

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ

Рабочая программа дисциплины (модуля)  
**ФИЗИКА**

Направление и направленность (профиль)  
21.03.01 Нефтегазовое дело. Нефтегазовое дело

Год набора на ОПОП  
2022

Форма обучения  
очная

Владивосток 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Физика» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело (утв. приказом Минобрнауки России от 09.02.2018г. №96) и Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. приказом Минобрнауки России от 06.04.2021 г. N245).

Составитель(и):

*Сёмкин С.В., доктор физико-математических наук, профессор, Кафедра информационных технологий и систем, S.Semkin@vvsu.ru*

*Тювеев А.В., кандидат физико-математических наук, доцент, Кафедра информационных технологий и систем, Tyuveev.AV@vvsu.ru*

Утверждена на заседании кафедры информационных технологий и систем от 31.05.2023 , протокол № 9

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой (разработчика)

Кийкова Е.В.

<b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b>	
Сертификат	1575633692
Номер транзакции	0000000000BDDEFE
Владелец	Кийкова Е.В.

## 1 Цель, планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов необходимых знаний основных законов механики, молекулярной физики и термодинамики, электромагнетизма, оптики, атомной и ядерной физики.

Задачи освоения дисциплины состоят в развитии у студентов умения находить наиболее рациональные пути анализа и решения физических задач, имеющих практическое применение, решать задачи эффективности технологических процессов и производств, уменьшения энергопотребления, использовании новых материалов.

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю), являются знания, умения, навыки. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, формируемые в результате изучения дисциплины (модуля)

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине		
			Код результата	Формулировка результата	
21.03.01 «Нефтегазовое дело» (Б-НД)	ОПК-1 : Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания	ОПК-1.2к : использует естественнонаучные методы и модели в технических приложениях, выделяет конкретное содержание в прикладных задачах	РД1	Знание	основных физических явлений, фундаментальных понятий, законов и теорий классической и современной физики, современной научной аппаратуры
			РД2	Умение	самостоятельно анализировать естественнонаучную литературу, использовать физические методы и модели в технических приложениях, выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей деятельности
			РД3	Навык	аналитического и экспериментального исследования основных физических законов и технологических процессов, аппаратурой исследований, терминологией физических законов

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Отнесение дисциплины к обязательной части Блока 1 Дисциплины (модули) учебного плана определяется спецификой и миссией ВВГУ, а также особенностями взаимодействия ВВГУ с рынком труда и региональными требованиями, выраженными в результатах образования и компетенциях.

Входными требованиями, необходимыми для освоения дисциплины, является наличие у обучающихся компетенций, сформированных на предыдущем уровне образования.

### 3. Объем дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу с обучающимися (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Общая трудоемкость дисциплины

Название ОПОП ВО	Форма обучения	Часть УП	Семестр (ОФО) или курс (ЗФО, ОЗФО)	Трудо-емкость (З.Е.)	Объем контактной работы (час)					СРС	Форма аттес-тации	
					Всего	Аудиторная			Внеауди-торная			
				лек.		прак.	лаб.	ПА	КСР			
21.03.01 Нефтегазовое дело	ОФО	Б1.Б	1	4	73	36	36	0	1	0	71	Э

### 4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

#### 4.1 Структура дисциплины (модуля) для ОФО

Тематический план, отражающий содержание дисциплины (перечень разделов и тем), структурированное по видам учебных занятий с указанием их объемов в соответствии с учебным планом, приведен в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Разделы дисциплины (модуля), виды учебной деятельности и формы текущего контроля для ОФО

№	Название темы	Код ре-зультата обучения	Кол-во часов, отведенное на				Форма текущего контроля
			Лек	Практ	Лаб	СРС	
1	Введение. Основы кинематики поступательного и вращательного движений.	РД1, РД2, РД3	3	4	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
2	Динамика поступательного и вращательного движений. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.	РД1, РД2, РД3	3	8	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
3	Общая и специальная теория относительности.	РД1	2	0	0	4	конспект лекций
4	Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первое начало термодинамики.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
5	Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
6	Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
7	Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы

8	Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
9	Магнитные поля в веществе. Электромагнитные колебания. Цепи переменного тока. Уравнения Максвелла.	РД1	2	0	0	5	конспект лекций
10	Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
11	Волны. Уравнение волны. Энергия, перенос энергии волной.	РД1	2	0	0	5	конспект лекций
12	Геометрическая оптика. Волновые свойства света.	РД1, РД2, РД3	2	6	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
13	Квантовая теория излучения. Корпускулярные свойства света.	РД1	2	0	0	4	конспект лекций
14	Тепловое излучение, фотоэффект.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
15	Теория строения атома. Элементы квантовой механики.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
16	Квантовая теория твердых тел. Элементы физики атомного ядра.	РД1	2	0	0	5	конспект лекций
17	Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц. Использование атомной энергии.	РД1, РД2, РД3	2	2	0	4	конспект лекций, отчет о выполнении практической работы
<b>Итого по таблице</b>			<b>36</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>71</b>	

#### 4.2 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля) для ОФО

*Тема 1 Введение. Основы кинематики поступательного и вращательного движений.*

Содержание темы: Введение. Физические основы механики. Кинематика и динамика материальной точки. Скорость и ускорение. Угловая скорость и угловое ускорение.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 2 Динамика поступательного и вращательного движений. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.*

Содержание темы: Динамические характеристики поступательного движения. Сила. Масса. Импульс. Виды сил. Первый закон Ньютона. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Динамические характеристики вращательного движения. Основное уравнение динамики вращательного движения. Закон сохранения момента импульса.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 3 Общая и специальная теория относительности.*

Содержание темы: Общая теория относительности. Специальная теория относительности.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию.

*Тема 4 Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первое начало термодинамики.*

Содержание темы: Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первое начало термодинамики.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 5 Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.*

Содержание темы: Энтропия. Второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 6 Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.*

Содержание темы: Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практической работам.

*Тема 7 Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.*

Содержание темы: Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 8 Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.*

Содержание темы: Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практической работам.

*Тема 9 Магнитные поля в веществе. Электромагнитные колебания. Цепи*

*переменного тока. Уравнения Максвелла.*

Содержание темы: Магнитные поля в веществе. Электромагнитные колебания. Цепи переменного тока. Уравнения Максвелла.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию.

*Тема 10 Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.*

Содержание темы: Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практической работам.

*Тема 11 Волны. Уравнение волны. Энергия, перенос энергии волной.*

Содержание темы: Волны. Уравнение волны. Энергия, перенос энергии волной.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию.

*Тема 12 Геометрическая оптика. Волновые свойства света.*

Содержание темы: Геометрическая оптика. Волновые свойства света.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 13 Квантовая теория излучения. Корпускулярные свойства света.*

Содержание темы: Квантовая теория излучения. Корпускулярные свойства света.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию.

*Тема 14 Тепловое излучение, фотоэффект.*

Содержание темы: Тепловое излучение, фотоэффект.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 15 Теория строения атома. Элементы квантовой механики.*

Содержание темы: Теория строения атома. Элементы квантовой механики.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

*Тема 16 Квантовая теория твердых тел. Элементы физики атомного ядра.*

Содержание темы: Квантовая теория твердых тел. Элементы физики атомного ядра.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные

технологии: лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию.

*Тема 17 Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц. Использование атомной энергии.*

Содержание темы: Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц. Использование атомной энергии.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекция, практическое занятие.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: подготовка к промежуточному тестированию, практическим работам.

## **5 Методические указания для обучающихся по изучению и реализации дисциплины (модуля)**

### **5.1 Методические рекомендации обучающимся по изучению дисциплины и по обеспечению самостоятельной работы**

В ходе изучения дисциплины «Физика» студенты могут посещать аудиторные занятия (лекции, практические занятия, консультации). Особенность изучения дисциплины «Физика» состоит в выполнении комплекса задач, главной задачей которого является приобретение знаний и умений, предназначенных для решения определенного круга профессиональных задач.

Особое место в овладении частью тем данной дисциплины может отводиться самостоятельной работе, при этом во время аудиторных занятий могут быть рассмотрены и проработаны наиболее важные и трудные вопросы по той или иной теме дисциплины, а второстепенные и более легкие вопросы, а также вопросы, специфичные для направления подготовки, могут быть изучены студентами самостоятельно.

В соответствии с учебным планом направления подготовки процесс изучения дисциплины может предусматривать проведение лекций, практических занятий, консультаций, а также самостоятельную работу студентов.

### **5.2 Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

При необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов (по заявлению обучающегося) предоставляется учебная информация в доступных формах с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания, консультации и др.

## **6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**



В соответствии с требованиями ФГОС ВО для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю) созданы фонды оценочных средств. Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 1.

## **7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **7.1 Основная литература**

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц [Электронный ресурс] : Издательство "Лань" , 2019 - 320 - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/123463#book>
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики : Учебники [Электронный ресурс] - Москва : Физматлит , 2014 - 544 - Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=275624](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=275624)
3. Хавруняк, В. Г. Курс физики : учебное пособие / В.Г. Хавруняк. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 400 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/762. - ISBN 978-5-16-006395-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1149108> (дата обращения: 15.05.2024).

### **7.2 Дополнительная литература**

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики : Учебники [Электронный ресурс] - Москва : Физматлит , 2014 - 560 - Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=275610](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=275610)

### **7.3 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы (при необходимости):**

1. Справочно-правовая система «КонсультантПлюс» (<http://www.consultant.ru>).
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/>
3. Электронно-библиотечная система "ZNANIUM.COM"
4. Электронно-библиотечная система издательства "Лань" - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>
5. Open Academic Journals Index (ОАИ). Профессиональная база данных - Режим доступа: <http://oaji.net/>
6. Президентская библиотека им. Б.Н.Ельцина (база данных различных профессиональных областей) - Режим доступа: <https://www.prlib.ru/>

## **8 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения**

### Основное оборудование:

- Мультимедийный комплект №2 в составе:проектор Casio XJ-M146,экран 180\*180,крепление потолочное
- Система аудиовизуального представления информации

Программное обеспечение:

- Microsoft Office Professional Plus 2013 Russian
- Microsoft Windows Professional 7 Russian

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ

Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля  
и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**ФИЗИКА**

Направление и направленность (профиль)  
21.03.01 Нефтегазовое дело. Нефтегазовое дело

Год набора на ОПОП  
2022

Форма обучения  
очная

Владивосток 2023

## 1 Перечень формируемых компетенций

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции
21.03.01 «Нефтегазовое дело» (Б-НД)	ОПК-1 : Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания	ОПК-1.2к : использует естественнонаучные методы и модели в технических приложениях, выделяет конкретное содержание в прикладных задачах

Компетенция считается сформированной на данном этапе в случае, если полученные результаты обучения по дисциплине оценены положительно (диапазон критериев оценивания результатов обучения «зачтено», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). В случае отсутствия положительной оценки компетенция на данном этапе считается несформированной.

## 2 Показатели оценивания планируемых результатов обучения

**Компетенция ОПК-1 «Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания»**

Таблица 2.1 – Критерии оценки индикаторов достижения компетенции

Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине			Критерии оценивания результатов обучения
	Код результата	Тип результата	Результат	
ОПК-1.2к : использует естественнонаучные методы и модели в технических приложениях, выделяет конкретное содержание в прикладных задачах	РД1	Знание	основных физических явлений, фундаментальных понятий, законов и теорий классической и современной физики, современной научной аппаратуры	Сформировавшееся систематическое знание основных физических явлений, фундаментальных понятий, законов и теорий классической и современной физики, современной научной аппаратуры
	РД2	Умение	самостоятельно анализировать естественнонаучную литературу, использовать физические методы и модели в технических приложениях, выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей деятельности	Сформировавшееся систематическое умение самостоятельно анализировать естественнонаучную литературу, использовать физические методы и модели в технических приложениях, выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей деятельности
	РД3	Навык	аналитического и экспериментального исследования основных физических законов и технологических процессов, аппаратурой исследований, терминологией физических законов	Сформировавшееся систематическое владение аналитическим и экспериментальным исследованием основных физических законов и технологических процессов, аппаратурой и исследований, терминологией физических законов

Таблица заполняется в соответствии с разделом 1 Рабочей программы дисциплины (модуля).

### 3 Перечень оценочных средств

Таблица 3 – Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)

Контролируемые планируемые результаты обучения	Контролируемые темы дисциплины	Наименование оценочного средства и представление его в ФОС		
		Текущий контроль	Промежуточная аттестация	
Очная форма обучения				
РД1	Знание : основных физических явлений, фундаментальных понятий, законов и теорий классической и современной физики, современной научной аппаратуры	1.1. Введение. Основы кинематики поступательного и вращательного движений.	Конспект	Тест
		1.2. Динамика поступательного и вращательного движений. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.	Конспект	Тест
		1.3. Общая и специальная теория относительности.	Конспект	Тест
		1.4. Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первое начало термодинамики.	Конспект	Тест
		1.5. Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.	Конспект	Тест
		1.6. Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.	Конспект	Тест
		1.7. Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.	Конспект	Тест
		1.8. Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.	Конспект	Тест

		1.9. Магнитные поля в веществе. Электромагнитные колебания. Цепи переменного тока. Уравнения Максвелла.	Конспект	Тест
		1.10. Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.	Конспект	Тест
		1.11. Волны. Уравнение волны. Энергия, перенос энергии волной.	Конспект	Тест
		1.12. Геометрическая оптика. Волновые свойства света.	Конспект	Тест
		1.13. Квантовая теория излучения. Корпускулярные свойства света.	Конспект	Тест
		1.14. Тепловое излучение, фотоэффект.	Конспект	Тест
		1.15. Теория строения атома. Элементы квантовой механики.	Конспект	Тест
		1.16. Квантовая теория твердых тел. Элементы физики атомного ядра.	Конспект	Тест
		1.17. Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц. Использование атомной энергии.	Конспект	Тест
РД2	Умение : самостоятельно анализировать естественнонаучную литературу, использовать физические методы и модели в технических приложениях, выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей деятельности	1.1. Введение. Основы кинематики поступательного и вращательного движений.	Практическая работа	Практическая работа
		1.2. Динамика поступательного и вращательного движений. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.	Практическая работа	Практическая работа
		1.4. Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первоначало термодинамики.	Практическая работа	Практическая работа
		1.5. Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.	Практическая работа	Практическая работа
		1.6. Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.	Практическая работа	Практическая работа

		1.7. Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.	Практическая работа	Практическая работа
		1.8. Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.	Практическая работа	Практическая работа
		1.10. Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.	Практическая работа	Практическая работа
		1.12. Геометрическая оптика. Волновые свойства света.	Практическая работа	Практическая работа
		1.14. Тепловое излучение, фотоэффект.	Практическая работа	Практическая работа
		1.15. Теория строения атома. Элементы квантовой механики.	Практическая работа	Практическая работа
		1.17. Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц. Использование атомной энергии.	Практическая работа	Практическая работа
РДЗ	Навык : аналитического и экспериментального и следования основных физических законов и технологических процессов, аппаратурой исследований, терминологией физических законов	1.1. Введение. Основы кинематики поступательного и вращательного движений.	Практическая работа	Практическая работа
		1.2. Динамика поступательного и вращательного движений. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.	Практическая работа	Практическая работа
		1.4. Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первое начало термодинамики.	Практическая работа	Практическая работа
		1.5. Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.	Практическая работа	Практическая работа
		1.6. Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.	Практическая работа	Практическая работа
		1.7. Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.	Практическая работа	Практическая работа

		1.8. Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.	Практическая работа	Практическая работа
		1.10. Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.	Практическая работа	Практическая работа
		1.12. Геометрическая оптика. Волновые свойства света.	Практическая работа	Практическая работа
		1.14. Тепловое излучение, фотоэффект.	Практическая работа	Практическая работа
		1.15. Теория строения атома. Элементы квантовой механики.	Практическая работа	Практическая работа
		1.17. Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц. Использование атомной энергии.	Практическая работа	Практическая работа

#### 4 Описание процедуры оценивания

Качество сформированности компетенций на данном этапе оценивается по результатам текущих и промежуточных аттестаций при помощи количественной оценки, выраженной в баллах. Максимальная сумма баллов по дисциплине (модулю) равна 100 баллам.

Вид учебной деятельности	Оценочное средство			
	Конспект лекций	Тестовые задания	Отчеты по практическим работам	Итого
Лекции	10	10		20
Практические занятия			40	40
Промежуточная аттестация		30		30
Самостоятельная работа			10	10
Итого	10	40	50	100

Сумма баллов, набранных студентом по всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины, переводится в оценку в соответствии с таблицей.

Сумма баллов по дисциплине	Оценка по промежуточной аттестации	Характеристика качества сформированности компетенции
от 91 до 100	«зачтено» / «отлично»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, умеет свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, свободно оперирует приобретенными знаниями и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
от 76 до 90	«зачтено» / «хорошо»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
от 61 до 75	«зачтено» / «удовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков по некоторым дисциплинарным компетенциям, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.



от 41 до 60	«не зачтено» / «неудовлетворительно»	У студента не сформированы дисциплинарные компетенции, проявляется недостаточность знаний, умений, навыков.
от 0 до 40	«не зачтено» / «неудовлетворительно»	Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний, умений, навыков.

## **5 Примерные оценочные средства**

### **5.1 Конспект лекции**

Конспект учебного материала в ходе лекционных занятий в соответствии с общими и утвердившимися в практике правилами и приемами конспектирования лекций по всем лекционным темам (основные ключевые слова и понятия)

#### **1. Кинематика. Основные понятия.**

Материальная точка и абсолютно твердое тело.

Кинематика материальной точки (траектория, перемещение, скорость, ускорение).

Относительность движения. Закон сложения скоростей.

Кинематика движения точки по окружности. Нормальное и тангенциальное ускорения

#### **2. Динамика поступательного и вращательного движений. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.**

Динамика. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона. Фундаментальные взаимодействия.

Масса. Импульс частицы и системы частиц. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса.

Силы в механике (сила тяжести, сила трения, сила упругости). Центр масс системы частиц. Теорема о движении центра масс.

Кинетическая энергия. Работа силы. Мощность. Работа сил трения. Работа силы тяжести. Работа сил упругости.

Потенциальная энергия. Связь силы и потенциальной энергии. Закон сохранения энергии. Условие равновесия механической системы.

Соударение двух тел. Абсолютно неупругий удар. Абсолютно упругий удар.

Закон сохранения момента импульса. Природа законов сохранения.

Статика. Условия равновесия твердого тела.

Движение в центральном поле. Секториальная скорость. Интегрирование уравнений движения. Траектория движения в центральном поле.

Задача двух тел.

Движение твердого тела. Плоское движение. Движение центра инерции твердого тела.

Вращение вокруг неподвижной оси. Момент инерции. Основное уравнение динамики вращения.

Главные оси и моменты инерции. Вычисление моментов инерции. Теорема Штейнера о переносе оси. Тензор инерции.

Механика сплошных сред и гидродинамика. Поле скоростей и линии тока. Трубки тока. Теорема о неразрывности струи.

Уравнение Бернулли. Истечение жидкости из отверстия.

Силы внутреннего трения. Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

Течение жидкости в круглой трубе. Движение тел в жидкостях и газах. Подъемная сила.

Общие сведения о колебаниях. Малые колебания. Колебания с затуханием.

Вынужденные колебания. Дифференциальные уравнения колебаний.

Гармонические колебания. Математический маятник.

Физический маятник.

#### **3. Общая и специальная теория относительности.**

Принцип относительности Галилея. Опыт Майкельсона-Морли. Специальная теория относительности.

Преобразования Лоренца. Сокращение длины. Замедление времени.

#### **4. Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первое начало термодинамики.**

Статистическая физика и термодинамика. Масса и размеры молекул. Состояние системы. Процесс. Внутренняя энергия системы. Первое начало термодинамики. Работа при изменении объема. Температура. Уравнение состояния идеального газа. Внутренняя энергия и теплоемкость. Основные газовые законы. Уравнение Ван дер Ваальса. Уравнение адиабаты. Барометрическая формула. Введение в теорию вероятностей. Случайные величины с непрерывным спектром. Характер теплового движения молекул. Телесный угол. Число ударов молекул о стенку. Давление газа на стенку. Средняя энергия молекул. Теорема о равномерном распределении энергии. Число степеней свободы молекулы. Распределение Максвелла. Средняя скорость. Наиболее вероятная скорость. Макро и микросостояния. Статистический вес. Энтропия.

#### **5. Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.**

Основные законы термодинамики. Первое начало термодинамики. Тепловые машины. Коэффициент полезного действия. Холодильная машина. Холодильный коэффициент. Второе начало термодинамики. Цикл Карно.

#### **6. Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.**

Электрические заряды и их свойства. Закон Кулона. Электрическое поле в вакууме. Напряженность поля. Линии напряженности электростатического поля. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гаусса и применение ее для расчета поля. Потенциал. Работа сил поля при перемещении зарядов. Циркуляция вектора  $E$ . Потенциальный характер электростатического поля. Связь потенциала и напряженности поля. Эквипотенциальные поверхности. Принцип суперпозиции. Вычисление поля диполя. Студенческие работы: Диполь во внешнем однородном и неоднородном поле. Экспериментальное определение заряда электрона. Распределение зарядов в проводнике. Напряженность поля вблизи поверхности проводника. Проводники во внешнем электростатическом поле. Электростатическая защита. Метод зеркальных изображений. Электростатический генератор Ван де Граафа. Емкость уединенного проводника, конденсатора. Соединение конденсаторов. Свободные и связанные заряды. Полярные и неполярные молекулы. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Вектор электрического смещения. Теорема Остроградского-Гаусса для поля в диэлектрике. Энергия и плотность энергии электрического поля. Сегнетоэлектрики. Электреты. Пьезоэлектричество. Энергия системы неподвижных зарядов, заряженного проводника, заряженного конденсатора.

#### **7. Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.**

Электрический ток. Сила и плотность тока.  
Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводника. Дифференциальная форма закона Ома.  
Сторонние силы. Электродвижущая сила. Закон Ома для замкнутой цепи.  
Работа и мощность в цепи постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме.  
Разветвление цепи. Правило Кирхгофа.  
Природа тока в металлах. Опыт Манделъштама и Папалекси, Топмена и Стюарта.  
Классическая теория электропроводности металлов и вывод из нее закона Ома и Джоуля-Ленца.  
Собственная и примесная проводимость полупроводников, ее зависимость от температуры и освещенности. Термо- и фотосопротивления.  
Работа выхода электронов из металлов. Термоэлектронная эмиссия. Ток в вакууме. Диод. Триод.  
Контактная разность потенциалов в металлах. Закон Вольты. Термоэлектрические явления.  
Контактные явления в полупроводниках. Полупроводниковые диоды и транзисторы.  
Электропроводность электролитов. Закон Ома для электролитов.  
Электролиз. Закон Фарадея.  
Гальванические элементы. Поляризация гальванических элементов. Деполяризация. Аккумуляторы.  
Ионизация газов. Движение ионов в газах. Ионизация и рекомбинация. Ток в газах. Виды разрядов (тлеющий, дуговой, искровой, коронный). Использование газовых разрядов в технике.

#### **8. Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.**

Магнитное взаимодействие токов. Сила Ампера.  
Магнитная индукция. Линии магнитной индукции. Вихревой характер магнитного поля.  
Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитного поля прямого и кругового тока.  
Циркуляция вектора  $\mathbf{B}$ . Закон полного тока и его применение к расчету магнитного соленоида.  
Контур с током в магнитном поле. Магнитный момент тока.  
Действие электрического и магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.  
Определение удельного заряда электрона.  
Эффект Холла и его применение.  
Магнитный поток. Теорема Гаусса для магнитного поля.  
Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца.  
Самоиндукция. Индуктивность проводника.  
Работа силы Ампера. Энергия и плотность энергии магнитного поля.

#### **9. Магнитные поля в веществе. Электромагнитные колебания. Цепи переменного тока. Уравнения Максвелла.**

Магнетики. Магнитное поле в магнетиках.  
Диа-, пара-, ферромагнетизм. Особенности ферромагнетиков.  
Переменный ток. Параметры переменного тока.  
Цепь переменного тока, содержащая  $R, L$ .  
Цепь переменного тока, содержащая  $R, C$ .  
Цепь переменного тока, содержащая  $R, L, C$ . Закон Ома для цепей переменного тока.  
Резонанс в последовательной и параллельной цепи.

Работа и мощность переменного тока. Проблема передачи электроэнергии на расстоянии.  
Трансформаторы.  
Вихревое электрическое поле. Ток смещения.  
Уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной форме.

#### **10. Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.**

Гармонические колебания и их характеристики. Гармонический осциллятор.  
Квазиупругие силы.  
Механические гармонические колебания. Решение дифференциального уравнения свободных гармонических колебаний. Амплитуда, период, частота и фаза колебаний.  
Механические гармонические колебания. Скорость и ускорение механических гармонических колебаний. Закон превращения энергии механических колебаний.  
Максимальное и среднее значение механической энергии при свободных гармонических колебаниях. Графическое представление колебаний.  
Математический и пружинный маятники.  
Физический маятник. Приведенная длина физического маятника. Обратный маятник.  
Метод векторных диаграмм в теории колебаний.  
Биения. Графическое представление биений.  
Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу.  
Метод комплексных чисел в теории колебаний.  
Затухающие механические колебания. Решение дифференциального уравнения затухающих гармонических колебаний. Физический смысл коэффициента затухания.  
Декремент и логарифмический декремент затухания.  
Вынужденные механические колебания. Решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний (частное решение уравнения получить с помощью метода векторных диаграмм).  
Резонанс в механической системе. Добротность колебательной системы. Полуширина резонансной кривой. Применение резонанса.  
Бифилярный и трифилярный подвесы.  
Автоколебания. Параметрический резонанс.  
Колебания связанных систем.  
Нелинейные колебания.

#### **11. Волны. Уравнение волны. Энергия, перенос энергии волной.**

Механические (упругие) волны.  
Фазовая скорость. Групповая скорость.  
Интерференция волн.  
Стоячие волны. Вывод уравнения стоячей волны.  
Акустические колебания. Звук. Скорость звука. Строение уха человека. Интенсивность звука. Громкость звука. Высота и тембр звука. Уровень шума.  
Характеристика звукового поля.  
Энергия упругой волны. Среднее значение энергии за период. Поток энергии. Плотность потока энергии.  
Ультразвук. Физические основы применения ультразвука.  
Эффект Доплера в акустике.  
Свободные гармонические колебания в колебательном контуре. Решение дифференциального уравнения свободных колебаний. Аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями.  
Свободные затухающие колебания в колебательном контуре.  
Вынужденные электромагнитные колебания.  
Явление резонанса в электромагнитном контуре. Резонанс напряжений.  
Явление резонанса в электромагнитном контуре. Резонанс токов.

Краткая характеристика скалярных и векторных полей.  
Система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной форме.  
Экспериментальное доказательство существования электромагнитных волн. Опыты Герца. Шкала электромагнитных волн. Способы их возбуждения и регистрации.  
Существование электромагнитных волн. Свойства плоских электромагнитных волн.  
Энергия электромагнитной волны.  
Переменный ток. Активное, индуктивное и емкостное сопротивления в цепи переменного тока.

## 12. Геометрическая оптика. Волновые свойства света.

Предмет оптики. Понятие о геометрической, физической и физиологической оптике.  
Электромагнитная природа света.  
Эволюция представлений о природе света.  
Электромагнитные волны различных диапазонов. Электромагнитная природа света.  
Способы возбуждения и регистрации электромагнитных волн, инерционность приемников света.  
Геометрическая оптика. Границы применимости геометрической оптики. Принцип Ферма. Вывод законов отражения и преломления света из принципа Ферма. Полное внутреннее отражения. Миражи. Волоконная оптика.  
Преломление на одной сферической поверхности. Инвариант Аббе. Построение изображений. Теорема Лагранжа-Гельмгольца.  
Линза. Тонкая линза. Преломление в линзах. Общая формула линзы. Кардинальные точки и плоскости линзы. Оптическая сила линзы. Собирающие и рассеивающие линзы.  
Поперечное увеличение линз.  
Общие свойства центрированных оптических систем. Кардинальные точки и плоскости. Основные формулы центрированной оптической системы. Угловое увеличение.  
Сложение центрированных оптических систем. Положение фокусов и главных плоскостей системы.  
Расчет положения фокусов и главных плоскостей толстой линзы.  
Расчет положения фокусов и главных плоскостей системы, состоящей из двух тонких линз, находящихся на конечном расстоянии друг от друга.  
Геометрические погрешности оптической системы: сферическая аберрация; искажения, связанные с наклонными лучами (астигматизм, искривление плоскости изображения, дисторсия); астигматизм, связанный с асимметрией системы.  
Хроматическая аберрация. Ахроматизация линз. Апохроматы. Ахроматические призмы. Сложные спектральные призмы и призмы прямого зрения.  
Оптические инструменты. Диафрагма. Апертурная диафрагма, входные и выходные зрачки. Яркость и освещенность оптического изображения. Относительное отверстие и светосила объектива. Нормальное увеличение.  
Глаз как оптическая система. Строение глаза, аккомодация, дальняя и ближняя точки глаза. Близорукость и дальнозоркость. Очки, дневное и сумеречное зрение. Разрешающая способность глаза.  
Оптические инструменты. Лупа, микроскоп. Увеличение лупы и микроскопа.  
Оптические инструменты. Зрительная труба Кеплера и Галилея. Бинокли. Телескопы (рефлекторы и рефракторы).  
Оптические инструменты. Фотоаппарат. Проекционный аппарат. Дифракционная природа изображений. Разрешающая способность микроскопа и телескопа.  
Энергетический поток излучения. Интенсивность э. м. волны. Энергетическая освещенность. Энергетическая яркость. Ламбертовы источники. Энергетическая светимость. Связь между светимостью и яркостью ламбертовых источников.

Фотометрия. Световой поток. Сила света. Эталон силы света. Точечный источник света. Сила света изотропного точечного источника. Световая освещенность. Световая яркость и светимость.

Понятие о спектральной плотности физической величины. Кривая относительной спектральной чувствительности глаза (функция видности). Переход от энергетических величин к световым и обратно. Механический эквивалент света и световой эквивалент излучения.

Интерференция света. Интенсивность. Интерференция монохроматического света. Невозможность наблюдения интерференции от объемных источников света. Условия  $\max$  и  $\min$  интерференции. Ширина интерференционных полос.

Временная когерентность. Функция видности полос Майкельсона. Длина когерентности. Пространственная когерентность,

Двулучевые интерференционные схемы: опыты Юнга, зеркала Френеля, бипризма Френеля, зеркало Ллойда, опыты Поля. Ширина и число наблюдаемых интерференционных полос.

Интерференция света в тонких пластинах в отраженном и проходящем свете, интерференционные полосы равного наклона и равной толщины. Кольца Ньютона.

Интерферометры. Интерферометр Жамена и его практическое и применение (интерференционный рефрактометр). Интерферометр Майкельсона. Применение интерферометров для измерения малых углов, малых изменений длин (интерференционный дилатометр) и исследования качества поверхностей. Просветление оптики.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля.

Дифракция Френеля от круглого отверстия, круглого диска, от прямолинейного края полуплоскости. Дифракции Фраунгофера и Френеля,

Дифракция Фраунгофера на щели.

Дифракционная решетка. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Угловая дисперсия и разрешающая способность.

Дифракция рентгеновских лучей. Условие Вульфа-Брегга. Понятие о рентгеновской спектроскопии и рентгеноструктурном анализе.

Поперечность электромагнитных волн. Естественный и поляризованный свет.

Плоскополяризованный свет. Свет, поляризованный по эллипсу и кругу. Частично поляризованный свет. Степень поляризации. Поляризатор и анализатор. Закон Малюса.

Поляризация при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков. Формулы Френеля. Закон Брюстера.

Поляризация при двойном лучепреломлении. Объяснение механизма двойного лучепреломления. Одноосные и двухосные кристаллы. Построение Гюйгенса.

Интерференция поляризованных лучей. Прохождение света через плоскополяризованную пластинку. Компенсаторы. Кристаллическая пластинка между двумя поляризаторами.

Искусственное двойное лучепреломление под влиянием механической деформации.

Метод фотоупругого анализа. Двойное лучепреломление в электрическом поле (эффект Керра). Ячейка Керра. Двойное лучепреломление в магнитном поле (эффект Коттона-Мутона).

Поляризационные приборы. Призма Николя. Призма Волластона. Приспособления, основанные на явлении дихроизма. Поляризационный микроскоп.

Естественное вращение плоскости поляризации в кристаллических и жидких веществах.

Право- и левовращающие вещества. Сахариметр. Магнитное вращение плоскости поляризации.

Нормальная и аномальная дисперсия света. Классическая теория дисперсии света. Фазовая и групповая скорости. Эффект Вавилова-Черенкова.

### **13. Квантовая теория излучения. Корпускулярные свойства света.**

Спектры испускания и поглощения, линейчатые, полосатые и сплошные спектры. Призмённые спектроскопы и спектрографы (на примере монохроматора УМ-2 и спектрографа ИСП-51). Цвета тел. Радуга. Спектральный анализ и его виды. Рассеяние света (геометрическое, рэлеевское и дифракционное). Цвета неба и зорь. Понятие о молекулярном и комбинационном рассеянии света. Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта. Оптика движущихся сред и проблема эфира. Опыт Физо. Опыт Майкельсона-Морли. Скорость света. Опыт Галилея. Астрономические методы определения скорости света (метод Ремера, метод Бредли). Лабораторные методы определения скорости света (метод прерываний Физо, метод вращающегося зеркала Фуко и Майкельсона).

### **14. Тепловое излучение, фотоэффект**

Тепловое излучение и его характеристики. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и смещения Вина. Формулы Рэлея-Джинса и Планка. Давление света. Эффект Комптона. Фотоэффект и его закономерности.

### **15. Теория строения атома. Элементы квантовой механики.**

Гипотеза де Бройля. Опыты Дэвиссона и Джермера. Волновые свойства микро- и макрочастиц. Состояние микрочастицы. Принцип неопределенности Гейзенберга. Волновая функция. Физический смысл волновой функции. Временное уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Собственные состояния. Собственные функции. Частица в потенциальной яме. Разрешенные значения энергии, волновые функции. Потенциальный барьер. Туннельный эффект. Потенциальный барьер произвольной формы. Гармонический осциллятор. Нулевая энергия. Правила отбора. Развитие атомистических представлений. Модель атома Томсона. Модель атома Резерфорда. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Теория атома Бора. Атом водорода в квантовомеханической теории. Квантовые числа. Вырождение уровней. Классификация состояний электрона по орбитальному квантовому числу. Правила отбора. Серии излучения. Механический и магнитный моменты электрона. Спин электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Механический и магнитный моменты многоэлектронного атома. Эффект Зеемана. Принцип неразличимости тождественных частиц. Понятие о симметричных и антисимметричных волновых функциях, бозонах и фермионах. Принцип Паули. Периодическая система элементов Менделеева. Природа рентгеновских спектров. Закон Мозли.

### **16. Квантовая теория твердых тел. Элементы физики атомного ядра.**

Вынужденное излучение. Оптические квантовые генераторы. Квантовая статистика Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Уровень Ферми. Вырожденный электронный газ.



Квантовая теория теплоемкости кристаллической решетки.  
 Основы квантовой теории электропроводности металлов.  
 Сверхпроводимость. Куперовские пары. Фононы. Эффект Мейснера. Эффект Джозефсона.  
 Энергетические зоны в кристаллах. Валентная зона и зона проводимости. Заполнение зон: металлы, диэлектрики, полупроводники.  
 Собственная проводимость полупроводников. Электроны и дырки в зонах.  
 Примесная проводимость. Примесные зоны. Электронные и дырочные полупроводники.  
 Контактная разность потенциалов.  
 Термоэлектрические явления (эффекты Зеебека, Пельтье, Томсона).  
 Фотопроводимость полупроводников.  
 Контакт металл-полупроводник.

### 17. Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц.

Строение атомных ядер. Массовое и зарядовое числа. Нуклоны.  
 Дефект массы и энергия связи ядра.  
 Взаимодействие нуклонов, свойства и природа ядерных сил.  
 Модели ядра: капельная, оболочечная.  
 Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада.  
 $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -распад.  
 Ядерные реакции и законы сохранения.  
 Виды взаимодействий и классы элементарных частиц. Взаимопревращаемость элементарных частиц. Кварки. Космические лучи.

#### *Краткие методические указания*

Конспектирование лекций ведется в специально отведенной для этого тетради, каждый лист которой должен иметь поля, на которых делаются пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.

Необходимо записывать тему и план лекции, рекомендуемую литературу к теме. Записи разделов лекции должны иметь заголовки, подзаголовки, красные строки. Для выделения разделов, выводов, определений, основных идей можно использовать цветные карандаши и фломастеры.

Названные в лекции ссылки на первоисточники надо пометить на полях, чтобы при самостоятельной работе найти и вписать их.

В конспекте дословно записываются определения понятий, категорий и законов. Остальное должно быть записано своими словами. Каждому студенту необходимо выработать и использовать допустимые сокращения наиболее распространенных терминов и понятий.

В конспект следует заносить всё, что преподаватель пишет на доске, а также рекомендуемые схемы, таблицы, диаграммы и т. д..

#### *Шкала оценки*

Оценка	Баллы	Описание
5	8-10	Студент демонстрирует полный конспект лекций с пропуском не более 10% материала
4	6-7	Студент демонстрирует конспект лекций с пропуском более 25% материала
3	3-5	Студент демонстрирует конспект лекций с пропуском более 50% материала
2	1-2	Студент демонстрирует конспект лекций без более 75% материала
1	0	Конспект у студента отсутствует.

### 5.2 Примеры тестовых заданий

1. 3
2. 1
3. 2

4. 3  
 5. 4  
 6. 3  
 7. 2  
 8. 4  
 9. 2  
 10. 4  
 11. 3  
 12. 3  
 13. 4  
 14. 3  
 15. 2  
 16. 1  
 17. 4  
 18. 3  
 19. 4  
 20. 4

21.	$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{r}}{\Delta t} = \frac{d\bar{r}}{dt}$
22.	$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$
23.	$\varphi_z = \varphi_{0z} + \omega_z t + \frac{\varepsilon_z t^2}{2}$
24.	$A = \int_{(1)}^{(2)} F dS \cos \alpha$
25.	<p>Момент инерции материальной точки (относительно данной оси) J – скалярная физическая величина, равная произведению массы материальной точки на квадрат расстояния от материальной точки до данной оси.</p>

26.	Два произвольно выбранных тела во Вселенной взаимодействуют (притягиваются) с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.
27.	$\vec{F}_ц = m\omega^2\vec{R}$
28.	$v_{cp} = \frac{\Delta S_{общ}}{\Delta t_{общ}}$
29.	$a_n = \omega^2 R$
30.	Первый закон Ньютона (закон инерции): всякое тело сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит изменить его это состояние.
31.	Абсолютно упругий удар – удар без остаточных деформаций и потерь механической энергии. Абсолютно неупругий удар – когда после столкновения тела объединяются и дальше двигаются как целое тело.
32.	Первая: для движения по орбите $v_1 = \sqrt{gR_0}$ Вторая: для преодоления притяжения Земли $v_2 = \sqrt{2gR_0}$
33.	Свойство жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой
34.	$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}$
35.	$\omega = \frac{2\pi}{T}$
36.	Тела взаимодействуют с силами, равными по модулю, но противоположными по направлению
37.	Механическая энергия системы тел, определяемая их взаимным расположением и характером сил взаимодействия между ними.
38.	$E_k = \frac{J_z \omega^2}{2}$
39.	$\vec{F}_k = 2m[\vec{\omega} \times \vec{V}]$
40.	$\begin{cases} x = x' + u_x t, \\ y = y' + u_y t, \\ z = z' + u_z t. \end{cases}$
41.	$v_x = v_{0x} + a_x t$
42.	$\varphi_z = \varphi_{0z} + \omega_z t + \frac{\varepsilon_z t^2}{2}$

43.	Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления, с которой одно тело действует на другое: $F = \mu N$
44.	В системе тел с консервативными силами полная механическая энергия сохраняется: $E_k + E_{\text{п}} = \text{const}$
45.	$F = kx$
46.	$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const}$
47.	$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
48.	Характеризует энергетическое состояние термодинамической системы и определяет направления теплообмена.
49.	Газ, в котором можно пренебречь размерами молекул и их взаимодействием между собой, все их столкновения абсолютно упруги.
50.	<b><math>pV = \text{const}</math></b>
51.	Моль любого газа занимает объём 22,41 м <sup>3</sup> .
52.	Давление смеси газов равно сумме парциальных давлений каждого газа.
53.	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
54.	$pV = \frac{m}{M} RT$
55.	$p = \frac{1}{3} nm_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2$
56.	$f(v) = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-m_0 v^2 / (2kT)}$
57.	$p_2 = p_1 e^{-Mg(h_2 - h_1) / (RT)}$
58.	$\langle l \rangle = 1 / (\sqrt{2} \pi d^2 n)$
59.	$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$
60.	$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle$
61.	$\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$
62.	Три поступательные степени свободы не имеют преимущества между собой и на каждую приходится одинаковая энергия $\langle \epsilon_i \rangle = \frac{\langle \epsilon_0 \rangle}{3} = \frac{1}{2} kT$
63.	$\Delta U = Q - A$

64.	$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$
65.	$C_V = \frac{dU_m}{dT}$
66.	$C_p = \frac{i+2}{2} R$
67.	$\delta A = p dV = 0$
68.	$A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$
69.	$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$
70.	$A = -\frac{m}{M} C_V \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2)$
71.	$\frac{\delta Q}{T} = dS$
72.	Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача тепла от менее нагретого тела более нагретому.
73.	Из всех периодически действующих тепловых машин, имеющих одинаковые температуры нагревателей и холодильников, наибольшим КПД обладают обратимые машины, при этом КПД обратимых машин, работающих при одинаковых температурах нагревателей и холодильников, равны друг другу и не зависят от природы рабочего тела, а определяются только температурами нагревателя и холодильника.
74.	$\left( p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT$
75.	$U = \nu \left( C_V T - \frac{a}{V_m} \right)$
76.	$\sigma = \frac{dF}{dl}$
77.	$Q = rm$
78.	$Q = \lambda m$
79.	$F = k \frac{ Q_1   Q_2 }{r^2}$
80.	Е– векторная физическая величина, определяемая силой, действующей со стороны поля на пробный единичный положительный заряд, помещенный в

	данную точку поля.
81.	$\Phi_{\vec{E}} = \int_{(S)} \vec{E} d\vec{S} = \int_{(S)} E dS \cos \alpha$
82.	$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$
83.	$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Ql}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3}$
84.	$\oint_{(S)} \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n Q_i$
85.	$\varphi = k \frac{Q}{r}$
86.	$\vec{E} = -\nabla \varphi = -\text{grad } \varphi$
87.	$\epsilon = E_0 / E$
88.	$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$
89.	$C = \frac{Q}{\Delta\varphi}$
90.	$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$
91.	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$
92.	$W = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{Q\Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}$
93.	$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V$
94.	$j = \frac{dq}{dt dS_{\perp}} = \frac{dI}{dS_{\perp}}$
95.	$I = \frac{U_{12}}{R + r}$
96.	$P = \frac{dA}{dt} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$

	$dA = IUdt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt$
97.	$\sum_n I_n R_n = \sum_m \varepsilon_m \quad \sum_k I_k = 0$
98.	$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 + \mathbf{B}_3 + \dots$
99.	$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} I \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$
100.	$d\vec{F}_A = I [d\vec{l} \times \vec{B}]$
101.	$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}$
102.	$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} Q \frac{[\vec{v} \times \vec{r}]}{r^3}$
103.	$\vec{F}_\Pi = Q [\vec{v} \times \vec{B}]$
104.	Циркуляция вектора $\mathbf{B}$ по произвольному замкнутому контуру равна произведению магнитной постоянной $\mu_0$ на алгебраическую сумму токов, охватываемых этим контуром.
105.	$B = \mu_0 \mu \frac{N}{l} I$
106.	$\Phi_{\vec{B}} = \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S}$
107.	$\oint_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$
108.	$dA = I d\Phi$
109.	$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}$
110.	$W = \frac{LI^2}{2}$
111.	$\oint_L \left( \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{j} \right) d\vec{l} = I$

112.	$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I$
113.	Колебаниями называется такое движение, при котором тело многократно проходит одно и то же устойчивое положение равновесия. Если при этом оно возвращается в исходное положение через равные промежутки времени, то такие колебания называют периодическими.
114.	$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$
115.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
116.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
117.	$m\ddot{x} = -kx$
118.	$\ddot{x} + \frac{g}{l}x = 0$
119.	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
120.	$\ddot{Q} + \frac{1}{LC}Q = 0$
121.	$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x}$
122.	$\Theta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{T}{\tau}$
123.	$Q = Q_m e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi)$
124.	$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x} + F_0 \cos \omega t$
125.	$\ddot{Q} + 2\delta\dot{Q} + \omega_0^2 Q = \frac{U_m}{L} \cos \omega t$
126.	$R_L = \omega L$
127.	$R_C = \frac{1}{\omega C}$
128.	$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$
129.	$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$



130.	$\langle P \rangle = IU \cos \varphi$
131.	Процесс распространения колебаний в упругой среде.
132.	$\lambda = vT$
133.	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
134.	$\xi(x, t) = A \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0\right]$
135.	$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$
136.	$I = \frac{W}{St}$
137.	$c_3 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$
138.	Изменение частоты колебаний, воспринимаемых приемником, при движении источника и приемника друг относительно друга.
139.	$\Delta \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$ $\Delta \vec{H} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$
140.	$\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}]$
141.	Отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром к границе в точке падения, угол падения равен углу отражения.
142.	Угол падения света на поверхность связан с углом преломления соотношением $\sin i_1 / \sin i_2 = n_{21}$
143.	$n = c/v$
144.	$\Phi = \frac{1}{f} = (N-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$
145.	$\Phi_e = \frac{W}{t}$
146.	$I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$
147.	$\Delta = \pm m\lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$

148.	$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$
149.	Огибание светом границ непрозрачных предметов.
150.	$R = \lambda/(\delta\lambda)$
151.	Различия в скорости света в среде для разных длин волн.
152.	$I = I_0 e^{-\alpha x}$
153.	$v = v_0(1 - v/c)$
154.	$v = v_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$
155.	$R_e = \sigma T^4$
156.	$r_{\nu,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$
157.	$\epsilon_0 = h\nu$
158.	$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}$
159.	$p_\gamma = \epsilon_0/c = h\nu/c$
160.	Любой частице, имеющей импульс $p$ , сопоставляют волновой процесс с длиной волны $\lambda = \frac{h}{p}$
161.	Частица не может иметь точно установленную координату и импульс точнее, чем $\Delta x \Delta p_x \geq h,$ $\Delta y \Delta p_y \geq h,$ $\Delta z \Delta p_z \geq h,$ частица не может иметь точно установленную энергию состояния и точное время $\Delta E \Delta t \geq h$ этого состояния точнее, чем

#### *Краткие методические указания*

Промежуточный тест проводится в электронной форме во время последнего в учебном периоде практического занятия. Тест состоит из 20 тестовых заданий. На выполнение теста отводится 20 минут. Во время проведения теста использование литературы и других информационных ресурсов допускается только по предварительному согласованию с преподавателем.

#### *Шкала оценки*

Оценка	Баллы	Описание
5	31–40	Процент правильных ответов от 95% до 100%
4	21–29	Процент правильных ответов от 80 до 94%
3	17–20	Процент правильных ответов от 65 до 79%
2	12–16	Процент правильных ответов от 45 до 64%
1	0–11	Процент правильных ответов менее 45%

### 5.3 Примеры заданий для выполнения практических работ

#### 1 Введение. Основы кинематики поступательного и вращательного движений.

№ 1. Из орудия вылетает снаряд со скоростью  $V_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Определить: а) скорость (модуль и направление) и положение (координаты) снаряда в любой момент времени; б) время подъема до наивысшей точки и время полета; в) высоту подъема и дальность полета. Сопротивлением воздуха пренебречь.

В наивысшей точке траектории скорость  $\vec{v}_s$  направлена горизонтально, ее проекция  $v_{sy} = 0$ ; подставив 0 в уравнение (2), получаем время подъема  $t_{\text{под}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ . Положив в уравнении (4)  $y = 0$ , получаем два корня: первый  $t = 0$  соответствует началу полета, второй времени полета  $t_{\text{пол}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$ . Заметьте,  $t_{\text{пол}} = 2t_{\text{под}}$ , значит, время подъема равно времени спуска.

Максимальную высоту подъема найдем из уравнения (4), подставив  $t_{\text{под}}$ :  $H = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ . Эту же формулу можно получить, разложив на проекции уравнение  $2\vec{a}\vec{s} = v^2 - v_0^2$ .

Подставив  $t_{\text{пол}}$  в уравнение (3) и вспомнив, что  $2\sin \alpha \cos \alpha = \sin 2\alpha$ , получаем дальность полета снаряда  $L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ .

Из формулы видно, что наибольшая дальность полета при угле  $\alpha = 45^\circ$ .

Если в полученных выше формулах подставить  $\alpha = 0^\circ$ , получим формулы для вертикального движения. Выразив время  $t$  из уравнения (3) и подставив в выражение (4), увидим что траектория – парабола.

№ 2. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону

$$\varphi = 10 + 20t - 2t^2.$$

Найти полное ускорение точки (величину и направление), находящейся на расстоянии 0,1 м от оси вращения, для момента времени  $t = 4$  с.

Решение.

Каждая точка вращающегося тела описывает окружность. Полное ускорение точки, движущейся по кривой линии, может быть найдено как геометрическая сумма тангенциального  $\vec{a}_\tau$ , направленного по касательной к траектории, и нормального  $\vec{a}_n$ , направленного к центру кривизны траектории:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}. \quad (1)$$

Тангенциальное и нормальное ускорения точки вращающегося тела выражаются формулами

$$a_\tau = \varepsilon R, \quad (2)$$

$$a_n = \omega^2 R, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – угловое ускорение тела;  $R$  – расстояние точки от оси вращения;  $\omega$  – угловая скорость тела.

Подставляя формулы (2) и (3) в выражение (1), находим

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 R^2 + \omega^4 R^2} = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}. \quad (4)$$

Угловая скорость вращающегося тела равна первой производной от угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = 20 - 4t.$$

В момент времени  $t = 4$  с угловая скорость

$$\omega = (20 - 4 \cdot 4) = 4 \text{ рад/с.}$$

Угловое ускорение вращающегося тела равно первой производной от угловой скорости по времени:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = -4 \text{ рад/с}^2.$$

Это выражение не содержит аргумента времени  $t$ , следовательно, угловое ускорение имеет постоянное значение, не зависящее от времени.

Подставив значения  $\omega$  и  $\varepsilon$  в формулу (4), получим

$$\varepsilon = 0,1 \cdot \sqrt{(-4)^2 + 4^4} = 1,65 \text{ м/с}^2.$$

2. Динамика поступательного и вращательного движений. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.

№ 1. Вагонетку массой 3 т поднимают по рельсам в гору, наклон которой 30°. Какую работу совершает сила тяги на пути в 50 м, если известно, что вагонетка двигалась с ускорением 0,2 м/с<sup>2</sup>? Коэффициент трения принять равным 0,1.

Решение.

Работа постоянной силы тяги  $F_T$  определяется по формуле

$$A = F_T \cdot S \cdot \cos \alpha_0,$$

где  $\alpha_0$  – угол между силой и перемещением. Сила тяги направлена вдоль перемещения, поэтому угол  $\alpha_0 = 0$  и  $\cos \alpha_0 = 1$ .

$$1. \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m\vec{a}.$$

2. Делаем чертеж.

3. Записываем уравнение второго закона Ньютона в векторной форме.

$$\text{На тело действуют четыре силы: } m\vec{g} + \vec{F}_T + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} = m\vec{a}.$$

Поскольку силы направлены под углом друг к другу, систему отсчета составим из двух взаимно перпендикулярных осей  $x$  и  $y$ , развернув ее для удобства так, что одну ось направим вдоль наклонной плоскости параллельно ускорению, а другую – перпендикулярно ей.

4. Записываем уравнение в проекциях на оси:

$$x: mg \sin \alpha - F_T + F_{\text{тр}} + 0 = -ma,$$

$$y: -mg \cos \alpha + 0 + 0 + N = 0,$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения.

Решаем систему трех уравнений относительно  $F_T$ :

$$F_T = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha + ma = m(g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha + a).$$

$$5. A = F_T S = m(g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha + a) S.$$

Подставляем числовые данные:

$$A = 3 \cdot 10^3 (9,81 \cdot 0,5 + 0,1 \cdot 9,81 \cdot 0,866 + 0,2) \cdot 50 = 893 \text{ кДж.}$$

№ 2. На краю диска, масса которого  $m$  и радиус  $R$ , стоит человек массой  $M$ . Диск совершает вращательное движение с частотой  $\eta$  (об/с). Чему равна кинетическая энергия системы? Чему равна работа внешних сил, в результате действия которых частота вращения увеличивается вдвое?

Решение.

Запишем формулу кинетической энергии вращающегося тела

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2}, \quad (1)$$

где  $I$  – момент инерции системы;  $\omega$  – угловая скорость вращения системы.

Выразим момент инерции системы  $I$  и угловую скорость  $\omega$ . Момент инерции системы складывается из моментов инерции тел системы:

$$I = I_1 + I_2,$$

где  $I_1$  – момент инерции диска,  $I_1 = \frac{mR^2}{2}$ ;  $I_2$  – момент инерции человека,  $I_2 = MR^2$ .

Угловая скорость  $\omega = 2\pi n$ . Подставим выражения  $I_1$  и  $I_2$  в формулу (1):

$$W_k = \frac{I_1 + I_2}{2} (2\pi n)^2 = \left( \frac{mR^2}{2} + MR^2 \right) \frac{4\pi^2 n^2}{2} = (m + 2M) \frac{R^2 4\pi^2 n^2}{4},$$

$$W_k = \pi^2 n^2 R^2 (m + 2M). \quad (2)$$

Работу сил определяем по теореме об изменении кинетической энергии:

$$W_{k2} - W_{k1} = \sum A.$$

Используя уравнение (2) и условие  $n_2 = 2n_1$ , запишем

$$A = \pi^2 4n^2 R^2 (m + 2M) - \pi^2 n^2 R^2 (m + 2M) = 3\pi^2 n^2 R^2 (m + 2M).$$

### 3 Основы молекулярной физики. Основы кинетической теории. Первое начало термодинамики.

№ 1. В баллоне объемом  $V = 10$  л находится гелий под давлением  $p_k = 1$  МПа при температуре  $T_1 = 300$  К. После того как из баллона было взято  $m = 10$  г гелия, температура в баллоне понизилась до  $T_2 = 290$  К. Определить давление  $p_2$  гелия, оставшегося в баллоне.

Решение.

Для решения задачи воспользуемся уравнением Менделеева–Клапейрона, применив его к конечному состоянию газа:

$$p_2 V = \frac{m_2 R T_2}{\mu}, \quad (1)$$

где  $m_2$  – масса гелия в баллоне в конечном состоянии;  $\mu$  – молярная масса гелия;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Из уравнения (1) выразим искомое давление  $p_2$ :

$$p_2 = \frac{m_2 R T_2}{\mu V}. \quad (2)$$

Массу гелия  $m_2$  выразим через массу  $m_1$  и массу  $m$  гелия, взятого из баллона:

$$m_2 - m_1 = m. \quad (3)$$

Массу гелия  $m_1$  найдем также из уравнения Менделеева–Клапейрона, применив его к начальному состоянию:

$$m_1 = \frac{\mu p_1 V}{R T_1}. \quad (4)$$

Подставляя в выражение (3) массу  $m_1$  из формулы (4), а затем полученное выражение  $m_2$  в формулу (2), найдем

$$p_2 = \left( \frac{\mu p_1 V}{R T_1} - m \right) \frac{R T_2}{\mu V},$$

или после преобразования и сокращения

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} p_1 - \frac{m R T_2}{\mu V}.$$

Выразим величины, входящие в эту формулу, в единицах СИ и произведем вычисления:  $p_1 = 1$  МПа =  $10^6$  Па;  $m = 10$  г =  $10^{-2}$  кг;  $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль;  $R = 8,31$  Дж/моль·К;  $T_1 = 300$  К;  $T_2 = 290$  К;  $V = 10^{-2}$  м<sup>3</sup>.

$$p_2 = \frac{290}{300} \cdot 10^6 - \frac{10^{-2} \cdot 8,31 \cdot 290}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}} \approx 0,37 \cdot 10^6 = 0,37 \text{ МПа}.$$

**№ 2.** Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle \epsilon_{\text{вращ}} \rangle$  вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре  $T = 350 \text{ K}$ , а также кинетическую энергию  $W_{15}$  вращательного движения всех молекул кислорода массой  $m = 4 \text{ г}$ .

**Решение.**

Известно, что на каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая средняя энергия  $\langle \epsilon_1 \rangle = \frac{1}{2}kT$ , где  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура газа. Поскольку вращательному движению двухатомной молекулы (молекула кислорода – двухатомная) соответствуют две степени свободы, то средняя энергия вращательного движения молекулы кислорода выразится формулой

$$\langle \epsilon_{\text{вращ}} \rangle = 2 \frac{1}{2} kT. \quad (1)$$

Подставив в формулу (1) значения  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  и  $T = 350 \text{ K}$ , получим:

$$\langle \epsilon_{\text{вращ}} \rangle = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 350 \text{ Дж} = 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа определяется равенством

$$W_k = \langle \epsilon_{\text{вращ}} \rangle N. \quad (2)$$

Число всех молекул газа можно вычислить по формуле

$$N = N_A \frac{m}{\mu}, \quad (3)$$

где  $N_A$  – число Авогадро;  $\mu$  – количество вещества.

Подставив это выражение в формулу (2), получим

$$W_k = N_A \frac{m}{\mu} \langle \epsilon_{\text{вращ}} \rangle. \quad (4)$$

Выразим величины, входящие в эту формулу, в единицах СИ:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ;  $m = 4 \text{ г} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ;  $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ ;  $\langle \epsilon_{\text{вращ}} \rangle = 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ . Подставив эти значения в формулу (4), найдем

$$W_k = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 4,83 \cdot 10^{-21} = 364 \text{ Дж}.$$

4 Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел.

**№ 1.** Кислород массой  $m = 2 \text{ кг}$  занимает объем  $V_1 = 1 \text{ м}^3$  и находится под давлением  $p_1 = 0,2 \text{ МПа}$ . Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема  $V_2 = 3 \text{ м}^3$ , а затем при постоянном объеме до давления  $p_3 = 0,5 \text{ МПа}$ . Найти изменение  $\Delta U$  внутренней энергии газа, совершенную им работу  $A$  и теплоту  $Q$ , переданную газу.



Решение.

Изменение внутренней энергии газа выражается формулой

$$\Delta U = c_V m \Delta T = \frac{i R}{2 \mu} m \Delta T, \quad (1)$$

где  $i$  – число степеней свободы молекул газа (для двухатомных молекул кислорода  $i = 5$ );  $\mu$  – молярная масса.

Начальную и конечную температуры газа найдем из уравнения Менделеева–Клапейрона  $pV = \frac{m}{\mu} RT$ :

$$T = \frac{pV\mu}{mR}. \quad (2)$$

Выпишем заданные величины в системе СИ:  $m = 2$  кг,  $\mu = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль,  $R = 8,31$  Дж/(моль·К),  $V_1 = 1$  м<sup>3</sup>,  $V_2 = V_3 = 3$  м<sup>3</sup>,  $p_1 = p_2 = 0,2$  МПа =  $2 \cdot 10^5$  Па,  $p_3 = 0,5$  МПа =  $5 \cdot 10^5$  Па. Подставляя эти значения в выражение (2) и выполняя арифметические действия, получим

$$T_1 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} = 385 \text{ К},$$

$$T_2 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} = 1155 \text{ К} \approx 1,16 \text{ кК},$$

$$T_3 = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} = 2887 \text{ К} \approx 2,89 \text{ кК}.$$

Подставляя в выражение (1) числовые значения величин, входящих в него, находим

**№ 2.** Найти изменение  $\Delta S$  энтропии при нагревании воды массой  $m = 100$  г от температуры  $t_1 = 0$  °С до температуры  $t_2 = 100$  °С и последующем превращении воды в пар той же температуры.

Решение.

Найдем отдельно изменение энтропии  $\Delta S'$  при нагревании воды и изменение энтропии  $\Delta S''$  при превращении ее в пар. Полное изменение энтропии выразится суммой  $\Delta S'$  и  $\Delta S''$ .

Как известно, изменение энтропии выражается общей формулой

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int \frac{dQ}{T}. \quad (1)$$

При бесконечно малом изменении температуры нагреваемого тела затрачивается количество теплоты  $dQ = mc dT$ , где  $m$  – масса тела;  $c$  – его удельная теплоемкость. Подставив выражение  $dQ$  в равенство (1), получим формулу для вычисления изменения энтропии при нагревании воды

$$\Delta S' = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mc dT}{T}.$$

Вынесем за знак интеграла постоянные величины и произведем интегрирование, тогда получим

$$\Delta S' = mc \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Выразим заданные величины в единицах СИ:  $m = 0,1$  кг;  $T_1 = 273$  К;  $T_2 = 373$  К;  $c = 4190$  Дж/кг·К;  $\lambda = 2,26$  МДж/кг.

После вычислений найдем

$$\Delta S' = 0,1 \cdot 4190 \cdot \ln \frac{373}{273} = 131 \text{ Дж/К}.$$

При вычислении по формуле (1) изменения энтропии во время превращения воды в пар той же температуры постоянная температура  $T_2$  выносится за знак интеграла. Вычислив интеграл, найдем

$$\Delta S = \frac{1}{T_2} \int_1^2 dQ = \frac{Q}{T_2}, \quad (2)$$

5 Электростатика. Потенциал электростатического поля. Электрическое поле в веществе. Проводники в электростатическом поле.

№ 1. Тонкий стержень длиной  $l = 20$  см несет равномерно распределенный заряд. На продолжении оси стержня на расстоянии  $a = 10$  см от ближайшего конца находится точечный заряд  $q_1 = 40$  нКл, который взаимодействует со стержнем с силой  $F = 6$  мкН. Определить линейную плотность  $\tau$  заряда на стержне.

Решение.

При вычислении силы  $F$  следует иметь в виду, что заряд на стержне не является точечным, поэтому закон Кулона непосредственно применить нельзя. Применим метод ДИ. Выделим на стержне малый участок  $dr$  с зарядом  $dq = \tau dr$ . Этот заряд можно рассматривать как точечный. Тогда, согласно закону Кулона,

$$d\vec{F} = \frac{q_1 \tau dr}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r}, \quad (1)$$

где  $d\vec{F}$  – сила взаимодействия заряда  $q_1$  и заряда участка  $dr$ . Поскольку все  $d\vec{F}$  сонаправлены, можно воспользоваться скалярным выражением для  $d\vec{F}$

$$dF = \frac{q_1 \tau dr}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (2)$$

Интегрируя это выражение в пределах от  $a$  до  $a + l$ , получим

$$F = \frac{q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{a+l} \right) = \frac{q_1 \tau l}{4\pi\epsilon_0 a(a+l)},$$

откуда интересующая нас линейная плотность заряда

$$\tau = \frac{4\pi\epsilon_0 a(a+l)F}{q_1 l}.$$

Выразим все величины в единицах СИ:  $q_1 = 40$  нКл =  $4 \cdot 10^{-8}$  Кл;  $F = 6$  мкН =  $6 \cdot 10^{-6}$  Н;  $l = 0,2$  м;  $a = 0,1$  м;  $4\pi\epsilon_0 = \frac{1}{9 \cdot 10^9}$  Ф/м;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

Подставим числовые значения величин в полученную формулу и произведем вычисления:

$$\tau = \frac{0,1 \cdot (0,1 + 0,2) \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \cdot 0,2} \text{ Кл/м} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м} = 2,5 \text{ нКл/м}.$$

**№ 2.** Точечный заряд  $q = 25$  нКл находится в поле, созданном прямым бесконечным цилиндром радиусом  $R = 1$  см, равномерно заряженным с поверхностной плотностью  $\sigma = 0,2$  нКл/см<sup>2</sup>. Определить силу  $F$ , действующую на заряд, если его расстояние от оси цилиндра  $r = 10$  см.

Решение.

Численное значение силы  $F$ , действующей на точечный заряд  $q$ , находящийся в поле, определяется по формуле

$$F = qE, \quad (1)$$

где  $E$  – напряженность поля, создаваемого заряженным цилиндром.

Как известно, напряженность поля бесконечно длинного равномерно заряженного цилиндра

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – линейная плотность заряда.

Выразим линейную плотность  $\tau$  через поверхностную плотность  $\sigma$ . Для этого выделим элемент цилиндра длиной  $l$  и выразим находящийся на нем заряд  $q$  двумя способами:

$$q = \sigma S = \sigma 2\pi R l, \quad q = \tau l.$$

Приравняв правые части этих равенств и сократив на  $l$ , получим

$$\tau = 2\pi R \sigma.$$

С учетом этого формула (2) примет вид

$$E = \frac{R\sigma}{\epsilon_0 r}.$$

Подставив это выражение в формулу (1), получим искомую силу  $F$ :

$$F = \frac{qR\sigma}{\epsilon_0 r}. \quad (3)$$

Выпишем в единицах СИ числовые значения величин:  $q = 25$  нКл =  $2,5 \cdot 10^{-8}$  Кл,  $\sigma = 0,2$  нКл/см<sup>2</sup> =  $2 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup>,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Поскольку  $R$  и  $r$  входят в формулу в виде отношения, они могут быть выражены в любых, но только одинаковых единицах. Подставим в уравнение (3) числовые значения величин:

$$F = \frac{2,5 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10} = 0,565 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 565 \text{ мкН}.$$

Направление силы  $\vec{F}$  совпадает с направлением напряженности  $\vec{E}$ , а последняя направлена перпендикулярно поверхности цилиндра.

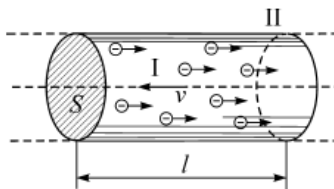
6 Постоянный электрический ток. Электрические цепи. Работа и мощность тока. Электрический ток в различных средах.

№ 1. По железному проводнику, диаметр  $d$  сечения которого равен 0,6 мм, течет ток 16 А. Определите среднюю скорость  $\langle v \rangle$  направленного движения электронов, считая, что концентрация  $n$  свободных электронов равна концентрации  $n'$  атомов проводника.

Решение.

Средняя скорость направленного (упорядоченного) движения электронов определяется по формуле

$$\langle v \rangle = \frac{l}{t}, \quad (1)$$



где  $t$  – время, в течение которого все свободные электроны, находящиеся в отрезке проводника между сечениями I и II, пройдя через сечение II, перенесут заряд  $Q = eN$  и создадут ток

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{eN}{t}, \quad (2)$$

где  $e$  – элементарный заряд;  $N$  – число электронов в отрезке проводника;  $l$  – его длина.

Число свободных электронов в отрезке проводника объемом  $V$  можно выразить следующим образом:

$$N = nV = n l S, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь сечения.

По условию задачи  $n = n'$ . Следовательно,

$$n = n' = \frac{N}{V} = \frac{m N_A}{\mu V} = \frac{N_A \rho}{\mu}, \quad (4)$$

где  $N_A$  – постоянная Авогадро;  $V$  – объем металла;  $\mu$  – молярная масса металла;  $\rho$  – его плотность.

Подставив последовательно выражения  $n$  из формулы (4) в равенство (3) и  $N$  из формулы (3) в равенство (2), получим

$$I = \frac{N_A \rho l S e}{\mu t}.$$

Отсюда найдем

$$l = \frac{I \mu t}{N_A \rho S e}.$$

Подставив выражение  $l$  в формулу (1), сократив на  $t$  и выразив площадь  $S$  сечения проводника через диаметр  $d$ , найдем среднюю скорость направленного движения электронов

$$\langle v \rangle = \frac{4 I \mu}{\pi d^2 N_A \rho e}.$$

Произведем по этой формуле вычисления:

$$\langle v \rangle = \frac{4 \cdot 16 \cdot 56 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,36 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 98 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

**№ 2.** Потенциометр с сопротивлением  $R_{11} = 100$  Ом подключен к батарее, ЭДС которой  $\varepsilon = 150$  В и внутреннее сопротивление  $r = 50$  Ом. Определить показание вольтметра с сопротивлением  $R_V = 500$  Ом, соединенным с одной из клемм потенциометра и подвижным контактом, установленным посередине потенциометра. Какова разность потенциалов между теми же точками потенциометра при отключении вольтметра?

**Решение.**

Показание  $U_1$  вольтметра, подключенного к точкам  $A$  и  $B$  (рисунок), определяется по формуле

$$U_1 = I_1 R_1, \quad (1)$$

где  $I_1$  – сила тока в неразветвленной части цепи;  $R_1$  – сопротивление параллельно соединенных вольтметра и половины потенциометра.

Силу тока  $I_1$  найдем по закону Ома для всей цепи:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (2)$$

где  $R$  – сопротивление внешней цепи.

Внешнее сопротивление  $R$  есть сумма двух сопротивлений:

$$R = \frac{R_{\pi}}{2} + R_1. \quad (3)$$

Сопротивление  $R_1$  параллельного соединения может быть найдено по формуле  $\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_V} + \frac{2}{R_{\pi}}$ , откуда  $R_1 = \frac{R_{\pi} R_V}{R_{\pi} + 2R_V}$ .

Подставив числовые значения, найдем

$$R_1 = \frac{100 \cdot 500}{100 + 2 \cdot 500} = 45,5 \text{ Ом.}$$

Из выражений (2) и (3) определим силу тока:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{\frac{R_{\pi}}{2} + R_1 + r} = \frac{150}{50 + 45,5 + 50} \approx 1,03 \text{ А.}$$

Если подставить значения  $I_1$  и  $R_1$  в формулу (1), то можно определить показание вольтметра:  $U_1 = 1,03 \cdot 45,5 \text{ В} = 46,9 \text{ В}$ .

Разность потенциалов между точками  $A$  и  $B$  при отключенном вольтметре равна произведению силы тока  $I_2$  на половину сопротивления потенциометра:  $U_2 = I_2 \frac{R_{\pi}}{2} = \frac{\varepsilon}{R_{\pi} + r} \frac{R_{\pi}}{2}$ .

Подставляя в эту формулу числовые значения, получим

$$U_2 = \frac{150}{100 + 50} \cdot \frac{100}{2} = 50 \text{ В.}$$

7 Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Свойства магнитного поля. Электромагнитная индукция.

№ 1. На железный стержень длиной 50 см и сечением  $2 \text{ см}^2$  намотан в один слой провод так, что на каждый сантиметр длины стержня приходится 20 витков. Определить энергию магнитного поля в сердечнике соленоида, если сила тока в обмотке 0,5 А.

Решение.

Энергия магнитного поля соленоида с индуктивностью  $L$ , по обмотке которого течет ток  $I$ , выражается формулой

$$W = \frac{1}{2} LI^2.$$

Индуктивность соленоида зависит от числа витков на единицу длины  $n$ , от объема сердечника  $V$  и от магнитной проницаемости  $\mu$  сердечника, т.е.  $L = \mu \mu_0 n^2 V$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Магнитную проницаемость можно выразить следующей формулой:  $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$ , где  $B$  – индукция магнитного поля;  $H$  – напряженность.

Подставив в формулу энергии магнитного поля выражение индуктивности  $L$  и магнитной проницаемости, получим

$$W = \frac{1}{2} \frac{B}{H} n^2 V I^2.$$

Объем сердечника выразим через длину  $l$  и сечение  $S$ :

$$W = \frac{1}{2} \frac{B}{H} n^2 I^2 S l.$$

Напряженность магнитного поля найдем по формуле  $H = nI$ .

Подставив данные в единицах СИ, получим  $H = 2 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \text{ А/м} = 10^3 \text{ А/м}$ .

Значению напряженности намагничивающего поля в  $10^3 \text{ А/м}$  в железе соответствует индукция  $B = 1,3 \text{ Тл}$  (см. график зависимости между  $H$  и  $B$  в приложении).

Произведем вычисления:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{1,3}{10^3} (2 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,5^2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = 0,065 \text{ Дж.}$$

№ 2. Электрон, влетев в однородное магнитное поле ( $B = 0,2$  Тл), стал двигаться по окружности радиусом  $R = 5$  см. Определить магнитный момент  $P_m$  эквивалентного кругового тока.

**Решение.**

Электрон начинает двигаться по окружности, если он влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции.

Движение электрона по окружности эквивалентно току, который в данном случае определяется выражением  $I_{\text{экв}} = \frac{q}{\Delta t} = \frac{e}{T}$ , где  $e$  – заряд электрона;  $T$  – период его обращения.

Период обращения можно найти через скорость электрона и путь, проходимый электроном за период  $T = (2\pi R)/v$ . Тогда

$$I_{\text{экв}} = \frac{ev}{2\pi R}. \quad (1)$$

По определению магнитный момент контура с током выражается соотношением

$$p_m = I_{\text{экв}} S, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь, ограниченная окружностью, описываемой электроном,

$$S = \pi R^2. \quad (3)$$

Учитывая выражения (1), (2) и (3), получим

$$p_m = \frac{ev}{2\pi R} \pi R^2, \text{ или } p_m = \frac{1}{2} evR. \quad (4)$$

Известно, что  $R = mv/(eB)$  (см. пример 4). Тогда для скорости  $v$  электрона находим  $v = \frac{eBR}{m}$ . Подставив это выражение

в формулу (4) для магнитного момента  $p_m$  электрона получим

$$p_m = \frac{e^2 BR^2}{2m}.$$

Произведем вычисления:

$$p_m = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot 0,2 \cdot (0,05)^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} = 7,03 \cdot 10^{-12} \text{ А} \cdot \text{м}^2.$$



## 8 Свободные и вынужденные колебания, сложение колебаний.

**№ 1.** Материальная точка массой  $m = 0,01$  кг совершает гармонические колебания по закону синуса с периодом  $T = 2$  с и начальной фазой  $\varphi_0$ , равной нулю. Полная энергия колеблющейся точки  $W = 0,1$  мДж.

Требуется: найти амплитуду  $A$  колебаний; написать закон данных колебаний  $x = f(t)$ ; найти наибольшее значение силы  $F_{\max}$ , действующей на точку.

**Решение.**

1. Записываем закон гармонических колебаний

$$x = A \sin \omega t.$$

Поскольку закон не дает возможности определить амплитуду  $A$ , следует обратиться к условию задачи и воспользоваться полной энергией  $E$ . Полная энергия колеблющейся точки  $E$  равна, например, ее максимальной кинетической энергии  $W_{k, \max}$ .

$$W = W_{k, \max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

Скорость  $v$  колеблющейся точки определяем, взяв первую производную смещения  $x$  по времени:

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos \omega t.$$

Учтем, что  $v_{\max} = A\omega$  ( $\cos \omega t = 1$ ), и подставим это выражение в уравнение энергии

$$W_{k, \max} = \frac{mA^2\omega^2}{2}.$$

Найдем амплитуду колебаний

$$A = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{2W}{m}}.$$

Выразим амплитуду через период  $T$ , учитывая что  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ :

$$A = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2W}{m}}.$$

Произведем вычисления:

$$\omega = \pi \text{ рад/с};$$

$$A = \frac{1}{3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}}} = 0,045 \text{ м}.$$

2. Записываем уравнение гармонических колебаний для данной точки:

$$x = 0,045 \sin \pi t.$$

3. Второй закон Ньютона

$$|F_{\max}| = ma.$$

Найдем ускорение колеблющейся точки, взяв первую производную скорости по времени:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin \omega t.$$

Максимальное ускорение (при  $\sin \omega t = 1$ )

$$|a_{\max}| = A\omega^2.$$

Запишем выражение силы

$$|F_{\max}| = mA\omega^2.$$

Произведем вычисления:

$$F_{\max} = 0,01 \cdot 0,045 \cdot 3,14^2 \text{ Н} = 4,44 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$



№ 2. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях, уравнения которых имеют вид

$$x = \cos(7t/\pi) \quad (1)$$

$$y = 2\cos(-t/2) \quad (2)$$

(амплитуда – в сантиметрах, время – в секундах). Определить траекторию точки.

**Решение.**

Для определения траектории необходимо получить зависимость координат  $y = f(x)$ . Для этого из уравнений (1) и (2) следует исключить время. Применяя формулу косинуса половинного угла

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}},$$

можно записать

$$y = 2 \cos \frac{\pi t}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \pi t}{2}}.$$

Поскольку  $\cos \pi t = x(1)$ ,

$$y = \pm 2 \sqrt{\frac{1+x}{2}}, \quad y = \pm \sqrt{2x+2},$$

или

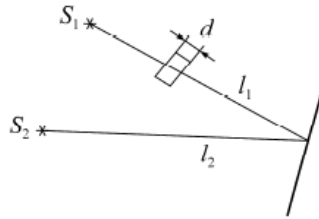
$$y^2 = 2 + 2x.$$

9 Геометрическая оптика. Волновые свойства света.

№ 1. От двух когерентных источников  $S_1$  и  $S_2$  ( $\lambda = 0,8$  мкм) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку ( $n = 1,33$ ), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине  $d_{\min}$  пленки это возможно?

Решение.

Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разности хода лучей на нечетное число половин длин волн, т.е.



$$\Delta_2 - \Delta_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где  $\Delta_1$  – оптическая разность хода лучей до внесения пленки;  $\Delta_2$  – оптическая разность хода тех же лучей после внесения пленки;  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ .

Наименьшей толщине  $d_{\min}$  пленки соответствует  $k = 0$ . При этом формула (1) примет вид

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\lambda}{2}. \quad (2)$$

Выразим оптические разности хода  $\Delta_2$  и  $\Delta_1$ . Из рисунка следует:  $\Delta_1 = l_1 - l_2$ ,  $\Delta_2 = [(l_1 - d_{\min}) + nd_{\min}] - l_2 = (l_1 - l_2) + d_{\min}(n - 1)$ . Подставим выражения  $\Delta_2$  и  $\Delta_1$  в формулу (2):

$$(l_1 - l_2) + d_{\min}(n - 1) - (l_1 - l_2) = \frac{\lambda}{2}, \text{ или } d_{\min}(n - 1) = \frac{\lambda}{2}.$$

Отсюда  $d_{\min} = \frac{\lambda}{2(n-1)}$ . Подставив числовые значения,

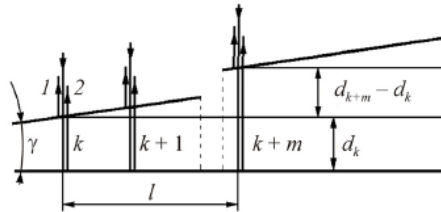
найдем

$$d_{\min} = \frac{0,8}{2(1,33-1)} = 1,21 \text{ мкм.}$$

№ 2. На стеклянный клин с малым углом нормально к его грани падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм. Число  $m$  возникающих при этом интерференционных полос, приходящихся на 1 см, равно 10. Определить угол клина  $\alpha$ . Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

Р е ш е н и е.

Лучи, падая нормально к грани клина, отражаются как от верхней, так и от нижней грани. Эти лучи когерентны, поэтому на поверхности клина будут наблюдаться интерференционные полосы. Поскольку угол клина мал, то отраженные лучи 1 и 2 (рисунок) будут практически параллельны.



Темные полосы видны на тех участках клина, для которых разность хода лучей кратна нечетному числу половин длин волн:

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (1)$$

Разность хода  $\Delta$  двух лучей складывается из разности оптических длин путей ( $2dncos\beta$ ) этих лучей и половины длины волны  $\lambda/2$ . Величина  $\lambda/2$  представляет собой добавочную разность хода, возникшую при отражении луча 1 от оптически более плотной среды. Подставляя в формулу (1) значение разности хода  $\Delta$  лучей, получим

$$2d_k n \cos\beta + \lambda/2 = (2k + 1)\lambda/2, \quad (2)$$

где  $d_k$  – толщина клина в том месте, где наблюдается темная полоса, соответствующая номеру  $k$ ;  $\beta$  – угол преломления второго луча.

Согласно условию угол падения равен нулю, следовательно, и угол преломления  $\beta$  равен нулю, а  $\cos\beta = 1$ . Раскрыв скобки в правой части равенства (2), после упрощения получим

$$2d_k n = k\lambda. \quad (3)$$

Пусть произвольной темной полосе  $k$ -го номера соответствует толщина  $d_k$  клина, а темной полосе  $(k + m)$ -го номера – толщина  $d_{k+m}$  клина. Тогда из рисунка, учитывая, что  $m$  полос укладывается на расстоянии  $l$ , найдем

$$\operatorname{tg}\gamma = \sin\gamma = \frac{d_{k+m} - d_k}{l}. \quad (4)$$

Выразим из формулы (3)  $d_k$  и  $d_{k+m}$  и подставим их в формулу (4). Затем, учитывая, что из-за малости угла  $\gamma$   $\sin\gamma \approx \gamma$ , получим

$$\gamma = \frac{\frac{k+m}{2n}\lambda - \frac{k}{2n}\lambda}{l} = \frac{m\lambda}{2nl}.$$

Подставляя числовые значения физических величин, найдем

$$\gamma = \frac{10 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

## 10 Тепловое излучение, фотоэффект.

№ 1. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела,  $\lambda_m = 0,58$  мкм. Определить энергетическую светимость (излучательность)  $R_3$  поверхности тела.

**Р е ш е н и е.**

Энергетическая светимость  $R_3$  абсолютно черного тела в соответствии с законом Стефана–Больцмана пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры и выражается формулой

$$R_3 = \sigma T^4, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана;  $T$  – термодинамическая температура.

Температуру  $T$  можно вычислить с помощью закона смещения Вина:

$$\lambda_m = b/T, \quad (2)$$

где  $b$  – постоянная закона смещения Вина.

Используя формулы (2) и (1), получим

$$R_3 = \sigma \left( \frac{b}{\lambda} \right)^4. \quad (3)$$

Выпишем числовые значения величин, входящих в эту формулу:

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>),  $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$  м·К,  $\lambda_m = 5,8 \cdot 10^{-7}$  м, и, подставив числовые значения в формулу (3), произведем вычисления:

$$R_3 = 5,67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{5,8 \cdot 10^{-7}} \right)^4 = 3,54 \cdot 10^7 = 35,4 \text{ МВт/м}^2.$$

№ 2. Определить максимальную скорость  $v_{\max}$  фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра: 1) ультрафиолетовыми лучами с длиной волны  $\lambda_1 = 0,155$  мкм; 2)  $\gamma$ -лучами с длиной волны  $\lambda_2 = 1$  нм.

**Решение.**

Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + W_{\max}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – энергия фотона, падающего на поверхность металла;  $A$  – работа выхода электрона из металла;  $W_{\max}$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Энергия фотона вычисляется также по формуле

$$\varepsilon = hc/\lambda, \quad (2)$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость света в вакууме;  $\lambda$  – длина волны.

Кинетическая энергия электрона может быть выражена или по классической формуле

$$W = \frac{m_e v^2}{2}, \quad (3)$$

или по релятивистской

$$W = E_0 \left( \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \quad (4)$$

в зависимости от того, какая скорость сообщается фотоэлектрону.

Скорость фотоэлектрона зависит от энергии фотона, вызывающего фотоэффект: если энергия  $\varepsilon$  фотона много меньше энергии покоя  $E_0$  электрона, то может быть применена формула (3), если же  $\varepsilon$  сравнима по величине с  $E_0$ , то вычисление по формуле (3) приводит к ошибке, поэтому нужно пользоваться формулой (4).

1. Вычислим энергию фотона ультрафиолетовых лучей по формуле (2):

$$\varepsilon_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,55 \cdot 10^{-7}} = 1,28 \cdot 10^{-18} \text{ Дж,}$$

$$\text{или } \varepsilon_1 = \frac{1,28 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 8 \text{ эВ.}$$

Полученная энергия фотона (8 эВ) много меньше энергии покоя электрона (0,51 МэВ). Следовательно, для данного случая кинетическая энергия фотоэлектрона в формуле (1) может быть выражена по классической формуле (3):  $\varepsilon_1 = A + \frac{m_e v_{\max}^2}{2}$ , откуда

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A)}{m_e}}. \quad (5)$$

Выпишем числовые значения величин:  $\varepsilon_1 = 1,28 \cdot 10^{-18}$  Дж (вычислено выше),  $A = 4,7 \text{ эВ} = 4,7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж,  $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг.

Подставив числовые значения в формулу (5), найдем

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2(1,28 \cdot 10^{-18} - 0,75 \cdot 10^{-18})}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

2. Вычислим энергию фотона  $\gamma$ -лучей:

$$\varepsilon_2 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-12}} = 1,99 \cdot 10^{-13} \text{ Дж, или } \varepsilon_2 = 1,24 \text{ МэВ.}$$

Работа выхода электрона ( $A = 4,7$  эВ) пренебрежимо мала по сравнению с энергией фотона ( $\varepsilon_2 = 1,24$  МэВ), поэтому можно принять, что максимальная кинетическая энергия электрона равна энергии фотона:  $W_{\max} = \varepsilon_2 = 1,24$  МэВ. Поскольку в данном случае кинетическая энергия электрона больше его энергии покоя, для вычисления скорости электрона следует взять релятивистскую формулу кинетической энергии (4). Из этой формулы найдем  $\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + W)W}}{E_0 + W}$ . Заметив, что  $v = c\beta$  и  $W_{\max} = \varepsilon_2$ ,

$$\text{получим } v_{\max} = c \frac{\sqrt{(2E_0 + \varepsilon_2)\varepsilon_2}}{E_0 + \varepsilon_2}.$$

Подставим числовые значения величин и произведем вы-

$$\text{числения: } v_{\max} = 3 \cdot 10^8 \frac{\sqrt{(2 \cdot 0,51 + 1,24)1,24}}{0,51 + 1,24} = 2,85 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

11 Теория строения атома. Элементы квантовой механики.

№ 1. Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов  $U$ . Найти длину волны де Бройля для двух случаев: 1)  $U_1 = 51 \text{ В}$ ;  $U_2 = 510 \text{ кВ}$ .

Р е ш е н и е.

Длина волны де Бройля для частицы зависит от ее импульса  $p$  и определяется формулой

$$\lambda = h/p, \quad (1)$$

где  $h$  – постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия  $W$ . Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше ее энергии покоя) и для релятивистского случая (когда кинетическая энергия сравнима с энергией покоя частицы).

В нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2m_0W}, \quad (2)$$

где  $m_0$  – масса покоя частицы.

В релятивистском случае

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + W)W}, \quad (3)$$

где  $E_0$  – энергия покоя частицы,  $E_0 = m_0c^2$ .

Формула (1) с учетом соотношений (2) и (3) запишется:

– в нерелятивистском случае

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0W}}; \quad (4)$$



– в релятивистском случае

$$\lambda = \frac{h}{\frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + W)W}}. \quad (5)$$

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов  $U_1 = 51$  В и  $U_2 = 510$  кВ, с энергией покоя электрона и в зависимости от этого решим, какую из формул – (4) или (5) – следует применить для вычисления длины волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона  $W$ , прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U$ , находится следующим образом:  $W = eU$ .

В первом случае  $W_1 = eU_1 = 51$  эВ =  $0,51 \cdot 10^{-4}$  МэВ, что много меньше энергии покоя электрона  $E_0 = m_0c^2 = 0,51$  МэВ. Следовательно, в этом случае можно применить формулу (4). Для упрощения расчетов заметим, что  $W_1 = 10^{-4}m_0c^2$ . Подставив это выражение в формулу (4), перепишем ее в виде

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_e 10^{-4} m_e c^2}} = \frac{10^2 h}{\sqrt{2} m_e c}.$$

Учитывая, что  $\frac{h}{m_e c}$  есть комптоновская длина волны  $\Lambda$ ,

$$\begin{aligned} \text{получим } \lambda_1 &= \frac{10^2}{\sqrt{2}} \Lambda. \text{ Поскольку } \Lambda = 2,43 \text{ пм, то } \lambda_1 = \\ &= \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot 2,43 = 171 \text{ пм.} \end{aligned}$$

Во втором случае кинетическая энергия  $W_2 = eU_2 = 510$  кэВ =  $0,51$  МэВ, т.е. равна энергии покоя электрона. В этом случае необходимо применить релятивистскую формулу (5). Учитывая, что  $W_2 = 0,51$  МэВ =  $m_e c^2$ , по формуле (5) найдем

$$\lambda_2 = \frac{h}{\frac{1}{c} \sqrt{(2m_e c^2 + m_e c^2)m_e c^2}} = \frac{h}{\sqrt{3} m_e c}, \text{ или}$$

$$\lambda_2 = \frac{2,43}{\sqrt{3}} = 1,4 \text{ пм.}$$



№ 2. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину порядка  $W = 10$  эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома.

**Решение.**

Соотношение неопределенностей для координаты и импульса имеет вид  $\Delta x \Delta p \geq \hbar$ , где  $\Delta x$  – неопределенность координаты частицы (в данном случае электрона);  $\Delta p$  – неопределенность импульса частицы (электрона);  $\hbar$  – постоянная Планка, деленная на  $2\pi$ .

Из соотношения неопределенностей следует, что чем точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределенным становится импульс, а следовательно, и энергия частицы. Пусть атом имеет линейные размеры  $l$ , тогда электрон атома будет находиться где-то в пределах области с неопределенностью

$$\Delta x = l/2. \quad (1)$$

Соотношение неопределенностей (1) можно записать в этом случае в виде  $\frac{l}{2} \Delta p \geq \hbar$ , откуда

$$l \geq 2\hbar/\Delta p. \quad (2)$$

Физически разумная неопределенность импульса  $\Delta p$  во всяком случае не должна превышать значения самого импульса  $p$ , т.е.  $\Delta p \approx p$ .

Импульс  $p$  связан с кинетической энергией  $W$  соотношением  $p = \sqrt{2mW}$ . Заменяем  $\Delta p$  на  $\sqrt{2mW}$  (такая замена не увеличит  $l$ ). Переходя от неравенства к равенству, получим  $l_{\min} = \frac{2\hbar}{\sqrt{2mW}}$ .

Подставим числовые значения и произведем вычисления:

$$l_{\min} = \frac{2 \cdot 1,05 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}} = 1,24 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

12 Радиоактивность. Ядерные реакции. Элементы физики элементарных частиц. Использование атомной энергии.

№ 1. При соударении  $\alpha$ -частицы с ядром бора  $^{10}_3\text{B}$  произошла ядерная реакция, в результате которой образовалось два новых ядра. Одно из них – ядро атома водорода  $^1_1\text{H}$ . Определить порядковый номер и массовое число второго ядра, дать символическую запись ядерной реакции и определить ее энергетический эффект.

**Р е ш е н и е.**

Обозначим неизвестное ядро символом  $^A_Z\text{X}$ . Поскольку  $\alpha$ -частица представляет собой ядро гелия  $^4_2\text{He}$ , запись реакции имеет вид  $^4_2\text{He} + ^{10}_3\text{B} \rightarrow ^1_1\text{H} + ^A_Z\text{X}$ .

Применив закон сохранения числа нуклонов, получим уравнение  $4 + 10 = 1 + A$ , откуда  $A = 13$ . Применив закон сохранения заряда, получим уравнение  $2 + 5 = 1 + Z$ , откуда  $Z = 6$ .

Следовательно, неизвестное ядро является ядром изотопа атома углерода  $^{13}_6\text{C}$ .

Энергетический эффект  $Q$  ядерной реакции определяется по формуле  $Q = 931[(m_{\text{He}} + m_{\text{B}}) - (m_{\text{H}} + m_{\text{C}})]$ . Здесь в первых круглых скобках указаны массы исходных ядер, во вторых скобках – массы ядер – продуктов реакции. При числовых подсчетах по этой формуле массы ядер заменяют массами нейтральных атомов. Возможность такой замены вытекает из следующих соображений.

Число электронов в электронной оболочке нейтрального атома равно его зарядовому числу  $Z$ . Сумма зарядовых чисел исходных ядер равна сумме зарядовых чисел ядер – продуктов реакции. Следовательно, электронные оболочки ядер гелия и бора содержат вместе столько же электронов, сколько их содержат электронные оболочки ядер углерода и водорода.

Очевидно, что при вычитании суммы масс нейтральных атомов углерода и водорода из суммы масс атомов гелия и бора массы электронов выпадут и мы получим тот же результат, как если бы брали массы ядер. Подставив массы атомов, взятые из справочной таблицы, в расчетную формулу, получим

$$Q = 931[(4,00260 + 10,01294) - (1,00783 + 13,00335)] \text{ МэВ} = \\ = 4,06 \text{ МэВ}.$$

№ 2. Определить начальную активность радиоактивного препарата магния  $^{27}\text{Mg}$  массой  $m = 0,2$  мкг, а также его активность  $A$  через время  $t = 6$  ч. Период полураспада  $T_{1/2}$  магния считать известным.

**Решение.**

Активность  $a$  изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и равняется числу ядер, распадающихся в единицу времени:

$$a = -\frac{dN}{dt}, \text{ где } dN - \text{ число ядер, распавшихся за время } dt.$$

Согласно основному закону радиоактивного распада  $-\frac{dN}{dt} = \lambda N$ , где  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада. Поскольку  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , где  $N_0$  – число нераспавшихся ядер в момент времени, принятый за начальный, то  $a = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$ . Очевидно, что начальная активность при  $t = 0$

$$a_0 = \lambda N_0 \quad (1)$$

Исходя из этого закон изменения активности со временем выражается формулой

$$a = a_0 e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Начальную активность определим по формуле (1). Входящая в эту формулу постоянная радиоактивного распада  $\lambda$  может быть выражена через период полураспада соотношением  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0,693 / T_{1/2}$ .

Для  $^{27}\text{Mg}$  период полураспада  $T_{1/2} = 10$  мин = 600 с. Следовательно,  $\lambda = 0,693 / 600 \text{ с}^{-1} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ .

Число радиоактивных атомов  $N_0$ , содержащихся в изотопе, равно произведению числа Авогадро  $N_A$  на количество вещества  $\nu$  данного изотопа:  $N_0 = \nu N_A = \frac{m}{\mu} N_A$ , где  $m$  – масса изотопа;

$\mu$  – молярная масса. Выразив в этой формуле значения величин в системе СИ, получим

$$N_0 = \frac{0,2 \cdot 10^{-9} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{27 \cdot 10^{-3}} = 4,46 \cdot 10^{15} \text{ ядер.}$$

Вычислим по формуле (1) начальную активность изотопа:  $a_0 = \lambda N_0 = 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 4,46 \cdot 10^{15} = 5,13 \cdot 10^{12}$  Бк, или  $a_0 = 5,13$  ТБк.

Активность через 6 ч ( $6 \text{ ч} = 2,16 \cdot 10^4 \text{ с}$ ) получим по формуле (2):

$$a = a_0 e^{-\lambda t} = 5,13 \cdot 10^{12} \cdot e^{-1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 2,16 \cdot 10^4} = 81,3 \text{ Бк.}$$

*Краткие методические указания*

На выполнение одного практического задания отводится не более одного двухчасового занятия (включая затраты времени на проведение промежуточного теста на последнем в учебном периоде практическом занятии). После выполнения каждого

практического задания студент должен представить отчет о решении индивидуальных задач по теме, выполненный самостоятельно в часы самостоятельной работы, а также, по указаниям преподавателя, выполнить дополнительные задания по теме практического задания.

*Шкала оценки*

Оценка	Баллы	Описание
5	38-50	Студент демонстрирует умения на итоговом уровне: умеет свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
4	26-37	Студент демонстрирует умения на среднем уровне: освоил основные умения, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.
3	13-25	Студент демонстрирует умения и навыки на базовом уровне: в ходе контрольных мероприятий допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных умений, навыков по дисциплинарной компетенции, испытываются значительные затруднения при оперировании умениями и при их переносе на новые ситуации.
2	7-12	Студент демонстрирует умения и навыки на уровне ниже базового: проявляется недостаточность умений и навыков.
1	0-6	Студентом проявляется полное или практически полное отсутствие умений и навыков.