

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Нижегородский государственный технический университет**  
**им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)**

---

---

Учебно-научный институт радиоэлектроники и информационных  
технологий (ИРИТ)

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института:

Мякиньков А.В.

« 22 » апреля 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ОД.12 Практикум по физике**  
для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность: Сети связи и системы коммутации

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2024, 2025

Выпускающая кафедра: Электроника и сети ЭВМ (ЭСВМ)

Кафедра-разработчик: ФТОС

Объем дисциплины: 180 часов/5 з.е.

Промежуточная аттестация: экзамен

Разработчик: Виприцкий Д.Д., к.т.н., доцент

Нижний Новгород

2025

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.03.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19.09.2017 № 930 на основании учебных планов, принятых УМС НГТУ протокол от 14.05.2024 г. № 15 и 19.12.2024 № 7

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры «ФТОС» протокол от 12.03.2025 г. № 16.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор, Раевский А.С. \_\_\_\_\_

Программа рекомендована к утверждению ученым советом ИРИТ, протокол от 22.04.2025 г. № 3.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.03.02-С-41.  
Начальник МО \_\_\_\_\_

Заведующая отделом комплектования НТБ \_\_\_\_\_ Н.И. Кабанина  
(подпись)

## **Оглавление**

<b>ОГЛАВЛЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	4
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>7</b>
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ .....	7
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ .....	8
<b>5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>19</b>
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>21</b>
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА .....	21
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	21
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ .....	22
<b>7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>22</b>
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	22
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ .....	23
<b>8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ .....</b>	<b>23</b>
<b>9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>24</b>
<b>10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>24</b>
10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии .....	24
10.2. Методические указания для занятий лекционного типа .....	25
10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях .....	25
10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся .....	26
<b>11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>26</b>
11.1. Типовые вопросы для промежуточной аттестации .....	26
11.2. Типовые задания для текущего контроля .....	38

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**1.1. Целью освоения дисциплины являются формирование у студентов научного мировоззрения и современного физического мышления.**

**1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):**

- изучение основных физических явлений и идей;
- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями классической и современной физики, а также методами физических исследований;
- овладение приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики;
- ознакомление с измерительной аппаратурой, методами проведения физического эксперимента и методами статистической обработки полученных результатов;
- формирование умения выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей специальности.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Учебная дисциплина (модуль) «Практикум по физике» включена в обязательный перечень дисциплин вариативной части образовательной программы вне зависимости от ее направленности (профиля). Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП, по данному направлению подготовки.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика» и «Математика» в объеме средней школы.

Дисциплина «Практикум по физике» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Электромагнитные поля и волны», «Основы теории цепей» «Сети и системы радиосвязи».

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующих общепрофессиональных компетенций в соответствии с ОПОП ВО по специальности 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»:

ПКС-4 Способен выполнять экспериментальные работы для проверки прогнозируемых технических характеристик составных частей телекоммуникационных и радиоэлектронных средств различного назначения.

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенций дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования компетенций дисциплинами							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>ПКС-4</b>								
<i>Практикум по физике.</i>								
<i>Основы численных методов</i>								
<i>Сети связи</i>								
<i>Электроника</i>								
<i>Электропитание устройств систем телекоммуникаций</i>								
<i>Системы коммутации</i>								
<i>Проектно-технологическая практика</i>								
<i>Выполнение и защита ВКР</i>								

### 3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения оп

Таблица 2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Оценочные средства	
			Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ПКС-4. Способен выполнять экспериментальные работы для проверки прогнозируемых технических характеристик составных частей телекоммуникационных и радиоэлектронных средств различного назначения	ИПКС-4.1 – Обладает знаниями о принципах подготовки и проведения экспериментальных исследований	<p><i>Освоение дисциплины причастно к ТФ F/01.6 (ПС 06.048 «Инженер-радиоэлектронщик в области радиотехники и телекоммуникаций»), решает задачи сбора и анализа исходных данных для проектирования сооружений связи, интеллектуальных инфокоммуникационных сетей и их элементов; выполнения экспериментальных работ для проверки прогнозируемых технических характеристик составных частей радиоэлектронных средств различного назначения; контроля соответствия разрабатываемых проектов и технической документации техническим регламентам, национальным стандартам, стандартам связи, техническим условиям и другим нормативным документам</i></p>	<p><b>Знать:</b> - Физические основы работы сетевых устройств.</p> <p><b>Уметь:</b> - Производить расчет и измерения физических свойств элементов устройств.</p> <p><b>Владеть:</b> - Программным обеспечением для выполнения численных расчетов.</p>	<p>Контрольные работы</p> <p>Вопросы для устного собеседования: билеты</p>

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам**

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зач.ед. или 180 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час		
	Всего час.	В т.ч. по семестрам	
		1 сем	2 сем
<b>Формат изучения дисциплины</b>	очная		
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>180</b>	<b>72</b>	<b>108</b>
<b>1. Контактная работа:</b>			
<b>1.1. Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>89</b>	<b>36</b>	<b>53</b>
занятия лекционного типа (Л)	34	17	17
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практические занятия и др.)	51	17	34
лабораторные работы (ЛР)			-
<b>1.2. Внеаудиторная, в том числе</b>			
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	2	2
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)			
<b>2. Самостоятельная работа (СРС):</b>	<b>91</b>	<b>36</b>	<b>55</b>
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	91	36	55
Подготовка к экзамену (контроль)	-	-	-

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 - Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час							
<b>1 СЕМЕСТР</b>											
ПКС-4, ИПКС-4.1	<b>Раздел 1.</b> Физические основы классической и релятивистской механики.										
	<b>Тема 1.1.</b> Кинематика поступательного и вращательного движений.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Практическое занятие №1</b> Кинематика поступательного и вращательного движений.			2		Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
	<b>Тема 1.2.</b> Законы Ньютона. Закон сохранения импульса. Уравнение движения тела переменной массы.	2			3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Тема 1.3.</b> Энергия, работа, мощность. Кинетическая и потенциальная энергии. Закон сохране-	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4],	Презентации с использованием различных вспомогательных				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
	ния полной механической энергии.				[6.1.5]	средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.					
	<b>Практическое занятие №2</b> Динамика поступательного движения. Законы сохранения.			2	Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».					
	<b>Тема 1.4.</b> Основное уравнение динамики вращательного движения. Момент силы. Момент импульса. Момент инерции. Закон сохранения момента импульса. Кинетическая энергия врачающегося тела.	2		3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.					
	<b>Практическое занятие №3</b> Динамика вращательного движения.			2	Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».					
	<b>Тема 1.5.</b> Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции. Законы сохранения в неинерциальных системах.	1		3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.					
	<b>Тема 1.6.</b> Закон всемирного тяготения. Законы Кеплера. Элементы теории гравитационного	1		3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4],	Презентации с использованием различных вспомогательных					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
	поля.				[6.1.5]	средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.					
	<b>Практическое занятие №4</b> Неинерциальные системы отсчета. Закон всемирного тяготения.			2	Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».					
	<b>Тема 1.7.</b> Элементы механики жидкости. Закон Паскаля. Закон Архимеда. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Движение тел в жидкостях и газах.	1		2	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.					
	<b>Тема 1.8.</b> Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца и следствия из них. Интервал. Преобразование скоростей. Импульс в релятивистской механике. Релятивистские энергия и масса.	1		2	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.					
	<b>Практическое занятие №5</b> Элементы специальной теории относительности.			1	Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».					
	<b>Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:</b>			22							
	<b>контрольная работа</b>			1							
	<b>Итого по 1 разделу</b>	<b>10</b>		<b>10</b>	<b>22</b>						

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час						
ПКС-4, ИПКС-4.1	Раздел 2. Основы молекулярной физики, термодинамики и статистической физики.							
	Тема 2.1. Опытные законы идеального газа. Уравнение Менделеева - Клапейрона. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.2.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.	
	Тема 2.2. Распределения Maxwella и Больцмана. Число степеней свободы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.	2			3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.2.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.	
	Практическое занятие №6 Законы идеального газа.			2		Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	
	Тема 2.3. Первое начало термодинамики. Работа идеального газа. Теплоёмкость. Изопроцессы.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.2.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.	
	Практическое занятие №7 Первое начало термодинамики.			2		Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
	<b>Тема 2.4.</b> Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Цикл Карно. Уравнение состояния реального газа.	2			3	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.2.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Практическое занятие №8</b> Второе начало термодинамики.			2		Подготовка к ПЗ [6.2.5], [6.2.6], [6.2.7]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
	<b>Тема 2.5.</b> Ламинарное и турбулентное течение. Вязкость жидкостей и методы ее определения. Движение тел в жидкостях и газах.	1			2	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.2.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:</b>				14						
	<b>контрольная работа</b>			1							
	<b>Итого по 2 разделу</b>	7		7	<b>14</b>						
	<b>ИТОГО ЗА 1 СЕМЕСТР</b>	17		17	<b>36</b>						
<b>2 СЕМЕСТР</b>											
ПКС-4, ИПКС-4.1	Раздел 3. Электростатика.										
	<b>Тема 3.1.</b> Заряд. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
	<b>Тема 3.2.</b> Обобщение закона Кулона. Теорема Гаусса.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Тема 3.3.</b> Электростатическое поле в диэлектриках. Типы диэлектриков. Виды поляризации. Границочные условия на границе раздела двух диэлектриков.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Практическое занятие №9</b> Электростатическое поле в вакууме и в диэлектриках.			4		Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
	<b>Тема 3.4.</b> Потенциал электростатического поля. Электростатическое поле в проводниках.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Тема 3.5.</b> Электроемкость. Энергия и объемная плотность энергии электростатического поля.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Практическое занятие №10</b>			4		Подготовка к ПЗ	Дискуссия (обсуждение				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
	Потенциал электростатического поля. Электроемкость. Энергия электростатического поля.				[6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]		решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
	<b>Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:</b>			15							
	<b>контрольная работа</b>			2							
	<b>Итого по 3 разделу</b>	<b>5</b>		<b>10</b>	<b>15</b>						
ПКС-4, ИПКС-4.1	<b>Раздел 4. Постоянный электрический ток</b>										
	<b>Тема 4.1.</b> Постоянный ток, его характеристики. Сторонние силы.	0,5		2	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Тема 4.2.</b> Закон Ома для участка цепи. Обобщенный закон Ома.	0,5		2	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Тема 4.3.</b> Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца.	0,5		3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]		Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Тема 4.4.</b> Правила Кирхгофа.	0,5		3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4],		Презентации с использованием различных вспомогательных				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
						[6.2.1]	средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
<b>Практическое занятие №11</b> Постоянный ток. Закон Ома. Закон Джоуля-Ленца.				4	Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]		Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
<b>Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:</b>				10							
<b>контрольная работа</b>											
<b>Итого по 4 разделу</b>		2		4	10						
ПКС-4, ИПКС-4.1	<b>Раздел 5. Магнитостатика</b>										
	<b>Тема 5.1.</b> Магнитное статическое поле в вакууме. Индукция магнитного поля.	0,5			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Тема 5.2.</b> Магнитное поле движущегося заряда. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Ампера.	1			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п. Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифро-				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
							вых проекторов и т.п.				
<b>Тема 5.3.</b> Закон полного тока (теорема о циркуляции).		1			3	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
<b>Практическое занятие №12</b> Магнитное статическое поле в вакууме.				4		Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
<b>Тема 5.4.</b> Движение заряженных частиц под действием электрического и магнитного полей. Сила Лоренца. Эффект Холла.		0,5			2	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
<b>Практическое занятие №13</b> Движение заряженных частиц под действием электрического и магнитного полей.				2		Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
<b>Тема 5.5.</b> Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Условия на границе раздела двух магнетиков.		1			2	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
<b>Тема 5.6.</b> Магнитные моменты		1			2	Подготовка к	Презентации с исполь-				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
	электронов и атомов. Диа- и парамагнетизм. Ферромагнетики.					лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	зование различных вспомогательных средств: доски, книги, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Практическое занятие №14</b> Магнитное поле в веществе.			4		Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
	<b>Самостоятельная работа по освоению 5 раздела:</b>				15						
	<b>контрольная работа</b>										
	<b>Итого по 5 разделу</b>	<b>5</b>		<b>10</b>	<b>15</b>						
ПКС-4, ИПКС-4.1	<b>Раздел 6. Электромагнитная индукция. Уравнения Максвелла.</b>										
	<b>Тема 6.1. Электромагнитная индукция.</b>	2			5	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книги, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	<b>Практическое занятие №15</b> Электромагнитная индукция.			4		Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
	<b>Тема 6.2. Цепи переменного тока.</b>	2			5	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книги,				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа									
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
							компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
<b>Практическое занятие №16</b> Цепи переменного тока.				2		Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
<b>Тема 6.3. Токи смещения. Уравнения Максвелла.</b>	1				5	Подготовка к лекциям [6.1.2], [6.1.4], [6.2.1]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
<b>Практическое занятие №17</b> Уравнения Максвелла.				2		Подготовка к ПЗ [6.2.8], [6.2.9], [6.2.11]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
<b>Самостоятельная работа по освоению 6 раздела:</b>					15						
<b>контрольная работа</b>				2							
<b>Итого по 6 разделу</b>	<b>5</b>			<b>10</b>	<b>15</b>						
<b>ИТОГО ЗА 2 СЕМЕСТР</b>	<b>17</b>			<b>34</b>	<b>55</b>						
<b>ИТОГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>34</b>			<b>51</b>	<b>91</b>						

## **5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.**

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лабораторных работ и примеры заданий для контрольных работ.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме зачёта в 1 и 2 семестрах.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Практикум по физике и технике оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Контрольная неделя</b>	<b>Зачет</b>
40<R≤50	Отлично	
30<R≤40	Хорошо	зачет
20<R≤30	Удовлетворительно	
0<R≤20	Неудовлетворительно	незачет

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по двухбалльной системе «зачтено», «не зачтено».

Таблица 6 - Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПКС-4. Способен выполнять экспериментальные работы для проверки прогнозируемых технических характеристик составных частей телекоммуникационных и радиоэлектронных средств различного назначения	ИПКС-4.1 – Обладает знаниями о принципах подготовки и проведения экспериментальных исследований	<p>Не знает физические основы работы сетевых устройств.</p> <p>Не способен производить расчет физических свойств элементов устройств.</p> <p>Не владеет алгоритмами статистической обработки результатов физического эксперимента; навыками применения компьютерных программ для обработки результатов измерений; навыками представления полученных данных для составления отчетов.</p>	<p>Поверхностно знаком с физическими основами работы сетевых устройств.</p> <p>Способен производить расчет физических свойств элементов устройств, допуская ошибки.</p> <p>Владеет алгоритмами статистической обработки результатов физического эксперимента; навыками применения компьютерных программ для обработки результатов измерений; навыками представления полученных данных для составления отчетов в ограниченном объеме.</p>	<p>Знает физические основы работы сетевых устройств.</p> <p>Способен производить расчет физических свойств элементов устройств с небольшой помощью преподавателя.</p> <p>Владеет алгоритмами статистической обработки результатов физического эксперимента; навыками применения компьютерных программ для обработки результатов измерений; навыками представления полученных данных для составления отчетов, но иногда испытывает небольшие затруднения.</p>	<p>Твёрдо знает физические основы работы сетевых устройств.</p> <p>Способен самостоятельно производить расчет физических свойств элементов устройств.</p> <p>Владеет алгоритмами статистической обработки результатов физического эксперимента; навыками применения компьютерных программ для обработки результатов измерений; навыками представления полученных данных для составления отчетов в полном объеме.</p>

Таблица 7 – Критерии оценивания

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « <b>отлично</b> » заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « <b>хорошо</b> » заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « <b>удовлетворительно</b> » заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (недовлетворительно)	оценку « <b>неудовлетворительно</b> » заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда**

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

6.1.1. Савельев, И.В. Курс общей физики, Т.1/ И.В. Савельев.- СПб.: Лань, 2005, 2008.

6.1.2 Савельев, И.В. Курс общей физики, Т.2/ И.В. Савельев.- СПб.: Лань, 2005, 2006, 2007.

6.1.3. Савельев, И.В. Курс общей физики, Т.3/ И.В. Савельев.- СПб.: Лань, 2005.

6.1.4. Трофимова, Т.И. Курс физики/ Т.И. Трофимова.- М.: Академия, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008.

6.1.5 Иродов, И.Е. Механика. Основные законы./ И.Е. Иродов.- М.: Лаб. базовых знаний, 2002, 2003, 2007.

### **6.2. Справочно-библиографическая литература**

6.2.1. Сивухин, Д.В. Общий курс физики, Т 3. Электричество/ Д.В. Сивухин.- М.: Физматлит, Изд-во МФТИ, 2002.

6.2.2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики, Т 2. Термодинамика и молекулярная Practikum по физике/ Д.В. Сивухин.- М.: Физматлит, Изд-во МФТИ, 2003, 2005.

6.2.3. Иродов, И.Е. Электромагнетизм. Основные законы/ И.Е.Иродов.- М.: БИНОМ. Лаб. Знаний, 2006.

6.2.4. Иродов, И.Е. Волновые процессы. Основные законы/ И.Е.Иродов.- М.: БИНОМ. Лаб. Знаний, 2004, 2006, 2007.

6.2.5. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике/ И.Е. Иродов.-М: БИНОМ. Лаб. Знаний, 2007.

6.2.6. Чертов, А.Г. Задачник по физике/ А.Г. Чертов, А.А. Воробьев.-М.: Физматлит, 2003.

6.2.7. Сборник задач по физике. Ч.1: Механика, молекулярная Практикум по физике, теплота для студентов всех специальностей/ НГТУ; Сост.: А.Б. Федотов и др. Н. Новгород, 2009.

6.2.8. Сборник задач по физике. Ч.2: Электричество. Магнетизм. Для студентов всех специальностей/ НГТУ; Сост.: А.Б. Федотов и др. Н. Новгород, 2009.

6.2.9. Сборник задач по физике. Ч.3: Колебания и волны. Оптика. Для студентов всех специальностей/ НГТУ; Сост.: А.Б. Федотов и др. Н. Новгород, 2009.

### **6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям**

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Практикум по физике» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Практикум по физике».

6.3.2. Методические указания к проведению лабораторных работ по курсу «Механика. Термодинамика». Общие требования и правила оформления отчета

6.3.3. Методические указания к проведению лабораторных работ по курсу «Электричество и магнетизм». Общие требования и правила оформления отчета

6.3.4. Методические рекомендации по организации и планированию практических занятия по дисциплине «Практикум по физике»

6.3.5. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Практикум по физике»

## **7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

### **7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://elib.tolgas.ru./](http://elib.tolgas.ru/) - Загл. с экрана.

Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.

Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.

Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.

Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.

Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

## 7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Юрайт	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	<a href="https://cyberpedia.su/21x47c0.html">https://cyberpedia.su/21x47c0.html</a>

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к лицам с ограниченными возможностями их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта

<b>№</b>	<b>Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ</b>	<b>Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования</b>
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

Для проведения лекционных демонстраций имеется демонстрационный кабинет 5307 рядом с лекционной аудиторией 5303, оснащённый приборами, макетами, различными установками.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии**

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Практикум по физике», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях и практических занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и

групповые консультации с использованием, как встреч с студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта с учетом текущей успеваемости.

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

## **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях**

Практические занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;

- получение умений и навыков решения задач;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

#### **10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы. В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

### **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости**

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- контрольные работы;
- вопросы для устного собеседования: билеты.

#### **11.1. Типовые вопросы для промежуточной аттестации**

##### **11.1.1. Вопросы к зачёту, проводимому по окончании первого семестра**

1. Кинематика поступательного движения: система отсчета, перемещение, путь, скорость, ускорение, составляющие ускорения.
2. Кинематика вращательного движения: угловые перемещение, скорость, ускорение.
3. Законы Ньютона. Две формулировки II закона Ньютона.
4. Силы в природе (упругая сила, сила трения, сила тяжести).
5. Деформация растяжения, сжатия. Деформация сдвига.
6. Энергия, работа, мощность.
7. Кинетическая, потенциальная, полная механическая энергии тела.
8. Консервативные, диссилативные и гироскопические силы.
9. Закон сохранения импульса.
10. Уравнение движения тела переменной массы. Реактивный двигатель.
11. Закон сохранения полной механической энергии.
12. Абсолютно упругий удар.
13. Абсолютно неупругий удар.
14. Момент импульса материальной точки и абсолютно твердого тела.

15. Момент инерции материальной точки и абсолютно твердого тела.
16. Момент силы.
17. Закон сохранения момента импульса.
18. Кинетическая энергия вращающегося тела.
19. Основное уравнение динамики вращательного движения.
20. Свободные оси. Гирокоп.
21. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.
22. Центробежная сила инерции.
23. Сила Кориолиса, её проявления.
24. Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета.
25. Элементы теории гравитационного поля, напряженность и потенциал поля тяготения.
26. Космические скорости.
27. Элементы механики жидкости. Закон Паскаля. Закон Архимеда.
28. Уравнение неразрывности.
29. Уравнение Бернулли. Следствия из уравнения Бернулли.
30. Вязкость жидкостей. Ламинарное и турбулентное течения.
31. Методы определения вязкости.
32. Движение тел в жидкостях и газах.
33. Поверхностное натяжение.
34. Смачивание и несмачивание.
35. Давление под искривленной поверхностью жидкости.
36. Капиллярные явления.
37. Преобразования Галилея. Механический принцип относительности. Постулаты специальной теории относительности.
38. Преобразования Лоренца.
39. Следствия из преобразований Лоренца.
40. Интервал. Вещественный и мнимый интервалы.
41. Преобразование скоростей.
42. Импульс в релятивистской механике.
43. Релятивистское выражение для энергии.
44. Второй закон Ньютона для релятивистских частиц.
45. Релятивистская масса.
46. Опытные законы идеального газа.
47. Уравнение Клапейрона - Менделеева.
48. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории ( МКТ ) идеальных газов.
49. Распределение Максвелла.
50. Распределение Больцмана.
51. Длина свободного пробега молекул. Опытное обоснование МКТ.
52. Число степеней свободы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы.
53. Внутренняя энергия системы. Теплота. Работа.
54. Первое начало термодинамики. Теплоемкость.
55. Адиабатический процесс.
56. Политропные процессы.
57. Энтропия. Второе и третье начала термодинамики.
58. Работа тепловой машины. Цикл Карно.
59. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
60. Внутренняя энергия реального газа.
61. Эффект Джоуля-Томсона.
62. Моно- и поликристаллы. Типы кристаллических тел. Физический признак кристаллов.
63. Дефекты в кристаллах.

64. Теплоемкость кристаллических тел.
65. Фазовые переходы первого и второго рода. Диаграмма состояний.
66. Плавление, кристаллизация, испарение, конденсация, сублимация.

### **11.1.2. Вопросы к зачёту, проводимому по окончании второго семестра**

1. Основные величины макроскопической электродинамики, описывающие электрическое поле. Единицы их измерения.
2. Обобщение закона Кулона (теорема Гаусса).
3. Потенциал электростатического поля. Дифференциальные уравнения для потенциала.
4. Электростатическое поле в проводниках.
5. Типы диэлектриков. Виды поляризации. Сегнетоэлектрики.
6. Электростатическое поле в диэлектриках.
7. Границные условия на границе раздела двух диэлектриков.
8. Поляризованность. Теорема Гаусса для векторов  $\vec{E}$ ,  $\vec{D}$  и  $\vec{P}$ .
9. Электроёмкость. Энергия взаимодействия системы точечных зарядов.
10. Энергия электростатического поля.
11. Постоянный ток, его характеристики. Сторонние силы.
12. Закон Ома для участка цепи. Обобщенный закон Ома.
13. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца.
14. Переходные процессы в RC-цепи.
15. Элементарная классическая теория электропроводности металлов.
16. Работа выхода электронов из металла. Контактная разность потенциалов.
17. Термоэлектрические явления.
18. Эмиссионные явления.
19. Ионизация газов. Несамостоятельный газовый разряд.
20. Виды самостоятельных газовых разрядов.
21. Плазма.
22. Магнитное статическое поле в вакууме. Напряженность и индукция магнитного поля.
23. Магнитное поле движущегося заряда.
24. Сила Лоренца. Ускорители заряженных частиц.
25. Закон Био-Савара. Закон Ампера. Закон полного тока.
26. Движение заряженных частиц под действием электрического и магнитного полей.
27. Эффект Холла.
28. Магнитные свойства вещества. Магнитные моменты электронов и атомов.
29. Диамагнетики и парамагнетики.
30. Магнитное поле в веществе.
31. Границные условия для составляющих векторов магнитного поля.
32. Ферромагнетики.
33. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца.
34. Вращение рамки в магнитном поле. Вихревые токи.
35. Явление самоиндукции. Индуктивность контура.
36. Взаимная индукция. Трансформаторы.
37. Энергия магнитного поля.
38. Переходные процессы в RL-цепи.
39. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.
40. Переменный ток. Резистор, конденсатор, индуктивность в цепи переменного тока.
41. Резонанс напряжений. Резонанс токов.
42. Мощность в цепи переменного тока.
43. Вихревое электрическое поле. Ток смещения.
44. Система уравнений Максвелла.

### 11.1.3. Примеры решения задач

1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси  $x$  имеет вид  $x = A + Bt + Ct^2$ , где  $A=3$  м,  $B=2$  м/с,  $C=1$  м/с<sup>2</sup>. Найти: а) положение точки в моменты времени  $t_1 = 5$  с и  $t_2 = 10$  с; б) среднюю путевую скорость  $\langle V \rangle$  за время, протекшее между этими моментами; в) мгновенные скорости  $V_1$  и  $V_2$  в указанные моменты времени; г) среднее ускорение  $\langle a \rangle$  за указанный промежуток времени; д) мгновенное ускорение  $a$ .

Дано

$$\begin{aligned}x &= A + Bt + Ct^2, \\A &= 3 \text{ м}, B = 2 \text{ м/с}, \\C &= 1 \text{ м/с}^2, \\t_1 &= 5 \text{ с}, \\t_2 &= 10 \text{ с}\end{aligned}$$

$$x_1=? , x_2=?$$

$$\langle V \rangle=?$$

$$V_1=? , V_2=?$$

$$\langle a \rangle=? , a=?$$

Решение

а) Положение точки в заданные моменты времени определяется подстановкой в уравнения движения численных значений коэффициентов  $A, B, C$  и значений времени  $t_1$  и  $t_2$ :

$$x_1 = x(t_1) = 3 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 5^2 = 38 \text{ (м)},$$

$$x_2 = x(t_2) = 3 + 2 \cdot 10 + 1 \cdot 10^2 = 123 \text{ (м)}.$$

б) Средняя путевая скорость определяется как величина пути, пройденного точкой, делённого на время её движения

$$\langle V \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1},$$

$$\langle V \rangle = \frac{123 - 38}{10 - 5} = 17 \text{ (м/с)}.$$

в) Мгновенная скорость определяется как первая производная от координаты  $x(t)$  по времени

$$V = \frac{dx(t)}{dt} = \frac{d}{dt}(A + Bt + Ct^2) = B + 2Ct.$$

Подставив в полученное выражение численные значения коэффициентов  $B, C$  и моментов времени  $t_1$  и  $t_2$ , получим

$$V_1 = V(t_1) = 2 + 2 \cdot 1 \cdot 5 = 12 \text{ (м/с)},$$

$$V_2 = V(t_2) = 2 + 2 \cdot 1 \cdot 10 = 22 \text{ (м/с)}.$$

г) Среднее ускорение определяется как отношение величины изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло

$$\langle a \rangle = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1},$$

$$\langle a \rangle = \frac{22 - 12}{10 - 5} = 2 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

д) Мгновенное ускорение определяется как первая производная от мгновенной скорости  $V(t)$  по времени

$$\begin{aligned}a &= \frac{dV(t)}{dt} = \frac{d}{dt}(B + 2Ct) = 2C. \\a &= 2 \cdot 1 = 2 \text{ (м/с}^2\text{)}.\end{aligned}$$

Ускорение рассматриваемой точки – постоянное.

Ответ: а)  $x_1=38$  м,  $x_2=123$  м; б)  $\langle V \rangle=17$  м/с; в)  $V_1=12$  м/с,  $V_2=22$  м/с;

г)  $\langle a \rangle=2$  м/с<sup>2</sup>; д)  $a=2$  м/с<sup>2</sup>.

2. Материальная точка, обладающая начальной скоростью  $V_0$  в момент времени  $t_0=0$ , начала двигаться прямолинейно с постоянным ускорением  $a$ . Ко времени  $t$  её скорость составила 10 % от начальной скорости. Найти время  $t$ , а также путь  $S$ , который прошла точка за это время.

Дано  
 $t_{\text{нач}}=0$ ,  $V_{\text{нач}}=V_0$ ,  
 $t_{\text{кон}}=t$ ,  
 $V_{\text{кон}}=0,1 V_0$ ,  
 $a = \text{const}$

$$t=? , S=?$$

а) Так как движение материальной точки прямолинейное равнозамедленное, то величина конечной скорости определяется выражением

$$V_{\text{кон}} = V_0 - at.$$

Подставив значение  $V_{\text{кон}}=0,1 V_0$  и проведя несложные преобразования, получаем

$$t = \frac{0,9V_0}{a}.$$

б) Путь, пройденный точкой за интервал времени от нуля до  $t_{\text{кон}}$ , определяется как

$$S = \int_0^{t_{\text{кон}}} V dt,$$

где  $V = V_0 - at$ .

Тогда

$$S = \int_0^t (V_0 - at) dt,$$

или

$$S = \int_0^t V_0 dt - \int_0^t at dt = V_0 t - \frac{1}{2} at^2.$$

Подставив в последнее выражение  $t = \frac{0,9V_0}{a}$  и проведя необходимые преобразования, получаем

$$S = 0,495 \frac{V_0^2}{a}.$$

$$\text{Ответ: а)} t = \frac{0,9V_0}{a}; S = 0,495 \frac{V_0^2}{a}.$$

3. При падении камня в колодец без начальной скорости его удар о поверхность воды доносится через  $t=5$  с. Принимая скорость звука  $V=330$  м/с, найти глубину  $h$  колодца.

Дано  
 $t=5$  с,  
 $V=330$  м/с,

$$h=?$$

Решение  
Время  $t$  состоит из двух частей: времени  $t_1$  движения камня до касания с поверхностью воды и времени  $t_2$  распространения звука. На основании этого составим уравнение

$$t = t_1 + t_2,$$

где  $t_1$  и  $t_2$  находятся соответственно из формул  $h = \frac{gt_1^2}{2}$  (путь, пройденный камнем при свободном падении) и  $h = Vt_2$  (путь, пройденный звуком).

Подставив в указанное уравнение значения  $t_1$  и  $t_2$ , получим уравнение с неизвестным параметром  $h$

$$\sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{h}{V} = t.$$

Это уравнение запишем в виде

$$\sqrt{\frac{2h}{g}} = t - \frac{h}{V}.$$

Возведя обе части полученного уравнения в квадрат и произведя несложные преобразования, получим уравнение

$$h^2 - 2\left(Vt + \frac{V^2}{g}\right)h + V^2t^2 = 0.$$

Это алгебраическое квадратное уравнение вида  $x^2 + px + q = 0$ . Полученное уравнение будем решать, подставив численные значения,

$$h^2 - 2\left(330 \cdot 5 + \frac{330^2}{9,81}\right)h + 330^2 \cdot 5^2 = 0.$$

$$h_{1,2} = \frac{25502}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{25502}{2}\right)^2 - 2722500} = 12751 \pm 12644.$$

$$h_1 = 25395 \text{ (м)}, h_2 = 107 \text{ (м)}.$$

Ответ:  $h = 107$  м; первый корень  $h_1$  соответствует времени падения камня и распространения звука от удара камня о воду  $t=149$  с, что не соответствует условию задачи.

4. Тело брошено горизонтально со скоростью  $V_0=10$  м/с. Найти радиус  $R$  кривизны траектории тела через  $t=2$  с после начала движения.

Дано

$$t=2 \text{ с}, \\ V_0=10 \text{ м/с}$$

$$R=?$$

Решение

Так как сопротивлением воздуха пренебрегаем, то после броска тело продолжает двигаться в горизонтальном направлении с прежней скоростью  $V_x = V_0$ . В вертикальном направлении на тело действует постоянная сила тяжести со стороны Земли, в силу чего оно движется равноускоренно. Скорость в этом направлении определяется выражением

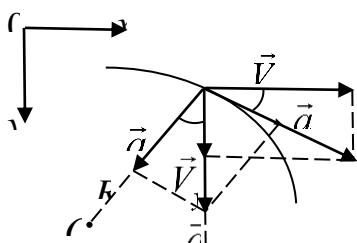
$$V_y = V_{\text{нач.}y} + g_y t,$$

где проекция начальной скорости на ось  $y$   $V_{\text{нач.}y} = 0$ , т.к. тело брошено в горизонтальном направлении;  $g_y$  - проекция ускорения свободного падения на ось  $y$ . Направив ось  $y$  вертикально вниз, получим  $g_y = g$ .

В момент времени  $t$  скорость тела

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j},$$

при этом



$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 = V_0^2 + (gt)^2. \quad (1)$$

На рисунке показано расположение в момент време-

ни  $t$  радиуса кривизны  $R$ , компонент  $\vec{V}_x$  и  $\vec{V}_y$  полной ско-

рости  $\vec{V}$  и компонент  $\vec{a}_\tau$  и  $\vec{a}_n$  (тангенциальное и нормальное ускорения) полного ускорения  $\vec{a}$ .

Радиус кривизны  $R$  находим из соотношения

$$a_n = \frac{V^2}{R},$$

откуда

$$R = \frac{V^2}{a_n}. \quad (2)$$

Нормальное ускорение  $a_n$  находим из уравнения

$$a^2 = a_n^2 + a_\tau^2, \quad (3)$$

где величина полного ускорения равна ускорению свободного падения, т.е.  $a=g$ .

Неизвестное тангенциальное ускорение находим из соотношения (см. рисунок)

$$\frac{a_\tau}{a_n} = \frac{V_y}{V_x},$$

откуда

$$a_\tau = \frac{V_y}{V_x} a_n. \quad (4)$$

Подставив  $a_\tau$  в уравнение (3) и учитя, что  $V_x = V_0$  и  $V_y = gt$ , получаем

$$a_n = \frac{g}{\sqrt{1 + \left(\frac{gt}{V_0}\right)^2}}. \quad (5)$$

Тогда соотношение (2) запишется в виде

$$R = \frac{(V_0^2 + g^2 t^2)^{3/2}}{V_0 g}. \quad (6)$$

Подставив численные значения, получаем  $R=108,9$  (м).

Ответ:  $R=108,9$  м.

5. Материальная точка движется по окружности радиусом  $R = 2$  м с угловой скоростью  $\omega = \alpha t^2 + \beta t + \gamma$ , где  $\alpha = 0,10$  рад/с<sup>3</sup>,  $\beta = -1$  рад/с<sup>2</sup>,  $\gamma = 3$  рад/с. Найти:

- а) тангенциальное  $a_\tau$ , нормальное  $a_n$  и полное  $a$  ускорения точки в момент времени  $t = 10$  с;
- б) число оборотов  $N$ , которое сделает точка к этому моменту времени.

Дано

$$\begin{aligned} R &= 2 \text{ м}, \\ \omega &= \alpha t^2 + \beta t + \gamma, \\ \alpha &= 0,10 \text{ рад/с}^3, \\ \beta &= -1 \text{ рад/с}^2, \\ \gamma &= 3 \text{ рад/с}, \\ t &= 10 \text{ с} \\ a_\tau &=? \quad a_n = ? \\ a &=? \quad N = ? \end{aligned}$$

Решение  
а) Тангенциальное ускорение точки, движущейся по окружности,

$$a_\tau = \varepsilon R,$$

где угловое ускорение  $\varepsilon$  найдем, продифференцировав по времени выражение для угловой скорости:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = 2\alpha t + \beta.$$

Тогда

$$a_\tau = (2\alpha t + \beta)R.$$

Нормальное ускорение

$$a_n = \omega^2 R = (\alpha t^2 + \beta t + \gamma)^2 R.$$

Полное ускорение точки

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

При  $t = 10$  с имеем

$$a_\tau = (2 \cdot 0,10 \cdot 10 - 1) \cdot 2 = 2 \text{ (м/с}^2\text{)},$$

$$a_n = (0,10 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10 + 3)^2 \cdot 2 = 18 \text{ (м/с}^2\text{)},$$

$$a = \sqrt{2^2 + 18^2} \approx 18,11 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

б) Число оборотов  $N$ , сделанное точкой, найдем по формуле

$$N = \frac{\varphi}{2\pi},$$

где  $\varphi$  – угловое перемещение точки за время  $t = 10$  с.

Так как угловая скорость есть первая производная углового перемещения по времени

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt},$$

то

$$\varphi(t) = \int \omega(t) dt = \int (\alpha t^2 + \beta t + \gamma) dt = \alpha \frac{t^3}{3} + \beta \frac{t^2}{2} + \gamma t + C,$$

где постоянную интегрирования  $C$  найдем, положив угловое перемещение точки в начальный момент времени равным нулю:

$$\varphi(t=0) = 0.$$

Тогда  $C = 0$  и

$$\varphi(t) = \alpha \frac{t^3}{3} + \beta \frac{t^2}{2} + \gamma t.$$

Подставив в полученное выражение  $t = 10$  с, получаем

$$\varphi = 0,10 \cdot \frac{10^3}{3} - \frac{10^2}{2} + 3 \cdot 10 \approx 13,33 \text{ (рад).}$$

Следовательно, к моменту времени  $t = 10$  с точка сделает

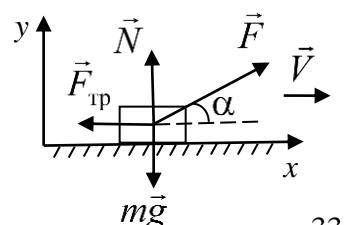
$$N = \frac{13,33}{2 \cdot 3,14} \approx 2,12 \text{ (оборотов).}$$

Ответ: а)  $a_\tau = 2 \text{ м/с}^2$ ,  $a_n = 18 \text{ м/с}^2$ ,  $a = 18,11 \text{ м/с}^2$ ; б)  $N = 2,12$  оборотов.

6. Бруск массы  $m$  тянут за нить так, что он движется с постоянной скоростью по горизонтальной плоскости с коэффициентом трения  $\mu$ . Найти угол  $\alpha$ , при котором натяжение нити будет наименьшим.

Дано  
 $m, \mu$   
 $\alpha_{F_{\min}} = ?$

Решение  
На бруск действуют силы: сила тяжести, сила реакции опоры, сила трения и сила натяжения нити.



Второй закон Ньютона имеет вид

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{F}. \quad (1)$$

Брусок движется с постоянной скоростью, следовательно,  $\vec{a} = 0$ .

Выберем оси  $x$  и  $y$ , как показано на рис. В проекции на эти оси векторное уравнение (1) имеет вид

$$x : 0 = F \cos \alpha - F_{\text{тр}} \quad (2)$$

$$y : 0 = -mg + N + F \sin \alpha \quad (3)$$

Тело движется по поверхности, при этом сила трения скольжения  $F_{\text{тр}} = \mu N$ . Значение силы  $N$  определяем из уравнения (3)

$$N = mg - F \sin \alpha.$$

Подставляя выражение для силы трения в уравнение (2), получим

$$F = \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}.$$

Так как по условию задачи натяжение нити должно быть наименьшим, берем производную функции силы по углу  $\alpha$  и приравниваем полученный результат к нулю

$$\frac{dF}{d\alpha} = \frac{\mu mg(-\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)^2} = 0.$$

Отсюда

$$-\sin \alpha + \mu \cos \alpha = 0,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \mu \text{ и } \alpha = \operatorname{arctg} \mu.$$

Ответ: натяжение нити будет наименьшим при угле  $\alpha = \operatorname{arctg} \mu$ .

7. Небольшое тело массой  $m$  медленно втащили на горку, действуя силой  $\vec{F}$ , которая в каждой точке направлена по касательной к траектории. Найти работу этой силы, если высота горки  $h$ , длина ее основания  $l$  и коэффициент трения  $\mu$ .

Дано:

$m$ ,

$\vec{F}$ ,

$h$ ,

$l$ ,

$\mu$

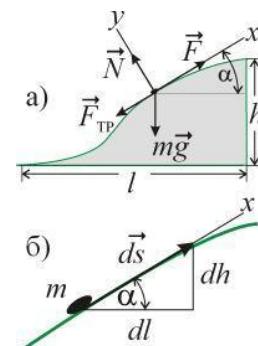
$A_F = ?$

Решение:

1. Поскольку на тело действуют четыре силы (они изображены на рисунке а) – кроме  $\vec{F}$ , это сила нормальной реакции  $\vec{N}$ , тяжести  $m\vec{g}$ , а также сила трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$ ), теорема об изменении кинетической энергии тела  $T$  принимает вид

$$\Delta T = A_N + A_F + A_{mg} + A_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где  $A_N$ ,  $A_F$ ,  $A_{mg}$  и  $A_{\text{тр}}$  – работы указанных сил.



По условию задачи груз на всем пути перемещают медленно. Для нас это значит, что изменение кинетической энергии  $\Delta T = 0$ . Сила  $\vec{N}$  всегда перпендикулярна траектории тела,

поэтому ее работа  $A_N$  также равна нулю. Работа силы тяжести при подъеме тела на высоту  $h$  определяется как  $A_{mg} = -mgh$ . Следовательно, формула (1) преобразуется к виду

$$A_F = mgh - A_{tp}, \quad (2)$$

где  $A_F$  – искомая работа силы  $\vec{F}$ .

2. Примем без доказательства, что величина силы  $N = m_1 g \cos \alpha$ . Таким образом,  $F_{tp} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$ . Работа силы трения на элементарном участке перемещения  $d\vec{s}$  (рисунок б)  $dA_{tp} = -F_{tp} ds = -\mu mg \cos \alpha ds = -\mu mg dl$ . Следовательно, работа силы трения на всем пути равна  $A_{tp} = -\int_0^l \mu mg dl = -\mu mgl$ . Подставив полученный результат в (2), окончательно получим  $A_F = mg(h + \mu l)$ .

Ответ:  $A_F = mg(h + \mu l)$ .

8. Молот массой  $m = 5$  кг, падая с высоты  $h = 2$  м, ударяет небольшой кусок железа, лежащий на наковальне. Масса наковальни вместе с куском железа  $M = 100$  кг. Считая удар абсолютно неупругим, найти:

- а) скорость  $V$  молота непосредственно перед ударом;
- б) энергию  $E_{\text{деф}}$ , затраченную на деформацию куска железа.

Дано	Решение
$m = 5$ кг,	а) Скорость $V$ молота непосредственно перед ударом найдем из
$h = 2$ м,	закона сохранения энергии: в отсутствие сопротивления воздуха молот,
$M = 100$ кг	падая с высоты $h$ , движется только под действием силы тяжести, кото-
$V = ?$	рая является консервативной. Следовательно, в процессе падения меха-
$E_{\text{деф}} = ?$	ническая энергия молота будет оставаться постоянной:

### Решение

а) Скорость  $V$  молота непосредственно перед ударом найдем из закона сохранения энергии: в отсутствие сопротивления воздуха молот, падая с высоты  $h$ , движется только под действием силы тяжести, которая является консервативной. Следовательно, в процессе падения механическая энергия молота будет оставаться постоянной:

$$E = T + \Pi = \text{const}.$$

В качестве нулевого уровня для отсчета потенциальной энергии молота в однородном поле силы тяжести выберем уровень, соответствующий нижнему положению молота. Тогда в начале движения кинетическая энергия молота  $T_1 = 0$ , потенциальная энергия  $\Pi_1 = mgh$  и полная механическая энергия

$$E_1 = T_1 + \Pi_1 = mgh.$$

В нижнем положении (непосредственно перед ударом) –  $T_2 = \frac{mV^2}{2}$ ,  $\Pi_2 = 0$  и

$$E_2 = T_2 + \Pi_2 = \frac{mV^2}{2}.$$

Согласно закону сохранения энергии,

$$E_1 = E_2 \text{ или } mgh = \frac{mV^2}{2},$$

откуда

$$V = \sqrt{2gh},$$

$$V = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2} \approx 6,3 \text{ (м/с)}.$$

б) Чтобы определить энергию  $E_{\text{деф}}$ , затраченную на деформацию куска железа, предварительно найдем скорость  $U$  системы «молот – кусок железа – наковальня» сразу же после удара.

В силу кратковременности удара, запишем для рассматриваемой системы тел закон сохранения импульса:

$$m\vec{V}_1 + M\vec{V}_2 = m\vec{U}_1 + M\vec{U}_2,$$

где  $\vec{V}_1 = \vec{V}$  – скорость молота до удара;  $\vec{V}_2 = 0$  – скорость куска железа с наковальней до удара;  $\vec{U}_1 = \vec{U}_2 = \vec{U}$  – скорости тел сразу же после удара (так как удар абсолютно неупругий, то после него тела системы движутся как одно целое, то есть с одной и той же скоростью).

Очевидно, что векторы  $\vec{V}$  и  $\vec{U}$  будут направлены одинаково. Поэтому в проекции на направление движения молота закон сохранения импульса запишется в виде

$$mV = (m + M)U,$$

откуда

$$U = \frac{mV}{(m + M)} \text{ или } U = \frac{m\sqrt{2gh}}{(m + M)}.$$

Энергия, затраченная на деформацию куска железа, представляет собой разность механических энергий системы «молот – кусок железа – наковальня» непосредственно перед ударом ( $E$ ) и сразу же после него ( $E'$ ):

$$E_{\text{деф}} = E - E'.$$

Так как потенциальная энергия системы в поле силы тяжести в процессе удара не изменяется, то

$$E_{\text{деф}} = T - T',$$

где  $T = \frac{mV^2}{2} = mgh$  – кинетическая энергия системы (молота) непосредственно перед

ударом;  $T' = \frac{(m + M)U^2}{2} = \frac{m^2 gh}{(m + M)}$  – кинетическая энергия системы сразу же после

удара.

Таким образом,

$$E_{\text{деф}} = mgh - \frac{m^2 gh}{m + M} = \frac{mMgh}{m + M},$$

$$E_{\text{деф}} = \frac{5 \cdot 100 \cdot 9,81 \cdot 2}{5 + 100} \approx 93,4 \text{ (Дж).}$$

Ответ: а)  $V = 6,3$  м/с; б)  $E_{\text{деф}} = 93,4$  Дж.

9. Через блок цилиндрической формы массой  $m = 1$  кг перекинут шнур, к концам которого прикреплены грузы массами  $m_1 = 1$  кг и  $m_2 = 2$  кг. Найти: а) ускорение грузов; б) силы натяжения шнура  $F_1$  и  $F_2$ . Считать шнур невесомым и нерастяжимым. Проскальзывание шнура относительно блока и трение в оси блока отсутствуют.

Дано  
 $m = 1 \text{ кг}$ ,  
 $m_1 = 1 \text{ кг}$ ,  
 $m_2 = 2 \text{ кг}$

a)  $a = ?$   
b)  $F_1 = ?$   
 $F_2 = ?$

**Решение**  
Так как нить нерастяжима, путь, пройденный грузом  $m_1$ , равен пути, пройденному грузом  $m_2$ :  
 $a_1 t^2 / 2 = a_2 t^2 / 2$ .

Из этого следует, что ускорения грузов одинаковы по величине:  
 $a_1 = a_2 = a$ .

Рассмотрим участок нити АБ между грузом  $m_2$  и блоком. Уравнение движения этого участка в проекции на ось  $y$  с учетом 3-го закона Ньютона имеет вид  $m_{AB}a = F_2 - F'_2$ .

Из условия невесомости нити ( $m_{AB} = 0$ ) следует, что  $F'_2 = F_2$ . Аналогично доказывается, что  $F'_1 = F_1$ .

Линейная скорость всех отрезков нити в произвольный момент времени  $t$  равна  $V = at$ . Линейная скорость точек, принадлежащих ободу блока, выражается через угловое ускорение блока  $\varepsilon$  и его радиус  $R$   $V_{\text{бл}} = \varepsilon R t$ .

Отсутствие скольжения означает, что в любой момент времени  $V = V_{\text{бл}}$  или  $at = \varepsilon R t$ . Из этого, в свою очередь, следует, что  $\varepsilon = a/R$ .

Запишем уравнения движения обоих грузов в проекции на ось  $y$ , а уравнение движения блока в проекции на ось  $z$ :

$$Oy: -m_1 a_1 = m_1 g - F_1; \quad m_2 a_2 = m_2 g - F_2;$$

$$Oz: J\varepsilon = M_Z = R(F'_2 - F'_1).$$

Учитывая приведенное выше обсуждение условий задачи, а также то, что момент инерции цилиндрического блока  $J = \frac{mR^2}{2}$ , полученную систему уравнений можно привести к виду

$$-m_1 a = m_1 g - F_1; \quad m_2 a = m_2 g - F_2; \quad \frac{ma}{2} = F_2 - F_1.$$

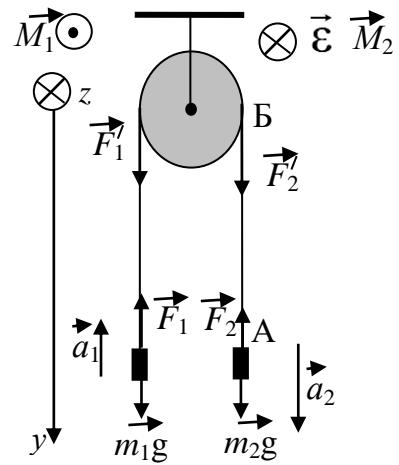
Решая эту систему относительно искомых величин, получим:

$$\text{a)} \quad a = g \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2 + m/2} = 2,8 \text{ м/с}^2;$$

$$\text{б)} \quad F_1 = m_1(g + a) = 12,6 \text{ Н}; \quad F_2 = m_2(g - a) = 14,0 \text{ Н}.$$

Ответ: а)  $a = 2,8 \text{ м/с}^2$ ; б)  $F_1 = 12,6 \text{ Н}, F_2 = 14,0 \text{ Н}$ .

10. При горизонтальном положении стержня в руках человека скамья Жуковского и человек вращались с угловой скоростью  $\omega_1 = 1,5 \text{ рад/с}$ . Момент инерции человека и скамьи Жуковского равен  $I_{\text{чел.+скам}} = 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , длина стержня  $l_{\text{стерь}} = 2 \text{ м}$ , масса стержня  $m_{\text{стерь}} = 6 \text{ кг}$ . Человек повернул стержень в вертикальное положение. Найти угловую скорость вращения.



Дано  
 $\omega_1 = 1,5 \text{ рад/с}$ ,  
 $I_{\text{чел.+скам}} = 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  
 $l_{\text{стерь}} = 2 \text{ м}$ ,  
 $m_{\text{стерь}} = 6 \text{ кг}$   
 $\omega_2 = ?$

Решение  
Согласно условию задачи, момент внешних сил (сил тяжести) относительно оси вращения  $Z$ , совпадающей с осью скамьи Жуковского, равен нулю. Следовательно, проекция момента импульса системы «человек+скамья+стержень» остается постоянной

$$I_{1\text{сис}} \omega_1 = I_{2\text{сис}} \omega_2. \quad (1)$$

Момент инерции системы равен сумме моментов инерции тел, входящих в состав системы. Поэтому момент инерции системы «платформа + человек + стержень» в первом положении стержня равен

$$I_{1\text{сис}} = I_{\text{чел+скам}} + ml^2 / 12,$$

момент инерции системы «платформа+человек+стержень» во втором положении стержня

$$I_{2\text{сис}} = I_{\text{чел+скам}}.$$

Подставим в формулу (1) выражения моментов инерции

$$(I_{\text{чел+скам}} + ml^2 / 12) \omega_1 = I_{\text{чел+скам}} \omega_2,$$

откуда

$$\omega_2 = (I_{\text{чел+скам}} + ml^2 / 12) \omega_1 / I_{\text{чел+скам}}.$$

Произведем вычисления

$$\omega_2 = (5 + 6 \cdot 2^2 / 12) \cdot 1,5 / 5 = 2,1 \text{ рад/с}.$$

Ответ:  $\omega_2 = 2,1 \text{ рад/с}$ .

11. Сосуд объемом  $V = 2,5 \text{ л}$  содержит азот при нормальных условиях. Молярная масса азота  $M = 28 \text{ г/моль}$ . Найти:

- а) количество вещества  $v$  газа;
- б) массу  $m_0$  молекулы газа;
- в) число  $N$  молекул газа в сосуде;
- г) концентрацию  $n$  молекул газа;
- д) плотность  $\rho$  газа.

Дано

$$V = 2,5 \text{ л} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$M = 28 \text{ г/моль} = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль},$$

$$v = ?$$

$$m_0 = ?$$

$$N = ?$$

$$n = ?$$

$$\rho = ?$$

Решение

а) Так как азот находится при нормальных условиях, его молярный объем (объем моля газа)  $V_m = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$ . Тогда количество вещества  $v$  найдем по формуле

$$v = \frac{V}{V_m},$$

$$v = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{22,41 \cdot 10^{-3}} \approx 0,112 \text{ (моль)}.$$

б) В одном моле газа содержится  $N_A$  молекул. Если молярная масса газа  $M$ , то масса молекулы газа

$$m_0 = \frac{M}{N_A}.$$

Для азота

$$m_0 = \frac{28 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} \approx 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ (кг).}$$

в) Число  $N$  молекул газа в сосуде найдем как произведение количества вещества  $v$  на постоянную Авогадро  $N_A$

$$N = v N_A = \frac{V}{V_m} N_A,$$

$$N = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{22,41 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \approx 6,7 \cdot 10^{22} \text{ (молекул).}$$

г) Концентрация  $n$  молекул газа есть число молекул газа в единице его объема

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A}{V_m}.$$

Следовательно, концентрация молекул азота, находящегося при нормальных условиях,

$$n = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{22,41 \cdot 10^{-3}} \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ (м}^{-3}\text{).}$$

д) Плотность газа

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M}{V_m}.$$

Для азота при нормальных условиях получаем

$$\rho = \frac{28 \cdot 10^{-3}}{22,41 \cdot 10^{-3}} \approx 1,25 \text{ (кг/м}^3\text{).}$$

Ответ: а)  $v = 0,112$  моль; б)  $m_0 = 4,65 \cdot 10^{-26}$  кг; в)  $N = 6,7 \cdot 10^{22}$  молекул; г)  $n = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ; д)  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ .

12. В сосуде вместимостью 10 л находится кислород под давлением 100 кПа при температуре  $t_1 = 17^\circ\text{C}$ . После того, как из сосуда выпустили кислород массой  $\Delta m = 10\text{ г}$ , температура газа стала равной  $0^\circ\text{C}$ . Найти давление кислорода, оставшегося в сосуде. Молярная масса кислорода  $M = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

Дано

$$\begin{aligned} V &= 10 \text{ л} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \\ P_1 &= 100 \text{ кПа} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па} \\ t_1 &= 17^\circ\text{C}, T_1 = 290 \text{ К,} \\ t_2 &= 0^\circ\text{C}, T_2 = 273 \text{ К,} \\ \Delta m &= 10 \text{ г} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг.} \end{aligned}$$

$$P_2 = ?$$

Решение

Давление  $P_2$  найдем, используя уравнение состояния идеального газа

$$P_2 V = \frac{m_2}{M} R T_2,$$

$$\text{откуда } P_2 = \frac{m_2}{M} \frac{R T_2}{V}.$$

Неизвестный параметр  $m_2$  находим из условия задачи

$$m_2 = m_1 - \Delta m.$$

Однако первичная масса кислорода  $m_1$  неизвестна. Её определим из уравнения состояния газа в его начальном состоянии

$$P_1 V = \frac{m_1}{M} R T_1,$$

откуда

$$m_1 = \frac{P_1 V M}{R T_1}.$$

В окончательном виде

$$P_2 = \left( \frac{P_1 V M}{R T_1} - \Delta m \right) \frac{R T_2}{M V} = T_2 \left( \frac{P_1}{T_1} - \frac{R}{M V} \Delta m \right).$$

Подстановка численных данных даёт  $P_2 = 23243$  Па.

Ответ:  $P_2 = 23,2$  кПа.

13. Определить эффективную молярную массу смеси двух идеальных газов, состоящей на  $\alpha = 30\%$  по массе из газа с молярной массой  $M_1 = 10$  г/моль, молярная масса второй компоненты  $M_2 = 32$  г/моль.

Дано  
 $\alpha = 0,3$ ,  
 $M_1 = 10$  г/моль,  
 $M_2 = 32$  г/моль

$M_{cm} = ?$

Решение

Молярная масса смеси  $M_{cm} = \sum_{i=1}^k m_i / \sum_{i=1}^k v_i$ , где  $m_i$  — масса  $i$ -ой компоненты смеси;  $v_i$  — количество вещества  $i$ -ой компоненты смеси;  
 $k$  — число компонентов смеси;  $\sum_{i=1}^k m_i = m$  — масса смеси.

По условию задачи  $m_1 = 0,3m$ ,  $m_2 = 0,7m$ ,  $v_1 = m_1/M_1 = 0,3m/M_1$ ,  $v_2 = 0,7m/M_2$ . Тогда

$$M_{cm} = \frac{m}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}} = \frac{M_1 M_2 m}{0,3m M_2 + 0,7m M_1} = \frac{M_1 M_2}{0,3M_2 + 0,7M_1}$$

$$M_{cm} = \frac{10 \cdot 32}{0,3 \cdot 32 + 0,7 \cdot 10} = 19,3 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

Ответ:  $M_{cm} = 19,3$  г/моль.

14. Средняя квадратичная скорость молекул кислорода равна 300 м/с, масса газа 32 г, а объем 0,64 л. Найти:

- а) давление газа на стенки сосуда;
- б) среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы газа;
- в) среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекулы газа;
- г) внутреннюю энергию газа.

Дано  
 $\langle V_{kv} \rangle^2 = 300$  м/с,  
 $m = 32 \cdot 10^{-3}$  кг,  
 $V = 6,4 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>,  
 $M = 32$  г/кмоль

Решение

Воспользуемся основным уравнением молекулярно-кинетической теории  $P = \frac{n m_0 \langle V_{kv} \rangle^2}{3}$ . Концентрация

$$P = ?$$

$$\langle E_{\text{пост}} \rangle = ?$$

$$\langle E_{\text{враш}} \rangle = ?$$

$$U = ?$$

молекул  $n = N/V$ , поэтому

$$P = \frac{1}{3} \frac{Nm_0 \langle V_{\kappa\sigma} \rangle^2}{V} = \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} \langle V_{\kappa\sigma} \rangle^2.$$

$$P = \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot (300)^2}{3 \cdot 0,64 \cdot 10^{-3}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Найдем величину температуры  $T$

$$U = (\langle E_{\text{пост}} \rangle + \langle E_{\text{враш}} \rangle) \frac{mN_A}{M}.$$
$$U = \frac{32 \cdot 10^{-3} 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4 \cdot 10^{-21}}{32 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ кДж.}$$

Ответ: а)  $P = 1,5 \text{ МПа}$ ; б)  $\langle E_{\text{пост}} \rangle = 2,4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ; в)  $\langle E_{\text{враш}} \rangle = 1,6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ;  
г)  $U = 2,4 \text{ кДж}$ .

$$PV = \frac{m}{M} RT; T = \frac{PVM}{mR}.$$

$$T = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 115,5 \text{ К.}$$

$$\langle E_{\text{пост}} \rangle = \frac{3}{2} k_B T; \langle E_{\text{враш}} \rangle = \frac{2}{2} k_B T.$$

$$\langle E_{\text{пост}} \rangle = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 115,5}{2} = 2,4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

$$\langle E_{\text{враш}} \rangle = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 115,5 = 1,6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

15. Воздух, занимавший объем  $V_1 = 1 \text{ л}$  при давлении  $P_1 = 0,8 \text{ МПа}$  изотермически расширился до  $V_2 = 10 \text{ л}$ . Определить изменение его внутренней энергии и работу, совершенную газом. Какое количество тепла было сообщено газу в процессе расширения?

Дано

$$V_1 = 1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$P_1 = 0,8 \text{ МПа},$$

$$V_2 = 10 \text{ л}$$

Решение

При изотермическом расширении температура воздуха не меняется, следовательно, не меняется и его внутренняя энергия, т.е.  $\Delta U = 0$ . При расширении  $v$  молей газа от объема  $V_1$  до  $V_2$  при постоянной температуре  $T$  будет совершена

$$\Delta U = ?$$

$$A = ? Q = ?$$

положительная работа

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{vRT}{V} dV = vRT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Так как число молей газа и его температура неизвестны, то воспользовавшись уравнением Менделеева-Клапейрона, записанным для начального состояния воздуха

$$P_1 V_1 = vRT,$$

работу расширения найдем как

$$A = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \approx 1,84 \text{ кДж}.$$

Количество тепла сообщенного газу, найдем из первого начала термодинамики

$$Q = \Delta U + A.$$

С учетом найденных значений работы и изменения внутренней энергии

$$Q = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \approx 1,84 \text{ кДж}.$$

Ответ:  $\Delta U = 0$ ,  $A = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \approx 1,84 \text{ кДж}$ ,  $Q = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \approx 1,84 \text{ кДж}$ .

16. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, показанный на рисунке. Определить к.п.д. цикла, если  $P_2 = nP_1$ ,  $V_2 = mV_1$ .

Дано	
$P_2 = nP_1$ ,	
$V_2 = mV_1$	
$\eta = ?$	

Решение  
Для определения к.п.д. цикла воспользуемся формулой

$$\eta = \frac{A}{Q_1}.$$

Так как работа  $A$  численно равна площади фигуры, ограниченной процессами цикла в координатах  $P - V$ , то, как следует из рисунка,

$$A = (P_2 - P_1)(V_2 - V_1) = P_1 V_1 (n - 1)(m - 1).$$

Из первого начала термодинамики следует, что газ получает тепло от нагревателя на участках 1-2 и 2-3. Используя уравнения Менделеева-Клапейрона, и учитывая, что молярные теплоемкости газа

$$C_V = \frac{i}{2} R, C_P = \frac{i+2}{2} R, \text{ можно получить}$$

для изохорного процесса 1-2 –

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = v C_V (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} P_1 V_1 (n - 1),$$

для изобарного процесса 2-3 –

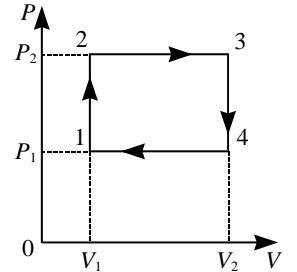
$$Q_{23} = \Delta U_{12} + A = v C_P (T_3 - T_2) = \frac{i+2}{2} P_1 V_1 n (m - 1),$$

Следовательно,  $Q = Q_{12} + Q_{23} = \frac{i}{2} P_1 V_1 (n - 1) + \frac{i+2}{2} P_1 V_1 n (m - 1)$  и

$$\eta = \frac{2(n-1)(m-1)}{i(n-1)+(i+2)n(m-1)},$$

где  $i = 3$  – количество степеней свободы молекул газа.

$$\text{Ответ: } \eta = \frac{2(n-1)(m-1)}{i(n-1)+(i+2)n(m-1)}.$$



17. Мощность идеальной тепловой машины Карно  $N = 10^4$  Вт. Температура нагревателя  $T_1 = 500$  К, холодильника –  $T_2 = 300$  К. Определить количество теплоты  $Q_2$ , отдаваемое холодильнику за  $\tau = 10$  с работы машины.

Дано  
 $N = 10^4$  Вт,  
 $T_1 = 500$  К,  
 $T_2 = 300$  К,  
 $\tau = 10$  с  
 $Q_2 = ?$

Решение  
К.п.д. тепловой машины, работающей по циклу Карно, можно вычислить по формуле

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

или

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где  $T_1, T_2$  – температуры нагревателя и холодильника,  $Q_1, Q_2$  – количество теплоты, получаемого от нагревателя и отдаваемого холодильнику за один цикл работы. Следовательно,

$$1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Откуда находим

$$Q_2 = \frac{T_2}{T_1} Q_1.$$

Так как за время  $\tau$  была совершена работа  $A = N\tau$ , то из закона сохранения энергии следует

$$Q_1 - Q_2 = A.$$

Следовательно,

$$Q_2 = (Q_2 + A) \frac{T_2}{T_1}$$

или

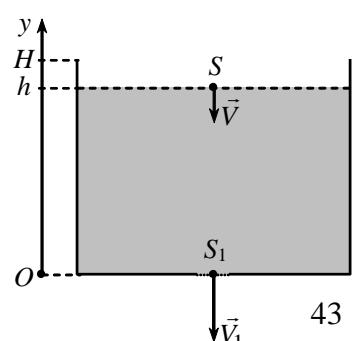
$$Q_2 = \frac{N\tau T_2}{T_1 - T_2} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Ответ:  $Q_2 = \frac{N\tau T_2}{T_1 - T_2} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$

18. Цилиндрический бак площадью основания  $S = 1 \text{ м}^2$  и высотой  $H = 3 \text{ м}$  заполнен водой. Пренебрегая вязкостью воды, найти время  $\Delta t$ , необходимое для опустошения бака, если на дне бака образовалось круглое отверстие площадью  $S_1 = 10 \text{ см}^2$ .

Дано  
 $S = 1 \text{ м}^2$ ,  
 $H = 3 \text{ м}$ ,  
 $S_1 = 10 \text{ см}^2 = 10^{-3} \text{ м}^2$   
 $\Delta t = ?$

Решение  
Чтобы определить время  $\Delta t$ , необходимое для опустошения бака, найдем сначала скорость  $V$  по-



нижения уровня воды в баке как функцию координаты  $y$  ее свободной поверхности (см. рис.).

Рассмотрим два сечения трубы тока: на уровне  $h = y$  свободной поверхности воды в баке и на уровне  $h_1 = 0$  выхода ее из отверстия. Скорость воды на выходе из отверстия обозначим  $V_1$ . Считая воду идеальной жидкостью, запишем для рассматриваемых сечений уравнение Бернулли

$$P + \frac{\rho V^2}{2} + \rho gy = P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2}.$$

Так как статические давления  $P$  и  $P_1$  на обоих уровнях равны атмосферному, то есть  $P = P_1$ , то уравнение примет вид

$$\frac{V^2}{2} + gy = \frac{V_1^2}{2}.$$

Из уравнения неразрывности

$$VS = V_1 S_1$$

следует, что

$$V_1 = V \frac{S}{S_1},$$

где  $S$  и  $S_1$  – площади поперечных сечений бака и отверстия соответственно.

Согласно условию задачи,  $S \gg S_1$ , поэтому  $V_1 \gg V$  и членом  $V^2/2$  можно пренебречь по сравнению с  $V_1^2/2$ . Тогда

$$V_1^2 = 2gy$$

и

$$V_1 = \sqrt{2gy}.$$

Скорость понижения уровня воды в баке найдем, воспользовавшись уравнением неразрывности:

$$V = V_1 \frac{S_1}{S} = \frac{S_1}{S} \sqrt{2gy}.$$

Очевидно, что

$$V = -\frac{dy}{dt},$$

где знак «минус» означает, что скорость  $\vec{V}$  направлена в сторону, противоположную оси  $Oy$ .

Таким образом,

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{S_1}{S} \sqrt{2gy}.$$

Разделив переменные, получаем

$$\frac{dy}{\sqrt{y}} = -\frac{S_1}{S} \sqrt{2g} dt.$$

Проинтегрируем полученное соотношение слева по  $y$  в пределах от  $H$  до  $0$ , справа – по  $t$  в пределах от  $0$  до  $\Delta t$ :

$$\int_H^0 \frac{dy}{\sqrt{y}} = -\frac{S_1}{S} \sqrt{2g} \int_0^{\Delta t} dt,$$

$$2\sqrt{H} = \frac{S_1}{S} \sqrt{2g} \Delta t.$$

Тогда время, необходимое для опустошения бака,

$$\Delta t = \frac{S}{S_1} \sqrt{\frac{2H}{g}},$$

$$\Delta t = \frac{1}{10^{-3}} \sqrt{\frac{2 \cdot 3}{9,81}} \approx 782 \text{ (с)} \approx 13 \text{ (мин).}$$

Ответ:  $\Delta t = 13$  мин.

19. Два одинаковых шарика с массами  $m = 10$  г и зарядами  $q = 1 \cdot 10^{-7}$  Кл каждый подвешены в одной точке на тонких нитях длиной  $l = 2$  м. Расстояние между шариками  $r = 10$  см. Найти: а) угол  $\alpha$  отклонения нити каждого шарика от вертикали, б) силу  $N$  натяжения нити.

Дано  
 $m = 10$  г =  $1 \cdot 10^{-2}$  кг,  
 $q = 1 \cdot 10^{-7}$  Кл,  
 $l = 2$  м,  
 $r = 10$  см =  $1 \cdot 10^{-1}$  м

$$\begin{aligned}\alpha &=? \\ N &=?\end{aligned}$$

**Решение**  
На каждый шарик, находящийся в отклоненном от вертикали положении (рис), действуют три силы: сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила Кулона  $\vec{F}_k$  и сила натяжения нити  $\vec{N}$ .

Запишем в векторной форме уравнение движения одного из шариков

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_k. \quad (1)$$

Так как положение шарика стационарное, то  $\vec{a} = 0$ . Тогда уравнение (1) запишется в виде

$$0 = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_k. \quad (2)$$

Проектируя (2) на координатные оси  $x$  и  $y$ , получаем

$$x: \quad N \sin \alpha = F_k, \quad (3)$$

$$y: \quad N \cos \alpha = mg. \quad (4)$$

Откуда

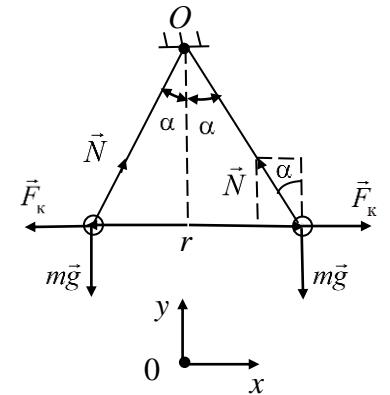
$$\tan \alpha = \frac{F_k}{mg}, \quad (5)$$

$$\text{где } F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r^2}.$$

Подставив в (5) численные значения, получаем  $\tan \alpha = 0,0917$  и  $\alpha = 5,2^\circ$ .

Из уравнения (4) находим

$$N = \frac{mg}{\cos \alpha}. \quad (6)$$



Подставив численные значения, получаем  $N = 99 \cdot 10^{-3}$  Н.

Ответ: а)  $\alpha = 5,2^\circ$ , б)  $N = 99 \cdot 10^{-3}$  Н.

20. Линейная плотность положительного электрического заряда, равномерно распределенного по длине тонкого полубесконечного стержня, равна  $\tau$ . Найти модуль и направление напряженности  $\vec{E}$  электрического поля в точке, которая отстоит от стержня на расстоянии  $a$  и находится на перпендикуляре к стержню, проходящем через его конец. Вычислить  $E$ , если  $\tau = 1$  нКл/м,  $a = 50$  см.

Дано

$$\begin{aligned}\tau &= 1 \text{ нКл/м} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}, \\ a &= 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}\end{aligned}$$

$$E_x = ?$$

$$E_y = ?$$

$$E = ?$$

Решение

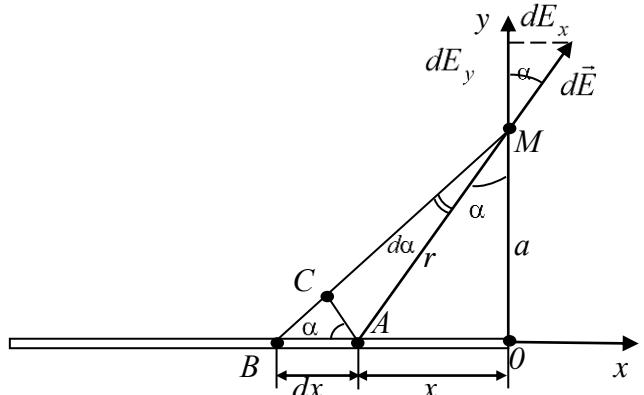
Задача сводится к нахождению проекций  $E_x$  и  $E_y$  вектора напряженности  $\vec{E}$  электрического поля (рис.). Элементарный заряд стержня  $dq = \tau dx$  создает в точке наблюдения  $M$  электрическое поле напряженностью  $d\vec{E}$ . Компонента  $dE_x$  вектора  $d\vec{E}$

$$dE_x = dE \sin \alpha, \quad (1)$$

где по  
закону

$$\text{Кулона } dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\tau dx}{r^2}.$$

Выразим параметры  $r$  и  $dx$  через угол  $\alpha$ , который изменяется в пределах от нуля (для точки  $O$ ) до  $\pi/2$  (для бесконечно удаленного от точки  $O$  конца стержня). Из треугольника  $AOM$  находим  $\cos \alpha = \frac{a}{r}$ , откуда



$$r = \frac{a}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

С другой стороны, из треугольника  $ACB$ , где сторона  $AC$  перпендикулярна  $BC$ , находим

$$\cos \alpha = \frac{AC}{AB} = \frac{AC}{dx}. \quad (3)$$

Отрезок  $AC$  находим из прямоугольного треугольника  $ACM$ :  $\sin(d\alpha) = \frac{AC}{r}$  или, в силу малости угла  $d\alpha$ ,  $d\alpha \approx \frac{AC}{r}$ , откуда  $AC \approx r d\alpha$ .

Последнее соотношение совместно с (3) дает  $\cos \alpha = \frac{r d\alpha}{dx}$ , откуда

$$dx = \frac{r d\alpha}{\cos \alpha}. \quad (4)$$

Подставив соотношения (2) и (4) в (1), получаем

$$dE_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\tau \sin \alpha d\alpha}{a} \quad (5)$$

Величину  $E_x$  находим, проинтегрировав соотношение (5)

$$E_x = \int_0^{\pi/2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\tau \sin \alpha}{a} d\alpha = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0 a}. \quad (6)$$

Аналогично находим

$$E_y = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0 a}. \quad (7)$$

Величину напряженности электрического поля  $E$  находим из выражения

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}, \quad (8)$$

откуда

$$E = \frac{\tau\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 a}. \quad (9)$$

Сравнивая компоненты  $E_x$  и  $E_y$  полного поля  $\vec{E}$ , приходим к выводу, что вектор  $\vec{E}$  направлен под углом  $45^\circ$  к горизонту.

Подставив численные значения, получаем  $E=25,4$  В/м.

Ответ:  $E=25,4$  В/м; вектор  $\vec{E}$  направлен под углом  $45^\circ$  к горизонту.

21. Сферический слой, имеющий радиусы  $R_1 = R$  и  $R_2 = 2R$ , заполнен электрическим зарядом, объемная плотность которого  $\rho = \frac{\alpha}{r}$ , где  $\alpha$  - положительная постоянная.

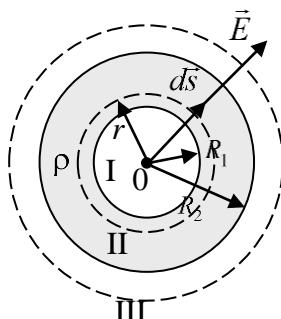
Найти напряженность  $E(r)$  электрического поля как функцию расстояния  $r$  от центра слоя. Построить примерный график зависимости  $E(r)$ .

Дано	Решение
$R_1 = R$ ,	Решение задачи сводится к нахождению напряженности $E(r)$ электрического поля в трёх областях: внутренней ( $r < R_1$ ), в области, содержащей заряд ( $R_1 < r < R_2$ ), и внешней ( $r > R_2$ ) (рисунок).
$R_2 = 2R$ ,	
$\rho = \frac{\alpha}{r}$ ,	
$\alpha = const$	
$E(r) = ?$	

Так как структура поля обладает радиальной симметрией, то для нахождения напряженности поля используем теорему Остроградского-Гаусса, которая в интегральной форме имеет вид

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} Q.$$

1. Определим напряженность  $E_I$  поля в области I. Из физических представлений видно, что напряженность электрического поля в области I равна нулю. Это будет понятно, если представим, что каждый элементарный заряд, расположенный на внутренней поверхности сферы, создает элементарное поле напряженностью  $d\vec{E}$ , которая направлена к центру. Такой же заряд на диаметрально противоположной стороне этой сферы создает поле той же величины, но направленное противоположно первому. Происходит взаимная компенсация элементарных полей, итогом чего является отсутствие электрического поля в об-



ласти I.

Докажем это утверждение с помощью теоремы (1), в соответствии с которой поток вектора  $\vec{E}$  сквозь воображаемую замкнутую поверхность  $S$  определяется арифметической суммой зарядов, находящихся внутри этой поверхности. Но в области I зарядов нет, т.е.  $Q = 0$ . Тогда величина  $\vec{E}$  равна нулю. Поле в области I отсутствует.

2. Определим напряженность  $E_{II}$  в области II. В качестве воображаемой замкнутой поверхности  $S$  возьмем сферическую поверхность радиусом  $r$ , внутри которой будет находиться электрический заряд в объеме, заключенном между сферами с радиусами  $R_1$  и  $r$ .

Теорему Остроградского-Гаусса запишем в виде

$$\oint_S \vec{E}_{II} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV, \quad (2)$$

$$\text{где } \rho = \frac{\alpha}{r}, \quad dV = 4\pi r^2 dr.$$

Последнее выражение получается следующим образом: шар радиусом  $r$  имеет объем  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ ; от обеих частей этого выражения возьмем дифференциал и получим  $dV = 4\pi r^2 dr$ .

Уравнение (2) после подстановки  $\rho$  и  $dV$  приобретает вид

$$\oint_S \vec{E}_{II} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \frac{\alpha}{r} 4\pi r^2 dr. \quad (3)$$

Вектор напряженности поля  $\vec{E}$  и вектор  $d\vec{S}$  в каждой точке поверхности  $S$  направлены друг с другом, т.к. оба направлены вдоль радиуса сферы. Тогда скалярное произведение  $\vec{E}_{II} d\vec{S} = |\vec{E}_{II}| |d\vec{S}| \cos 0^\circ = |\vec{E}_{II}| |d\vec{S}|$  или  $\vec{E}_{II} d\vec{S} = E_{II} dS$ . Учтем, что величина напряженности на одинаковом расстоянии  $r$  от центра слоя постоянна. Тогда уравнение (3) запишется в виде

$$E_{II}(r) \oint_S dS = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{R_1}^r \frac{\alpha}{r} 4\pi r^2 dr \quad (4)$$

Заметим, что  $\oint_S dS = 4\pi r^2$  – площадь поверхности воображаемой сферы. В итоге после несложных преобразований из уравнения (4) получаем

$$E_{II}(r) = \frac{\alpha}{2\epsilon_0} \left( 1 - \frac{R_1^2}{r^2} \right). \quad (5)$$

Аналогично получаем уравнение для внешней области III, в которой воображаемая замкнутая поверхность охватывает весь электрический заряд, находящийся между сферами радиусами  $R_1$  и  $R_2$

$$E_{III}(r) \oint_S dS = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} \frac{\alpha}{r} 4\pi r^2 dr, \quad (6)$$

где  $r$  в левой части уравнения есть радиус внешней воображаемой замкнутой поверхности.

После преобразований получаем

$$E_{III}(r) = \frac{\alpha(R_2^2 - R_1^2)}{2\epsilon_0} \frac{1}{r^2}. \quad (7)$$

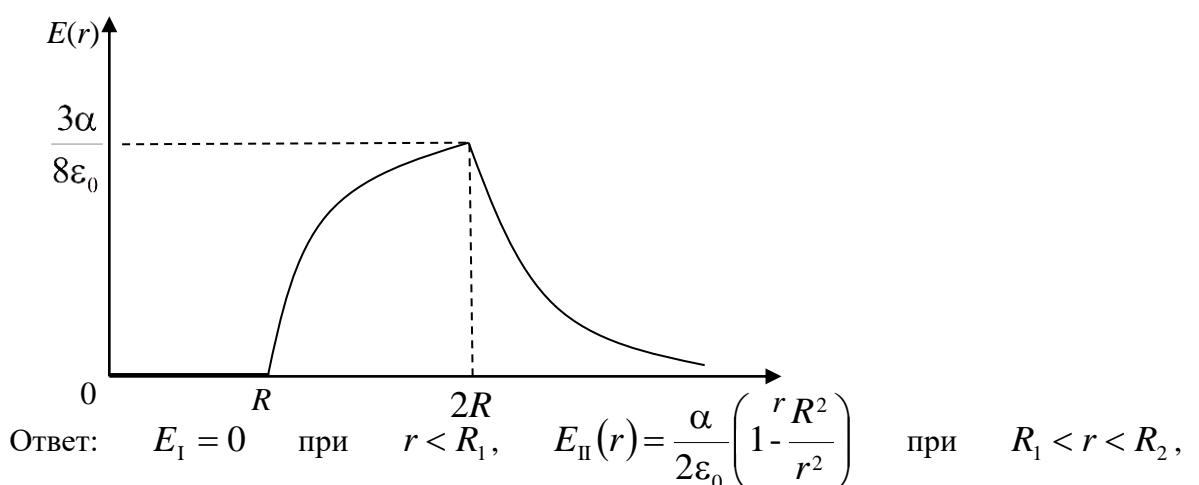
Зная, что  $R_1 = R$  и  $R_2 = 2R$ , соотношения (5) и (7) запишем в виде

$$E_{\text{II}}(r) = \frac{\alpha}{2\epsilon_0} \left( 1 - \frac{R^2}{r^2} \right), \quad (8)$$

$$E_{\text{III}}(r) = \frac{\alpha}{2\epsilon_0} \frac{3R^2}{r^2}. \quad (9)$$

Для построения графика зависимости напряженности поля  $E(r)$  как функции расстояния  $r$  от центра сферического слоя определим характерные точки для полей  $E(r)$  в областях II и III. Для области II это точки:  $r = R_1 = R$  и  $r = R_2 = 2R$ , где  $E_{\text{II}}(r = R) = 0$  и  $E_{\text{II}}(r = 2R) = \frac{3\alpha}{8\epsilon_0}$ . Для области III – точка  $r = R_2 = 2R$ , где  $E_{\text{III}}(r = 2R) = \frac{3\alpha}{8\epsilon_0}$ .

Примерный график зависимости  $E(r)$  представлен на рисунке.



$$E_{\text{III}}(r) = \frac{\alpha}{2\epsilon_0} \frac{3R^2}{r^2} \text{ при } r > R_2.$$

22. Определить разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  между точками А и В схемы. При каком условии она равна нулю?

Дано  
 $C_1, C_2, C_3, C_4$   
 $E$

$\varphi_A - \varphi_B = ?$

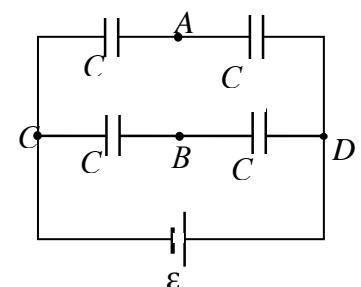
Решение

Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно. Эквивалентная емкость  $C_{12}$  определяется по формуле

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Аналогично найдем емкость  $C_{34} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4}$ . Эквивалентные конденсаторы  $C_{12}$  и  $C_{34}$  подключены параллельно к источнику тока. Следовательно

$$U_{DAC} = U_{DBC} = E.$$



При последовательном соединении заряды на конденсаторах равны

$$q_1 = q_2 = C_{12} \cdot U_{DAC},$$

$$q_1 = \frac{\epsilon C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_C$  равна напряжению на первом конденсаторе

$$\varphi_A - \varphi_C = \frac{q_1}{C_1}, \quad \varphi_A - \varphi_C = \frac{\epsilon C_2}{C_1 + C_2}.$$

Аналогично найдем  $\varphi_B - \varphi_C$ :

$$q_3 = q_4 = C_{34} \cdot U_{DBC};$$

$$q_3 = \frac{\epsilon C_3 C_4}{C_3 + C_4};$$

$$\varphi_B - \varphi_C = \frac{\epsilon C_4}{C_3 + C_4}.$$

Разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  найдем из соотношения

$$\varphi_A - \varphi_B = (\varphi_A - \varphi_C) - (\varphi_B - \varphi_C),$$

$$\varphi_A - \varphi_B = \epsilon \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} - \frac{C_4}{C_3 + C_4} \right), \quad \varphi_A - \varphi_B = \epsilon \frac{(C_2 C_3 - C_1 C_4)}{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}$$

Найдем, при каком условии  $\varphi_A - \varphi_B = 0$ .

$$\epsilon \frac{(C_2 C_3 - C_1 C_4)}{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)} = 0, \quad C_2 C_3 = C_1 C_4.$$

Ответ:  $\varphi_A - \varphi_B = \epsilon \frac{(C_2 C_3 - C_1 C_4)}{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}$ ,  $\varphi_A - \varphi_B = 0$  при  $C_2 C_3 = C_1 C_4$ .

23. Конденсатор емкости  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ , предварительно заряженный до напряжения  $U_0 = 300 \text{ В}$ , подключили параллельно к незаряженному конденсатору емкости  $C_2 = 2 \text{ мкФ}$ . Найти к моменту установления равновесия:

- 1) напряжение на конденсаторах;
- 2) заряды на конденсаторах;
- 3) количество тепла, выделившееся на соединительных проводах.

Дано

$$C_1 = 1 \cdot 10^{-6} \Phi$$

$$C_2 = 2 \cdot 10^{-6} \Phi$$

$$U_0 = 300 \text{ В}$$

$$q_1 = ?$$

$$q_2 = ?$$

$$U_1 = ?$$

$$U_2 = ?$$

$$Q = ?$$

Решение

Найдем заряд на первом конденсаторе до соединения его со вторым:

$$q_0 = C_1 U_0, q_0 = 300 \cdot 10^{-6} = 300 \text{ мКл.}$$

После соединения конденсаторов заряд с первого будет переходить на второй конденсатор до тех пор, пока напряжения на них не будут равны

$$U_1 = U_2 = U_0.$$

Воспользуемся законом сохранения заряда

$$q_0 = q_1 + q_2,$$

$$q_0 = C_1 U + C_2 U.$$

Найдем установившееся напряжение

$$U = \frac{q_0}{C_1 + C_2},$$

$$U = \frac{300 \cdot 10^{-6}}{10^{-6}(1+2)} = 100 \text{ В.}$$

Заряды на конденсаторах к моменту установления равновесия

$$q_1 = C_1 U = 100 \text{ мКл},$$

$$q_2 = C_2 U = 200 \text{ мКл.}$$

Количество тепла, выделившееся на проводах, равно разности энергий конденсаторов

$$Q = W_0 - (W_1 + W_2),$$

где

$$W_0 = \frac{C_1 U_0^2}{2} = 45 \text{ мДж,}$$

$$W_1 = \frac{C_1 U^2}{2} = 5 \text{ мДж,}$$

$$W_2 = \frac{C_2 U^2}{2} = 10 \text{ мДж.}$$

$$Q = 30 \text{ мДж.}$$

Ответ:

- 1)  $U = 100 \text{ В},$
- 2)  $q_1 = 100 \text{ мКл}, q_2 = 200 \text{ мКл},$
- 3)  $Q = 30 \text{ мДж.}$

24. Сколько тепла выделится на сопротивлении  $R = 75 \text{ Ом}$  при прохождении через него количества электричества  $q = 100 \text{ Кл}$ , если ток в сопротивлении равномерно убывал до нуля в течение времени  $\Delta t = 50 \text{ с}$ ?

Дано  
 $R = 75 \text{ Ом},$   
 $q = 100 \text{ Кл},$   
 $I_2 = 0,$   
 $\Delta t = 50 \text{ с}$

---

$Q = ?$

Решение  
Так как ток равномерно (линейно) убывал, его зависимость от времени можно представить в виде:  $I = I_1 - \alpha t$ . В начальный момент времени  $t_0 = 0$   $I = I_1$ , в момент времени  $\Delta t = 50 \text{ с}$   $I = 0$ . Отсюда следует

$$\alpha = \frac{I_1}{\Delta t}, \quad I = I_1 - \frac{I_1}{\Delta t} t.$$

Найдем значение начального тока  $I_1$ . Заряд, прошедший через поперечное сечение проводника, равен

$$q = \int_0^{\Delta t} \left( I_1 - \frac{I_1}{\Delta t} t \right) dt = \frac{I_1 \Delta t}{2}, \quad I_1 = \frac{2q}{\Delta t}, \quad I_1 = \frac{2 \cdot 100}{50} = 4 \text{ А.}$$

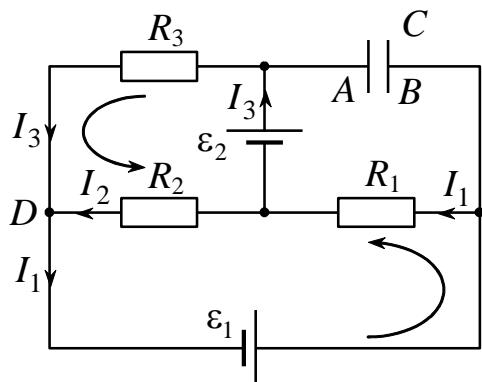
Подставим значение  $I_1$  в формулу тока  $I = 4 - 0.08t$ . Найдем количество теплоты, выделившееся на сопротивлении  $R$

$$Q = \int_0^{\Delta t} \left( I_1 - \frac{I_1 t}{\Delta t} \right)^2 R dt = RI_1^2 \int_0^{\Delta t} \left( 1 - \frac{t}{\Delta t} \right)^2 dt = \frac{RI_1^2 \Delta t}{3}.$$

$$Q = \frac{75 \cdot 16 \cdot 50}{3} = 20 \text{ кДж.}$$

Ответ:  $Q = 20 \text{ кДж.}$

25. Найти разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  между обкладками конденсатора  $C$  схемы (рис.), если  $\varepsilon_1 = 4,0 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 1,0 \text{ В}$ ,  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 30 \text{ Ом}$ . Внутренние сопротивления источников пренебрежимо малы.



Решение

В установившемся режиме ток через конденсатор  $I_C = 0$ , и в цепи текут три неизвестных тока  $I_1, I_2, I_3$ , предположительные направления которых указаны на рис.

Применим первое правило Кирхгофа к узлу  $D$  и второе правило Кирхгофа к контурам  $DR_2\varepsilon_2R_3D$  и  $D\varepsilon_1R_1R_2D$ :

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0, \quad (1)$$

$$-I_2R_2 + I_3R_3 = \varepsilon_2, \quad (2)$$

$$I_1R_1 + I_2R_2 = \varepsilon_1. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1) – (3), находим ток  $I_1$

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1(R_2 + R_3) + \varepsilon_2R_2}{R_1(R_2 + R_3) + R_2R_3}. \quad (4)$$

Для определения разности потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  применим обобщенный закон Ома к участку  $A\varepsilon_2R_1B$

$$-I_1R_1 = (\varphi_A - \varphi_B) - \varepsilon_2,$$

откуда

$$\varphi_A - \varphi_B = \varepsilon_2 - I_1R_1. \quad (5)$$

Подстановка (4) в (5) дает

$$\varphi_A - \varphi_B = \frac{\varepsilon_2R_3(R_1 + R_2) - \varepsilon_1R_1(R_2 + R_3)}{R_1(R_2 + R_3) + R_2R_3} = -1,0 \text{ В.}$$

26. Для нагревания воды объемом  $V=1 \text{ л}$  до кипения в течение времени  $T=5\text{мин}$  использован кипятильник, нагреватель которого изготовлен из никромовой проволоки сечением  $S=0,1 \text{ мм}^2$ . Начальная температура воды составляет  $t_1=20^\circ \text{ С}$ . Напряжение в сети  $U=220 \text{ В}$ , к.п.д. кипятильника  $\eta=90\%$ . Найти: а) сопротивление кипятильника  $R$ , б) длину  $l$  никромовой проволоки. Удельное сопротивление никрома  $\rho = 1,1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Удельная тепло-

$$\text{ёмкость воды } c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}.$$

Дано

$$V=1 \text{ л}, t_1=20^\circ \text{ С},$$

$$t_2=100^\circ \text{ С}, T=5\text{мин}=300\text{s}$$

$$U=220 \text{ В}, \eta=90\%,$$

$$\rho = 1,1 \text{ мкОм}\cdot\text{м} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}, \\ S=0,1 \text{ мм}^2 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$R=? \quad l=?$$

Решение

а) В объеме  $V=1 \text{ л}$  находится масса воды  $m=1 \text{ кг}$ . Для нагревания ей необходимо сообщить количество теплоты  $Q = cm(t_2 - t_1)$ .  $(1)$

Расход электроэнергии для нагревания составляет

$$W = \frac{Q}{\eta}. \quad (2)$$

Мощность нагревателя

$$N = \frac{W}{T} = \frac{Q}{\eta T}. \quad (3)$$

С другой стороны, по закону Джоуля – Ленца количество теплоты, выделяемое спиралью кипятильника в единицу времени, определяется выражением

$$\dot{Q}_1 = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (4)$$

Приравнивая правые части равенств (3) и (4) с учетом равенства (1), получаем

$$R = \frac{U^2 \eta T}{cm(t_2 - t_1)}. \quad (5)$$

Подставив в (5) численные значения, имеем

$$R = \frac{220^2 \cdot 0,9 \cdot 300}{4200 \cdot 1 \cdot (373 - 293)} = 39 \text{ (Ом).}$$

б) Сопротивление однородной цилиндрической проволоки

$$R = \rho l / S. \quad (6)$$

Отсюда длина проволоки

$$l = \frac{RS}{\rho}. \quad (7)$$

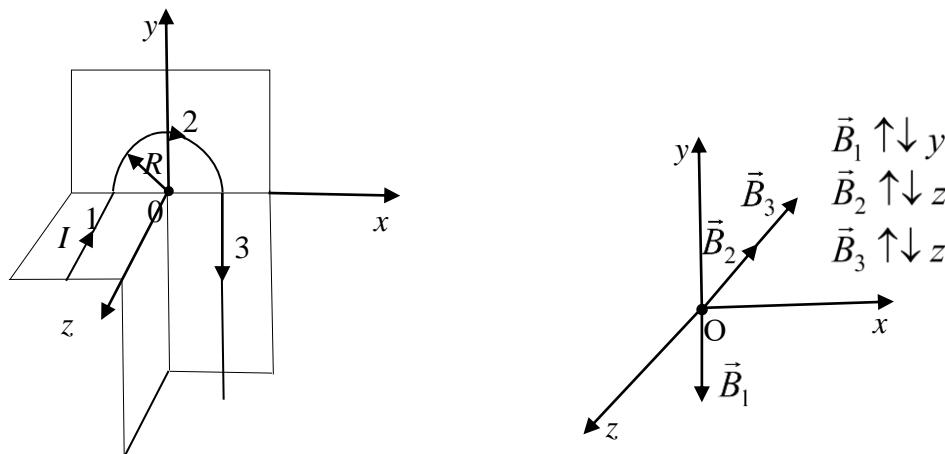
После подстановки численных значений получим

$$l = \frac{39 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}{1,1 \cdot 10^{-6}} = 3,5 \text{ (м).}$$

Ответ: а)  $R=39$  Ом, б)  $l=3,5$  м.

27. Индукцию магнитного поля  $\vec{B}$  в точке О найдем, используя принцип суперпозиции магнитных полей  $\vec{B} = \sum \vec{B}_i$ . В нашем случае разобьем проводник на три участка (см. рис.), два прямолинейных проводника (1 и 3), одним концом уходящие в бесконечность, и дугу окружности (2) радиуса  $R$ . Тогда  $\vec{B}_0 = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$ , где  $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$  – индукции магнитного поля в точке О, создаваемые током, текущим соответственно на первом, втором и третьем участках проводника.

Учитывая направления векторов  $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$  в соответствии с правилом «буравчика» (правого винта) (см. рис.), имеем  $B_0 = \sqrt{B_1^2 + (B_2 + B_3)^2}$ .



28. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $U$ , влетает в однородное магнитное поле индукции  $\vec{B}$  под углом  $\alpha$  к силовым линиям. Определить радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле. Заряд электрона  $e$ , масса  $m_e$ .

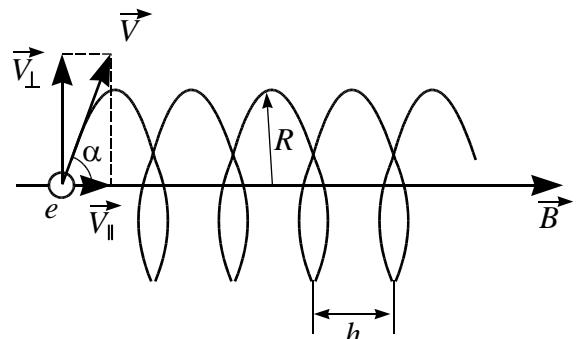
Дано	
$U$ ,	
$\vec{B}$ ,	
$\alpha$ ,	
$e$ ,	
$m_e$	
$h=?$	
$R=?$	

Пройдя ускоряющее напряжение  $U$ , электрон приобретает скорость  $V$ , которую можно найти из закона сохранения энергии:

$$m_e V^2 / 2 = eU,$$

отсюда  $V = \sqrt{2eU/m_e}$ .

Решение



При движении в магнитном поле радиус винтовой линии определяется составляющей скорости  $V_{\perp} = V \sin \alpha$ . Уравнение движения электрона в проекции на нормаль записывается

$$m_e a_n = m_e V_{\perp}^2 / R = eV_{\perp} B.$$

Отсюда радиус винтовой линии

$$R = m_e V \sin \alpha / eB = \sqrt{2Um_e/e} \sin \alpha / B.$$

Вдоль силовой линии электрон движется с постоянной скоростью  $V_{\parallel} = V \cos \alpha$ .

Шаг винтовой линии  $h = V_{\parallel} T$ , где  $T$  – период обращения, который находим из

$$T = 2\pi R / V_{\perp} = 2\pi m_e / eB.$$

Тогда  $h = 2\pi \cos \alpha \sqrt{2Um_e/e} / B$ .

Ответ:  $R = \sqrt{2Um_e/e} \sin \alpha / B$ ,  $h = 2\pi \cos \alpha \sqrt{2Um_e/e} / B$

29. Квадратная рамка со стороной  $a = 5$  см расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником, по которому течет ток  $I = 5$  А. Сила тока в рамке  $I_0 = 0,9$  А. Продолжая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на расстояние, которое в  $n = 3$  раза больше стороны рамки. Определить модуль и направление амперовой силы, действующей на рамку

Дано	
$a = 5$ см,	
$I = 5$ А,	
$b=na$ ,	
$n = 3$	
$F_A=?$	

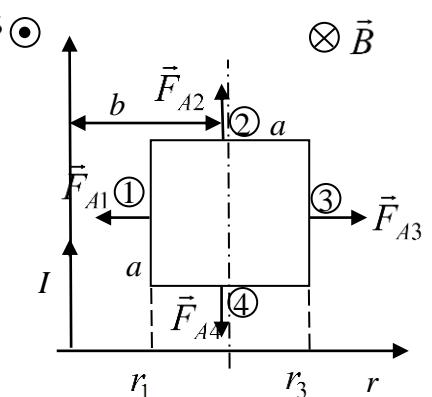
Решение  
Бесконечно длинный прямой проводник с током  $I$  создает вокруг себя магнитное поле с индукцией

$$\vec{B}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

В одной плоскости с проводником расположена квадратная рамка с током  $I_0$ , на каждую сторону которой со стороны магнитного поля действует сила Ампера (см. рис.).

Результирующая сила определяется по принципу суперпозиции как векторная сумма всех сил, действующих на каждую сторону рамки



$$\vec{F}_A = \vec{F}_{A1} + \vec{F}_{A2} + \vec{F}_{A3} + \vec{F}_{A4}.$$

По определению сила Ампера равна

$$F_A = \int_l d\vec{F}_A, \quad d\vec{F}_A = I_0 [d\vec{l} \vec{B}],$$

где  $d\vec{l}$  – вектор, модуль которого равен величине элемента проводника с током  $dl$ , а направление совпадает с направлением текущего по проводнику тока  $I_0$ .

Находим величину силы Ампера, действующую на первую  $F_{A1}$  и третью  $F_{A3}$  стороны рамки, т.к.

$$\vec{F}_{A2} + \vec{F}_{A4} = 0.$$

$$F_{A1} = \int_{l_1} dF_{A1} = \int_0^a I_0 \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1} dl_1 = \frac{\mu_0 II_0 a}{2\pi r_1} = \frac{\mu_0 II_0 a}{2\pi \left(b - \frac{a}{2}\right)} = \frac{\mu_0 II_0 a}{\pi(2b-a)} = \frac{\mu_0 II_0 a}{\pi(2na-a)} = \frac{\mu_0 II_0}{\pi(2n-1)}.$$

$$F_{A3} = \int_{l_3} dF_{A3} = \int_0^a I_0 \frac{\mu_0 I}{2\pi r_3} dl_3 = \frac{\mu_0 II_0}{\pi(2n+1)}.$$

$r_1 = b - \frac{a}{2}$ ,  $r_3 = b + \frac{a}{2}$  – расстояния от проводника до 1 и 3 сторон рамки, соответственно.

Вектора сил направлены в противоположенные стороны  $\vec{F}_{A1} \uparrow \downarrow \vec{F}_{A3}$ , тогда

$$F_A = F_{A1} - F_{A3} = \frac{\mu_0 II_0}{\pi(2n-1)} - \frac{\mu_0 II_0}{\pi(2n+1)} = \frac{2\mu_0 II_0}{\pi(4n^2-1)},$$

а направление  $\vec{F}_A$  совпадает с направлением вектора  $\vec{F}_{A1}$ .

Подставив числовые значения, получим

$$F_A = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 0,9 \cdot 2}{\pi(4 \cdot 3^2 - 1)} = \frac{36 \cdot 10^{-7}}{35} \approx 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ H} = 0,103 \text{ мкН.}$$

Ответ:  $F_A = 0,103 \text{ мкН.}$

30. Проводящая рамка со сторонами  $a$  и  $b$  и длинный прямой провод с током  $I$  находятся в одной плоскости. Расстояние от стороны  $OO'$  до проводника равно  $c$ , сопротивление рамки  $R$ . Найти:

- 1) поток вектора магнитной индукции, создаваемого током  $I$  через поверхность, ограниченную рамкой;
- 2) э.д.с. индукции и индукционный ток в рамке, если ток в проводнике меняется по закону  $I = \alpha - \beta t$ , где  $\alpha, \beta$  – постоянные величины;
- 3) количество электричества, протекающее в рамке за время уменьшения тока до нуля.

Дано

$a, b, c$ ,

$R$ ,

$I = \alpha - \beta t$

$\Phi = ?$   $E_i = ?$   $I_i = ?$

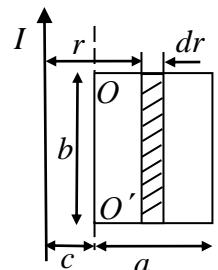
$= ?$   $q = ?$

Решение

Поле, создаваемое бесконечным проводником с током, зависит от расстояния  $r$  до проводника

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Для вычисления потока вектора магнитной индукции разобьем поверхность рамки на узкие полоски площадью  $dS = b \cdot dr$ . Элементарный поток через поверхность  $dS$  равен



$$d\Phi = BdS = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} b dr.$$

Поток вектора  $\vec{B}$  через всю поверхность рамки

$$\Phi = \int_c^{c+a} \frac{\mu_0 Ib}{2\pi} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 Ib}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c}.$$

Если ток в проводнике зависит от времени, то и поток является функцией времени

$$\Phi = \int_c^{c+a} \frac{\mu_0 Ib}{2\pi} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c} (\alpha - \beta t).$$

Следовательно, в рамке возникает э.д.с. индукции

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 b \beta}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c}.$$

В рамке возникает индукционный ток

$$I_i = \frac{E_i}{R}; \quad I_i = \frac{\mu_0 b \beta}{2\pi R} \ln \frac{c+a}{c}.$$

Количество электричества  $q$ , протекшее в рамке, равно

$$q = \int_{t_1}^{t_2} I_i dt = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R},$$

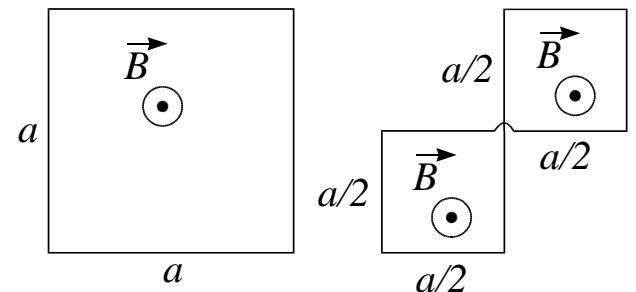
где  $\Phi_1 = \frac{\mu_0 b \alpha}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c}$  – поток в начальный момент времени  $t_1 = 0$ ,  $\Phi_2 = 0$  – поток в момент времени, когда  $I = 0$ . Следовательно

$$q = \frac{\mu_0 b \alpha}{2\pi R} \ln \frac{c+a}{c}.$$

Ответ:

- 1)  $\Phi = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c} \cdot (\alpha - \beta t);$
- 2)  $E_i = \frac{\mu_0 b \beta}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c}, \quad I_i = \frac{\mu_0 b \beta}{2\pi R} \ln \frac{c+a}{c};$
- 3)  $q = \frac{\mu_0 b \alpha}{2\pi R} \ln \frac{c+a}{c}.$

31. Квадратный проволочный контур со стороной  $a$ , находящийся в однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ , направленном перпендикулярно плоскости витка, согнули, как показано на рисунке. Определить заряд, который протечет при этом по контуру. Со-противление единицы длины контура  $\rho$ .



Дано

$a$ ,  
 $\vec{B}$ ,  
 $\rho$

Решение

Поток вектора магнитной индукции в первом случае  $\Phi_1 = Ba^2$ . После сгибаания витка поток стал  $\Phi_2 = 0$ , поскольку через две части контура,

$q=?$

имеющие одинаковые площади, потоки будут равные по величине, но противоположные по знаку.

Обозначим время, за которое произвели перегиб контура, через  $\Delta t$ . Тогда в контуре возникает э.д.с. индукции

$$|\varepsilon| = \Delta\Phi/\Delta t = Ba^2/\Delta t.$$

Следовательно, индукционный ток равен  $I = \varepsilon/R$ , где  $R = 4a\rho$  – сопротивление контура. Из определения силы тока  $I = \Delta Q/\Delta t$  находим заряд, протекающий за время  $\Delta t$  по контуру  $\Delta Q = I\Delta t = Ba^2/4a\rho$ .

Ответ:  $\Delta Q = Ba^2/4a\rho$ .

32. Два соленоида одинаковой длины  $l$  и практически одинакового сечения  $S$  вставлены полностью один в другой. Индуктивность соленоидов  $L_1$  и  $L_2$ . Пренебрегая краевыми эффектами, найти их взаимную индуктивность.

Дано

$L_1, L_2$

$L_{12}=?$

По определению взаимная индуктивность

$$L_{12} = \frac{\hat{O}_1}{I_2},$$

где  $\hat{O}_1$  – полный магнитный поток через все витки соленоида 1, если в соленоиде 2 течет ток  $I_2$ . Поток  $\hat{O}_1 = N_1 B_2 S$ , где  $N_1$  – число витков в соленоиде 1,  $S$  – его поперечное сечение,  $B_2 = \mu\mu_0 n_2 I_2$  – индукция магнитного поля во втором соленоиде.

С учетом этих выражений можно записать

$$L_{12} = \mu\mu_0 n_2 N_1 S = \mu\mu_0 n_1 n_2 V,$$

где учтено, что  $N_1 = n_1 l$  и  $V = Sl$  – объем соленоида.

Используя выражение для индуктивности соленоида  $L = \mu\mu_0 n^2 V$ , взаимную индуктивность  $L_{12}$  можно представить через  $L_1$  и  $L_2$  следующим образом

$$L_{12} = \sqrt{\mu\mu_0 n_1^2 V} \sqrt{\mu\mu_0 n_2^2 V} = \sqrt{L_1 L_2}.$$

Ответ: взаимная индуктивность соленоидов равна  $L_{12} = \sqrt{L_1 L_2}$ .

33. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности  $L = 25$  мГн, конденсатора емкостью  $C = 10$  мкФ и резистора. Определить сопротивление резистора, если известно, что амплитуда тока в контуре уменьшилась в  $e$  раз за 16 полных колебаний.

Дано

$L = 25$  мГн,

$C = 10$  мкФ,

$N_e = 16$

$R=?$

Решение

Число колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды силы тока в  $e$  раз

$$N_e = \frac{\tau}{T},$$

где  $\tau = \frac{1}{\delta}$  – время релаксации,  $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$  – период затухающих колебаний,

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  – собственная частота колебаний контура,  $\delta = \frac{R}{2L}$  – коэффициент затухания.

Подставив эти выражения, получим

$$N_e = \frac{\frac{2L}{R} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4L}{R^2 C} - 1},$$

отсюда искомое сопротивление

$$R = 2 \sqrt{\frac{L}{C(1 + 4\pi^2 N_e^2)}}.$$

Вычисляя, получим  $R = 0,995$  Ом.

Ответ:  $R = 0,995$  Ом.

## 11.2. Типовые задания для текущего контроля

Приведены типовые задания для контролируемой самостоятельной работы

### Контрольная работа №1 (1час).

1. Уравнения движения двух материальных точек имеют вид  $x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$  и  $x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$ , где  $B_1=4$  м/с<sup>2</sup>,  $C_1=-3$  м/с<sup>3</sup>,  $B_2=-2$  м/с<sup>2</sup>,  $C_2=1$  м/с<sup>3</sup>. Найти момент времени, при котором ускорения этих точек будут равны.

2. Радиус-вектор частицы определяется выражением  $\vec{r} = 7\vec{i} + 4t^2\vec{j} + 3t^2\vec{k}$ . Найти: а) модуль перемещения  $|\Delta\vec{r}|$  тела за первые  $t=10$  с после начала перемещения; б) путь  $S$ , пройденный телом за это время.

3. Материальная точка начинает двигаться по окружности радиусом  $R = 6$  м с угловым ускорением  $\varepsilon = At$ , где  $A$  – постоянная. Найти путь  $S$ , пройденный точкой к моменту времени, когда ее тангенциальное и нормальное ускорения станут равными друг другу.

4. Бруск массой  $m_1 = 1$  кг находится на наклонной плоскости с углом наклона к горизонту  $\beta = 45^\circ$ . С какой наименьшей силой, направленной перпендикулярно плоскости, надо прижать бруск, чтобы он находился в покое? Коэффициент трения бруска о плоскость  $\mu = 0,2$ . Принять ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ округлить до целого числа.

5. На экваторе воображаемой планеты тела весят вдвое меньше, чем на полюсе. Определить среднюю плотность вещества планеты, если период ее вращения вокруг оси  $T = 1$  ч 27,5 мин.

6. При выстреле из пушки, находящейся на гладкой горизонтальной поверхности, вылетает снаряд под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. За счет отдачи пушка откатывается назад со скоростью  $V = 1,5$  м/с. Найти скорость  $U$  снаряда сразу после выстрела, если масса пушки  $M = 500$  кг и масса снаряда  $m = 10$  кг.

7. На блок радиусом  $R = 50$  см намотан невесомый и нерастяжимый шнур, к которому привязан груз массой  $m = 10$  кг. Найти момент инерции блока, если известно, что груз опускается с ускорением 2,8 м/с<sup>2</sup>.

8. Человек стоит на вращающейся скамье Жуковского и держит на вытянутых руках гири массой  $m=5$  кг каждая. Расстояние от гирь до оси вращения равно  $r_1=50$  см. Скамья вращается с угловой скоростью  $\omega=5$  рад/с. Как изменится частота вращения, если расстояние от гирь до оси вращения уменьшится до  $r_2=20$  см? Момент инерции скамьи Жуковского с человеком равен  $J=5$  кг·м<sup>2</sup>.

### **Контрольная работа №2 (1час).**

1. Плотность серебра  $\rho = 10,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, молярная масса  $M = 108 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Найти среднее значение объема  $\langle V_{\text{ат}} \rangle$ , занимаемого одним атомом серебра.

2. Найти количество вещества  $V$ , находящееся в железной отливке объемом  $V = 28 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>, если относительная атомная масса железа  $A_{r,\text{Fe}} = 56$  и плотность железа  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

3. Углекислый газ находится при температуре  $T=300$  К. Найти величину давления, при котором плотность газа оказалась бы равной  $\rho = 500$  г/л.

4. Во сколько раз изменится давление двухатомного газа в результате уменьшения его объема в 3 раза и увеличения средней квадратичной скорости его молекул в 2 раза (масса газа не меняется)?

5. Чему равно давление одноатомного газа, если он занимает объем  $10^{-2}$  м<sup>3</sup>, а его внутренняя энергия 900 Дж?

6. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, должна поддерживать в своей камере температуру  $t_1 = -10$  °C при температуре окружающей среды  $t_2 = 20$  °C. Какую работу надо совершить над рабочим веществом машины, чтобы отвести от ее камеры  $Q_2 = 140$  кДж теплоты?

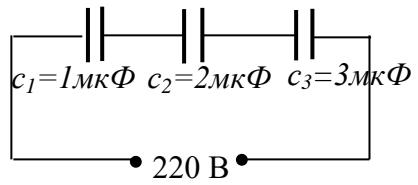
### **Контрольная работа № 3 (2 часа)**

1. Два одинаковых маленьких шарика, имеющих заряды  $q_1 = -0,5$  мКл и  $q_2 = +1$  мКл, приведены в соприкосновение. Затем шарики раздвинуты друг от друга на расстояние  $r = 10$  см. Найти силу взаимодействия между ними.

2. Четыре точечных заряда расположены в вершинах квадрата со стороной  $l$ . Найти напряженность  $E$  и потенциал  $\Phi$  электрического поля в центре квадрата, если  $q_1 = q_2 = q_3 = q$ ,  $q_4 = -q$ . Заряд  $q = 1,0$  мкКл,  $l = 10$  см.

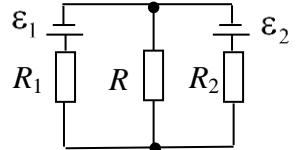
3. На поверхности тонкой среды радиусом  $R$  равномерно распределен отрицательный заряд  $q_1 = -q$ . В центре сферы находится точечный положительный заряд  $q_2 = +q$ . Найти напряженность  $E(r)$  электрического поля как функцию расстояния  $r$  от центра сферы.

4. Три конденсатора (рис.) соединены последовательно и присоединены к источнику напряжения. Найти заряд и напряжение на первом конденсаторе.



5. Конденсатор емкостью  $C_1 = 4 \text{ мкФ}$ , заряженный до напряжения  $U_1 = 26 \text{ В}$ , соединяют параллельно с конденсатором емкостью  $C_2 = 6 \text{ мкФ}$ , заряженным до напряжения  $U_2 = 16 \text{ В}$ , обкладками, имеющими одинаковые по знаку заряды. Определить напряжение на конденсаторах после их соединения.

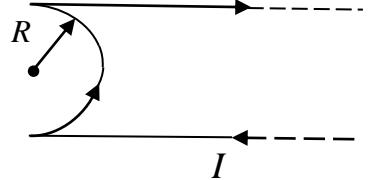
6. Ток на сопротивлении  $R$  за 10 с увеличился по линейному закону от 0 до  $I_0$ . При этом через проводник прошел заряд, равный 10 Кл. Найти ток  $I_0$ .



7. В схеме заданы  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ . Найти: а) величину сопротивления  $R$  (в общем виде), при которой тепловая мощность будет максимальной; б) величину этой мощности. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

#### Контрольная работа № 4 (2 часа)

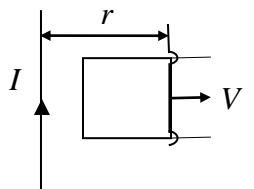
1. Определить индукцию магнитного поля в точке О, если проводник с током  $I$  имеет вид, показанный на рис. Радиусы изогнутых частей проводника считать известными; прямолинейные участки проводника предполагаются очень длинными.



2. Электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Скорость электрона  $V=4 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ , индукция магнитного поля  $B=0,1 \text{ мТл}$ . Определить нормальное, тангенциальное ускорение электрона и радиус кривизны его траектории.

3. По двум параллельным проводам длиной  $l = 1\text{м}$  каждый, находящимся на расстоянии  $d = 2 \text{ см}$ , текут одинаковые токи. Проводники взаимодействуют между собой с силой  $F = 1 \text{ мН}$ . Найти силу тока в проводах.

4. Длинный прямой проводник с током  $I$  и П-образный проводник с подвижной перемычкой расположены в одной плоскости (рис.). Перемычку, длина которой  $l$ , перемещают вправо с постоянной скоростью  $V$ . Найти э.д.с. индукции в контуре как функцию расстояния  $r$ .



5. Виток провода площадью  $S = 50 \text{ см}^2$  замкнут на конденсатор емкостью  $C = 20 \text{ мкФ}$ . Плоскость витка перпендикулярна однородному магнитному полю. Определить скорость изменения магнитного поля, если заряд на конденсаторе равен  $q = 1,0 \text{ нКл}$ .

6. Соленоид сечением  $S = 5 \text{ см}^2$  содержит  $N = 1200$  витков. Индукция магнитного поля внутри соленоида при силе тока  $I = 1 \text{ А}$  равна  $B = 0,01 \text{ Тл}$ . Определить индуктивность соленоида  $L$ .

7. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности  $L = 0,1 \text{ Гн}$  и конденсатора емкостью  $C = 39,5 \text{ мкФ}$ . Заряд конденсатора  $q_m = 3 \text{ мКл}$ . Пренебрегая сопротивлением контура, записать уравнения: 1) изменения силы тока в цепи в зависимости от времени; 2) изменения напряжения на конденсаторе в зависимости от времени.

Полный фонд оценочных средств находится на кафедре «ФТОС».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института ИЯЭиТФ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины  
Б1.В.Од.20 Практикум по физике**

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность: Сети связи и системы коммутации

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2025

Курс 1,

Семестр 1, 2\_\_\_

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20\_\_ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1) .....;

2) .....;

3) .....

Разработчик (и): Виприцкий Д.Д., к.т.н., доцент

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС

\_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**Лист актуализации принят на хранение:**

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС \_\_\_\_\_ «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Методический отдел УМУ: \_\_\_\_\_ «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.