

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Силин Яков Петрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 01.06.2026 09:52:57
Уникальный программный ключ:
24f866be2aca16484036a8cbb5c509a9551e609f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Одобрена
на заседании кафедры

27.11.2025 г.

протокол № 4

Зав. кафедрой Стожко Н.Ю.

Утверждена

Советом по учебно-методическим
вопросам и качеству образования

16 декабря 2025 г.

протокол № 4

Председатель

Карх Д.А.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины	Физика
Направление подготовки	19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания
Профиль	Организация и управление предприятиями в сфере индустрии питания
Форма обучения	заочная
Год набора	2026
Разработана:	
Доцент, к.ф.-м.н.	
Судакова Н.П.	

Екатеринбург
2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП	3
3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	3
4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП	3
5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	4
6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ	4
7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	6
8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ	9
9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	9
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	10
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	11

ВВЕДЕНИЕ

Рабочая программа дисциплины является частью основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программы бакалавриата, разработанной в соответствии с ФГОС ВО

ФГОС ВО	Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования- бакалавриат по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания (приказ Минобрнауки России от 17.08.2020г. № 1047)
---------	--

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

развитие научного мировоззрения, представления о современной картине мира; приобретение фундаментальных знаний о природных явлениях, лежащих в основе технологических процессов; овладение важнейшими приемами и методами познавательной деятельности как основой будущей профессиональной деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части учебного плана.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Промежуточная аттестация	Часов					3.е.
	Всего засеместр	Контактная работа .(поуч.зан.)			Самостоятельная работа в том числе подготовка контрольных и курсовых	
		Всего	Лекции	Лабораторные		
Семестр 1						
Экзамен, Контрольная работа	180	20	8	12	151	5

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП

В результате освоения ОПОП у выпускника должны быть сформированы компетенции, установленные в соответствии с ФГОС ВО.

Шифр и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций
ОПК-2 Способен применять основные законы и методы исследований естественных наук для решения задач профессиональной деятельности	ИД-1.ОПК-2 Знает базовые знания, полученные в области естественных наук
	ИД-2.ОПК-2 Умеет использовать их в профессиональной деятельности

ОПК-2 Способен применять основные законы и методы исследований естественных наук для решения задач профессиональной деятельности	ИД-3.ОПК-2 Владеет навыками: теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности
--	--

5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Тема	Часов	Вс е г о ч а с о в	Контактная работа .(по уч.зан.)			Самост .работа	Контрольсамо стоятельной работы
	Наименование темы		Лек ции	Лабо ра торные	Практическиезанятия		
Семестр 1		1					
Тема 1.	Физические основы механики. (ОПК-2)	3	2	2		30	
Тема 2.	Статистическая физика и термодинамика.(ОПК-2)	3 5	2	2		31	
Тема 3.	Электричество и магнетизм. (ОПК-2)	4	2	4		40	
Тема 4.	Физика колебаний и волн. Оптика. (ОПК-2)	3 3	1	2		30	
Тема 5.	Квантовая и ядерная физика. (ОПК-2)	2	1	2		20	

6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ

Раздел/Тема	Вид оценочного средства	Описание оценочного средства	Критерии оценивания
Текущий контроль (Приложение 4)			
Темы 1-5	Тест (приложение 4)	Индивидуальные варианты по 5 задач	50 баллов
Темы 1-5	Домашняя контрольная работа (приложение 6)	Индивидуальные задания по 8 задач с указанием схемы выбора варианта	Зачёт
Промежуточная аттестация (Приложение 5)			
1 семестр (Эк)	Экзаменационные билеты (приложение 5)	16 билетов. Билет состоит из 10 заданий: 4 теоретических и 6	100 баллов

ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

Показатель оценки освоения ОПОП формируется на основе объединения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающегося.

Показатель рейтинга по каждой дисциплине выражается в процентах, который показывает уровень подготовки студента.

Текущий контроль. Используется 100-балльная система оценивания. Оценка работы студента в течение семестра осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки учебных достижений в процессе обучения по данной дисциплине.

В рабочих программах дисциплин и практик закреплены виды текущего контроля, планируемые результаты контрольных мероприятий и критерии оценки учебных достижений.

В течение семестра преподавателем проводится не менее 3-х контрольных мероприятий, по оценке деятельности студента. Если посещения занятий по дисциплине включены в рейтинг, то данный показатель составляет не более 20% от максимального количества баллов по дисциплине.

Промежуточная аттестация. Используется 5-балльная система оценивания. Оценка работы студента по окончании дисциплины (части дисциплины) осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки достижений студента в процессе обучения по данной дисциплине. Промежуточная аттестация также проводится по окончании формирования компетенций.

Порядок перевода рейтинга, предусмотренных системой оценивания, по дисциплине, в пятибалльную систему.

Высокий уровень – 100% - 70% - отлично, хорошо.

Средний уровень – 69% - 50% - удовлетворительно.

Показатель оценки	По 5-балльной системе	Характеристика показателя
100% - 85%	отлично	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на высоком уровне
84% - 70%	хорошо	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Могут быть допущены недочеты, исправленные студентом самостоятельно в процессе работы (ответа и т.д.)
69% - 50%	удовлетворительно	обладают общими теоретическими знаниями, умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на среднем уровне. Допускаются ошибки, которые студент затрудняется исправить самостоятельно.
49 % и менее	неудовлетворительно	обладают не полным объемом общих теоретических знаниями, не умеют самостоятельно применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Не сформированы умения и навыки для
100% - 50%	зачтено	характеристика показателя соответствует «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»
49 % и менее	не зачтено	характеристика показателя соответствует «неудовлетворительно»

7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Содержание лекций

Тема 1. Физические основы механики. (ОПК-2) Введение. Физика в профессиональной деятельности. Общая структура и задачи дисциплины. Методы физического исследования. Применение физических законов, методов исследования и моделирования для постановки, анализа и реализации задач профессиональной деятельности в области разработки пищевых технологий, при организации и управлении предприятиями в сфере индустрии питания. Кинематика поступательного и вращательного движения. Динамика поступательного и вращательного движения. Законы Ньютона. Работа. Мощность. Механическая энергия. Основы релятивистской механики
Тема 2. Статистическая физика и термодинамика. (ОПК-2) Основы молекулярно-кинетической теории и термодинамики. Термодинамические системы. Параметры состояния. Уравнение состояния. Идеальный газ. Внутренняя энергия. Теплота и работа. Первое начало термодинамики. Тепловые машины и их КПД. Цикл Карно. Второе начало термодинамики
Тема 3. Электричество и магнетизм. (ОПК-2) Электростатика. Электрическое поле в вакууме и в веществе. Характеристики электрического поля. Законы постоянного тока Магнитное поле в вакууме и в веществе. Действие магнитного поля на заряды и токи Явление электромагнитной индукции. Основы теории Максвелла электромагнитного поля.
Тема 4. Физика колебаний и волн. Оптика. (ОПК-2) Гармонические колебания. Свободные и вынужденные колебания. Волновой процесс. Упругие волны. Электромагнитные волны. Волновые явления. Интерференция света. Дифракция света. Поляризация. Дисперсия.
Тема 5. Квантовая и ядерная физика. (ОПК-2) Квантовая оптика. Законы теплового излучения. Фотоэффект. Строение атома- ядро и электронная оболочка. Излучение и поглощение электромагнитных волн. Строение и свойства атомных ядер. Радиоактивность. Ядерные превращения. Элементарные частицы, их классификация по видам взаимодействия.

7.2 Содержание практических занятий и лабораторных работ

Тема 2. Статистическая физика и термодинамика. (ОПК-2) Адиабатический процесс. Определение отношения теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме.
Тема 3. Электричество и магнетизм. (ОПК-2) Определение удельного сопротивления проводника
Тема 4. Физика колебаний и волн. Оптика. (ОПК-2) Экспериментальные исследования явлений интерференции и дифракции.

Тема 5. Квантовая и ядерная физика. (ОПК-2)

Изучение основ электронной микроскопии и направлений ее использования.

7.3. Содержание самостоятельной работы

Тема 2. Статистическая физика и термодинамика. (ОПК-2)

Явления переноса в жидкостях и газах. Расчет статистических и термодинамических характеристики идеального газа. Энтропия. Изопроцессы и их графическая интерпретация. Подготовка отчетов о лабораторных работах. Выполнение домашней контрольной работы

Тема 3. Электричество и магнетизм. (ОПК-2)

Расчеты электрических полей, создаваемых различными объектами. Элементы электрической цепи. Разветвленные электрические цепи. Электроизмерительные приборы. Их применение для разработки пищевых технологий в сфере индустрии питания. Электрический ток в различных средах. Полупроводники. Магнитные свойства вещества. Подготовка отчетов о лабораторных работах.

Тема 4. Физика колебаний и волн. Оптика. (ОПК-2)

Сложение колебаний. Электромагнитные колебания. Колебательный контур. Переменный электрический ток и его применение. Получение и использование электроэнергии. Источники и свойства электромагнитных излучений различных диапазонов частоты и длины волны. Оптические методы и приборы, используемые при разработке пищевых технологий в сфере индустрии питания. Подготовка отчетов о лабораторных работах.

Тема 5. Квантовая и ядерная физика. (ОПК-2)

Волновые свойства частиц вещества. Представления о квантовой механике. Квантовомеханическая модель атома водорода. Атомные спектры. Спектральный анализ. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Изотопы. Элементарные частицы, их классификация по видам взаимодействия. Подготовка отчетов о лабораторных работах.

7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 1

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 2

7.3.3. Перечень курсовых работ
Не предусмотрено

7.4. Электронное портфолио обучающегося
Размещается контрольная работа

7.5. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
Приложение 6

7.6 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы
не предусмотрено

8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

По заявлению студента

В целях доступности освоения программы для лиц с ограниченными возможностями здоровья при необходимости кафедра обеспечивает следующие условия:

- особый порядок освоения дисциплины, с учетом состояния их здоровья;
- электронные образовательные ресурсы по дисциплине в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья;
- изучение дисциплины по индивидуальному учебному плану (вне зависимости от формы обучения);
- электронное обучение и дистанционные образовательные технологии, которые предусматривают возможности приема-передачи информации в доступных для них формах.
- доступ (удаленный доступ), к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определен РПД.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Сайт библиотеки УрГЭУ
<http://lib.usue.ru/>

Основная литература:

2. Сограби Физика. Курс лекций. Тема 2. Динамика. Законы Ньютона [Электронный ресурс]:.- Екатеринбург: [б. и.], 2023. - 1 – Режим доступа: <http://lib.wbstatic.usue.ru/202307a/110.mp4>

3. Сограби Физика. Курс лекций. Тема 3. Электростатика, закон Кулона [Электронный ресурс]:. - Екатеринбург: [б. и.], 2023. - 1 – Режим доступа: <http://lib.wbstatic.usue.ru/202307a/1111.mp4>

4. Бондарев Б. В., Калашников Н. П., Спирин Г. Г. Курс общей физики в 3 кн. Книга 2: электромагнетизм, оптика, квантовая физика [Электронный ресурс]: учебник для вузов. - Москва: Юрайт, 2024. - 441 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/535754>

5. Трофимова Т. И. Руководство к решению задач по физике [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов. - Москва: Юрайт, 2024. - 265 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/535484>

6. Айзензон А. Е. Физика [Электронный ресурс]: учебник и практикум для вузов. - Москва: Юрайт, 2025. - 380 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/560131>

7. Бордовский Г. А., Бурсиан Э. В. Физика. Механика, термодинамика и электромагнетизм [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов. - Москва: Юрайт, 2025. - 242 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/557672>

Дополнительная литература:

2. Бортник Б. И., Судакова Н. П. Физика. Теоретические и практические материалы для самостоятельной работы студентов вузов [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Екатеринбург: [Издательство УрГЭУ], 2018. - 275 – Режим доступа: <http://lib.usue.ru/resource/limit/ump/19/p492562.pdf>

3. Гордеева И. В., Судакова Н. П. Физика [Электронный ресурс]: лабораторный практикум. - Екатеринбург: УрГЭУ, 2022. - 87, [1] – Режим доступа: <http://lib.wbstatic.usue.ru/resource/limit/ump/23/p495209.pdf>

4. Ерофеева Г. В., Крючков Ю. Ю., Слярова Е. А., Чернов И. П. Практические занятия по общему курсу физики [Электронный ресурс]: учебник для вузов. - Москва: Юрайт, 2024. - 517 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/530826>

5. Горлач В. В., Иванов Н. А., Пластинина М. В. Физика. Самостоятельная работа студента [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов. - Москва: Юрайт, 2024. - 168 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/537786>

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Перечень лицензионного программного обеспечения:

Microsoft Windows 10 .Договор № 52/223-ПО/2020 от 13.04.2020, Акт № Tr000523459 от 14.10.2020. Срок действия лицензии - Без ограничения срока.

Astra Linux Common Edition. Договор №0417-ПО/2019 от 08.05.2019, Акт №Sk000343 от 24.05.2019 и Контракт № 35-У/2018 от 13.06.2018, Акт № УТ213 от 17.12.2018. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

Microsoft Office 2016. Договор № 52/223-ПО/2020 от 13.04.2020, Акт № Tr000523459 от 14.10.2020 Срок действия лицензии - Без ограничения срока.

МойОфис стандартный. Соглашение № СК-281 от 7 июня 2017. Дата заключения - 07.06.2017. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

Adobe Reader. Лицензия freeware. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

Libre Office. Лицензия GNU LGPL. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

Перечень информационных справочных систем, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Единый портал интернет-тестирования в сфере образования [Электронный ресурс]
<https://i-exam.ru/>
<https://i-exam.ru/>

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Реализация учебной дисциплины осуществляется с использованием материально-технической базы УрГЭУ, обеспечивающей проведение всех видов учебных занятий и научно-исследовательской и самостоятельной работы обучающихся:

Специальные помещения представляют собой учебные аудитории для проведения всех видов занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду УрГЭУ.

Все помещения укомплектованы специализированной мебелью и оснащены мультимедийным оборудованием спецоборудованием (информационно-телекоммуникационным, иным компьютерным), доступом к информационно-поисковым, справочно-правовым системам, электронным библиотечным системам, базам данных действующего законодательства, иным информационным ресурсам служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа презентации и другие учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации.

**7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к
зачету/экзамену**

К экзамену

1. Кинематические характеристики поступательного движения: средняя и мгновенная скорости, среднее и мгновенное ускорения.
2. Уравнения равномерного прямолинейного и равномерно ускоренного движений.
3. Тангенциальное и нормальное ускорения. Полное ускорение при криволинейном движении.
4. Кинематические характеристики вращательного движения: средняя и мгновенная угловые скорости, среднее и мгновенное угловые ускорения.
5. Связь угловых и линейных кинематических величин.
6. Принцип относительности Галилея (I закон Ньютона).
7. II закон Ньютона.
8. Импульс. Импульс силы. Обобщенная форма II закона Ньютона.
9. Закон сохранения импульса.
10. III закон Ньютона.
11. Сила упругости. Закон Гука. Вес.
12. Сила тяготения. Закон Всемирного тяготения.
13. Сила трения.
14. Момент силы.
15. Момент инерции материальной точки. Момент инерции твердого тела.
16. Основной закон динамики вращательного движения.
17. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.
18. Механическая работа. Графическая интерпретация работы.
19. Работа сил: тяжести, тяготения, упругости, трения. Консервативные и неконсервативные силы.
20. Мощность. КПД.
21. Потенциальная энергия. Теорема об изменении потенциальной энергии.
22. Кинетическая энергия. Кинетическая энергия вращающегося тела.
23. Закон сохранения энергии в механике.
24. Основные постулаты специальной теории относительности.
25. Следствия: относительность длин и промежутков времени, относительность массы.
26. Закон взаимосвязи массы и энергии.
27. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.
28. Средняя кинетическая энергия молекул. Внутренняя энергия идеального газа.

29. Степени свободы, распределение энергии по степеням свободы. Число степеней свободы одноатомной, двухатомной, многоатомной молекулы.

30. Распределение Максвелла молекул по скоростям.

31. Средняя арифметическая, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорости молекул. Соотношение между ними.

32. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.

33. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Изопроцессы (изотермический, изобарический, изохорический). Их графическая интерпретация.

34. Первое начало термодинамики. Его применение к различным изопроцессам.

35. Работа, совершаемая газом при изменении его объема. Работа, совершаемая газом в изопроцессах. Графическая интерпретация.

36. Теплота. Теплоемкость. Удельная и молярная теплоемкости. Связь между ними.

37. Теплоемкость при постоянном объеме и теплоемкость при постоянном давлении.

38. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Первое начало термодинамики для адиабатического процесса.

39. Круговые циклы. Цикл Карно.

40. Принцип действия и КПД тепловой и холодильной машины.

41. Энтропия. Второе начало термодинамики. Изменение энтропии при изопроцессах и адиабатическом процессе.

42. Электрические заряды. Взаимодействие заряженных тел. Закон Кулона.

43. Электрическое поле. Напряженность электрического поля.

44. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал. Разность потенциалов. Связь между напряженностью и потенциалом.

45. Диэлектрики в электрическом поле. Диэлектрическая восприимчивость и проницаемость.

46. Проводники в электрическом поле. Электроемкость проводников. Конденсаторы.

47. Энергия системы электрических зарядов, заряженного проводника, конденсаторы. плотность энергии поля.

48. Электрический ток. Сила и плотность тока. Разность потенциалов, ЭДС, напряжение.

49. Законы Ома и Джоуля-Ленца.

50. Магнитное взаимодействие токов. Магнитное поле.

51. Индукция и напряженность магнитного поля. Напряженность поля прямолинейного и кругового тока.

52. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Сила Лоренца.

53. Закон Ампера. Работа перемещения контура с током в магнитном поле.

54. Явление электромагнитной индукции. Основной закон электромагнитной индукции (закон Фарадея). Правило Ленца.
55. Самоиндукция. Индуктивность. Индуктивность соленоида.
56. Магнитное поле в веществе. Ферромагнетизм.
57. Электромагнитное поле.
58. Гармонические колебания и их характеристики: период, частота амплитуда, фаза. Примеры электрических гармонических колебаний.
59. Энергия колебаний.
60. Затухающие и вынужденные колебания. Резонанс.
61. Волновой процесс. Фазовая скорость волны, частота, длина волны.
62. Основные свойства электромагнитных волн. Скорость их распространения в вакууме и среде. Шкала электромагнитных волн.
63. Основные законы геометрической оптики: законы отражения и преломления света.
64. Когерентность световых волн. Интерференция света.
65. Дифракция света и условия ее наблюдения.
66. Поляризация света.
67. Дисперсия света. Сплошные и линейчатые спектры.
68. Тепловое излучение. Абсолютно черное тело. Экспериментальные законы излучения абсолютно черного тела.
69. Фотоэффект. Законы фотоэффекта. Квантовый характер поглощения света. Гипотеза Планка. Фотоны. Уравнение Эйнштейна.
70. Фотоны. Корпускулярно-волновые свойства света.
71. Двойственная корпускулярно-волновая природа вещества. Гипотеза де Бройля. Волны де Бройля. Дифракция электронов и ее применение.
72. Строение атома. Атом водорода и водоподобные ионы.
73. Вынужденное излучение. Оптические квантовые генераторы. Лазеры и основные характеристики их излучения.
74. Строение атомного ядра. Зарядовое и массовое число. Нуклоны, их взаимное превращение. Ядерные силы.
75. Дефект массы атомного ядра. Энергия связи. Зависимость удельной энергии связи от массового числа.
76. Радиоактивность. Виды радиоактивных излучений.
77. Закон радиоактивного распада. Активность. Постоянная распада. Период полураспада.
78. Экспериментальные методы регистрации частиц. Счетчик Гейгера, ионизационная камера, пузырьковая камера.
79. Понятие о ядерной энергетике. Цепная реакция деления. Термоядерная реакция.
80. Элементарные частицы. Античастицы. Типы взаимодействия в микромире. Понятие о классификации элементарных частиц.

Приложение 2
к рабочей программе

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену

Примерные практические задания к экзамену (ОПК 2)

Задание 1. Диск вращается с угловой скоростью $\omega = 2 - 2t$. Чему равно угловое ускорение диска? Как направлены вектора угловой скорости и углового ускорения?

Задание 2. Определить полную энергию всех молекул в 140 г азота N_2 при 300К. Молярная масса азота $M = 28$ кг/моль. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/моль • К

Задание 3. Какие формулы позволяют рассчитать кинетическую энергию заряженной частицы, прошедшей ускоряющую разность потенциалов $\Delta\phi = U$, если q - заряд, m - масса, V - скорость, P - импульс частицы.

- а) $W_{\text{кин}} = qU$; б) $W_{\text{кин}} = mV^2/2$; в) $W_{\text{кин}} = P^2/2m$; г) $W_{\text{кин}} = q\Delta\phi$;
1) а,б; 2) б,в; 3) а,г; 4) в,г;

Задание 4. К двум последовательно соединенным резисторам с одинаковыми сопротивлениями 1 Ом параллельно подсоединили резистор с сопротивлением 2 Ом. Каково полное сопротивление данного участка цепи?

- 1) 0м; 2) 2 0м; 3) 3 Ом; 4) 4 0м;

Задание 5. ЭДС батареи 80 В, внутреннее сопротивление 2 Ом, сопротивление внешней цепи 78 Ом. Определить силу тока в цепи, напряжение, под которым находится внешняя цепь, и потребляемую ею мощность.

Задание 6. Как должна быть направлена индукция однородного магнитного поля, чтобы сила Ампера, действующая на проводник с током, могла удерживать горизонтальный проводник в поле силы тяжести? Ток в плоскости рисунка направлен вправо.

- 1) вверх 2) вниз 3) влево 4) вправо 5) к нам 6) от нас

Задание 7. Как изменится период колебаний математического маятника, если увеличить его массу в 2 раза?

Задание 8. На дифракционную решетку с периодом 4 мкм нормально к ее поверхности падает параллельный пучок света с длиной волны 0,5 мкм. Каково общее число наблюдаемых максимумов, включая центральный?

- 1) 8; 2) 9; 3) 16; 4) 17; 5) 5;

Задание 9. Квант какого диапазона электромагнитного излучения обладает наибольшей энергией?

- 1) Видимого; 2) Ультрафиолетового; 3) Гамма;
4) Инфракрасного; 5) Рентгеновского.

Задание 10. При соударении ${}^4_2\alpha$ - частицы с ядром бора ${}^{10}_5B$ произошла ядерная реакция, в результате которой образовалось два новых ядра. Одним из этих ядер было ядро атома водорода ${}^1_1H$. Определить порядковый номер и массовое число второго ядра, дать символическую запись ядерной реакции По какому закону можно определить ее энергетический эффект?

**Приложение 6
к рабочей программе**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДЕНЫ
на заседании кафедры
физики и химии

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
по дисциплине
Физика**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



**ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический
университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой физики и химии
_____ Н.Ю. Стожко

ФИЗИКА

**Учебное пособие для самостоятельной работы студентов и
выполнения контрольных работ**

Авторы: Б.И. Бортник,
Н.П. Судакова.

Екатеринбург
2019

Оглавление

Методические указания к оформлению контрольных работ....3	
Требования, предъявляемые к выполнению контрольных работ.....4	
1. Основы механики и молекулярной физики 6	
1.1. Основные формулы и законы.....6	
1.2. Примеры решения задач..... 12	
1.3. Задачи контрольной работы..... 32	
2. Электростатика. Постоянный ток.....41	
2.1. Основные формулы и законы.....41	
2.2. Примеры решения задач.....44	
2.3. Задачи контрольной работы.....47	
3. Электромагнетизм.....55	
3.1. Основные формулы и законы..... 55	
3.2. Примеры решения задач..... 56	
3.3. Задачи контрольной работы..... 60	
4. Оптика, элементы атомной и ядерной физики.....69	
4.1. Основные формулы и законы.....69	
4.2. Примеры решения задач..... 71	
4.3. Задачи контрольной работы..... 76	
Приложения.....82	
Литература и информационные ресурсы.....90	

Методические указания к оформлению контрольных работ

Задачи на темы, рассматриваемые в данном пособии, сгруппированы в четыре раздела.

1. Механика и молекулярная физика.
2. Электростатика и постоянный ток.
3. Электромагнетизм.
4. Оптика, элементы атомной и ядерной физики.

Номер задачи состоит из номера раздела и номера задачи в нем. Например, «2.17» – семнадцатая задача второго раздела. Каждая контрольная работ включает восемь задач и представлена в десяти вариантах. Вариант задания индивидуальный, задачи определяются по следующей схеме: **первые 3 буквы фамилии - первые три задачи (из 1-го, 2-го и 3-го столбцов) , первые 3 буквы имени - следующие три задачи (из 4-го, 5-го, 6-го столбцов), 2 буквы отчества - последние две задачи (из 7-го и 8-го столбцов).** (Если в фамилии или имени 2 буквы, то третья задача также выбирается по второй букве, если одна буква – по ней выбираются все три задачи, если нет отчества - две последние задачи выбираются по первым буквам фамилии).

Пример: Сидоров Иван Петрович должен выбрать задачи 1.20, 1.33, 2.2 (в соответствии с буквами «С», «И», «Д»), 2.33, 3.10, 3.31 (в соответствии с буквами «И», «В», «А»), 4.6, 4.32 (в соответствии с буквами «П», «Е»).

Для определения номеров задач каждого варианта служит нижеприведенная таблица.

Вариант	Номер задачи							
АБЭ	1.11	1.31	2.1	2.31	3.1	3.31	4.1	4.31
ГДЕ	1.12	1.32	2.2	2.32	3.2	3.32	4.2	4.32
ЖЗИ	1.13	1.33	2.3	2.33	3.3	3.33	4.3	4.33
КЯЦ	1.8	1.34	2.4	2.34	3.4	3.34	4.4	4.34
НШ	1.15	1.35	2.5	2.35	3.5	3.42	4.5	4.35
ОПР	1.16	1.36	2.6	2.36	3.6	3.36	4.6	4.36
ТУ	1.7	1.37	2.7	2.37	3.7	3.37	4.7	4.37
ФЛХ	1.18	1.38	2.8	2.38	3.8	3.38	4.8	4.38
ЧМЦ	1.19	1.39	2.9	2.39	3.9	3.39	4.9	4.39

ВСЮ	1.20	1.40	2.10	2.40	3.10	3.40	4.10	4.40
-----	------	------	------	------	------	------	------	------

Требования, предъявляемые к выполнению контрольных работ

1. Контрольная работа выполняется **в соответствии с индивидуальным вариантом** на отдельных листах, страницы пронумерованы. Отправляется в электронном виде (например, сканированном).

2. На титульном листе следует указать: курс, шифр, специальность, **фамилию, имя, отчество** выполнившего работу, название дисциплины, номера выполняемых задач, первичная или повторная работа, точный домашний адрес.

3. Решать задачи необходимо в определенной последовательности:

1) привести **полное** условие задачи;
2) привести краткое условие, пользуясь буквенными обозначениями физических величин, выписать соответствующие им числовые значения с указанием единиц измерений, выразить числовые значения всех величин в единицах СИ;

3) для пояснения решения задачи сделать схематический чертеж;

4) решить задачу в общем виде, т.е. в буквенных обозначениях;

5) дать подробные пояснения и формулировки физических законов;

6) полученное в общем виде решение проверить определением размерности обеих частей; неравенство размерностей – признак наличия ошибки в решении;

7) убедившись в правильности общего решения, заменить в выражении буквенные обозначения физических величин их численными значениями и произвести соответствующие вычисления;

8) числовой ответ, полученный после вычисления, написать в конце решения с указанием единицы измерения.

4. Работы, выполненные без соблюдения вышеперечисленных требований (пункты 1–3) не зачитываются.,

практически не рецензируются и отсылаются студенту обратно. без проверки.

5. Контрольная работа высылается студентом на проверку не позднее срока, указанного в учебном графике.

6. После проверки студенту отправляется рецензия с замечаниями.

7. Если требуется доработка или переработка, их необходимо выполнить в соответствии с замечаниями рецензента.

8. Если работа зачтена, студенту отправляется положительная рецензия.

1. Основы механики и молекулярной физики

1.1. Основные формулы и законы

Величина или физический закон	Формула
Скорость мгновенная	$\vec{u} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad u = \frac{ds}{dt}$
Ускорение мгновенное	$\vec{a} = \frac{d\vec{u}}{dt}$
Ускорение тангенциальное	
Ускорение нормальное	$a_n = \frac{u^2}{R}$
Ускорение полное	$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$
Скорость угловая	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
Ускорение угловое	$\epsilon = \frac{d\omega}{dt}$
Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими движение точки по окружности	$\vec{u} = \omega \vec{r}$ $a_t = \epsilon r \quad a_n = \omega^2 r$
Второй закон Ньютона	$\vec{F} = \vec{a} \quad \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt}$
То же при постоянной массе	$\vec{F} = m \vec{a}$
Импульс	$\vec{p} = m \vec{u}$

Продолжение таблицы

Величина или физический закон	Формула
Работа переменной силы на пути S	$A = \int_S \vec{F} \cos \alpha dS$
Мощность	$N = \frac{dA}{dt} = F u \cos \alpha$
Сила трения	$F_{\text{тр}} = \mu F_n$
Сила упругости	$F_x = - kx$
Сила гравитационного взаимодействия	$F_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$
Потенциальная энергия упругодеформированного тела	$W_n = \frac{kx^2}{2}$
Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия тела, находящегося в однородном поле тяжести	$W_n = mgh$
Кинетическая энергия тела	$W_k = \frac{m u^2}{2}$
Момент инерции тела	$J = \int r^2 dm$
Моменты инерции тел массой m : материальная точка	$J = mr^2$
сплошной цилиндр (или диск) радиуса R относительно оси, совпадающей с осью цилиндра	$J = \frac{mR^2}{2}$
шар радиуса R относительно оси, проходящей через центр масс шара	$J = \frac{2}{5} mR^2$
тонкий стержень длиной l , если ось перпендикулярна стержню и проходит через центр масс	$J = \frac{1}{12} ml^2$
то же, но ось проходит через один из концов стержня	$J = \frac{1}{3} ml^2$
Момент силы относительно точки	$\vec{M} = [\vec{r} \vec{F}]$
Момент силы относительно оси (z)	$M_z = [\vec{r} \vec{F}]_z$
Момент импульса относительно точки	$\vec{L} = [\vec{r} \vec{p}]$

Продолжение таблицы

Величина или физический закон	Формула
Момент импульса относительно оси (z)	$L_z = [r \overset{\uparrow}{p}]_z$
Основное уравнение динамики вращательного движения	$\overset{\uparrow}{M} = \frac{dL}{dt}, \quad M_z = \frac{dL_z}{dt}$
Уравнение динамики при вращении тела вокруг неподвижной оси (z)	$M_z = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \mathbf{e}$
Кинетическая энергия вращающегося тела	$W_k = \frac{J\omega^2}{2}$
Работа при вращательном движении	$dA = M_z d\varphi$
Зависимость длины тела и времени от скорости в релятивистской механике	$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ $Dt = \frac{Dt_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$
Зависимость массы частицы от скорости в релятивистской механике	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$
Полная энергия частицы	$W = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$
Энергия покоя частицы	$W_0 = m_0 c^2$
Релятивистский импульс	$p = \frac{m_0 u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$

Продолжение таблицы

Величина или физический закон	Формула
Кинетическая энергия релятивистской частицы	$W_{\kappa} = W - W_0 =$ $= m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - 1 \right) =$ $= c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}$
Закон сложения скоростей в теории относительности	$u \oplus u = \frac{u + u}{1 + u \frac{u^2}{c^2}}$
Количество вещества	$\nu = \frac{N}{N_A}, \quad \nu = \frac{m}{M}$
Уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния идеального газа)	$PV = \frac{m}{M} RT$
Закон Дальтона	$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$
Концентрация молекул	$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A m}{M}$
Уравнение молекулярно-кинетической теории газов	$P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\kappa\kappa} \rangle^2 = \frac{2}{3} n \langle \epsilon_{\text{пост}} \rangle = n$
Средняя кинетическая энергия молекулы	$\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$
Скорости молекул: средняя квадратичная	$\langle v_{\kappa\kappa} \rangle = \sqrt{\frac{3 kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 RT}{M}}$
средняя арифметическая	$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8 kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8 RT}{\pi M}}$
наиболее вероятная	$v_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2 kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2 RT}{M}}$
Среднее число соударений молекулы за 1 с	$\langle z \rangle = \sqrt{2} p d^2 n \langle V \rangle$

Продолжение таблицы

Величина или физический закон	Формула
Средняя длина свободного пробега молекулы	$\langle l \rangle = (\sqrt{2} n d^2)^{-1}$
Внутренняя энергия идеального газа	$U = \frac{i}{2} \times \frac{m}{M} RT$
Распределение молекул в потенциальном поле сил (распределение Больцмана)	$n = n_0 \exp \frac{e_n}{kT}$
Барометрическая формула	$r = r_0 \exp \frac{m_0 g h}{kT}$
Уравнение диффузии (закон Фика)	$dM = -D \frac{dr}{dx} S dt$
Сила внутреннего трения в жидкости (газе)	$F = -\eta \frac{dJ}{dx} S$
Уравнение теплопроводности	$dQ = -\kappa \frac{dT}{dx} S dt$
Коэффициент диффузии	$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle$
Динамическая вязкость (коэффициент внутреннего трения)	$\eta = \frac{1}{3} r \langle v \rangle \langle l \rangle = D r$
Теплопроводность	$\kappa = \frac{1}{3} c_v r \langle v \rangle \langle l \rangle = \eta c_v$
Теплоемкость молярная: изохорная	$C_v = \frac{i}{2} R$ или $C_v = c_v M$
изобарная	$C_p = \frac{i+2}{2} R$ или $C_p = c_p M$
Уравнение Майера	$C_p - C_v = R$
Первое начало термодинамики	$dQ = dU + dA$ $dU = \frac{m}{M} \times \frac{i}{2} R dT$, $dA = PdV$

Продолжение таблицы

Величина или физический закон	Формула
Работа расширения газа при процессе: адиабатном	$A = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2) =$ $= \frac{m}{M} \times \frac{RT_1}{g-1} \times \left(1 - \frac{V_1^{g-1}}{V_2^{g-1}} \right) =$ $= \frac{P_1 V_1}{g-1} \times \left(1 - \frac{V_1^{g-1}}{V_2^{g-1}} \right)$
изобарном	$A = P (V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$
изотермическом	$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$
Законы изопроцессов идеального газа ($m = const$): изобарный	$PV = const$ $\frac{V}{T} = const$
изохорный	$\frac{P}{T} = const$
адиабатный ($g = \frac{i+2}{i}$ – коэффициент Пуассона)	$PV^g = const$
Коэффициент полезного действия цикла Карно	$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n}$
Изменение энтропии:	$dS = \frac{dQ}{T}$ $\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$
в адиабатном процессе	$\Delta S = 0$
в изотермическом процессе	$\Delta S = \frac{m}{M} \ln \frac{V_2}{V_1}$

Окончание таблицы

Величина или физический закон	Формула
в изобарном процессе	$DS = \frac{m}{M} C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$
в изохорном процессе	$DS = \frac{M}{m} C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$
Уравнение состояния реального газа (уравнение Ван дер Ваальса)	$\frac{a}{V^2} + \frac{m^2}{M^2} \times \frac{a}{M} \frac{1}{V} - \frac{m}{M} b = \frac{m}{M} RT$
Сила поверхностного натяжения жидкости (σ – коэффициент поверхностного натяжения)	$F = \sigma l$
Потенциальная энергия поверхности	$W_n = \sigma S$
Высота столба жидкости в капилляре (полное смачивание)	$h = \frac{2 \sigma}{r \rho g}$
Тепловое расширение:	
линейное	$\Delta l = \alpha l_0 t$
объемное	$\Delta V = \beta V_0 t$
Напряжение при упругой деформации	$\sigma = \frac{F}{S}$
Закон Гука для упругой деформации (E – модуль Юнга)	$\sigma = E \frac{\Delta l}{l}$

1.2. Примеры решения задач

Пример 1. Движение материальной точки задано уравнением

$$S = 4t^3 + 2t + 1. \quad (1)$$

Найдите мгновенные значения скорости и ускорения в конце первой и второй секунд движения, среднюю скорость за вторую секунду.

Решение. Мгновенную скорость находим как производную от координаты по времени:

$$V = \frac{dS}{dt}; \quad V = 12t^2 + 2. \quad (2)$$

Для вычисления средней скорости движения надо найти отношение пути ко времени, в течение которого он пройден:

$$\langle V \rangle = \frac{DS}{Dt}. \quad (3)$$

По формуле (2) вычисляем скорости в указанные моменты времени ($t_1 = 1$ с, $t_2 = 2$ с):

$$V_1 = 12 \times 1^2 + 2 = 14 \text{ м/с}; \quad V_2 = 12 \times 2^2 + 2 = 50 \text{ м/с}.$$

Для определения средней скорости находим путь, проходимый за время от $t_0 = 1$ с до $t = 2$ с, используя уравнение (1):

$$DS = 4(t_2^3 - t_1^3) + 2(t_2 - t_1); \quad S = 4(2^3 - 1^3) + 2(2 - 1) = 30 \text{ м}.$$

По формуле (3) вычисляем:

$$\langle V \rangle = \frac{DS}{Dt}; \quad \langle V \rangle = \frac{30}{1} = 30 \text{ м/с}.$$

Мгновенное ускорение определяется первой производной от скорости по времени или второй производной от координаты по времени:

$$a = \frac{dV}{dt}; \quad a = \frac{d^2S}{dt^2}; \quad a = 24 \text{ т}.$$

Используя формулу (2), находим a . В указанные моменты времени ускорение равно $a_1 = 24 \text{ м/с}^2$ и $a_2 = 48 \text{ м/с}^2$.

Ответ: в момент времени $t_1 = 1$ с и $t_2 = 2$ с мгновенные скорости и ускорения соответственно равны $V_1 = 14 \text{ м/с}$, $V_2 = 50 \text{ м/с}$, $a_1 = 24 \text{ м/с}^2$, $a_2 = 48 \text{ м/с}^2$, средняя скорость за вторую секунду $\langle V \rangle = 30 \text{ м/с}$.

Пример 2. Тело брошено вверх с высоты 12 м под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 12 м/с. Определить продолжительность полета тела до точки A и до точки B (рис. 1), максимальную высоту, на которую поднимается тело, дальность полета тела. Сопротивление воздуха не учитывать.

Дано: $H = 12 \text{ м}$, $\alpha = 30^\circ$, $V_0 = 12 \text{ м/с}$.

Найти: t_A ; t_B ; $H_{\max}$; $S_{\max}$.

Решение. Из уравнения скорости равнопеременного движения $\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a}t$ определяем проекции вектора скорости на координатные оси (рис. 1.1), учитывая, что $\vec{a} = \vec{g}$.

$$V_x = V_0 \cos j; \quad (1)$$

$$V_y = V_0 \sin j - gt. \quad (2)$$

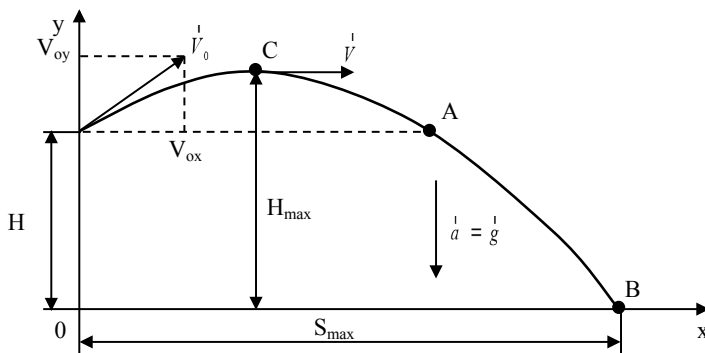


Рис. 1.1

Положение тела с течением времени изменяется в соответствии с уравнением равнопеременного движения:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}, \text{ в проекциях на координатные оси:}$$

$$y = H + V_0 t \sin j - \frac{gt^2}{2}; \quad (3)$$

$$x = V_0 t \cos j. \quad (4)$$

Изменения координаты тела y связаны с проекциями скорости и ускорения выражением

$$2 a_y D y = V_y^2 - V_{0y}^2 \text{ или } 2 g D y = V_y^2 - V_{0y}^2. \quad (5)$$

Время полета тела до точек A и B найдем из уравнений (3), подставив соответствующие координаты ($y_A = h, y_B = 0$):

$$t_A = \frac{2 V_0 \sin j}{g}; \quad (6)$$

$$t_B = \frac{V_0 \sin j}{g} + \sqrt{\frac{2 V_0^2 \sin^2 j}{g} + \frac{2 H}{g}}. \quad (7)$$

Дальность полета найдем из уравнения (4), подставив в него время движения из уравнения (7):

$$S_{\max} = x_B = V_0 t_B \cos j. \quad (8)$$

Для определения максимальной высоты подъема учтем, что в наивысшей точке с $y = H_{\max}$ $V_y = 0$, тогда из формулы (5) при $V = H_{\max} - H$ получим:

$$2g = (H_{\max} - H) = V_0^2 \sin^2 j; \quad (9)$$

$$H_{\max} = H + \frac{V_0^2 \sin^2 j}{2g}.$$

Тогда [см. (6)–(9)]:

$$t_A = \frac{2 \times 12 \times 0,5}{9,81} = 1,22 \text{ с};$$

$$t_B = \frac{12 \times 0,5}{9,81} + \sqrt{\frac{2 \times 12^2 \times 0,5^2}{9,81} + \frac{2 \times 12}{9,81}} = 2,29 \text{ с};$$

$$S_{\max} = 12 \times 0,867 \times 2,29 = 23,8 \text{ м};$$

$$H_{\max} = 12 + \frac{12^2 \times 0,5^2}{2 \times 9,81} = 13,84 \text{ м}.$$

Ответ: время движения до точки A $t_A = 1,2$ с, до точки B $t_B = 2,3$ с, наибольшая высота подъема $H_{\max} = 13,84$ м, дальность точки падения $S_{\max} = 23,8$ м.

Пример 3. По условию примера 2 найти в момент приземления тела следующие величины: скорость и угол падения тела; тангенциальное и нормальное ускорение тела; радиус кривизны траектории.

Дано: $H = 12$ м, $\alpha = 30^\circ$, $V_0 = 12$ м/с.

Найти: V_B ; α ; a_t ; a_n ; R .

Решение. Мгновенная скорость в точке B (см. рис. 1.1, 1.2) находится по значениям проекций скорости в данной точке:

$$V_B = \sqrt{V_{xB}^2 + V_{yB}^2} \quad \text{или} \quad V_B = \sqrt{V_0^2 \cos^2 \alpha + V_y^2}. \quad (1)$$

Значение V_{xB} определяется по уравнению (1) примера 2:

$$V_{xB} = V_0 \cos \alpha;$$

V_y в точке B найдем из уравнения (5) примера 2, подставив в него:

$$\Delta y = y_B - y_0 = -H;$$

$$V_{\alpha x} = V_0 \sin \alpha;$$

$$V_{yB} = \sqrt{(V_0 \sin \alpha)^2 + 2gH}.$$

Из уравнения (1) получим

$$V_B = \sqrt{(V_0 \sin \alpha)^2 + (V_0 \sin \alpha)^2 + 2gH} = \sqrt{V_0^2 + 2gH}; \quad (2)$$

$$V_B = \sqrt{12^2 + 2 \times 9,81 \times 2} = 19,5 \text{ м/с}.$$

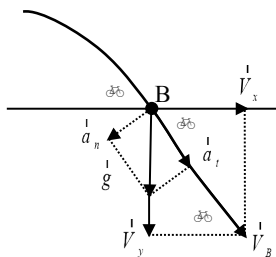


Рис. 1.2

Для определения угла α , составленного вектором скорости V_B с горизонтальной осью OX , воспользуемся рис. 1.2.

$$\sin \alpha = \frac{V_{yB}}{V_B} = \frac{\sqrt{(V_0 \sin \alpha)^2 + 2gH}}{\sqrt{V_0^2 + 2gH}};$$

$$\sin b = \frac{16,5}{19,5} = 0,845 \text{ рад}; \quad b = \arcsin 0,845 = 57^\circ 40'.$$

Тангенциальная составляющая ускорения $\vec{a}_t$ направлена вдоль вектора мгновенной скорости в данной точке, т.е. по касательной к траектории. Нормальная составляющая ускорения $\vec{a}_n$ направлена перпендикулярно вектору мгновенной скорости V_B . Полное ускорение равно их векторной сумме $\vec{a}_t + \vec{a}_n = \vec{g}$.

Тогда

$$a_t = g \sin b = g \frac{V_{yB}}{V_B}; \quad a_t = 9,81 \times 0,845 = 8,3 \text{ м/с}^2;$$

$$a_n = g \cos b = g \frac{V_{Ox}}{V_B}; \quad a_n = g \frac{V_0 \cos j}{\sqrt{V_0^2 + 2gH}};$$

$$a_n = 9,81 \frac{12 \times 0,867}{\sqrt{12^2 + 2 \times 9,81 \times 2}} = 5,25 \text{ м/с}^2.$$

Радиус кривизны траектории в точке приземления определяем из уравнения нормального ускорения:

$$a_n = \frac{V_B^2}{R}; \quad R = \frac{V_B^2}{a_n}; \quad R = \frac{19,5^2}{5,25} = 72,5 \text{ м}.$$

Ответ: скорость в точке падения $V_B = 19,5 \text{ м/с}$, угол падения $b = 57^\circ 40'$, тангенциальное ускорение $a_t = 8,3 \text{ м/с}^2$, нормальное ускорение $a_n = 5,25 \text{ м/с}^2$, радиус кривизны траектории $R = 72,5 \text{ м}$.

Пример 4. На двух шнурах одинаковой длины, равной 0,8 м, подвешены два свинцовых шара массами 0,5 и 1 кг. Шары соприкасаются между собой. Шар меньшей массы отвели в сторону так, что шнур отклонился на угол $\varphi = 60^\circ$, и отпустили. На какую высоту поднимутся оба шара после столкновения? Удар считать центральным и неупругим. Определить энергию, израсходованную на деформацию при ударе.

Дано: $m_1 = 0,5 \text{ кг}$, $m_2 = 1 \text{ кг}$, $\varphi = 60^\circ$, $l = 0,8 \text{ м}$.

Найти: h , W .

Решение. Так как удар шаров неупругий, то после удара шары будут двигаться с общей скоростью V . Закон сохранения импульса для этого удара имеет вид:

$$m_1 \dot{V}_1 + m_2 \dot{V}_2 = (m_1 + m_2) \dot{V},$$

где $\dot{V}_1$ и $\dot{V}_2$ – скорости шаров до удара.

Или с учетом направлений и величин скоростей:

$$m_1 V_1 = (m_1 + m_2) V. \quad (1)$$

Скорость меньшего шара V_1 найдем, используя закон сохранения энергии. При отклонении меньшего шара на угол α (рис. 1.3) мы сообщаем ему запас потенциальной энергии, которая затем переходит в кинетическую:

$$m_1 g h_1 = \frac{m_1 V_1^2}{2}.$$

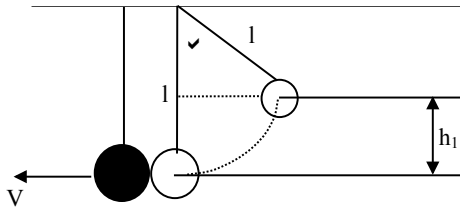


Рис. 1.3

Из рис. 1.3 видно, что $h_1 = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}$,
поэтому

$$V_1 = \sqrt{2gh_1} = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) находим скорость шаров после удара:

$$V = \frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 \sqrt{gl}}{m_1 + m_2} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (3)$$

Кинетическая энергия, которой обладают шары после удара, переходит в потенциальную:

$$\frac{(m_1 + m_2)V^2}{2} = (m_1 + m_2)gh.$$

Отсюда определяем высоту поднятия шаров после столкновения:

$$h = \frac{V^2}{2g};$$

$$h = 2 \times \frac{m_1^2}{(m_1 + m_2)^2} \times \sin^2 \frac{a}{2}; \quad (4)$$

$$h = 2 \times \frac{0,5^2 \times 0,8 \times 0,25}{(0,5 + 1)^2} = 0,044 \text{ м.}$$

При неупругом ударе шаров часть энергии расходуется на деформацию. Энергия деформации определяется разностью энергий системы до и после удара:

$$DW_{\partial} = \frac{m_1 V_1^2}{2} - \frac{m_1 + m_2}{2} V^2 = m_1 g h_1 - \frac{m_1 + m_2}{2} V^2.$$

Используя уравнения (2) и (3), получаем:

$$DW_{\partial} = 2 g l m_1 \frac{\sin^2 \frac{a}{2}}{2} - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \frac{\dot{\theta}^2}{2} \sin^2 \frac{a}{2} = \frac{2 m_1 m_2 g l}{m_1 + m_2} \sin^2 \frac{a}{2};$$

$$DW_{\partial} = 2 \times 9,81 \times 0,8 \times 0,5 \times 0,25 = 1,3 \text{ Дж.}$$

Ответ: высота поднятия шара $h = 0,044$ м, энергия деформации $DW_{\partial} = 1,3$ Дж.

Пример 5. Тонкий стержень массой 300 г и длиной 50 см вращается с угловой скоростью 10 с^{-1} в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину стержня. Продолжая вращаться в той же плоскости, стержень

перемещается так, что ось вращения теперь проходит через конец стержня. Найти угловую скорость во втором случае.

Дано: $m = 300 \text{ г} = 0,3 \text{ кг}$, $l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$, $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$.

Найти: ω_2 .

Решение. Используем закон сохранения момента количества движения:

$$\sum_{i=1}^n J_i \omega_i = \text{const} , \quad (1)$$

где J_i – момент инерции стержня относительно оси вращения.

Для изолированной системы тел векторная сумма моментов импульса относительно оси вращения остается постоянной. В данной задаче, вследствие того, что распределение массы стержня относительно оси вращения изменяется, момент инерции стержня также изменяется, но при этом в соответствии с уравнением (1) момент импульса постоянен:

$$J_0 \omega_1 = J_2 \omega_2 . \quad (2)$$

Момент инерции стержня относительно оси, проходящей через центр масс и перпендикулярной стержню (1-й случай), равен:

$$J_0 = \frac{1}{12} m l^2 . \quad (3)$$

По теореме Штейнера

$$J = J_0 + m a^2 , \quad (4)$$

где J – момент инерции тела относительно произвольной оси вращения; J_0 – момент инерции относительно параллельной оси, проходящей через центр масс; a – расстояние от центра масс до выбранной оси вращения.

Найдем момент инерции относительно оси, проходящей через конец стержня и перпендикулярной ему (2-й случай). Так как $a = \frac{l}{2}$, из (3) и (4) получим

$$J_2 = \frac{1}{12} m l^2 + m \left(\frac{l}{2} \right)^2 = \frac{1}{3} m l^2 . \quad (5)$$

Подставим формулы (3) и (5) в (2):

$$\frac{1}{12} ml^2 \omega_1 = \frac{1}{3} ml^2 \omega_2;$$

$$\omega_2 = \frac{1}{4} \omega_1; \quad \omega_2 = \frac{1}{4} 10 \text{ с}^{-1} = 2,5 \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: угловая скорость во втором случае $\omega_2 = 2,5 \text{ с}^{-1}$.

Пример 6. Материальная точка массой 20 г совершает гармонические колебания с периодом 9 с. Начальная фаза колебания 10° . Через сколько времени от начала движения смещение точки достигнет половины амплитуды? Найти амплитуду, максимальные скорость и ускорение точки, если ее полная энергия равна 10^{-2} Дж.

Дано: $m = 20 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$; $T = 9 \text{ с}$; $j_0 = 10^\circ = \frac{\pi}{18}$;

$$X = \frac{A}{2};$$

$W = 10^{-2} \text{ Дж}$.

Найти: $t, A, V_{\max}, a_{\max}$.

Решение. Уравнение гармонического колебательного движения:

$$X = A \sin(\omega t + j_0), \text{ или } X = A \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + j_0 \right) \quad (1)$$

где X – смещение точки относительно положения равновесия; A – амплитуда колебания; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – циклическая частота; T – период колебаний; t – время колебания; j_0 – начальная фаза колебания.

Из уравнения (1) можно определить время колебания:

$$t = \frac{\arcsin \frac{X}{A} - j_0}{2\pi} T; \quad t = \frac{\arcsin 0,5 - \frac{\pi}{18}}{2\pi} \cdot 9 = \frac{\frac{\pi}{6} - \frac{\pi}{18}}{2\pi} \cdot 9 = 0,5 \text{ с}.$$

Из формулы полной энергии колеблющейся точки $W = \frac{mA^2\omega^2}{2}$ определим амплитуду ее колебаний:

$$A = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{2W}{m}} = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2W}{m}}; \quad A = \frac{9 \text{ с}}{2 \times 3,14} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-2}}} = 1,43 \text{ м.}$$

Зная амплитуду, можно вычислить максимальную скорость точки, которая определяется как первая производная от смещения по времени:

$$V = \frac{dX}{dt} = A \omega \cos(\omega t + j_0).$$

Так как максимальное значение $\cos(\omega t + j_0) = 1$, получаем:

$$V_{\max} = A \omega = A \frac{2\pi}{T}; \quad V_{\max} = 1,43 \frac{2 \times 3,14}{9} = 1 \text{ м/с.}$$

Ускорение точки определяется как первая производная скорости по времени:

$$a = \frac{dV}{dt} = -A \omega^2 \sin(\omega t + j_0).$$

Максимальное значение $|\sin(\omega t + j_0)| = 1$, следовательно:

$$a_{\max} = A \omega^2 = A \frac{4\pi^2}{T^2}; \quad a_{\max} = 1,43 \times \frac{4 \times (3,14)^2}{81} = 0,7 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: время, через которое отклонение равно половине амплитуды, $t = 0,5 \text{ с}$; амплитуда $A = 1,43 \text{ м}$; наибольшая скорость $V_{\max} = 1 \text{ м/с}$; наибольшее ускорение $a_{\max} = 0,7 \text{ м/с}^2$.

Пример 7. Какую минимальную скорость нужно сообщить ракете, чтобы она не вернулась на Землю, преодолев земное тяготение? Сопротивление атмосферы не учитывать.

Решение. С удалением ракеты от Земли будет увеличиваться ее потенциальная энергия $\Pi = -G \frac{mM}{R}$ и уменьшаться кинетическая $T = \frac{mV^2}{2}$. По закону сохранения

энергии: уменьшение кинетической энергии равно увеличению потенциальной.

$$T_0 - T = \Pi - \Pi_0; \quad (1)$$

$$\frac{mV_0^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = \frac{mGM}{R_0} - \frac{mGM}{R},$$

где m – масса ракеты; M – масса Земли; G – гравитационная постоянная; V_0 , V – скорость ракеты относительно Земли в начальный и в рассматриваемый моменты; R_0 , R – расстояние от центра Земли до ракеты в начальный и в рассматриваемый моменты.

После преобразования уравнения (1) имеем:

$$V_0^2 - V^2 = 2GM \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R} \right).$$

Ракета не вернется на Землю, если ее скорость V будет равна нулю в бесконечности, т.е. $V = 0$ при $R = \infty$.

В этом случае

$$V_0^2 = \frac{2GM}{R_0}. \quad (2)$$

Сила тяготения равна силе тяжести на поверхности Земли:

$$\frac{GmM}{R_0^2} = mg; \quad GM = gR_0^2, \quad (3)$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения на поверхности Земли.

Подставляя формулу (3) в (2), находим

$$V_0^2 = \frac{2gR_0^2}{R_0}, \quad \text{или} \quad V_0 = \sqrt{2gR_0}.$$

Считая, что ракета набирает нужную скорость V_0 уже вблизи поверхности Земли, и полагая радиус Земли равным 6 370 км, находим

$$V_0 = \sqrt{2 \times 9,8 \times 6,37 \times 10^6} = 11,2 \times 10^3 \text{ м/с} = 11,2 \text{ км/с}.$$

Скорость, необходимая для преодоления поля тяготения Земли, называется второй космической или параболической скоростью.

Ответ: скорость, необходимая для преодоления тяготения Земли, $V_0 = 11,2 \text{ км/с}$.

Пример 8. В сосуде емкостью 8,3 л находится воздух при нормальном давлении и температуре 300 К. В сосуд вводят 3,6 г воды и закрывают крышкой. Определить давление в сосуде при 400 К, если вся вода при этой температуре превращается в пар?

Дано: $V = 8,3 \text{ л} = 8,3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$; $T_0 = 300 \text{ К}$; $m = 3,6 \text{ г} = 3,6 \times 10^{-3} \text{ кг}$; $T_1 = 400 \text{ К}$; $P_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ Па}$.

Найти: P .

Решение. Давление в сосуде складывается из давления воздуха, нагретого до температуры 400 К (P_1), и давления водяных паров при той же температуре (P_2). Из объединенного газового закона $\frac{P_0 V}{T_0} = \frac{P_1 V}{T_1}$ находим давление воздуха:

$$P_1 = \frac{P_0 T_1}{T_0}.$$

Из уравнения Клапейрона-Менделеева $PV = \frac{m}{M} RT$ найдем давление водяных паров:

$$P_2 = \frac{m T_1 R}{M V},$$

где $M = 18 \times 10^{-3} \text{ кг/моль}$ – молярная масса водяного пара;

$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \times \text{К}}$ – универсальная газовая постоянная.

По закону Дальтона для смеси газов $P = P_1 + P_2$ найдем давление газа в сосуде:

$$P = P_0 \frac{T_1}{T_0} + \frac{m T_1}{M V} R.$$

Тогда

$$P = \frac{1,013 \times 10^5 \times 400}{300} + \frac{3,6 \times 10^{-3} \times 400}{18 \times 10^{-3} \times 8,3 \times 10^{-3}} \times 8,31 = 2,15 \times 10^5 \text{ Па}.$$

Ответ: давление $P = 2,15 \times 10^5 \text{ Па}$.

Пример 9. Определить плотность разреженного азота, если средняя длина свободного пробега молекул 10 см. Какова концентрация молекул?

Дано: $\langle l \rangle = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$.

Найти: ρ, n_0 .

Решение. Средняя длина свободного пробега молекул определяется формулой

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \rho d^2 n_0}, \quad (1)$$

где d – эффективный диаметр молекулы (для азота $d = 0,3 \times 10^{-9} \text{ м}$).

Концентрацию молекул определим из равенства

$$n = \frac{N}{V} = \frac{m}{M} \times \frac{N_A}{V} = \rho \frac{N_A}{M}, \quad (2)$$

где $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – постоянная Авогадро; $M = 28 \times 10^{-3} \text{ кг/моль}$ – молярная масса азота; $\rho = \frac{m}{V}$ – плотность газа.

Решая совместно уравнения (1) и (2), находим:

$$n = \frac{1}{\sqrt{2} \rho d^2 \langle l \rangle} = \rho \frac{N_A}{M}; \quad \rho = \frac{M}{\sqrt{2} \rho d^2 \langle l \rangle N_A};$$

$$n = \frac{1,16 \times 10^{-6} \times 6,02 \times 10^{23}}{28 \times 10^{-3}} = 2,49 \times 10^{19} \text{ м}^{-3};$$

$$\rho = \frac{28 \times 10^{-3}}{\sqrt{2} \times 3,14 \times 0,09 \times 10^{-18} \times 0,1 \times 6,02 \times 10^{23}} = 1,16 \times 10^{-6} \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: плотность газа $\chi = 1,16 \cdot 10^{-6}$ кг/м³; концентрация $n = 2,49 \cdot 10^{19}$ м⁻³.

Пример 10. Наружная поверхность кирпичной стены площадью 25 м² и толщиной 37 см имеет температуру 259 К, а внутренняя поверхность – 293 К. Помещение отапливается электроплитой. Определить ее мощность, если температура в помещении поддерживается постоянной. Теплопроводимость кирпича $0,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°K}}$.

Дано: $S = 25 \text{ м}^2$; $d = 37 \text{ см} = 0,37 \text{ м}$; $T_1 = 259 \text{ К}$; $T_2 = 293 \text{ К}$;

$$\square = 0,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°K}}.$$

Найти: N .

Решение. Количество теплоты, прошедшее через наружную стену, определить по закону Фурье:

$$Q = - \kappa \frac{T_1 - T_2}{d} S t, \quad (1)$$

где t – время протекания теплоты.

За время t электроплита должна выделить такое же количество теплоты:

$$Q = N t. \quad (2)$$

Приравнявая правые части уравнений (1) и (2), получаем:

$$N t = - \kappa \frac{T_1 - T_2}{d} S t,$$

откуда

$$N = - \kappa \frac{T_1 - T_2}{d} S;$$

$$N = - 0,4 \times \frac{259 - 293}{0,37} \times 25 = 1 \text{ кВт}.$$

Ответ: мощность электроплиты $N = 1$ кВт.

Пример 11. При температуре 250 К и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па двухатомный газ занимает объем 80 л. Как изменится энтропия газа, если давление увеличить вдвое, а температуру повысить до 300 К?

Дано: $P_1 = 1,013 \cdot 10^5$ Па; $T_1 = 250$ К; $V_1 = 80$ л = $8 \cdot 10^{-2}$ м³; $P_2 = 2P_1$; $T_2 = 300$ К.

Найти: ΔS .

Решение. Изменение энтропии определяется формулой

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}. \quad (1)$$

Количества теплоты находим из первого закона термодинамики:

$$dQ = dU + dA; \quad (2)$$

$$dQ = \frac{m}{M} C_v dT + PdV,$$

где dU – изменение внутренней энергии; dA – работа расширения газа; m – масса газа; M – молярная масса; C_v – молярная теплоемкость при постоянном объеме; dV – изменение объема газа.

Для двухатомных газов $i = 5$.

$$C_v = \frac{5}{2} R,$$

где R – универсальная газовая постоянная.

Величины $\frac{m}{M}$ и P найдем из уравнения Клапейрона–Менделеева:

$$\frac{m}{M} = \frac{P_1 V_1}{T_1 R}; \quad (3)$$

$$P = \frac{m}{M} \times \frac{RT}{V} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \times \frac{T}{V}.$$

Подставляя уравнение (3) в (2), находим:

$$dQ = \frac{P_1 V_1}{RT_1} dT + \frac{P_1 V_1}{T_1} \times \frac{T}{V} dV = \frac{P_1 V_1}{T_1} \frac{5}{2} dT + T \frac{dV}{V} \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в (1), находим:

$$DS = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \frac{5}{2} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \frac{5}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1},$$

тогда

$$DS = \frac{P_1 V_1}{T_1} \frac{5}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \frac{5}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{P_2}{P_1} =$$

$$= \frac{P_1 V_1}{T_1} \frac{7}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$DS = 1,013 \times 10^{-5} \times \frac{8 \times 10^{-2}}{250} (3,5 \times 0,182 - 0,693) = 1,88 \text{ Дж/К}.$$

Ответ: изменение энтропии $\Delta S = 1,88 \text{ Дж/К}$.

Пример 12. Тепловая машина работает по циклу Карно (рис. 1.4). При изотермическом расширении двухатомного газа его объем увеличивается в 3 раза, а при последующем адиабатическом расширении – в 5 раз. Определить КПД цикла. Какую работу совершает 1 кмоль газа за один цикл, если температура нагревателя 300 К? Какое количество теплоты получит от холодильника машина, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении, и какое количество теплоты будет передано нагревателю?

$$\text{Дано: } \frac{V_2}{V_1} = a = 3; \quad \frac{V_4}{V_3} = b = 5; \quad \nu = 1 \text{ кмоль} = 10^3 \text{ моль};$$

$$T_H = T_1 = 300 \text{ К}.$$

Найти: η ; A ; Q_H ; Q_X .

Решение. КПД цикла Карно определяется формулой

$$h = \frac{T_n - T_x}{T_n}, \quad (1)$$

где T_n – температура нагревателя; T_x – температура холодильника.

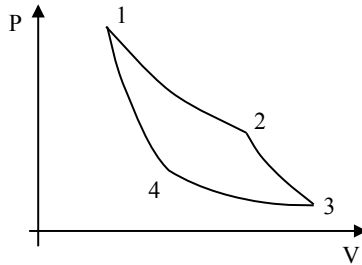


Рис. 1.4

В адиабатном процессе 2↔3 параметры состояния связаны уравнением Пуассона $PV^g = \text{const}$ или $TV^{g-1} = \text{const}$, следовательно, $T_3 = T_2 \frac{V_2^{g-1}}{V_3^{g-1}} = T_2 b^{1-g} = T_1 b^{1-g}$, так как $T_1 = T_2 = T_n$, а $T_3 = T_4 = T_x$. Из равенства (1) получаем

$$h = \frac{T_n - T_n b^{1-g}}{T_n} = 1 - b^{1-g}, \quad (2)$$

где $b^{1-g} = 5^{1-1,4} = 0,525$.

Следовательно, $\eta = 1 - 0,525 = 0,475$; $\eta = 47,5\%$.

Работа цикла Карно определяется разностью теплоты Q_n , полученной в процессе 1↔2, и теплоты Q_x , отданной в процессе 3↔4:

$$A = Q_n - |Q_x|. \quad (3)$$

При изотермическом процессе

$$Q_n = \nu RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT_1 \ln a; \quad (4)$$

$$Q_x = \nu RT_3 \ln \frac{V_4}{V_3} = -\nu RT_3 \ln \frac{V_3}{V_4} = -\nu RT_3 \ln a,$$

так как $\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1} = a$ (доказать самостоятельно).

Знак «минус» показывает, что теплота отдается газом холодильнику.

$$A = \nu R \ln a (T_1 - T_3) = \nu R \ln a \Delta T; \quad (5)$$

$$A = \nu R \Delta T \ln a,$$

где $\Delta T = T_1 - T_3 = T_1 - T_1 b^{1-\gamma} = T_1 (1 - b^{1-\gamma}) = T_1 h = 144 \text{ К}$;
 $T_3 = 156 \text{ К}$.

Подставим числовые значения в равенство (5):

$$A = 10^{-3} \times 8,31 \times 144 \times 1,1 = 1,32 \text{ МДж}.$$

При обратном цикле Карно газ расширяется по адиабате 1-4, а затем по изотерме 4-3, получая при этом от холодильника количество теплоты Q_x . Далее газ сжимается по адиабате 3-2, а затем по изотерме 2-1, отдавая при этом количество теплоты Q_n . По формулам (4) находим:

$$Q_n = 10^{-3} \times 8,31 \times 300 \times 1,1 = -2,74 \text{ МДж};$$

$$Q_x = 10^{-3} \times 8,31 \times 156 \times 1,1 = 1,42 \text{ МДж}.$$

Ответ: КПД $\eta = 47,5\%$; работа $A = 1,32 \text{ МДж}$. В обратном цикле количество теплоты, полученное от холодильника, $Q_x = 1,42 \text{ МДж}$, количество теплоты, переданное нагревателю $Q_n = -2,74 \text{ МДж}$.

Пример 13. Из капиллярной трубки с радиусом канала 0,2 мм по каплям вытекает жидкость. Масса 100 капель равна 0,282 г. Определить поверхностное натяжение жидкости.

Дано: $r = 0,2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; $n = 100$; $m = 0,282 \text{ г} = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$.

Найти: ? .

Решение. Капля отрывается в тот момент, когда ее сила тяжести равна силе поверхностного натяжения. Считая радиус шейки капли равным радиусу капилляра, для силы поверхностного натяжения можно записать

$$F = 2 \rho r s .$$

Так как масса одной капли $\frac{m}{n}$, получим

$$2 \rho r s = \frac{mg}{n},$$

откуда

$$s = \frac{mg}{2 \rho r n};$$

$$s = \frac{2,82 \times 10^{-4} \times 9,8}{2 \times 3,14 \times 2 \times 10^{-4} \times 100} = 2,2 \times 10^{-2} \text{ Н/м} .$$

Ответ: коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 2,2 \times 10^{-2} \text{ Н/м}$.

1.3. Задачи контрольной работы

1.1. С башни высотой 49 м в горизонтальном направлении брошено тело со скоростью 5 м/с. Записать уравнение движения тела, определить тангенциальное и нормальное ускорения тела в точке, соответствующей половине всего времени падения тела. Установить, на каком расстоянии от башни оно упало.

1.2. Под каким углом к горизонту надо бросить тело со скоростью 20 м/с, чтобы дальность полета была в 4 раза больше наибольшей высоты подъема? Определить уравнение траектории и радиус кривизны в верхней ее точке.

1.3. Мяч, летевший со скоростью 15 м/с, ударился о горизонтальную плоскость и отскочил от нее с такой же скоростью. Угол падения мяча 60° . Составить уравнение движения мяча и уравнение траектории. Определить наибольшую высоту подъема, дальность полета, радиус кривизны траектории мяча в наивысшей точке.

1.4. К маховику, вращающемуся с частотой 360 мин⁻¹, прижали тормозную колодку. С этого момента он стал вращаться равнозамедленно с ускорением 20 с⁻². Сколько потребуется

времени для его остановки? Через сколько оборотов он остановится? Движение считать равнопеременным.

1.5. Материальная точка движется по окружности диаметром 40 м. Зависимость ее координаты от времени движения определяется уравнением $S = t^3 + 4t^2 - 3t + 8$. В какой момент точка изменяет направление движения? Определить пройденный путь, скорость, нормальное, тангенциальное и полное ускорение движущейся точки через 4 с после начала движения.

1.6. По окружности радиусом 20 см движется материальная точка. Уравнение ее движения $S = 2t^2 + t$. Чему равны тангенциальное, нормальное и полное ускорение точки в момент времени, равный 10 с? Какой угол составляет полное ускорение с вектором скорости?

1.7. Точка движется по окружности радиусом 60 см с тангенциальным ускорением 10 м/с^2 . Чему равны нормальное и полное ускорения в конце третьей секунды после начала движения? Чему равен угол между векторами полного и нормального ускорений в этот момент?

1.8. Материальная точка движется по прямой согласно уравнению $x = 10 + 2t^3$. Найти среднюю скорость движения точки в промежутке времени от $t = 0$ до $t = 3$ с, ее координату, скорость и ускорение в момент времени $t = 3$ с. Построить зависимости кинематических характеристик от времени.

1.9. Определить скорость и центростремительное ускорение точек земной поверхности на экваторе, на широте 45° и на полюсе, вызванное суточным вращением Земли.

1.10. Зависимость угла поворота радиуса ($r = 2 \text{ м}$) вращающегося колеса от времени задана уравнением $\varphi = 4 + 5t - t^3$. Найти угловую скорость и полное ускорение точки, лежащей на ободе колеса, в конце первой секунды вращения. Каковы средняя скорость и ускорение за это время?

1.11. Определить работу, которую необходимо затратить, чтобы вывести ракету за пределы поля тяготения Земли, если ракета стартует с космического корабля, движущегося по круговой орбите на уровне 500 км над поверхностью Земли. Масса ракеты 200 кг.

1.12. По наклонной плоскости вверх катится без скольжения полый обруч. Ему сообщена начальная скорость 3,14 м/с, параллельная наклонной плоскости. Установить, какой путь пройдет обруч, если угол наклона плоскости 30° .

1.13. Шар в одном случае соскальзывает без вращения, в другом – скатывается с наклонной плоскости с высоты 2 м. Определить скорости в конце спуска в обоих случаях. Трением пренебречь.

1.14. Человек стоит в центре скамьи Жуковского и держит на вытянутых руках гири массой по 5 кг. Расстояние между гирями 1,3 м. При симметричном сжатии рук расстояние от гири до оси вращения уменьшилось до 15 см, скорость вращения скамьи изменилась. Момент инерции гирь и скамьи с человеком на ней при вытянутых руках $10 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Определить, как изменилась скорость вращения скамьи, если известно, что при первом положении гирь скамья вращалась с частотой 120 мин^{-1} . Какую работу произведет человек при изменении положения гирь?

1.15. Цилиндр массой 5 кг катится без скольжения с постоянной скоростью 14 м/с. Определить кинетическую энергию цилиндра и время, через которое цилиндр остановится, если сила трения равна 50 Н.

1.16. Маховик, масса которого 6 кг равномерно распределена по ободу радиусом 18 см, вращается на валу с частотой 500 мин^{-1} . Под действием тормозящего момента $10 \text{ Н} \cdot \text{м}$ маховик останавливается. Найти, через какое время он остановится, какое число оборотов он совершит за это время и какова работа торможения.

1.17. Стержень длиной 1 м и массой 1 кг может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. В другой конец стержня попадает летящая горизонтально пуля массой 5 г и застревает в нем. Найти первоначальную кинетическую энергию пули, если стержень отклонится на 30° .

1.18. Однородный шар катится без скольжения вверх по наклонной плоскости. Какова начальная скорость поступательного движения шара, если он может подняться на высоту 12 м? Влиянием трения пренебречь.

1.19. Покоившийся вначале маховик под действием постоянного вращающего момента за 10 с приобрел кинетическую энергию в $2 \cdot 10^{-4}$ Дж. Определить, сколько оборотов совершил маховик за это время, если его момент инерции равен $400 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

1.20. Какую кинетическую энергию приобретает маховик в результате действия на него в течение 10 с постоянного вращающего момента $20 \text{ Н} \cdot \text{м}$? Момент инерции маховика $200 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Чему равно изменение момента импульса маховика? Какова работа внешних сил?

1.21. Пружинный маятник, масса которого равна 100 г, колеблется по закону $x = 0,05 \sin \frac{\pi}{4} t - \frac{p}{3} \frac{\ddot{x}}{\ddot{x}}$ м. Определить коэффициент упругости пружины и полную энергию маятника.

1.22. Медный шар, подвешенный к пружине, совершает вертикальные колебания. Как изменится период колебаний, если к пружине подвесить вместо медного шарика алюминиевый такого же радиуса?

1.23. Амплитуда гармонического колебания равна 5 см, период — 4 с, начальная фаза $\frac{p}{2}$. Записать закон колебаний, закон изменения скорости и ускорения. Найти максимальную скорость колеблющейся точки и ее максимальное ускорение. Чему равны кинетическая, потенциальная и полная энергия колеблющейся точки в момент 1 с, если ее масса 10 г?

1.24. На концах тонкого однородного стержня длиной 30 см и массой 400 г закреплены грузы массой 200 и 300 г. Определить момент инерции этого физического маятника и период его собственных колебаний относительно оси, проходящей через середину стержня.

1.25. Маятник состоит из тяжелого шара массой 100 г, подвешенного на нити длиной 50 см. Определить период колебаний маятника и энергию, которой он обладает, если наибольший угол его отклонения от положения равновесия 15° .

1.26. Тонкий однородный стержень длиной 2 м может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через конец стержня перпендикулярно ему. Стержень отклонили на 90° от положения равновесия и отпустили. Определить скорость

нижнего конца стержня в момент прохождения положения равновесия и период собственных колебаний при малых отклонениях, если масса стержня 2 кг.

1.27. Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью 15 м/с. Период колебаний точек шнура равен 1,2 с, максимальное смещение (амплитуда) – 2 см. Определить фазу колебаний и ускорение точки, отстоящей на расстояние 45 м от источника волн, для момента времени 4 с.

1.28. Материальная точка совершает колебательное движение вдоль оси OX по закону $x = 8 \cos \frac{\pi}{6} pt + \frac{p}{2} \frac{\ddot{x}}{\ddot{0}}$ см. Найти период колебаний и ускорение точки в момент $t = \frac{T}{2}$, построить график зависимости $x(t)$.

1.29. Материальная точка участвует одновременно в двух колебаниях, происходящих вдоль взаимно перпендикулярных осей, по законам: $x = 0,1 \sin 2t$; $y = 0,2 \sin(2t + \pi)$, где x и y – соответствующие координаты точки; t – время в секундах. Найти уравнение траектории результирующего движения, величину и направление вектора скорости в начальный момент времени. Построить траекторию движения (в масштабе).

1.30. Шар, радиус которого 5 см, подвешен на нити длиной 10 см. Определить относительную погрешность вычисления периода колебаний такого маятника, если принять его за математический маятник длиной 15 см.

1.31. Тепловая машина Карно совершает работу с двумя молями одноатомного идеального газа между тепловым резервуаром с температурой 327 К и холодильником с температурой 27 К. Отношение наибольшего объема газа к наименьшему объему в данном процессе равно восьми. Какую работу совершает машина за один цикл? Какое количество теплоты получает от нагревателя и отдает холодильнику? Чему равно изменение энтропии при изотермическом сжатии?

1.32. Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, берет теплоту от холодильника с водой при температуре 0 К и передает кипятивнику с водой при температуре 100 К. Определить массу воды, которую нужно

заморозить в холодильнике, чтобы превратить в пар 1 кг воды в кипяильнике?

1.33. Тепловая машина с одноатомным газом совершает обратимый цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. В процессе цикла максимальное давление и объем в 2 раза больше минимальных. Вычислить КПД цикла. Нарисовать диаграмму процесса. Определить изменение внутренней энергии и энтропии газа за цикл.

1.34. Тепловая машина совершает с пятью молями двухатомного газа цикл, состоящий из изохоры, изотермы и изобары. Максимальный объем газа в четыре раза больше минимального, изотермический процесс протекает при температуре 127°C . Вычислить КПД цикла и работу, совершаемую за один цикл. Нарисовать диаграмму цикла в координатах $P-V$.

1.35. Идеальный двухатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изотерм и двух изохор, причем наибольшая температура газа 600 К, а наименьшая 300 К, наибольший объем 8 л, а наименьший 2 л. Найти КПД цикла и изменение энтропии в каждом процессе и за весь цикл для 1 моля газа.

1.36. Какова теоретически возможная максимальная работа паровой машины, если в топке котла, питающего паром машину, будет сожжено 100 кг каменного угля с теплотворной способностью 30 МДж? Температура пара 190°C , температура холодильника 10°C . Коэффициент полезного действия топки котла 80%.

1.37. Идеальная тепловая машины, совершив один цикл Карно, произвела работу $8 \cdot 10^3$ Дж, получив от нагревателя $32 \cdot 10^3$ Дж тепла. Определить температуру нагревателя, если температура холодильника равна 27°C . Определить изменение энтропии в каждом из процессов и за цикл.

1.38. Тепловая машина работает по циклу Карно, КПД которого 0,35. Каков холодильный коэффициент машины, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении? Холодильным коэффициентом называется отношение количества теплоты, отнятого от охлаждаемого тела, к работе двигателя, приводящего в движение машину. Какое количество теплоты

машина возьмет у холодильника и какое передаст нагревателю, если за один цикл совершается работа 20 кДж?

1.39. Цикл Карно совершается одним молем кислорода между температурой 200°C и 10°C. Определить количество теплоты, передаваемое холодильнику, если количество теплоты, взятое у нагревателя, 1600 Дж. Каков наибольший объем газа, если в исходном состоянии он равен 5 литрам?

1.40. Идеальная тепловая машина Карно за один цикл получила от нагревателя $8 \cdot 10^4$ Дж. Чему равна полезная работа, совершенная машиной, если температура холодильника 20°C, а нагревателя 300°C? Чему равен КПД машины? Во сколько раз изменялось давление при изотермическом расширении газа, если количество вещества равно 10 моль?

1.41. Вычислить полную энергию теплового движения молекул 40 г кислорода при температуре 47°C. Какую часть этой энергии составляет энергия поступательного движения молекул?

1.42. Стальной стержень длиной 20 см с площадью поперечного сечения 3 см² с одного конца нагревается до температуры 320°C, а другим концом касается льда при 0°C. Предполагая, что передача теплоты происходит исключительно вдоль стержня (без потери через стенки), подсчитать массу льда, растаявшего за 2 мин. Теплопроводность стали $49 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°К}}$.

1.43. Алюминиевый кофейник нагревается на электроплитке. Вода доведена до кипения и выделяет каждую минуту 17,5 г пара. Толщина дна кофейника 5 мм, а площадь дна 300 см². Определить температуру наружной поверхности дна, полагая, что все дно нагревается равномерно. Теплопроводность алюминия $200 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°К}}$, температура кипения воды 100°C. Теплопроводностью боковых стенок пренебречь.

1.44. Определить теплопроводность кислорода при давлении 0,11 МПа и температуре 47°C, если коэффициент диффузии 0,2 см²/с.

1.45. Сколько молекул воздуха находится в комнате объемом 240 м³ при температуре 15°C и давлении 100 КПа? Молярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

1.46. Определить внутреннюю энергию и суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул азота, находящегося под давлением 10^5 Н/м^2 в сосуде объемом 16 л.

1.47. В сосуде объемом $1,5 \text{ м}^3$ содержится 10^{26} молекул идеального газа. Давление в сосуде $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Определить температуру газа в сосуде.

1.48. Коэффициент диффузии кислорода при температуре $t = 0^\circ \text{С}$ $D = 0,19 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить длину свободного пробега молекул газа.

1.49. Между двумя пластинами, находящимися на расстоянии 1 мм друг от друга, находится воздух. Между пластинами поддерживается разность температур 1 К. Площадь каждой пластины 100 см^2 . Какое количество теплоты передается за счет теплопроводности от одной пластины к другой за 10 мин? Считать, что воздух находится при нормальных условиях. Диаметр молекулы принять равным 0,3 нм.

1.50. Найти массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 100 см^2 за 10 с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен $1,26 \text{ кг/м}^4$. Температура азота 300 К, давление 0,1 МПа.

1.51. Две круглые стеклянные пластинки площадью 100 см^2 каждая полностью смочены водой и приложены друг к другу. Толщина слоя воды между пластинами 2 мкм. Вычислить силу, которую нужно приложить к пластинам перпендикулярно плоскости пластин, чтобы их разъединить. Считать мениск вогнутым с диаметром, равным расстоянию между пластинами.

1.52. Длинную открытую с обоих концов капиллярную трубку радиусом 0,5 мм заполнили водой и поставили вертикально. Определить высоту оставшейся в капилляре воды. Толщину стенок капилляра считать ничтожно малой, смачивание полным.

1.53. Зная, что плотность ртути при 0°С равна $13,6 \text{ г/см}^3$, найти ее плотность при температуре 300°С . Коэффициент объемного расширения ртути считать постоянным, его среднее значение в данном интервале температур принять равным $1,85 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$.

1.54. Какую силу нужно приложить к расположенному горизонтально алюминиевому кольцу высотой 10 мм,

внутренним диаметром 50 мм и внешним диаметром 52 мм, чтобы оторвать его от поверхности воды?

1.55. Капилляр с внутренним радиусом 2 мм опущен в жидкость. Найти коэффициент поверхностного натяжения жидкости, если известно, что масса жидкости, поднявшейся в капилляре, равна $9 \cdot 10^{-5}$ кг.

1.56. На какую высоту поднимается вода в капилляре диаметром 0,2 мм, если коэффициент поверхностного натяжения воды равен $7,2 \cdot 10^{-2}$ Н/м? Смачивание считать абсолютным.

1.57. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы выдуть мыльный пузырь радиусом 5 см? Чему равно избыточное давление внутри пузыря? Коэффициент поверхностного натяжения мыльной воды считать равным $4 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

1.58. Какие силы надо приложить к концам стального стержня с площадью поперечного сечения $S = 10$ см², чтобы не дать ему расшириться при нагревании от $t_1 = 0$ °С до $t_2 = 30$ °С?

1.59. К стальной проволоке радиусом 1 мм подвесили груз. Под действием этого груза проволока получила такое же удлинение, как при нагревании на 20 °С. Найти массу груза.

1.60. Стальной брус вплотную помещен между каменными неподвижными стенами при 0 °С. Найти напряжение материала бруса при 20 °С, вызванное невозможностью его теплового расширения.

2. Электростатика. Постоянный ток

2.1. Основные формулы и законы

Величина или физический закон	Формула
Закон Кулона	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$
Напряженность электростатического поля	$E = \frac{F}{q_0}$
Напряженность поля точечного заряда	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$
Напряженность поля бесконечно длинной заряженной нити	$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\tau}{r}$
Напряженность поля равномерно заряженной плоскости	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
Напряженность поля между двумя равномерно и разноименно заряженными бесконечными параллельными плоскостями	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$
Напряженность поля металлической заряженной сферы радиуса R на расстоянии r от центра сферы: на поверхности сферы ($r = R$) вне сферы ($r > R$)	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}$ $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$

Продолжение таблицы

Величина или физический закон	Формула
Электрическая индукция (смещение электрического поля)	$D = \epsilon \epsilon_0 E$
Работа перемещения заряда в электрическом поле из точки А в точку В	$A = q(j_1 - j_2)$
Потенциал поля точечного заряда	$j = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q}{er}$
Потенциал электрического поля металлической поллой сферы радиусом R на расстоянии от центра сферы: на поверхности и внутри сферы ($r \leq R$) вне сферы ($r > R$)	$j = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q}{eR}$ $j = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q}{er}$
Связь между напряженностью и потенциалом поля	$E = - \frac{dj}{dl}; \quad \vec{E} = - \text{grad } j$
Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора	$F = \frac{q^2}{2 \epsilon_0 \epsilon S}$
Електроемкость уединенного проводника	$C = \frac{q}{j}$
Електроемкость сферического конденсатора	$C = 4 \pi \epsilon_0 \epsilon R$
Електроемкость плоского конденсатора	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$
Електроемкость параллельно соединенных конденсаторов	$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$
Електроемкость батареи последовательно соединенных конденсаторов	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$
Энергия заряженного проводника	$w_0 = \frac{cj^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qj}{2}$
Энергия заряженного плоского конденсатора	$W_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} V$

Окончание таблицы

Величина или физический закон	Формула
Объемная плотность энергии электрического поля	$y = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2}$
Сила тока	$I = \frac{dq}{dt}; \quad I = \frac{q}{t}$
Плотность тока	$j = \frac{dl}{dS}$
Закон Ома для участка цепи	$I = \frac{U}{R}$
Закон Ома в дифференциальной форме	$r_j = s E \quad r = \frac{1}{s} E$
Закон Джоуля–Ленца	$A = Q = I^2 R t = I U t = \frac{U^2}{R} t$
Закон Джоуля–Ленца в дифференциальной форме	$w = s E^2$
Термоэлектродвижущая сила (α – удельная термо-ЭДС)	$e = \alpha D T$
Сопротивление однородного проводника	$R = r \frac{l}{S}$
Удельная электрическая проводимость	$s = \frac{1}{r}$
Зависимость удельного сопротивления от температуры	$r_t = r_0 (1 + \alpha t)$
Полная мощность, выделяющаяся в цепи	$P_{полн} = I e$
Коэффициент полезного действия источника тока	$\eta = \frac{P_{полн}}{P} = \frac{R}{R + r}$
Законы Кирхгофа	$\sum_{i=1}^n I_i = 0; \quad \sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{k=1}^m e_k$
Плотность электрического тока в газе и в электролите	$j = q n_0 (u_+ + u_-) E$

2.2. Примеры решения задач

Пример 1. Тонкий стержень длиной 20 см несет равномерно распределенный заряд. На продолжении оси стержня на расстоянии 10 см от ближнего конца находится точечный заряд 40 нКл, который взаимодействует со стержнем с силой 6 мкН. Определить линейную плотность заряда на стержне.

Дано: $l = 20$ см; $r_0 = 10$ см; $q_0 = 40$ нКл; $F = 6$ мкН.

Найти: .

Решение.

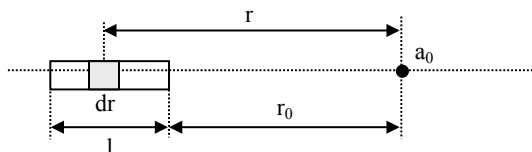


Рис. 2.1. Взаимодействие точечного заряда и стержня

Сила взаимодействия F заряженного стержня с точечным зарядом q_0 зависит от линейной плотности заряда на стержне. Зная эту зависимость, можно определить . При вычислении силы F следует иметь в виду, что заряд на стержне не является точечным, поэтому закон Кулона непосредственно применять нельзя. В этом случае можно поступить следующим образом. Выделить на стержне дифференциально малый участок dr с зарядом dq . Этот заряд можно рассматривать как точечный. Тогда согласно закону Кулона

$$dF = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 t dr}{r^2}.$$

Интегрируя это выражение в пределах от r_0 до $r_0 + l$, получим

$$F = \frac{q_0 t}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_0}^{r_0+l} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 t}{4\pi\epsilon_0} \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_0}^{r_0+l} = \frac{q_0 t l}{4\pi\epsilon_0 r_0 (r_0 + l)},$$

откуда интересующая нас линейная плотность заряда

$$t = \frac{4\pi\epsilon_0 r_0 (r_0 + l) F}{q_0 l}.$$

Выразим все величины в единицах СИ:

$$q_0 = 40 \text{ нКл} = 4 \times 10^{-8} \text{ Кл}.$$

$$F = 6 \text{ мкН} = 6 \times 10^{-6} \text{ Н}.$$

$$l = 0,2 \text{ м}.$$

$$r_0 = 0,1 \text{ м}.$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Ф/м}.$$

Подставим числовые значения в полученную формулу и произведем вычисления:

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

Ответ: линейная плотность заряда на стержне 2,5 нКл/м.

Пример 2. Три источника тока с электродвижущими силами $e_1 = 1 \text{ В}$, $e_2 = 2 \text{ В}$, $e_3 = 3 \text{ В}$ соединены так, как показано на рис. 2.2. Сопротивление резисторов в цепи $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 30 \text{ Ом}$, $R_4 = 40 \text{ Ом}$. Определить напряжение на сопротивлении R_3 . Сопротивлениями источников тока и соединительных проводов пренебречь.

Дано: $e_1 = 1 \text{ В}$; $e_2 = 2 \text{ В}$; $e_3 = 3 \text{ В}$; $R_1 = 10 \text{ Ом}$; $R_2 = 20 \text{ Ом}$; $R_3 = 30 \text{ Ом}$; $R_4 = 40 \text{ Ом}$.

Найти: U_3 .

Решение. Расставив предполагаемое направление токов I_1 , I_2 и I_3 в ветвях цепи, составляем уравнение по первому правилу Кирхгофа для узла A :

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

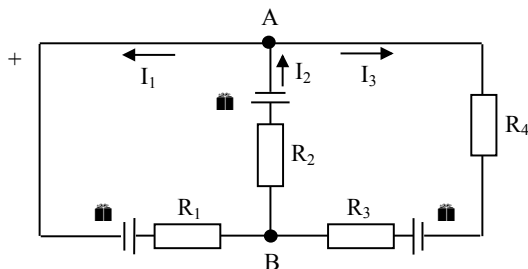


Рис. 2.2. Электрическая цепь

Для контура $A e_3 B e_1 A$ и $A e_3 B e_2 A$ составляем уравнения по второму правилу Кирхгофа (направления обхода контура выбираем по часовой стрелке):

$$I_3(R_3 + R_4) - I_1 R_1 = e_3 - e_1; \quad (2)$$

$$I_3(R_3 + R_4) + I_1 R_1 = e_3 - e_2. \quad (3)$$

Получим три уравнения с тремя неизвестными. Искомое напряжение равно $U_3 = I_3 R_3$. Подставляя в уравнения числовые значения ЭДС и сопротивлений, получаем:

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0; \quad 70 Y_3 - 10 Y_1 = 2; \quad 70 Y_3 + 20 Y_2 = 1.$$

Решим эту систему уравнений:

$$Y_1 = \frac{70 Y_3 - 2}{10} = 7 Y_3 - 0,2; \quad Y_2 = \frac{1 - 70 Y_3}{20} = 0,05 - 3,5 Y_3.$$

Подставим эти выражения в уравнение (1):

$$0,05 - 3,5 Y_3 - 7 Y_3 + 0,2 - Y_3 = 0,$$

откуда

$$Y_3 = 0,022 \text{ А}.$$

Следовательно, $U_3 = 0,022 \text{ А} \cdot 30 \text{ Ом} = 0,66 \text{ В}$.

Ответ: напряжение на сопротивлении R_3 равно 0,66 В.

2.3. Задачи контрольной работы

2.1. Точечные заряды $+10,4 \cdot 10^{-8}$ Кл и $-2,4 \cdot 10^{-8}$ Кл находятся на расстоянии 20 см друг от друга. На каком расстоянии от второго заряда необходимо поместить произвольный заряд, чтобы он был в равновесии?

2.2. Два одинаковых шарика, обладающих массой $0,6 \cdot 10^{-3}$ г каждый, подвешены на шелковых нитях длиной 0,4 м так, что их поверхности соприкасаются. Угол, на который разошлись нити при сообщении шарикам одинаковых зарядов, равен 60° . Найти заряд.

2.3. В вершинах треугольника со сторонами по $2 \cdot 10^{-2}$ м находятся равные заряды по $2 \cdot 10^{-9}$ Кл. Найти равнодействующую сил, действующих на четвертый заряд 10^{-9} Кл, помещенный на середине одной из сторон треугольника.

2.4. В элементарной теории атома водорода принимают, что электрон вращается вокруг протона по круговой орбите. Какова скорость вращения электрона, если радиус орбиты равен $0,53 \cdot 10^{-10}$ м?

2.5. Два одинаковых шарика радиусом по 1,7 см подвешены на шелковых нитях длиной по 0,7 м к одной точке. При сообщении шарикам зарядов по $2 \cdot 10^{-6}$ Кл нити разошлись на угол 90° . Какова плотность материала шариков?

2.6. На двух одинаковых капельках масла находится по 100 лишних электронов. Сила электрического отталкивания уравнивается силой их взаимного тяготения. Найти объем каждой капельки, если плотность масла $0,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

2.7. Два заряда взаимодействуют в вакууме на расстоянии $2,2 \cdot 10^{-2}$ м с такой же силой, как в трансформаторном масле на расстоянии 1,48 см. Какова диэлектрическая проницаемость трансформаторного масла?

2.8. Два шарика массой по 0,5 г подвешены на шелковых нитях длиной по 1 м к одной точке. При сообщении шарикам зарядов они разошлись на 4 см. Определить заряд каждого шарика.

2.9. Вычислить ускорение, сообщаемое одним электроном другому, находящемуся от первого на расстоянии 1 мм.

2.10. Шарик массой 1 г и 10 г заряжены. Заряд первого шарика – $3 \cdot 10^{-14}$ Кл, а заряд второго надо определить. Известно, что сила их кулоновского отталкивания уравнивается силой взаимного тяготения.

2.11. Сколько электронов содержит заряд пылинки массой 10^{-11} кг, если она удерживается в равновесии в горизонтально расположенном плоском конденсаторе? Расстояние между обкладками конденсатора – 1 см, разность потенциалов на обкладках – 100 В.

2.12. Электрон движется по направлению силовых линий однородного электрического поля с напряженностью 2,4 В/см. Какое расстояние он пролетит в вакууме до полной остановки,

если его начальная скорость 2000 км/с? Сколько времени будет длиться полет?

2.13. В вершинах равностороннего треугольника со стороной 4 см находятся равные заряды по 3×10^{-9} Кл. Определить напряженность поля в точке, лежащей на середине сторон треугольника?

2.14. Расстояние между двумя точечными зарядами $+3,3 \times 10^{-7}$ Кл и $-3,3 \times 10^{-7}$ Кл равно 1 см. Найти напряженность поля в точке на серединном перпендикуляре к отрезку, соединяющему оба заряда, на расстоянии 1 см от основания перпендикуляра.

2.15. Заряды, находящиеся на двух длинных параллельных проводах, создают линейную плотность 6×10^{-5} Кл/м. Расстояние между проводами – 20 см. Найти напряженность электрического поля, созданного в точке, удаленной на 20 см от каждого провода.

2.16. Шар с зарядом 2×10^{-6} Кл имеет потенциал 1800 В и опущен в керосин. Найти напряженность, индукцию и потенциал в точке поля, удаленной от поверхности шара на 10 см.

2.17. Две параллельные металлические пластины, расположенные в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью 2,2, обладают поверхностной плотностью заряда 3 и 2 Кл/м². Определить напряженность и индукцию электрического поля между пластинами и вне пластин.

2.18. К двум очень длинным параллельным пластинам приложено напряжение 6 кВ. Поверхностная плотность зарядов на пластинах – $3,2 \times 10^{-6}$ Кл/м². Определить расстояние между пластинами.

2.19. Найти модуль и направление напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом 10×10^{-8} Кл и бесконечно длинной заряженной нитью с линейной плотностью заряда $0,5 \times 10^{-5}$ Кл/м в точке, удаленной от заряда на 4 см и от нити на 3 см. Расстояние между зарядом и нитью – 5 см.

2.20. Чему равна напряженность поля в центре квадрата, в вершинах которого последовательно расположены заряды 1, 2, 3 и 4 Кл (сторона квадрата – 10 см)?

2.21. Протон, двигаясь в электрическом поле, приобрел скорость 400 м/с. Какую ускоряющую разность потенциалов он пролетел?

2.22. Два заряда 10^{-7} и 10^{-8} Кл находятся на расстоянии 40 см один от другого. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 15 см?

2.23. Определить потенциал точки поля, находящейся на расстоянии 5×10^{-2} м от центра заряженного шара, если напряженность поля в этой точке 3×10^5 В/м. Определить заряд шара.

2.24. Два равных точечных заряда по 10^{-8} Кл каждый находятся на расстоянии 100 см друг от друга. Вычислить напряженность и потенциал в точке поля, находящейся на середине расстояния между зарядами.

2.25. Заряд – $12,2 \times 10^{-9}$ Кл, сосредоточенный на пылинке, притягивается к равномерно заряженной плоскости площадью 2 м^2 с зарядом 10^{-5} Кл. Определить, какое расстояние пролетела пылинка, если работа, совершенная полем, равна 56×10^{-5} Дж.

2.26. В поле заряда $2,223 \times 10^{-6}$ Кл перемещается заряд 3×10^{-8} Кл. Вычислить работу, совершаемую полем, если перемещение происходит между точками с напряженностью 400 и 2×10^4 В/м.

2.27. Равномерно заряженная бесконечно протяженная плоскость с поверхностной плотностью заряда 4×10^{-5} Кл/м² и точечный заряд 10^{-8} Кл находятся на расстоянии 0,5 м. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 0,2 м?

2.28. Конденсатор с парафиновым диэлектриком имеет емкость $4,42 \times 10^{-11}$ Ф и заряжен до разности потенциалов 150 В. Напряженность поля внутри конденсатора 6×10^{-2} В/м. Определить площадь пластины конденсатора, энергию поля конденсатора и поверхностную плотность заряда на пластине.

2.29. Расстояние между пластинами слюдяного конденсатора 2,2 мм, а площадь каждой пластины – $6 \times 10^{-4} \text{ м}^2$. Пластины притягиваются с силой 0,4 мН. Определить разность потенциалов между пластинами и электрическую емкость конденсатора.

2.30. В горизонтально расположенном плоском воздушном конденсаторе в равновесии удерживаются пылинки с зарядом $4,8 \times 10^{-19}$ Кл. Каков вес пылинки, если разность потенциалов на пластинах 60 В, а расстояние между ними – 12×10^{-3} м? Какова индукция поля?

2.31. Найти энергию поляризованного слюдяного диэлектрика, находящегося в конденсаторе, если площадь пластины конденсатора 25 см^2 , толщина диэлектрика – 9 мм и пластины заряжены до напряжения 2 кВ.

2.32. На концах проводника длиной 3 м поддерживается разность потенциалов 1,5 В. Каково удельное сопротивление проводника, если плотность тока $5 \times 10^5 \text{ А/м}^2$?

2.33. Источник тока, имеющий электродвижущую силу 150 В и внутреннее сопротивление 0,4 Ом, питает током десять ламп сопротивлением по 240 Ом и пять ламп сопротивлением 145 Ом каждая. Лампы соединены параллельно, сопротивление подводящих проводов – 2,5 Ом. Найти напряжение, под которым находятся лампы.

2.34. Три гальванических элемента с ЭДС 1,3; 1,4 и 1,5 В и внутренним сопротивлением 0,3 Ом каждый соединены параллельно и замкнуты внешним сопротивлением 0,6 Ом (рис. 2.3). Определить силу тока в каждом элементе.

2.35. Напряжение на шинах электростанции – 10 кВ. Расстояние до потребителя – 500 км (линия двухпроводная). Станция должна передать потребителю мощность 100 кВт. Потери напряжения на проводах не должны превышать 4%. Вычислить площадь сечения медных проводов на участке электростанция-потребитель.

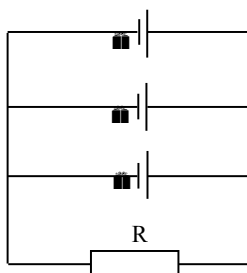


Рис. 2.3. Схема электрической цепи к задаче 2.34

2.36. В электронной лампе ток идет от металлического цилиндра к нити, расположенной внутри него по оси. Определить плотность тока вблизи нити и вблизи цилиндра при следующих условиях: сила тока – 3 мА; длина нити в цилиндре – 2,5 см; диаметр нити – 0,02 мм; диаметр цилиндра – 1 см.

2.37. Имеется моток медной проволоки площадью поперечного сечения $0,1 \text{ мм}^2$. Масса всей проволоки – $0,3 \text{ кг}$. Определить сопротивление проволоки. Плотность меди – $8,9 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

2.38. Какое напряжение можно дать на катушку, имеющую 1000 витков медного провода, со средним диаметром витков 6 см, если допустимая плотность тока – 2 А/мм^2 ?

2.39. Аккумулятор замыкается один раз таким сопротивлением, что сила тока равна 3 А, второй раз таким сопротивлением, что сила тока равна 2 А. Определить ЭДС аккумулятора, если мощность тока во внешней цепи в обоих случаях одинакова, а внутреннее сопротивление аккумулятора равно 4 Ом.

2.40. Сколько ламп мощностью по 300 Вт, предназначенных для напряжения 110 В, можно установить параллельно в здании, если проводка от магистрали сделана медным проводом длиной 100 м и площадью поперечного сечения 9 мм^2 , а напряжение в магистрали равно 122 В?

2.41. Два источника тока с ЭДС 4 и 6 В и одинаковыми внутренними сопротивлениями 4 Ом включены параллельно с резистором сопротивлением 4 Ом (рис. 2.4). Определить силы токов, идущих через резистор и элементы.

2.42. В цепи (рис. 2.5) внутренние сопротивления источников тока $r_1 = 1,5 \text{ Ом}$; $r_2 = 0,5 \text{ Ом}$; ЭДС $\mathcal{E}_1 = 50 \text{ В}$; $\mathcal{E}_2 = 10 \text{ В}$. Найти сопротивление R_1 , при котором сила тока в сопротивлении R_0 равна нулю.

2.43. Два элемента с ЭДС 2 и 1 В соединены параллельно (рис. 2.4). Параллельно к ним подключен резистор, сопротивление которого необходимо определить. Внутренние сопротивления элементов соответственно 0,5 и 0,2 Ом. Известно, что через первый элемент проходит ток силой 2 А.

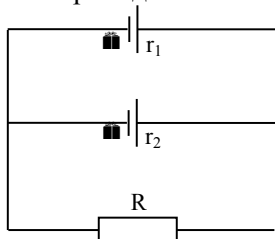


Рис. 2.4. Схема электрической цепи к задачам 2.41, 2.43

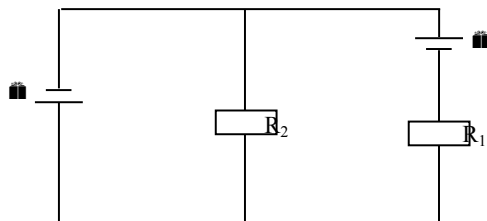


Рис. 2.5. Схема электрической цепи к задачам 2.42, 2.46

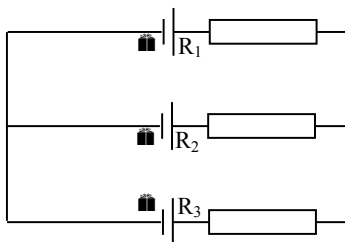


Рис. 2.6. Схема электрической цепи к задаче 2.44

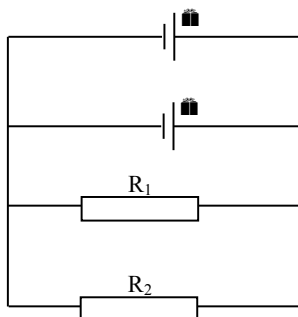


Рис. 2.7. Схема электрической цепи к задаче 2.45

2.44. Найти силу токов во всех участках цепи, составленной по схеме, показанной на рис. 2.6, если $\mathcal{E}_1 = 3 \text{ В}$; $\mathcal{E}_2 = 4 \text{ В}$; $\mathcal{E}_3 = 5 \text{ В}$; $R_1 = 8 \text{ Ом}$; $R_2 = 3 \text{ Ом}$; $R_3 = 1 \text{ Ом}$. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

2.45. Два элемента с внутренним сопротивлением $0,5 \text{ Ом}$ и ЭДС $1,5 \text{ В}$ каждый соединены параллельно и замкнуты на два параллельно соединенных проводника с сопротивлениями 1 и 3

ОМ (рис. 2.7). Найти силу тока в проводнике с сопротивлением 3 Ом, если сопротивление соединительных проводов 4 Ом.

2.46. Найти токи в ветвях цепи (рис.2.5), если $\mathcal{E}_1 = 4 \text{ В}$; $\mathcal{E}_2 = 2 \text{ В}$; $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $r_1 = r_2 = 1 \text{ Ом}$.

2.47. Трамвайный вагон потребляет ток силой 100 А при напряжении 600 В и развивает тягу 3 кН. Определить скорость движения трамвая на горизонтальном участке пути, если КПД электродвигателя трамвая 80%.

2.48. Обмотка электромагнитов в динамо-машине сделана из медного провода и при 10°C имеет сопротивление 14,2 Ом. При работе сопротивление обмотки повысилось до 16,5 Ом. Какой стала температура обмотки?

2.49. Электропечь должна выпаривать за 5 мин 1 л воды, взятой при 20°C. Определить длину нихромовой проволоки с площадью поперечного сечения 0,5 мм², если печь работает под напряжением 120 В и ее КПД 80%?

2.50. В медных шинах с площадью поперечного сечения 25 см² течет ток силой 250 А. Определить количество теплоты, выделяющейся в 1 м³ за 1 с.

2.51. Электрическая лампочка накаливания потребляет ток силой 0,2 А. Диаметр вольфрамового волоска – 0,02 мм; температура волоска при горении лампы – 2000°C. Определить напряженность электрического поля в волоске.

2.52. В железном проводнике длиной 2 м и площадью поперечного сечения 0,4 мм² идет ток. При этом за 1 мин выделяется 48 Дж теплоты. Определить напряженность электрического поля в проводнике.

2.53. Определить плотность электрического тока в железном проводнике, если тепловая энергия, выделяемая в 1 м³ за 1 с, равна $9,8 \times 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$.

2.54. На концах проводника длиной 6 м поддерживается разность потенциалов 120 В. Каково удельное сопротивление проводника, если плотность тока в нем $5 \times 10^{-8} \text{ А/м}^2$?

2.55. В цепь гальванометра включена термопара, состоящая из медной и константановой проволоки длиной по 1 м и диаметром 0,2 мм. На сколько делений отклонится стрелка гальванометра, если спай термопары нагреть на 50°C?

Внутреннее сопротивление гальванометра – 50 Ом; чувствительность гальванометра – 10^{-6} А/дел; удельная термоЭДС термопары – 40 мкВ/К.

2.56. Термоэлемент, состоящий из пары медь-константан, имеет удельную термоЭДС 10^{-5} В/К. Определить разность температур спаев термоэлемента, если сопротивление термоэлемента и подводющих проводов 40 Ом. Гальванометр, включенный в цепь термоэлемента, показывает ток силой 7,8 мкА; сопротивление гальванометра – 320 Ом.

2.57. Определить концентрацию электронов в металле, если их длина свободного пробега 7×10^{-8} м, средняя скорость хаотического движения – 10^6 м/с, удельное сопротивление металла – 10^{-7} Ом $\times$ м.

2.58. Найти число ионов, образующихся при рентгеновском облучении в 1 м³ воздуха за 1 с, если плоские электроды находятся на расстоянии 25 см друг от друга; их площадь – 400 см²; сила тока в цепи – 8×10^{-8} А. Ионы считать одновалентными, их подвижность $u_+ = 1,38 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$, $u_- = 1,91 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$.

2.59. В разрядной трубке появилось свечение водорода. Какова скорость электронов, вызвавших ионизацию атомов водорода? Потенциал ионизации водорода – 13,6 В.

2.60. При ионизации воздуха образовались одновалентные ионы с подвижностями $u_+ = 1,38 \times 10^{-4}$, $u_- = 1,91 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$.

Определить напряженность электрического поля в воздухе, если концентрация ионов $1,2 \times 10^{15} \text{ м}^{-3}$, а плотность тока $1,3 \times 10^{-6} \text{ А/м}^2$.

3. Электромагнетизм

3.1. Основные формулы и законы

Величина или физический закон	Формула
Индукция магнитного поля	$B = \mu \mu_0 H$
Закон Био–Савара–Лапласа	$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}$
Напряженность магнитного поля, созданного бесконечно длинным прямым проводником с током	$H = \frac{I}{2\pi R}$
Напряженность магнитного поля, создаваемого отрезком проводника	$H = \frac{I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$
Напряженность магнитного поля в центре кругового тока	$H = \frac{I}{2R}$
Напряженность магнитного поля внутри тороида и бесконечно длинного соленоида	$H = In$
Напряженность магнитного поля, создаваемого движущимся зарядом	$H = \frac{qv \sin \alpha}{4\pi r^2}$
Циркуляция вектора напряженности магнитного поля	$\oint H dl \cos(\vec{H}, \vec{dl}) = \sum_{i=1}^n I_i$
Сила взаимодействия двух прямолинейных параллельных проводников с током	$F = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$
Закон Ампера	$dF = BIdl \sin \alpha$
Сила Лоренца	$F = qvB \sin \alpha$
Механический момент, действующий на контур с током	$M = I S B \sin \alpha$

Окончание таблицы

Величина или физический закон	Формула
Магнитный момент контура с током	$P_m = IS$
Магнитный поток однородного магнитного поля	$\Phi = BS \cos \alpha$
Потокосцепление	$\Psi = N\Phi$
Основной закон электромагнитной индукции	$\mathcal{E}_i = - N \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\Psi}{dt}$
Электродвижущая сила самоиндукции	$\mathcal{E}_c = - L \frac{dI}{dt}$
Потокосцепление соленоида	$\Psi = LI$
Индуктивность соленоида	$L = \mu_0 n^2 l S$
Количество электричества, протекающего в контуре при изменении магнитного потока	$q = - \frac{d\Psi}{R}$
Работа по перемещению проводника с током и контура с током в магнитном поле	$A = I d\Phi$
Энергия магнитного поля	$W_m = \frac{LI^2}{2}$
Объемная плотность энергии магнитного поля	$w_m = \frac{\mu_0 H^2}{2}$
Формула Томсона	$T = 2\pi \sqrt{LC}$
Связь длины электромагнитной волны с периодом	$\lambda = \nu T$
Скорость распространения электромагнитных волн в среде	$\nu = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$

3.2. Примеры решения задач

Пример 1. Изолированный прямолинейный проводник изогнут в виде прямого угла со стороной 20 см. В плоскости угла помещен кольцевой проводник радиусом 10 см так, что стороны угла являются касательными к кольцу. Найти напряженность в центре кольца. Сила токов в угловом и кольцевом проводниках равна 2 А. Влияние подводящих проводов не учитывать.

Дано: $l = 0,2$ м; $R = 0,1$ м; $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$; $I_1 = I_2 = 2$ А.

Найти: H_0 .

Решение. Напряженность dH в заданной точке поля, создаваемая элементом проводника $\vec{dl}$ с током (проводник

имеет произвольную конфигурацию) определяется законом Био–Савара–Лапласа:

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2},$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный из элемента тока в точку, в которой определяется напряженность; α – угол между векторами $d\vec{l}$ и $\vec{r}$.

Направление напряженности перпендикулярно плоскости, содержащей $d\vec{l}$ и $\vec{r}$, и определяется правилом правого винта. Например, в центре окружности (рис. 3.1) напряженности от всех элементов перпендикулярны плоскости окружности и направлены за плоскость рисунка.

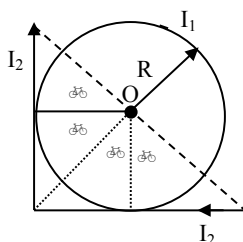


Рис. 3.1. Проводники с током

Напряженность магнитного поля, созданного кольцевым проводником радиусом R , в его центре

$$H_k = \frac{I}{2R}.$$

Напряженность магнитного поля, создаваемого конечным отрезком AB прямого проводника на расстоянии R от него (точка O рис. 3.2), равна

$$H_{np} = \frac{I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Эту формулу в данном случае удобнее записать в виде

$$H_{\text{пр}} = \frac{I}{4 \rho r} (\sin \beta_1 + \sin \beta_2).$$

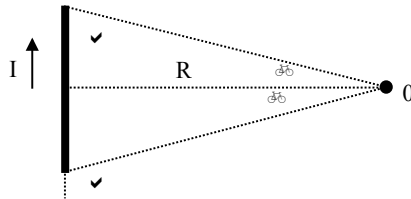


Рис. 3.2. К определению напряженности поля отрезка проводника

Направление напряженности поля в точке O , созданной каждой из сторон угла, перпендикулярно плоскости, в которой лежит проводник и R (напряженность направлена за плоскость рисунка).

По условию задачи для каждой стороны $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$, напряженность от двух сторон угла составляет в соответствии с принципом суперпозиции полей

$$H_{\text{пр}} = 2 \frac{I}{4 \rho r} \frac{\sin \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} + \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{I}{\rho} \frac{\sin \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{\sqrt{2} I}{2 \rho r}.$$

Если направления углового и кольцевого токов совпадают (рис. 3.1), то результирующая напряженность в центре кольца равна сумме напряженностей:

$$H_{0_1} = H_{\text{пр}} + H_{\text{к}} = \frac{I}{2 R} \frac{\sin \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} + \frac{\sqrt{2}}{p} \frac{I}{\rho} \frac{\sin \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}}.$$

В случае, когда в местах касания токи в кольцевом и угловом проводниках противоположны, результирующая напряженность

$$H_{0_2} = H_{\text{к}} - H_{\text{пр}} = \frac{I}{2 R} \frac{\sin \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} - \frac{\sqrt{2}}{p} \frac{I}{\rho} \frac{\sin \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}}.$$

Ответ: напряженность магнитного поля в точке O при совпадении направлений токов равна 12,2 А/м, а в случае противоположного направления токов – 7,7 А/м.

Пример 2. В однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл равномерно вращается рамка, содержащая 1000 витков. Площадь рамки – 150 см². Рамка делает 10 об./с. Определить мгновенное значение ЭДС, соответствующее углу поворота рамки в 30°.

Дано: $B = 1$ Тл; $N = 1000$; $S = 150 \text{ см}^2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$; $\nu = 10 \text{ с}^{-1}$; $\varphi = 30^\circ$.

Найти: $\mathcal{E}$.

Решение. Мгновенное значение ЭДС индукции определяется законом электромагнитной индукции Фарадея:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt},$$

где Φ – потокосцепление; Φ – магнитный поток, пронизывающий рамку; N – число витков в рамке.

При вращении рамки магнитный поток Φ , пронизывающий рамку в момент времени t , изменяется по закону

$$\Phi = BS \cos \omega t,$$

где B – магнитная индукция; S – площадь рамки; ω – круговая (или циклическая) частота.

Подставив в формулу ЭДС это выражение и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = NBS \omega \sin \omega t.$$

Круговая частота ω связана с числом оборотов в секунду ν соотношением

$$\omega = 2\pi \nu.$$

Подставляя значение ω , получим

$$\mathcal{E}_i = 2\pi \nu NBS \sin \omega t.$$

Произведем расчет, учитывая, что $\varphi = \omega t = 30^\circ$:

$$\mathcal{E}_i = 2 \times 3,14 \times 10 \times 1000 \times 1,5 \times 10^{-2} \times 0,5 = 47,1 \text{ В}.$$

Ответ: мгновенное значение ЭДС индукции 47,1 В.

3.3. Задачи контрольной работы¹

3.1. Рамка диаметром 6 см содержит 100 витков. Плоскость витков совпадает с направлением напряженности однородного магнитного поля, равной 15 А/м. Какой вращающий момент действует на рамку при силе тока в ней 10 А?

3.2. Нормаль к плоскости рамки составляет угол 30° с направлением однородного магнитного поля. Под каким углом установилась рамка по отношению к полю, если вращающий момент, действующий на рамку, уменьшился в 10 раз? Решение пояснить рисунком.

3.3. Напряженность магнитного поля – 50 А/м. В этом поле находится свободно вращающаяся плоская рамка площадью поперечного сечения 10 см^2 . Плоскость рамки вначале совпадала с направлением индукции поля. Затем по рамке кратковременно пропустили ток силой 1 А, и рамка получила угловое ускорение 100 с^{-2} . Считая условно вращающий момент постоянным, найти момент инерции рамки.

3.4. Плоская круглая рамка диаметром 10 см находится в однородном магнитном поле. По рамке протекает ток силой 20 А. На сколько изменится вращающий момент, действующий на рамку, при повороте плоскости рамки на угол 60° ? До поворота плоскость рамки совпадала с направлением поля. Напряженность поля – 20 А/м.

3.5. Плоская круглая рамка состоит из 20 витков радиусом 2 см, и по ней течет ток силой 1 А. Нормаль к рамке составляет угол 90° с направлением магнитного поля напряженностью 30 А/м. Найти изменение вращающего момента, действующего на рамку, если из 20 витков рамки сделать один круглый виток.

3.6. Под влиянием однородного магнитного поля в нем движется с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$ прямолинейный алюминиевый проводник с площадью поперечного сечения 1 мм^2 . По проводнику течет ток силой 5 А, и его направление

¹ В задачах этого параграфа считать, что магнитное поле создается в воздухе (вакууме).

перпендикулярно индукции поля. Вычислить эту индукцию. Плотность алюминия – $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3.7. В однородном горизонтальном магнитном поле находится в равновесии горизонтальный прямолинейный алюминиевый проводник с током силой 10 А, расположенный перпендикулярно полю. Определить индукцию поля, считая радиус проводника равным 2 мм. Плотность алюминия – $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3.8. По двум параллельным проводникам текут токи силой 70 и 80 А. Расстояние между проводниками – 1,4 см. С какой силой взаимодействуют провода на каждый метр длины?

3.9. Проводник длиной 20 см с током силой 10 А находится в магнитном поле, индукция которого 0,03 Тл. Направление тока составляет с направлением индукции поля угол 60° . Определить силу, действующую на проводник.

3.10. В магнитном поле длинного прямолинейного проводника 1 с током силой 50 А находится отрезок прямолинейного проводника 2 длиной 40 см, по которому проходит ток силой 10 А. Проводники 1 и 2 параллельны друг другу, и расстояние между ними 20 см. Какая сила действует на проводник 2?

3.11. По двум параллельным проводникам текут токи силой 8 и 12 А. Расстояние между проводниками – 32 см. Определить напряженность магнитного поля токов в точках, лежащих посередине между проводниками, если токи текут в одном направлении; в противоположных направлениях. Сделать рисунок.

3.12. Расстояние между длинными параллельными проводниками с токами силой 5 и 10 А равно 0,6 м. Токи текут в противоположных направлениях. Как расположена линия, в каждой точке которой напряженность магнитного поля равна нулю? На каком расстоянии находятся эти линии от проводника с током силой 5 А?

3.13. По двум длинным проводникам, расположенным параллельно друг другу на расстоянии 10 см, текут в одном направлении токи силой 3,14 и 6,28 А. Определить напряженность магнитного поля в точке, расположенной на

расстоянии 0,1 м от первого проводника и 0,1 м от второго. Сделай рисунок.

3.14. Два длинных прямолинейных проводника с токами силой 6 и 8 А лежат в двух параллельных плоскостях. Токи текут во взаимно перпендикулярных направлениях. Найти напряженность магнитного поля в точке, равноудаленной от проводников и лежащей на перпендикуляре между ними. Длина перпендикуляра – 0,1 м.

3.15. Прямолинейный проводник расположен перпендикулярно плоскости кольцевого проводника радиусом 20 см и проходит на расстоянии половины радиуса от центра. Прямолинейный ток имеет силу 9,42 А, круговой ток – 2 А. Определить напряженность магнитного поля в центре кольцевого проводника.

3.16. Прямой длинный проводник изогнут в виде угла, равного 60° . По проводнику течет ток силой 10 А. Определить индукцию магнитного поля на биссектрисе внутри угла на расстоянии 20 см от вершины.

3.17. Перпендикулярно плоскости кольцевого проводника радиусом 20 см проходит изолированный длинный проводник так, что он касается кольца. Сила тока в каждом проводнике 10 А. Найти суммарную напряженность магнитного поля в центре кольца.

3.18. Кольцевые проводники с током силой 5 и 10 А имеют общий центр и радиус 12 и 16 см. Их плоскости составляют угол 45° . Найти индукцию магнитного поля в общем центре колец.

3.19. Вывести формулу и определить напряженность магнитного поля проводника в форме дуги окружности радиусом 20 см в центре этой окружности. Длина дуги равна половине окружности; сила тока в проводнике – 4 А.

3.20. Два проводника в виде полуколец лежат в одной плоскости и имеют общий центр. Определить напряженность магнитного поля в центре полуколец при следующих данных: радиусы соответственно равны 10 и 20 см, токи в обоих проводниках текут по часовой стрелке и равны соответственно 1 и 4 А.

3.21. Проводник длиной 50 см, по которому течет ток силой 1 А, движется со скоростью 1,4 м/с перпендикулярно силовым

линиям поля напряженностью 20 А/м. Определить работу перемещения проводника за 1 ч движения.

3.22. Проводник длиной 0,6 м движется поступательно в плоскости, перпендикулярной магнитному полю с индукцией 0,5 мТл. По проводнику течет ток силой 4 А. Скорость движения проводника – 0,8 м/с. Во сколько раз мощность, затраченная на нагревание проводника, больше мощности, затраченной на перемещение проводника в магнитном поле?

3.23. В горизонтальной плоскости вращается прямолинейный проводник длиной 0,5 м вокруг оси, проходящей через конец проводника. При этом он пересекает вертикальное однородное поле напряженностью 50 А/м. По проводнику течет ток силой 4 А. Угловая скорость его вращения 20 с^{-1} . Вычислить работу вращения проводника за 2 мин.

3.24. Однородное магнитное поле в воздухе действует с силой 0,01 Н на 1 см длины прямого провода с током силой 1000 А, расположенного перпендикулярно полю. Найти объемную плотность энергии поля.

3.25. Плоский контур площадью 300 м^2 находится в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Плоскость контура перпендикулярна направлению поля. В контуре поддерживается постоянный ток 10 А. Определить работу внешних сил по перемещению контура с током в область пространства, где отсутствует магнитное поле.

3.26. По обмотке тороида без сердечника протекает ток силой 1 А. Длина тороида по оси – 1 м, число витков – 2000. Вычислить объемную плотность энергии магнитного поля тороида.

3.27. Обмотка электромагнита, индуктивность которой равна 0,04 Гн, находится под постоянным напряжением. В течение 0,02 с в обмотке выделяется столько же теплоты, сколько энергии содержит магнитное поле. Найти сопротивление обмотки.

3.28. Круглая рамка с током силой 1 А и радиусом 4 см находится в воздухе в однородном магнитном поле, напряженность которого равна 80 А/м. Плоскость рамки составляет угол 14° с направлением индукции поля. Какую

работу надо затратить, чтобы повернуть рамку перпендикулярно полю?

3.29. По обмотке соленоида без сердечника длиной 0,6 м протекает ток силой 0,8 А при напряжении 8 В. При этом внутри соленоида создается магнитное поле напряженностью 1600 А/м. Определить диаметр соленоида при условии, что за 0,001 с в обмотке соленоида выделяется количество теплоты, равное энергии магнитного поля соленоида. Магнитное поле считать однородным.

3.30. Прямолинейный проводник с током силой 100 А массой 20 г начинает перемещаться под действием однородного магнитного поля и пересекает магнитный поток 10^{-4} Вб. Считая, что проводник перемещается свободно и перпендикулярно полю, определить скорость, приобретенную проводником.

3.31. Какова скорость движения автомобиля, если в его вертикальной антенне длиной 1,5 м индуцируется ЭДС $6 \cdot 10^{-4}$ В? Горизонтальную составляющую магнитного поля Земли считать равной 14 А/м. Автомобиль движется перпендикулярно магнитному меридиану.

3.32. Квадратная рамка площадью 20 см², состоящая из 1000 витков, расположена в однородном поле с индукцией 10 Тл перпендикулярно полю. В течение 0,02 с рамку удалили за пределы поля. Какая ЭДС наводится в рамке?

3.33. В однородном магнитном поле напряженность 1000 А/м равномерно вращается круглая рамка, имеющая 100 витков средним радиусом 6 см. Ось вращения совпадает с диаметром рамки и перпендикулярна полю. Сопротивление рамки – 1 Ом; угловая скорость ее вращения – 10 с^{-1} . Найти максимальную силу тока в рамке.

3.34. Круглая рамка, имеющая 200 витков и площадь 100 см², равномерно вращается в однородном магнитном поле вокруг оси, перпендикулярной полю и совпадающей с ее диаметром. Вычислить частоту вращения при индукции поля 0,03 Тл, если максимальная сила тока, индуцируемого в рамке при ее сопротивлении 20 Ом, составляет 0,02 А.

3.35. Круглую рамку диаметром 8 см, нормаль к которой расположена под углом 10° к направлению вектора индукции поля, деформировали так, что она стала квадратной. Затем ее

повернули так, что нормаль приняла направление вдоль вектора индукции поля, напряженность которого 5 кА/м . Какое количество электричества индуцировалось в рамке, если ее сопротивление $0,001 \text{ Ом}$?

3.36. В соленоиде без сердечника сила тока равномерно возрастает на $0,3 \text{ А/с}$. Число витков соленоида – 1100 ; площадь его поперечного сечения – 100 см^2 ; длина – 60 см . На соленоид надето изолированное кольцо того же диаметра. Вычислить ЭДС индукции в кольце.

3.37. В соленоиде сила тока равномерно возрастает от 0 до 50 А в течение $0,5 \text{ с}$, при этом соленоид накапливает энергию 50 Дж . Какая ЭДС индуцируется в соленоиде?

3.38. Число витков соленоида без сердечника – 400 ; его длина – 20 см ; поперечное сечение – 4 см^2 ; сопротивление обмотки – 16 Ом . В соленоиде сила тока возросла от 0 до 10 А . Какое количество электричества индуцировалось в нем?

3.39. Однослойный соленоид без сердечника выполнен из проволоки диаметром $0,2 \text{ мм}$. Длина соленоида – 16 см ; диаметр его – 3 см . При какой скорости изменения силы тока в соленоиде возникает ЭДС самоиндукции 1 В ?

3.40. На 1 см однослойного соленоида без сердечника приходится 40 витков. Объем соленоида – 800 см^3 . При какой скорости изменения силы тока в соленоиде индуцируется ЭДС самоиндукции $0,4 \text{ В}$?

3.41. Два электрона движутся в одном направлении вдоль одной прямой с одинаковой по модулю скоростью 10^4 м/с . Найти напряженность магнитного поля зарядов при расстоянии между ними $4 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Точка, для которой определяется напряженность магнитного поля, лежит на серединном к траектории перпендикуляре на высоте $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.

3.42. Протоны в магнитном поле с индукцией $5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ движутся в вакууме по дуге окружности радиусом 50 см . Какую ускоряющую разность потенциалов они должны были пройти?

3.43. Два протона движутся в одной плоскости по прямолинейным взаимно перпендикулярным направлениям к одной точке. Чему равна напряженность магнитного поля на середине отрезка, соединяющего заряды? Напряженность определяется в момент времени, когда оба заряда подошли к

точке встречи на расстояние 10^{-7} см и скорости их в этот момент были равны 10^4 и $5 \cdot 10^4$ м/с.

3.44. В электронном пучке два электрона движутся по параллельным прямолинейным траекториям со скоростью 10^5 м/с. Расстояние между электронами, считая по перпендикуляру, равно $5 \cdot 10^{-8}$ см. Принимая электроны за точечные заряды, найти силу их магнитного взаимодействия.

3.45. В электронном пучке два электрона движутся по параллельным прямолинейным траекториям со скоростью 10^5 м/с. Найти отношение силы их электрического взаимодействия к силе магнитного взаимодействия. Как направлены эти силы?

3.46. Протон с энергией 10 МэВ движется в однородном магнитном поле в вакууме перпендикулярно полю. Считая напряженность поля равной 2 кА/м, найти силу Лоренца и радиус траектории протона.

3.47. В соленоид перпендикулярно вектору индукции его поля влетает α -частица со скоростью $5 \cdot 10^3$ м/с. Определить силу, действующую на нее при следующих данных: сила тока в обмотке – 1 А; соленоид имеет 100 витков на 1 см длины и находится в вакууме.

3.48. Параллельно пластинам плоского конденсатора создано однородное магнитное поле напряженностью 3200 А/м. Между пластинами перпендикулярно направлению вектора индукции и параллельно пластинам движется электрон со скоростью $5 \cdot 10^6$ м/с. Определить напряженность электрического поля между пластинами.

3.49. Заряд движется в вакууме прямолинейно со скоростью 10^5 м/с во взаимно перпендикулярных магнитном и электрическом полях. Каким должно быть отношение напряженностей этих полей, чтобы имело место такое движение? Как направлена скорость заряда?

3.50. Заряженная частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов 200 В, влетела в скрещенные под прямым углом электрическое и магнитное поля, двигаясь перпендикулярно обоим полям. Напряженность электрического поля – 12 кВ/м; индукция магнитного поля – 0,6 Тл. Найти удельный заряд частицы $\frac{q}{m}$

3.51. Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Вычислить энергию контура, если максимальная сила тока в катушке 1,2 А. Максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора составляет 1200 В; частота колебаний контура – 10^5 с^{-1} . Потерями энергии пренебречь.

3.52. Вычислить энергию колебательного контура, если максимальная сила тока в катушке индуктивности 1,2 А, а максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора – 1200 В. Период колебаний контура – 10^{-6} с .

3.53. Максимальная энергия магнитного поля колебательного контура – 21 мДж при силе тока 0,8 А. Чему равна частота колебаний контура, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 1200 В?

3.54. Максимальная энергия магнитного поля колебательного контура 1 мДж при силе тока 0,8 А. Чему равен период колебаний контура, если максимальная разность потенциалов на обмотках конденсатора 1200 В?

3.55. Период колебаний контура, состоящего из индуктивности и емкости, составляет 10^{-5} с . Чему равна максимальная сила тока в катушке, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 900 В. Максимальная энергия электрического поля – $9 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$.

3.56. В колебательный контур входят катушка индуктивностью 5 мГн и плоский конденсатор с диэлектриком из стекла. Расстояние между обкладками конденсатора – 6 мм; площадь обкладки – 90 см^2 . Как изменится частота и период колебаний контура, если стеклянную прослойку конденсатора заменить воздушной?

3.57. В колебательном контуре с периодом 10^{-5} с напряжение на конденсаторе в момент времени $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ (считая от напряжения, равного нулю) составляет 500 В. Найти емкость конденсатора при общей энергии контура 1 мДж.

3.58. Напряжение на конденсаторе в колебательном контуре изменяется в соответствии с уравнением $U = 1000 \sin 2\pi \cdot 10^6 t$. Во сколько раз максимальная энергия

конденсатора больше энергии для момента времени $\frac{1}{6} \times 10^{-6}$ с, считая от максимального напряжения?

3.59. Сила тока в катушке колебательного контура изменяется по закону $I = I_0 \cos 2\pi \nu t$. Частота колебательного контура – 1 МГц. В какой ближайший момент времени энергия магнитного поля катушки станет равной энергии электрического поля конденсатора?

3.60. Сила тока в катушке колебательного контура изменяется по закону $I = I_0 \cos 2\pi \nu t$. Период колебаний контура – 10^{-5} с. В какой ближайший момент времени энергия магнитного поля катушки станет равной энергии электрического поля конденсатора?

4. Оптика, элементы атомной и ядерной физики

4.1. Основные формулы и законы

Величина или физический закон	Формула
Показатель преломления среды	$n = \frac{c}{u}$
Оптическая длина пути луча	$L = nl$
Условие максимального усиления света при интерференции (условие максимумов)	$D = \pm 2k \frac{l_0}{2},$ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$
Условие максимального ослабления света при интерференции (условие минимумов)	$D = \pm (2k + 1) \frac{l_0}{2},$ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$
Оптическая разность хода в тонких пленках: в отраженном свете	$D = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{l_0}{2}$
в проходящем свете (показатель преломления пленки больше показателя преломления окружающей среды)	$D = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$
Условие дифракционных минимумов от одной щели	$a \sin \theta = \pm 2k \frac{l_0}{2},$ $k = 1, 2, 3, \dots$
Условие дифракционных максимумов от одной щели	$a \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{l_0}{2},$ $k = 1, 2, 3, \dots$
Условие главных максимумов дифракционной решетки	$d \sin \theta = \pm kl,$ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Продолжение таблицы

Величина или физический закон	Формула
Закон Брюстера	$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$
Закон Малюса	$I = I_0 \cos^2 j$
Угол вращения плоскости поляризации:	
в кристаллах	$j = \alpha l$
в растворах	$j = [\alpha]lc$
Закон Бугера	$I = I_0 e^{-kl}$
Закон Стефана–Больцмана	$R = s T^4$
1-й закон Вина	$l_m = \frac{C_1}{T_1}$
2-й закон Вина	$r_{u, T_{\max}} = C_2 T^{-5}$
Энергия фотона	$\epsilon = h\nu = h \frac{c}{l}$
Масса фотона	$m_\phi = \frac{\epsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{cl}$
Импульс фотона	$p_\phi = m_\phi c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{l}$
Давление света при нормальном падении на поверхность с коэффициентом отражения χ	$P = \frac{I}{c}(1 + \chi); P = w(1 + \chi)$
Давление равновесного теплового излучения	$P = \frac{w}{3}$
Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:	$h\nu = A_{\text{вых}} + W_{\text{кин}}$
при $W_{\text{кин}} < 5 \text{ кэВ}$	$W_{\text{кин}} = \frac{m_0 V^2}{2}$
при $W_{\text{кин}} > 5 \text{ кэВ}$	$W_{\text{кин}} = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Окончание таблицы

Величина или физический закон	Формула
Изменение длины волны при эффекте Комптона	$\Delta \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi) = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\varphi}{2}$
Первый постулат Бора	$m u r_n = n \frac{h}{2\pi} = n \hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots$
Третий постулат Бора (условие частот)	$h \nu = W_n - W_m$
Сериальная формула для спектральных линий водорода	$= R c \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}$
Сериальная формула для водородоподобных атомов	$= R c Z^2 \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}$
Длина волны де Бройля	$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m u}$
Соотношение неопределенностей Гейзенберга	$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar \quad \Delta W \Delta t \geq \hbar$
Закон радиоактивного распада	$N = N_0 e^{-\lambda t}; \quad N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$
Постоянная распада	$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$
Дефект массы	$\Delta m = \frac{1}{c^2} Z m_{\text{прот}} + (A - Z) m_{\text{нейтр}} - m_{\text{ядро}}$
Энергия связи ядра	$W_{\text{св}} = \Delta m c^2$

4.2. Примеры решения задач

Пример 1. В опыте Юнга экран отстоит от когерентных источников света на 1 м, а пятая светлая полоса на экране удалена на 1,5 мм от центра интерференционной картины. Найти угловое расстояние до соседних светлых полос.

Дано: $L = 1 \text{ м}; k = 5; l = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$

Найти:  $\Delta \theta_{\text{max}}.$

Решение. В точке O на экране (центр интерференционной картины, рис. 4.1) будет максимальная освещенность, так как она равноудалена от источников света S_1 и S_2 и разность хода лучей равна нулю. В произвольной точке экрана M максимум освещенности будет наблюдаться, если разность хода S_1M и S_2M равна целому числу длин волн:

$$\Delta L = k \lambda,$$

где ΔL – оптическая разность хода когерентных лучей; λ – длина световой волны; k – номер светлой полосы (центральная светлая полоса принята за нулевую).

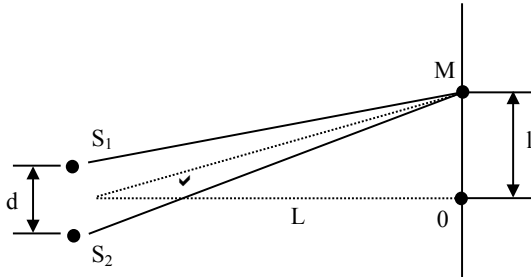


Рис. 4.1. Схема опыта Юнга

Разность хода лучей

$$\Delta L = \frac{l}{L} d,$$

где l – расстояние от центральной светлой полосы до k -й полосы; d – расстояние между источниками света; L – расстояние от источников света до экрана.

Отсюда

$$l_{\max} = k \frac{L}{d} \lambda.$$

Угловое положение интерференционной полосы на экране определяется углом α . Из рис. 4.1 видно, что $\tan \alpha = \frac{l}{L}$, или ввиду малости α

$$\alpha \approx \tan \alpha \approx \frac{l}{L} = k \frac{\lambda}{d}.$$

Угловое расстояние между соседними светлыми полосами

$$\Delta \alpha_{\max} = k \frac{\lambda}{d} - (k - 1) \frac{\lambda}{d} = \frac{\lambda}{d}.$$

Так как $\frac{l}{d} = \frac{l_{\max}}{kL}$, получим

$$Da_{\max} = \frac{l_{\max}}{kL};$$

$$Da_{\max} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^{-4} \text{ рад}.$$

Ответ: угловое расстояние до соседних светлых полос – 3×10^{-4} радиан.

Пример 2. Вычислить длину волны де Бройля электрона, движущегося со скоростью $u = 0,75c$ (c – скорость света в вакууме).

Дано: $u = 0,75c$.

Найти: λ .

Решение. Длина волны де Бройля для микрочастиц определяется формулой

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

где $h = 6,62 \times 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; p – импульс частицы.

При движении частиц со скоростями, близкими к скорости света в вакууме, масса частицы зависит от скорости, поэтому

$$p = m u,$$

где m – релятивистская масса частицы.

Зависимость массы от скорости в теории относительности выражается соотношением

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}},$$

где m_0 – масса покоя электрона; u – скорость движения частицы.

Следовательно,

$$\lambda = \frac{h}{m_0 u} \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}.$$

По условию задачи скорость движения электрона равна $0,75c$.

Тогда

$$\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot 0,75 c} \sqrt{1 - \frac{0,75^2 c^2}{c^2}} = 0,88 \frac{h}{m_0 c},$$

где $\frac{h}{m_0 c} = \lambda_c$ – комптоновская длина волны.

Учитывая это, получаем

$$\lambda = 0,88 \lambda_c.$$

Значение λ_c находим из таблицы или вычисляем по формуле $\lambda_c = \frac{h}{m_0 c}$. Окончательно

$$\lambda = 0,88 \cdot 2,34 \text{ пм} = 2,25 \text{ пм}.$$

Ответ: длина волны де Бройля электрона – 2,25 пм.

Пример 3. Сколько атомов радиоактивного натрия Na^{24} распадается за 10 ч и за 0,01 с, если его масса 2 мг, а период полураспада $T = 14,8$ ч?

Дано: $m = 2 \text{ мг} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$; $t_1 = 10 \text{ ч}$; $t_2 = 0,01 \text{ с}$; $A = 24 \text{ кг/кмоль}$; $T = 14,8 \text{ ч} = 5,33 \cdot 10^4 \text{ с}$.

Найти: N_1 ; N_2 .

Решение. Число N атомов, распавшихся за некоторый промежуток времени t , можно выразить равенством

$$\Delta N = N_0 - N,$$

где N_0 – начальное число атомов (при $t = 0$); N – число атомов, не распавшихся к моменту времени $t = t$.

Число атомов, не распавшихся к моменту времени t , выражается законом радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где λ – постоянная радиоактивного распада.

С учетом этого равенства можно записать

$$DN = N_0 (1 - e^{-\lambda t}).$$

Преобразуем в этой формуле выражение

$$e^{-\lambda t} = e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = (e^{\ln 2})^{-\frac{t}{T}} = 2^{-\frac{t}{T}}, \text{ так как } \lambda = \frac{\ln 2}{T},$$

где T – период полураспада.

Тогда

$$DN = N_0 (1 - 2^{-\frac{t}{T}}).$$

Число атомов N_0 , содержащихся в некоторой массе m вещества, равно произведению числа Авогадро на число килограмм-атомов вещества, $\frac{m}{A}$:

$$N_0 = N_A \frac{m}{A}.$$

Следовательно,

$$DN = \frac{m}{A} \times N_A (1 - 2^{-\frac{t}{T}}).$$

Для $t_1 = 10$ ч получим

$$DN = 6,02 \times 10^{26} \times \frac{2 \times 10^{-6}}{24} \times (1 - 2^{-\frac{10}{14,8}}) = 1,88 \times 10^{19}.$$

В случае t_2 учтем, что $\frac{t}{T} \ll 1$, тогда

$$DN \approx N_0 \lambda t = N_0 \times \frac{t_2}{T} \ln 2 = \ln 2 N_A \frac{m}{A} \times \frac{t_2}{T}.$$

Подставив сюда числовые значения величин, получим

$$DN = 0,693 \times 6,02 \times 10^{26} \times \frac{2 \times 10^{-6}}{24} \times 1,88 \times 10^{-7} = 6,52 \times 10^{12} \text{ атомов} .$$

Ответ: за 10 ч распадается $1,88 \cdot 10^{19}$ атомов, за 0,01 с – $6,52 \cdot 10^{12}$ атомов.

4.3. Задачи контрольной работы

4.1. Найти длину волны света, освещающего установку в опыте Юнга, если при помещении на пути одного из интерферирующих лучей стеклянной пластинки ($n = 1,52$) толщиной 2 мкм картина интерференции на экране смещается на три светлые полосы.

4.2. Два когерентных источника, расстояние между которыми 0,2 мм, расположены от экрана на расстоянии 1,5 м. Найти длину световой волны, если третий минимум интерференции расположен на экране на расстоянии 12,6 мм от центра картины.

4.3. Найти расстояние между третьим и пятым минимумами на экране, если расстояние двух когерентных источников ($\Delta = 0,6$ мкм) от экрана 2 м, расстояние между источниками – 0,2 мм.

4.4. Найти наименьший угол падения монохроматического света ($\Delta_0 = 0,5$ мкм) на мыльную пленку ($n = 1,3$) толщиной 0,1 мкм, находящуюся в воздухе, при котором пленка в проходящем свете кажется темной.

4.5. Найти наименьший радиус круглого отверстия на экране, если при освещении его плоской монохроматической волной в центре дифракционной картины наблюдается темное пятно, а радиус третьей зоны Френеля 2 мм.

4.6. На непрозрачную пластинку с щелью падает нормально плоская волна ($\Delta = 0,585$ мкм). Найти ширину щели, если угол отклонения лучей, соответствующих второму максимуму, – 17° .

4.7. На дифракционную решетку, содержащую 600 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,546 мкм. Определить изменение угла отклонения лучей второго дифракционного максимума, если взять решетку со 100 штрихами на 1 мкм.

4.8. Монохроматический свет с длиной волны $0,575 \text{ мкм}$ падает нормально на дифракционную решетку с периодом $2,4 \text{ мкм}$. Определить наибольший порядок спектра и общее число главных максимумов в дифракционной картине.

4.9. Свет, падая из стекла в жидкость, частично отражается, частично преломляется. Отраженный луч полностью поляризован при угле преломления $45^\circ 46'$. Чему равны показатель преломления жидкости и скорость распространения света в ней? Показатель преломления стекла – $1,52$.

4.10. Найти угол между плоскостями поляризации двух поляроидов, если интенсивность естественного света, прошедшего оба поляроида, уменьшилась в $6,5$ раза. Коэффициент поглощения света в поляроидах – $0,3$.

4.11. Какая энергия излучается в 1 мин с 1 см^2 абсолютно черного тела, если максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны $0,6 \text{ мкм}$?

4.12. При какой температуре максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела приходится на длину волны $0,642 \text{ мкм}$? Найти энергетическую светимость абсолютно черного тела при данной температуре.

4.13. При нагреве тела длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности, изменилась от $1,45$ до $1,16 \text{ мкм}$. На сколько изменилась максимальная спектральная плотность энергетической светимости тела?

4.14. На зеркальную поверхность площадью $0,8 \text{ м}^2$ нормально падает $14 \cdot 10^{18}$ квантов в секунду. Найти длину волны падающего света, если давление его равно 10^{-8} Па .

4.15. Поток света ($\lambda = 0,56 \text{ мкм}$) падает нормально на черную поверхность, производя давление 4 мкПа . Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности.

4.16. Определить силу светового давления на черную поверхность площадью 100 см^2 , если интенсивность светового потока, падающего нормально на эту поверхность, равна $0,3 \text{ Вт/см}^2$.

4.17. Определить световое давление на плоскую поверхность с коэффициентом отражения $0,8$ при падении на нее под углом 60° световой волны интенсивностью $0,5 \text{ Вт/см}^2$.

4.18. Определить теплоту, излучаемую 100 см^2 поверхности расплавленной платины при 1770°C за 1 мин, если коэффициент поглощения принять равным 0,8.

4.19. Максимум энергии в спектре абсолютно черного тела приходится на длину волны в 2 мкм. На какую длину он сместится, если температура тела увеличится на 250 K ?

4.20. Поток монохроматических лучей с длиной волны 600 нм падает нормально на пластину с коэффициентом отражения 0,2. Сколько фотонов ежесекундно падает на пластину, если давление лучей на пластину составляет 10^{-7} Па ?

4.21. Красная граница для некоторого металла $0,6 \text{ мкм}$. Металл освещается светом, длина волны которого $0,4 \text{ мкм}$. Определить максимальную скорость электронов, выбиваемых светом из металла.

4.22. Выбиваемые светом при фотоэффекте электроны полностью задерживаются обратным потенциалом 4 В . Красная граница фотоэффекта – $0,6 \text{ мкм}$. Определить частоту падающего света.

4.23. Поверхность цинкового фотокатода освещается монохроматическим светом с длиной волны $0,28 \text{ мкм}$. Определить суммарный импульс, сообщаемый фотокатоду, если известно, что фотоэлектрон вылетает навстречу падающему кванту. Работа выхода электрона для цинка – $3,74 \text{ эВ}$.

4.24. При освещении металла монохроматическим светом с длиной волны $0,48 \text{ мкм}$ из него вылетают электроны со скоростью $6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$. Определить работу выхода электронов из этого металла.

4.25. Плоская вольфрамовая пластинка освещается светом длиной волны $0,2 \text{ мкм}$. Найти напряженность однородного задерживающего поля вне пластинки, если фотоэлектрон может удалиться от нее на расстояние 4 см . Работа выхода электронов из вольфрама $4,5 \text{ эВ}$.

4.26. Фотон с энергией $1,2 \text{ МэВ}$ был рассеян в результате эффекта Комптона на угол 90° . Найти энергию, импульс электрона отдачи и длину волны рассеянного фотона.

4.27. В результате рассеяния фотона с длиной волны 2 нм на свободном электроне комптоновское смещение оказалось

равным 1,2 нм. Найти угол рассеяния. Какая часть энергии фотона передана при этом электрону?

4.28. Определить изменение длины волны и угол рассеяния фотона при эффекте Комптона, если скорость электрона отдачи 0,4с. Энергия первичного фотона – 0,42 МэВ.

4.29. Найти отношение максимального комптоновского изменения длины волны при рассеянии фотонов на свободных электронах и на протонах.

4.30. На каких частицах произошло рассеяние фотона с энергией 2,044 МэВ, если энергия рассеянного фотона уменьшилась втрое при угле рассеяния 60° ?

4.31. Вычислить период вращения электрона на первой боровой орбите в двукратно ионизированном атоме лития.

4.32. Найти наибольшую и наименьшую длины волн серии Бальмера спектра атома водорода.

4.33. Вычислить по теории Бора скорость вращения электрона, находящегося на третьем энергетическом уровне в атоме дейтерия.

4.34. Фотон, соответствующий длине волны 0,015 мкм, выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Вычислить скорость электрона за пределами атома.

4.35. При переходе электрона в атоме водорода из возбужденного состояния в основное радиус боровской орбиты электрона уменьшился в 25 раз. Определить длину волны излученного фотона.

4.36. Вычислить по теории Бора частоту вращения электрона атома водорода вокруг ядра, если он находится на втором энергетическом уровне.

4.37. Вычислить кинетическую энергию электрона, выбитого со второго энергетического уровня атома водорода фотоном, длина волны которого 0,2 мкм.

4.38. В возбужденном атоме водорода электрон вращается на одной из возможных боровских орбит со скоростью $1,1 \cdot 10^6$ м/с. Определить, чему равна энергия кванта, излучаемого при переходе электрона в основное состояние.

4.39. Определить наименьшую и наибольшую энергии фотона в инфракрасной серии спектра водорода (серии Пашена).

4.40. Атом водорода находится в возбужденном состоянии с главным квантовым числом 3. Падающий фотон выбивает из атома электрон, сообщая ему кинетическую энергию 2,5 эВ. Вычислить энергию падающего фотона.

4.41. Определить длину волны де Бройля ψ -частиц, прошедших разность потенциалов: 1) 200 В; 2) 100 кВ.

4.42. Вычислить длину волны де Бройля электрона, обладающего кинетической энергией 1 эВ.

4.43. Коротковолновая граница рентгеновского спектра $\lambda = 0,2 \cdot 10^{-10}$ м. Определить длину волны де Бройля электронов, бомбардирующих антикатод.

4.44. Скорость электронов равна 0,8с. Найти длину волны де Бройля электронов.

4.45. Длина волны де Бройля электрона равна 1,3 нм. Определить скорость электрона.

4.46. Вычислить длину волны де Бройля для молекул азота, движущихся со средней арифметической скоростью при температуре 20⁰С.

4.47. Найти длину волны де Бройля протона, прошедшего разность потенциалов 1 МВ.

4.48. Длина волны де Бройля электрона уменьшилась от 1 до 0,5 нм. На сколько изменилась энергия электрона?

4.49. Протон движется со скоростью $1 \cdot 10^7$ м/с. Определить длину волны де Бройля протона.

4.50. Энергия возбужденного атома водорода 0,85 эВ. Вычислить длину волны де Бройля электрона на этой орбите.

4.51. Период полураспада изотопа $^{74}_{33}\text{As}$ равен 17,5 дня. Определить постоянную распада и среднюю продолжительность жизни атомов этого изотопа.

4.52. Период полураспада радиоактивного аргона $^{41}_{18}\text{Ar}$ равен 110 мин. Определить время, в течение которого распадается 25% начальной массы атомов.

4.53. Вещество $^{23}_{11}\text{Na}$ облучается дейтронами и превращается в радиоактивный изотоп $^{24}_{11}\text{Na}$ с периодом полураспада 11,5 ч. Какая доля радиоактивного натрия остается через сутки после прекращения облучения дейтронами?

4.54. За полгода распалось 40% некоторого исходного радиоактивного элемента. Определить период полураспада этого элемента.

4.55. Постоянная радиоактивного распада для $^{228}_{88}\text{Ra}$ равна $3,28 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$. Определить, какая часть ядер этого элемента останется через 5 лет.

4.56. Один грамм радия испытывает $3,7 \cdot 10^{10}$ α -распадов в 1 с. Вычислить период полураспада и постоянную распада $^{226}_{88}\text{Ra}$.

4.57. Постоянная распада радиоактивного элемента $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$. Определить продолжительность жизни и период полураспада этого элемента.

4.58. Период полураспада урана $^{238}_{92}\text{U}$ равен $4,5 \cdot 10^9$ лет. Определить, сколько атомов распадается за 10 лет в 1 кг этого элемента.

4.59. Какая доля атомов тория $^{232}_{90}\text{Th}$ распадается за 1 с, если период полураспада тория $1,39 \cdot 10^{10}$ лет?

4.60. Постоянная распада нептуния $^{239}_{93}\text{Np}$ равна $9,8 \cdot 10^{-15} \text{ с}^{-1}$. Вычислить период полураспада нептуния и долю распавшихся атомов через 1000 лет.

Приложения

1. Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	$9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	$8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Объем одного моля идеального газа при нормальных условиях ($T_0 = 273,15 \text{ К}$; $P = 101325 \text{ Па}$)	V_0	$22,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Стефана–Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$
Постоянная Вина в первом законе (смещения)	C_1	$2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Вина во втором законе	C_2	$1,30 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^5}$
Постоянная Планка	h $\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ $1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

Окончание таблицы

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Постоянная Ридберга	R	$2,07 \times 10^{-18} \text{ с}^{-1}$
Комптоновская длина волны	λ_c	$2,43 \times 10^{-12} \text{ м}$
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$1,18 \times 10^{-18} \text{ Дж} = 13,6 \text{ эВ}$
Атомная единица массы	а.е.м.	$1,660 \times 10^{-27} \text{ кг}$
Энергия, соответствующая 1 а.е.м.		931,50 МэВ
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4 \pi \times 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$

2. Некоторые астрономические величины

Радиус Земли (среднее значение)	$6,37 \times 10^6 \text{ м}$
Масса Земли	$5,96 \times 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца (среднее значение)	$6,95 \times 10^8 \text{ м}$
Масса Солнца	$1,98 \times 10^{30} \text{ кг}$
Радиус Луны (среднее значение)	$1,74 \times 10^6 \text{ м}$
Масса Луны	$7,33 \times 10^{22} \text{ кг}$
Среднее расстояние между центрами Земли и Луны	$3,84 \times 10^8 \text{ м}$
Среднее расстояние между центрами Солнца и Земли	$1,5 \times 10^{11} \text{ м}$
Период обращения Луны вокруг Земли	27 сут 7 ч 43 мин

3. Плотность жидкостей $\rho \sim 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$

Вода (при 4°C)	1	Керосин	0,8	Ртуть	13,6
Глицерин	1,26	Масло	0,9	Спирт	0,8

4. Плотность газов (при нормальных условиях), кг/м^3

Азот	1,25	Водород	0,09	Гелий	0,18
Аргон	1,78	Воздух	1,29	Кислород	1,43

5. Плотность ρ , модуль упругости (модуль Юнга) E , коэффициент линейного расширения (среднее значение) α некоторых твердых тел

Твердое тело	$\rho \sim 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$	$E \sim 10^{10}, \text{ Па}$	$\alpha \sim 10^{-6}, \text{ К}^{-1}$
Алюминий	2,7	7,0	24,0
Вольфрам	19,75	41,1	4,3
Железо (сталь)	7,85	22,0	11,9

Окончание таблицы

Твердое тело	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	$E \cdot 10^{-10}$, Па	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
Константан	8,9	21,0	17,0
Лед	0,92	0,28	—
Медь	8,8	12,98	16,7
Никель	8,8	20,4	13,4
Нихром	8,4	—	—
Фарфор	2,3	—	3,0

6. Скорость звука в веществе (при 15°C), м/с

Бериллий	12500
Воздух	340
Вода	1450
Воск	390

7. Подвижность ионов в электролитах, $\frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

NO_3^-	$6,4 \cdot 10^{-8}$
H^+	$3,26 \cdot 10^{-7}$
K^+	$6,7 \cdot 10^{-8}$
Cl^-	$6,8 \cdot 10^{-8}$
Ag^+	$5,6 \cdot 10^{-8}$

8. Эффективный диаметр молекулы газов $d \cdot 10^{-10}$, м

Азот	3,1	Воздух	3,0	Гелий	1,9
Аргон	3,6	Водород	2,3	Кислород	2,9
Углекислый газ	4,0				

9. Удельная теплота плавления $\lambda \cdot 10^{-4}$, Дж/кг

Лед	33,5
Свинец	2,3

10. Удельная теплота парообразования $r \cdot 10^{-5}$, Дж/кг

Вода	22,50
Эфир	6,68

11. Удельная теплоемкость $c \cdot 10^{-2}$, Дж/кг

Вода	41,9
------	------

Лед	21,0
Нихром	2,2
Свинец	1,26

12. Удельное сопротивление $\chi \approx 10^8, \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Вольфрам	5,5	Никелин	40,0	Медь	1,7
Железо	9,8	Нихром	110,0	Серебро	1,6

13. Диэлектрическая проницаемость (относительная) вещества

Бакелит	4,0	Масло	2,2	Слюда	6,0
Вода	81,0	трансформаторное		Стекло	7,0
Керосин	2,0	Парафин	2,0		

14. Температурный коэффициент сопротивления проводника $\alpha \approx 10^3, \text{ К}^{-1}$

Вольфрам	5,2
Медь	4,2
Никель	0,1

15. Потенциал ионизации, эВ

Водород	13,6
Ртуть	10,4

16. Показатель преломления

Алмаз	2,42	Глицерин	1,47	Соль каменная	1,54
Вода	1,33	Сероуглерод	1,63		

17. Работа выхода электронов из металла, эВ

Вольфрам	4,53
Никель	4,84
Цезий	1,89
Цинк	3,74

18. Масса m_0 и энергия E_0 покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	а.е.м.	$10^{-27}, \text{ кг}$	МэВ	$10^{10}, \text{ Дж}$
Электрон	0,0005486	0,000911	0,511	0,00082
Протон	1,007277	1,67262	938,27	1,503
Нейтрон	1,008665	1,67482	939,56	1,505

Частица	m_0		E_0	
	а.е.м.	10^{-27} , кг	МэВ	10^{10} , Дж
✓ -частица	4,001507	6,64466	3727,3	5,972

19. Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов

^3_1H	12 лет
$^{45}_{20}\text{Ca}$	165 суток
$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,8 суток
$^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 лет

20. Масса некоторых изотопов

Изотоп	m , а.е.м.	Изотоп	m , а.е.м.
^1_1H	1,007825	$^{11}_5\text{B}$	11,009305
^2_1H	2,014102	$^{11}_7\text{N}$	14,003074
^3_1H	3,016049	$^{16}_8\text{O}$	15,994915
^4_2He	4,002604	$^{17}_8\text{O}$	16,999133
^7_3Li	7,016005	$^{48}_{20}\text{Ca}$	47,952363
^7_4Be	7,016930	$^{233}_{92}\text{U}$	238,05076
$^{10}_5\text{B}$	10,012939		

21. Основные и дополнительные единицы СИ

Величина		Единица	
наименование	обозначение	наименование	обозначение
Длина	l	метр	м
Масса	m	килограмм	кг
Время	t	секунда	с
Сила электрического тока	I	ампер	А
Термодинамическая температура	T	кельвин	К
Сила света	J	кандела	кд
Количество вещества	ν	моль	моль
Плоский угол	$\sphericalangle$	радиан	рад
Телесный угол	$\blacktriangleright$	стерадиан	ср

22. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Величина	Единица		
	наименование	обозначение	соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	10^3 кг
	атомная единица массы	а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Плоский угол	градус	... °	$1,74 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$
	минута	... ' (")	$2,94 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$
	секунда	... " (")	$4,85 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$
Объем, вместимость	литр	л	10^{-3} м^3
Длина	астрономическая единица	а.е.	$1,50 \cdot 10^{11} \text{ м}$
	световой год	св. год	$9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$
	парсек	пк	$3,08 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 м^{-1}
Площадь	гектар	га	10^4 м^2
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	
Реактивная мощность	вар	вар	

Примечание. Допускается также применять другие единицы, получившие широкое распространение. Например, неделя, месяц, год, век, тысячелетие и т.д.

Единицы времени (минута, час, сутки), плоского угла (градус, минута, секунда), астрономическую единицу, световой год, диоптрию и атомную единицу массы не допускается применять с приставками.

23. Производные единицы СИ, имеющие собственные наименования

Величина		Единица		Выражение производной единицы	
				через другие единицы СИ	через основные единицы СИ
наименование	обозначение	наименование	обозначение		
Частота	ν	герц	Гц	—	с^{-1}
Сила	F	ньютон	Н	—	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Давление	P	паскаль	Па	Н/м^2	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Энергия, работа, теплота	E, W, U, A, Q	джоуль	Дж	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность, поток энергии	N, P	ватт	Вт	Дж/с	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$

Окончание таблицы

Величина		Единица		Выражение производной единицы	
наименование	обозначение	наименование	обозначение	через другие единицы СИ	через основные единицы СИ
Количество электричества, электрический заряд	Q, q	кулон	Кл	$\text{А} \cdot \text{с}$	$\text{с} \cdot \text{А}$
Электрическое напряжение, электрический потенциал	U, φ	вольт	В	Вт/А	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электрическая емкость	C	фарад	Ф	Кл/В	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление	R, r	ом	Ом	В/А	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрическая проводимость	G	сименс	См	А/В	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Поток магнитной индукции	Φ	вебер	Вб	$\text{В} \cdot \text{с}$	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная индукция	B	тесла	Тл	Вб/м^2	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	L	генри	Гн	Вб/А	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Световой поток	Φ	люмен	лм	—	$\text{кд} \cdot \text{ср}$
Освещенность	E	люкс	лк	—	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$
Активность нуклида в радиоактивном источнике		беккерель	Бк	—	с^{-1}
Поглощенная доза излучения		грей	Гр	—	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Эквивалентная доза излучения		зиверт	Зв	—	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$

Примечание. В выражение производных единиц входит наравне с основными единицами СИ дополнительная – стерадиан.

24. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
наименование	обозначение		наименование	обозначение	

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
наименование	обозначение		наименование	обозначение	
экса	Э	10^{18}	санτι	с	10^{-2}
пета	П	10^{15}	милли	м	10^{-3}
тера	Т	10^{12}	микро	мк	10^{-6}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	пико	п	10^{-12}
кило	к	10^3	фемта	ф	10^{-15}
деци	д	10^{-1}	атто	а	10^{-18}

ЛИТЕРАТУРА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

Канн, К.Б. Курс общей физики [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по естественным специальностям, для которых физика не является профилирующим предметом / К. Б. Канн. – М.: КУРС: ИНФРА-М, 2018. - 360 с. <http://znanium.com/go.php?id=956758>

Глебов, В.В. Физика. Теория и практика [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Технология продовольственных продуктов и потребительских товаров» / В. В. Глебов и др.; под ред. С. О. Крамарова; – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2016. - 380 с. <http://znanium.com/go.php?id=522108>

Пинский, А. А. Физика [Электронный ресурс]: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования/ А. А. Пинский, Г. Ю. Граковский ; под ред.: Ю. И. Дика, Н. С. Пурышевой. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. - 560 с. <http://znanium.com/go.php?id=559355>

Кузнецов, С. И. Физика. Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям / С. И. Кузнецов, А. М. Лидер. – М.: Вузковский учебник: ИНФРА-М, 2015. - 212 с. <http://znanium.com/go.php?id=438135>

Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст]: учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Академия, 2014. - 558 с.

Иванов, А.Е., Иванов С.А. Механика. Молекулярная физика и термодинамика [Текст]: учебник / А.Е. Иванов, С.А. Иванов. - М.: КНОРУС, 2016. - 950 с.

Общая физика [Текст]. Под ред. Воробьева А.А. М.: КНОРУС, 2016. — 800 с.

Савельев, И.В. Курс общей физики [Текст]. В 3 книгах. Лань, 2011.

Грабовский, Р. И. Курс физики: учебное пособие. [Текст] СПб.: Лань, 2012. 608 с.

Детлаф, А. А. Курс физики [Текст] : учебное пособие для студентов вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. - 10-е изд., стер. - Москва : Академия, 2015. - 720 с.

Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. В 3 томах. Лань, 2006

Григорьев В.И., Мякишев Г.Я. Силы в природе. М.: Наука, 1978, 414 с.

Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм: Учебное пособие. ИД «Интеллект», 2008, 375 с.

Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1996.

Физика: <http://www.college.ru/physics/index.php> -

Естественнонаучный образовательный портал: www.en.edu.ru -

Энциклопедия Кирилла и Мефодия: <http://www.km.ru/> -

Открытый колледж: www.college.ru -

Занимательная физика: [//www.elkin52.narod.ru](http://www.elkin52.narod.ru) -