответа

Балл: 1,00

Откуда поступает большая часть энергии в современном обществе?

a. ветряные двигатели

b. атомная энергия

c. водяные двигатели

d. солнечная энергия

e. химические процессы

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 48

Нет ответа

Балл: 1,00

Геометрическая оптика - это...?

a. Рассмотрение света, в котором учитываются волновые свойства излучения.

b. Приближение, в котором длина полны - λ и характерный размер неоднородностей - *l* соотносятся - как $\lambda >> l$.

c. Приближение, в котором не учитываются волновые свойства излучения.

d. Является предельным случаем волновой оптики, когда длина световой волны стремится к нулю.

e. Приближение, в котором длина полны - λ и характерный размер неоднородностей - *l* соотносятся - как $\lambda << l$.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 49

Нет ответа

Балл: 1,00

Какое из приведённых выражений соответствует массе фотона с длиной волны λ?

- a. hc/λ
- b. $h\lambda c^2$
- c. $h/\lambda c$
- d. $h\lambda c$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 50

Нет ответа

Балл: 1,00

Что такое электростатический пробой?

- a. Электрический разряд через слой диэлектрика.
- b. Пробивное напряжение при движении трамвая.
- c. Разряд молнии во время грозы.
- d. Удар электрическим током человека при контакте с проводником под напряжением.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 51

Нет ответа

Балл: 1,00

Что происходит с энтропией в *необратимых* процессах в замкнутой системе?

a. либо возрастает, либо остаётся постоянной

b. энтропия остаётся неизменной

c. уменьшается

d. возрастает

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 52

Нет ответа

Балл: 1,00

Источник света, излучающий одинаковый поток по всем телесным углам с каждого элементарного участка поверхности называется – ...

a. Ламбертовский

b. Борновский

c. Больцмановский

d. Брэгговский

e. Боровский

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 53

Нет ответа

Балл: 1,00

Какова длина волны рентгеновского излучения?

- a. $8*10^{-8}$-10^{-12} м
- b. $400*10^{-9}$-$800*10^{-9}$ м
- c. $8*10^{-6}$-10^{-8} м
- d. КВЧ-диапазон

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 54

Нет ответа

Балл: 1,00

Освещённость, при которой световой поток 1 лм падает на площадь в 1 квадратный метр это: ...

- a. один Вольт
- b. один Гаусс
- c. один люкс
- d. одна кандела
- e. один люмен

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 55

Нет ответа

Балл: 1,00

Что показывает формула $1/F = 1/d + 1/f$?

- a. Связь фокусного расстояния и радиусов кривизны поверхностей.
- b. Связь расстояний от предмета до линзы и от изображения до линзы.
- c. Связь фокусного расстояния, расстояния от предмета до линзы и от изображения до линзы.
- d. Связь фокусного расстояния и коэффициентов преломления сред.
- e. Формула тонкой линзы.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 56

Нет ответа

Балл: 1,00

Единица измерения яркости (в системе СИ):

- a. 1 кд/см^2
- b. 1 кг/м^2
- c. 1 кд/м^2
- d. 1 кг/км^2

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 57

Нет ответа

Балл: 1,00

Коркускулы - это...?

- a. Единицы измерения освещённости.
- b. Световые частицы.
- c. Неоднородности, рассеивающие свет.
- d. Световые волны.
- e. Поверхности, отражающие свет

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 58

Нет ответа

Балл: 1,00

Как изменится период обращения заряженной частицы в однородном магнитном поле при уменьшении её скорости в 2 раза? Изменением массы частицы пренебречь, частица движется перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.

- a. уменьшится в 4 раза
- b. увеличится в 2 раза
- c. не изменится
- d. уменьшится в 2 раза
- e. увеличится в 4 раза

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 59

Нет ответа

Балл: 1,00

Как зависит скорость распространения волны от её длины:

Выберите один ответ:

a. $$\upsilon \approx 2\lambda^2$$

b. $$\upsilon \approx \frac{1}{\lambda}$$

c. $$\upsilon \approx \sqrt{\lambda}$$

d. $$\upsilon \approx \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

e. $$\upsilon \approx \lambda$$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 60

Нет ответа

Балл: 1,00

Кто был создателем “сухой” водородной бомбы?

a. Ганс и Штрассман

b. П.Л. Капица

c. И.Е. Тамм

d. Л.П. Берия

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 61

Нет ответа

Балл: 1,00

В каких единицах измеряется оптическая сила линзы?

a. Канделы.

b. Канделы.Джоули.

c. Диоптрии.

d. Обратные сантиметры.

e. Ньютоны.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 62

Нет ответа

Балл: 1,00

В каком случае вокруг движущегося электрона возникает магнитное поле?

1. Электрон движется равномерно и прямолинейно.
2. Электрон движется равномерно по окружности.
3. Электрон движется равноускоренно прямолинейно.

a. только 1

b. только 2 и 3

c. все варианты верны

d. нет верного ответа

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 63

Нет ответа

Балл: 1,00

Какие из основных единиц Международной системы единиц СИ названы именами учёных?

- a. Кулон
- b. Ампер
- c. Фарегнейт
- d. Цельсий
- e. Вольт
- f. Кельвин
- g. Тесла

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 64

Нет ответа

Балл: 1,00

Прибор, представляющий собой сферу с внутренним покрытием, имеющим коэффициент отражения близкий к 1:

- a. сферический фотометр
- b. катетометр
- c. сферометр
- d. сферический планиметр
- e. кониметр
- f. гониометр
- g. полярный планиметр
- h. сферический фотограмметр

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 65

Нет ответа

Балл: 1,00

В опытах Фарадея по “получению электричества из обычного магнетизма” при вдвигании железного сердечника в катушку, в какой-то момент в цепи катушки возникает электрический ток. Абсолютно такие же опыты до Фарадея проводил Ампер, однако возникновения тока он не наблюдал. Что могло послужить причиной этому?

- a. Провода, составляющие цепь катушки в опытах Ампера были повреждены
- b. Экспериментальная установка Ампера располагалась в нескольких комнатах
- c. Ампер производил опыт с маленькими катушками
- d. Ампер использовал сердечник из неподходящего материала

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 66

Нет ответа

Балл: 1,00

Какие объекты могут иметь свойства оптической системы?

- a. Только оптически однородные тела.
- b. Любые тела, которые удовлетворяют определению линзы.
- c. Только имеющие определённую форму.
- d. Только стеклянные тела.
- e. Преобразующие электромагнитное излучение в видимом или близких диапазонах.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 67

Нет ответа

Балл: 1,00

Кто в возрасте 32 лет стал академиком АН СССР?

- a. Н.Г. Басов
- b. А.М. Прохоров
- c. Н.Н. Семёнов
- d. А.Д. Сахаров

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 68

Нет ответа

Балл: 1,00

Могут ли звуковые волны распространяться в вакууме:

Выберите один ответ:

- a. не могут
- b. могут, если волна поперечная
- c. могут, если волна продольная

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 69

Нет ответа

Балл: 1,00

При каком условии будут наблюдаться пучности стоячей волны:

Выберите один ответ:

a. $2\pi x/\lambda = \pm(n + 1/4)\pi$

b. $2\pi x/\lambda = \pm n\pi$

c. $2\pi x/\lambda = \pm(n + 3/4)\pi$

d. $2\pi x/\lambda = \pm(n + 1/2)\pi$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 70

Нет ответа

Балл: 1,00

Какая из приведенных формул определяет период колебаний физического маятника:

Выберите один ответ:

a. $T = \pi\sqrt{\frac{mgl}{I}}$

b. $T = \sqrt{\frac{I}{mgl}}$

c. $T = 2\pi\sqrt{\frac{mgl}{I}}$

d. $T = \pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}$

e. $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 71

Нет ответа

Балл: 1,00

Угол вращения плоскости поляризации линейно поляризованного света: ...

- a. зависит от оптически активного вещества
- b. обратно пропорционален коэффициенту удельного вращения, концентрации вещества и длине столба
- c. пропорционален коэффициенту удельного вращения, концентрации вещества и длине столба
- d. все верны
- e. обратно пропорционален коэффициенту удельного вращения и прямо пропорционален концентрации вещества и длине столба

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 72

Нет ответа

Балл: 1,00

В качестве чего используются кристаллы турмалина?

- a. поляризатора
- b. анализатора
- c. пластинок $\lambda/2$ и $\lambda/4$
- d. поляризотропных сред
- e. анизотропных сред

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 73

Нет ответа

Балл: 1,00

Какое из приведённых ниже выражений определяет понятие интерференции? Укажите все правильные ответы.

- a. Разложение в спектр при преломлении.
- b. Наложение когерентных волн.
- c. Уменьшение отражения света от поверхности линзы.
- d. Огибание волной препятствия.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 74

Нет ответа

Балл: 1,00

На какое количество одинаковых частей надо разрезать проволоку сопротивлением 48 Ом, чтобы при параллельном соединении проводников получить сопротивление 3 Ом?

- a. 6
- b. 24
- c. 16
- d. 12
- e. 6

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 75

Нет ответа

Балл: 1,00

Чему равен *n* (абсолютный показатель преломления) для воды?

- a. 2,12
- b. 0,192
- c. 1,333
- d. 1,955
- e. 1,000

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 76

Нет ответа

Балл: 1,00

Дифракционная решётка - это ...

- a. пластинка с большим количеством узких перпендикулярных щелей
- b. пластинка с маленьким количеством узких параллельных щелей
- c. пластинка с большим количеством узких параллельных щелей
- d. пластинка с маленьким количеством широких параллельных щелей

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 77

Нет ответа

Балл: 1,00

Площадь пластин плоского слюдяного ε=6 конденсатора равна 1,1 см^2, зазор между ними d=3 мм, разность потенциалов между обкладками 1014 В. При разряде конденсатора выделилась энергия, равная ... мкДж.

- a. 15
- b. 1,0
- c. 0,75
- d. 0,5
- e. 1,2

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 78

Нет ответа

Балл: 1,00

Как подтвердить деление волнового фронта на зоны Френеля экспериментально?

- a. Изучение процессов дифракции на маленьком круглом отверстии.
- b. Измерение амплитуды колебания в волновой плоскости отверстия.
- c. Освещать отверстие монохроматическим светом.
- d. Использование зонных пластинок, покрытых концентрическими кольцами.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 79

Нет ответа

Балл: 1,00

Квантовая частица имеет отличную от нуля вероятность прохождения через барьер конечной ширины. Что это за эффект?

- a. Принцип Паули.
- b. Синергетический эффект
- c. Спин-обитальный эффект
- d. Фотоэффект
- e. Тоннельный эффект

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 80

Нет ответа

Балл: 1,00

Какая поверхность называется зеркальной?

- a. Размеры неровностей которой больше длины световой волны.
- b. Размеры неровностей которой соизмеримы или меньше длины световой волны.
- c. Та поверхность, у которой критический угол менее 60°.
- d. Та поверхность, у которой критический угол более 60°.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 81

Нет ответа

Балл: 1,00

Угол дифракции света на решётке в спектре *m*-ого порядка больше для лучей ...

a. фиолетового цвета

b. жёлтого цвета

c. красного цвета

d. синего цвета

e. зелёного цвета

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 82

Нет ответа

Балл: 1,00

Кто первым взорвал 50 мегатонную водородную бомбу?

a. Д. Эйзенхауер

b. Мао Цзэдун

c. Индира Ганди

d. Н.С. Хрущёв

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 83

Нет ответа

Балл: 1,00

Укажите фундаментальные свойства магнитного поля.

- a. Магнитное поле простирается на бесконечность.
- b. Магнитное поле не имеет источников. Магнитных зарядов в природе нет.
- c. Магнитное поле является отдельным от электрического поля видом материи.
- d. Его силовые линии всегда имеют источники: они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 84

Нет ответа

Балл: 1,00

Какую природу имеет свет, согласно современным представлениям?

- a. Корпускулярно-волновую
- b. Корпускулярную
- c. Волновую
- d. Божественную
- e. Иную

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 85

Нет ответа

Балл: 1,00

В каких направлениях совершаются колебания светового вектора для обыкновенного и необыкновенного лучей?

a. Между обыкновенным и необыкновенным лучами не возникает оптическая разность хода.

b. Между обыкновенным и необыкновенным лучами не возникает оптическая разность фаз.

c. Только во взаимно перпендикулярном направлении.

d. Взаимодействие происходит по эллипсу.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 86

Нет ответа

Балл: 1,00

Какая из приведенных формул определяет период колебаний математического маятника:

Выберите один ответ:

a. $$T = \pi\sqrt{\frac{g}{l}}$$

b. $$T = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$$

c. $$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

d. $$T = \pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

e. $$T = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 87

Нет ответа

Балл: 1,00

Каков физический смысл диэлектрической проницаемости среды ε?

a. Линейная зависимость между диэлектрической восприимчивостью и проницаемостью.

b. Во сколько раз поле в веществе ослабевает по сравнению с вакуумом.

c. В зависимости от величины диэлектрической проницаемости происходит диссоциация сложных химических соединений.

d. Происходит локализация электрической энергии в заданной области пространства.

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 88

Нет ответа

Балл: 1,00

Согласно Закону Мозли, корень квадратный из частоты *v* спектральной линии характеристического излучения элемента есть – ...

a. показательная функция его порядкового номера *Z*

b. линейная функция его порядкового номера *Z*

c. периодическая функция его порядкового номера *Z*

d. магнитострикция

e. логарифмическая функция его порядкового номера *Z*

f. степенная функция его порядкового номера *Z*

g. квадратичная функция его порядкового номера *Z*

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 89

Нет ответа

Балл: 1,00

Какую долю от естественного света пропускает одиночный поляризатор?

- a. 1/8
- b. 1/2
- c. 1/КОРЕНЬ(2)
- d. 1/4
- e. 1/16

Ваш ответ неправильный.

ВОПРОС 90

Нет ответа

Балл: 1,00

Как вектор магнитной индукции **B** всегда ориентирован по отношению к току?

- a. произвольным образом
- b. параллельно
- c. он не ориентирован току никак
- d. под углом
- e. перпендикулярно

Ваш ответ неправильный.