МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет энергетики и охраны водных ресурсов

Кафедра физики и прикладной информатики

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО
ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И
ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Студентам 1*, 1, 2 курсов направления подготовки бакалавров
110800 – “Агроинженерия”,
230400 – “Информационные системы и технологии”,
280100 – “Природообустройство и водопользование”,
190600 – “Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов”

Москва 2011

Составители: профессор А.Ф.Толстой (задачи 1-3, 100-160), доцент О.А.Липа (раздел 3.4, задачи 5-41, 85-98 и приложение), доцент М.М.Махмутов (раздел 1, п. 1.2, раздел 2, п. 2.1, задачи 4, 99), преподаватель Г.Г.Рамазанова (раздел 1, п.1.1, 1.3; раздел 2, п. 2.2, 2.3, 2,4, задачи 42-84)

УДК 53(075)

Физика: Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольных работ/Рос. гос. аграр. заоч. ун-т; Сост. А.Ф.Толстой, О.А.Липа, М.М. Махмутов, Г.Г. Рамазанова. М., 2011. 99 с.

Предназначены для студентов 1*, 1, 2 курсов

Утверждены методической комиссией Э и ОВР факультета

Рецензенты: к.т.н., профессор С.Г. Аббасов (ФГОУ ВПО РГАЗУ)
д.т.н., профессор В.И.Славкин (ФГОУ ВПО РГАЗУ)

Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «ФИЗИКА» относится к базовой (обязательной) части математического и естественнонаучного цикла ООП. Методические указания по данной дисциплине составлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, утвержденного Министерством образования и науки РФ от 9 ноября 2009 г. №552 по направлению подготовки 110800 «Агроинженерия»,от 14 января 2010 г.№25 по направлению подготовки 230400 «Информационные системы и технологии», от 21 декабря 2009 г. №776 по направлению подготовки 280100 «Природообустройсто и водопользование», от 8 декабря 2009 г.№706 по направлению подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и рабочими учебными планами, утвержденными ученым советом ФГОУ ВПО РГАЗУ 26.01.2011 г.

1.1. Цели и задачи дисциплины

Курс физики является основой для получения студентами естественно-научных знаний.

Цель курса – изучение студентами основных современных представлений человека об окружающем мире, овладение фундаментальными понятиями, теориями и законами, методами физического исследования и анализа полученных результатов, усвоение методов и приёмов решения задач из различных областей физики и техники.

Задачи курса – овладение знаниями о физических явлениях и их применение к пониманию процессов, протекающих в природе и технике.

В результате изучения дисциплины студент **должен**:

обладать компетенциями

- владением культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);
- осознанием социальной значимости своей будущей профессии, обладание высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-7);
- способностью решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и тепломассообмена; знанием устройства гидравлических машин и теплотехнического оборудования (ПК-3);
- способностью проводить и оценивать результаты измерений (ПК-4);

знать

- основные положения классической и современной физики;
- закономерности протекания физических явлений в технике и в природе;

- основы физических методов измерений;
- основы теории погрешностей;
- основы применения физических теорий в технике;

уметь

- применять знания физических явлений, законы физики, методы физических исследований в практической деятельности;
- пользоваться современной научной аппаратурой, выполнять простейшие экспериментальные научные исследования различных физических явлений и оценивать погрешности измерений;
- решать конкретные задачи из различных областей физики.

владеть

навыками решения конкретных задач из различных областей физики, помогающих решать инженерные задачи, а также начальными навыками проведения экспериментальных исследований различных физических явлений.

1.2. Библиографический список

Основной

1. Грабовский Р.И. Курс физики. - СПб.: Лань, 2009.

2. Шеин Е. В. Агрофизика: учеб. для вузов /Е.В. Шеин, В.М. Гончаров.-Ростов н/Д: Феникс,2006.-397с., 30

3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 2006.

4. Дмитриева В. Ф. Физика: программа, метод. указания и контрольные задания для вузов/В.Ф. Дмитриева, В.А. Рябов, В.М. Гладской.-4-е изд., перераб. и доп.-М.: Высш. шк., 2007.-126с.

Дополнительный

5. Детлаф А.А., Курс физики: учеб.пособие для вузов/А.А. Детлаф,Б.М. Яворский.-7-е изд.,стер.-М.:академия,2008. - 720с.:ил.

6. Фриш С.Э. Курс общей физики: в 3-х т.: учебник / С.Э.Фриш, А.В. Тиморева. - 12-е изд., стер. - СПб: Лань. -Т. 1: Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны.-2007.-470с.

7. Трофимова Т.И., Сборник задач по курсу физики с решениями. – М., Высш. шк., 2006, … 2010.

1.3. Распределение учебного времени по модулям и темам дисциплины

Таблица 1

Направлениям подготовки бакалавров 190600, 110800, 230400, 280100-5(3) лет

5.1. Модули (разделы) дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование модуля и тем дисциплины	Всего часов	Лекции	Лабораторные, практические зан.ятия	Самостоятельные работы
1	2	3	4	5	6
	1 курс				
1.	***Модуль 1 «Физические основы механики»***	**16(40)**			**10(28)**
	Тема 1.1. Кинематика поступательного и вращательного движений материальной точки. Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела	2(6)	1(1)	2(2)	1(4)
		2(6)			1(4)
	Тема 1.2. Фундаментальные взаимодействия и виды сил	2(4)			1(8)
	Тема 1.3. Энергия. Работа. Энергия механической системы. Закон сохранения и превращения энергии	2(6)			2(4)
	Тема 1.4. Элементы динамики вращательного движения. Принцип относительности в механике.	4(6)	1(1)	2(2)	2(2)
		2(4)			1(2)
	Тема 1.5. Элементы релятивистской динамики. Элементы механики сплошных сред	1(4)			1(2)
		1(4)		2	1(2)
2.	***Модуль 2 «Механические колебания и волны в упругих средах»***	**16(14)**			**12(20)**
	Тема 2.1. Гармонические колебания. Метод векторных диаграмм. Понятие о математическом и физическом маятниках.	6(4)	1		4(8)
	Тема 2.2. Свободные, затухающие и вынужденные гармонические колебания. Явления резонанса.	4(4)			4(6)
	Тема 2.3. Волны. Виды волн. Уравнение, график и основные характеристики волнового процесса.	6(6)			4(6)
1	2	3	4	5	6
3	***Модуль 3 «Молекулярная физика и термодинамика»***	**16(36)**			**16(38)**
	Тема 3.1. Термодинамический метод исследования	1(0,75)	1(1)	2(2)	0,75(4)
	Тема 3.2. Экспериментальные газовые законы	2(1,25)			1,25(3)
	Тема 3.3. Основы статистической механики	8(8)			8(10)
	Тема 3.4. Термодинамика	2(16)	1(1)	2	6(12)
	Тема 3.5. Фазы и условия равновесия фаз	3(10)			10(9)
4	***Модуль 4 «Электричество»***	**20(40)**			**20(34)**
	Тема 4.1. Основы электростатики	10(20)	1(1)		10(22)
	Тема 4.2. Постоянный электрический ток	10(20)		2(2)	10(12)
	2 курс				

5	***Модуль 5 «Магнетизм»***	**20(60)**			**20(42)**
	Тема 5.1. Магнитное поле в вакууме	2(22)		2	2(12)
	Тема 5.2. Магнитное поле в веществе	4(8)	2(1)		4(10)
	Тема 5.3. Переменный ток	4(15)		2(2)	4(10)
	Тема 5.4. Электромагнитное поле	6(5,5)			6(4)
	Тема 5.5. Электромагнитные колебания и волны	4(9,5)			4(6)
6	***Модуль 6 «Волновая оптика»***	**36(46)**			**36(50)**
	Тема 6.1. Интерференция света	10(11)		2(2)	10(12)
	Тема 6.2. Дифракция света	6(13)	2(1)		6(14)
	Тема 6.3. Оптически неоднородная среда. Дисперсия света	4(8)			4(8)
	Тема 6.4. Поглощение и рассеяние света	8(6)	1(1)		8(6)
	Тема 6.5. Поляризация света	8(8)		2	8(10)
7	***Модуль 7 «Квантовая физика»***	**16(84)**			**12(90)**
	Тема 7.1. Квантовая природа излучения. Фотоны	4(19)			4(23)
	Тема 7.2. Корпускулярно-волновой дуализм	4(5)			2(5)
	Тема 7.3. Уравнение Шрёдингера	2(12)	3(1)		2(12)
	Тема 7.4. Атом	4(13)			4(15)
	Тема 7.5. Элементы физики твердого тела	6(20)			6(20)
	Тема 7.6. Атомное ядро	4(15)			2(15)
8	***Модуль 8 «Современная физическая картина мира»***	**4**	2(1)		**4**

Примечание: в скобках указаны часы для студентов с сокращенным сроком обучения.

Раздел 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ИЗУЧЕНИЮ

2.1. Модуль 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

2.1.1. Содержание модуля

Пространственно-временные отношения. Материальная точка. Абсолютно твёрдое тело. Векторный (координатный) метод описания относительного движения материальной точки. Кинематические уравнения и траектория движения. Скорость и ускорение точки как производные радиуса-вектора по времени. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Нормальное и тангенциальное ускорения. Движение частицы по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейными скоростями и ускорениями точек вращающегося тела. Поступательное и вращательное движения абсолютно твёрдого тела.

Закон инерции и инерциальные системы отсчёта. Законы динамики материальной точки и системы материальных точек. Внешние и внутренние силы. Центр масс (центр инерции) механической системы и закон его движения. Закон сохранения импульса. Реактивная сила.

Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Гравитационное поле. Ускорение свободного падения. Движение тел у поверхности Земли. Первая космическая скорость.

Силы упругости и трения.

Закон сохранения и превращения энергии

Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Работа переменной силы. Кинетическая энергия механической системы и ее связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе.

Поле как форма материи, осуществляющая силовое взаимодействие между частицами вещества. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и ее связь с силой, действующей на материальную точку. Понятие о градиенте скалярной функции координат. Поле центральных сил. Потенциальная энергия системы. Закон сохранения механической энергии. Диссипация энергии. Закон сохранения и превращения энергии как проявление неуничтожимости материи и её движения. Применение законов сохранения к столкновению упругих и неупругих тел.

Динамика вращательного движения. Момент силы, момент инерции и момент импульса. Момент силы относительно оси. Момент импульса тела относительно оси. Уравнение динамики вращательного движения твёрдого тела относительно неподвижной оси. Кинетическая энергия вращающегося тела. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства.

Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции. Сила Кориолиса. Законы сохранения в неинерциальных системах отсчёта.

Принцип относительности в релятивистской механике. Постулаты специальной теории относительности. Преобразование Лоренца. Понятие одновременности. Относительность длин и промежутков времени. Интервал между событиями и его инвариантность по отношению к выбору инерциальной системы отсчёта как проявление взаимосвязи пространства и времени. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистский импульс. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Релятивистское выражение для кинетической энергии. Взаимосвязь массы и энергии. Энергия связи системы. Соотношение между полной энергией и импульсом частицы. Границы применимости классической (ньютоновской) механики.

Общие свойства жидкости и газа. Уравнение равновесия и движения жидкости. Идеальная жидкость. Гидростатика несжимаемой жидкости. Стационарное течение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли.

Вязкая жидкость. Силы внутреннего трения. Стационарное течение вязкой жидкости. Формула Пуазейля. Формула Стокса. Гидродинамическая неустойчивость. Понятие о турбулентности. Движение тел в жидкостях и газах.

Идеально упругое тело. Упругие деформации и напряжения. Закон Гука. Пластические деформации. Предел прочности.

2.1.2. Методические указания по его изучению

При изучении раздела кинематики, очень важно то, что для данной системы точек, зная закон движения, можно определить все характеристики движения (положение в пространстве в интересующий нас момент времени, время, когда точка будет находиться в данном положении, скорость и ускорение) не имея никаких дополнительных сведений о системе.

При изучении темы «Динамика материальной точки» следует обратить внимание на то, что второй закон Ньютона является основным законом динамики. Такой методологический подход обеспечивает правильное понимание студентами основ механики с самого начала ее изучения. Второй закон Ньютона представляет собой дифференциальное уравнение, решением которого является закон движения.

При решении задач по кинематике теории относительности нужно обратить внимание на то, когда целесообразно пользоваться преобразованиями Лоренца для перехода от одной инерциальной системы отсчёта к другой. Очень важно методологическое осмысление задач, а не лишь техника их решения.

2.1.3. Вопросы для самоконтроля

1. Механическое движение. Система отчета. Материальная точка. Путь и перемещение. Скорость и ускорение. Абсолютно твердое тело. Поступательное и вращательное движения абсолютно твёрдого тела.
2. Равномерное и равнопеременное движения и величины их характеризующие.
3. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Нормальное и тангенциальное ускорения.
4. Кинематика вращательного движения. Угловые скорость и ускорение и их связь линейными скоростью и ускорением. Частота и период обращения.
5. Элементы кинематики вращательного движения. Угловые скорость и ускорение, их связь с линейными скоростями и ускорениями вращающегося тела.
6. Первый закон Ньютона – закон инерции. Инерциальные системы отсчёта.
7. Взаимодействие тел. Масса, сила. Второй закон Ньютона. Сила как производная импульса.
8. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Примеры его подтверждающие. Реактивная сила.
9. Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Гравитационное поле. Ускорение свободного падения. Движение тел у поверхности Земли. Первая космическая скорость.
10. Силы упругости и трения.
11. Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия.
12. Работа постоянной силы на прямолинейном пути.
13. Работа переменной силы. Мощность.
14. Кинетическая энергия механической системы и ее связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе.

15. Поле как форма материи, осуществляющая силовое взаимодействие между частицами вещества. Консервативные силы. Работа консервативных сил и ее связь с изменением потенциальной энергии.

16. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и ее связь с силой, действующей на материальную точку.

17. Поле центральных сил. Работа в поле тяготения. Потенциальная энергия в поле тяготения Земли.

18. Потенциальная энергия упруго деформированного тела.

19. Закон сохранения механической энергии. Диссипация энергии. Закон сохранения и превращения энергии как проявление неуничтожимости материи и её движения.

20. Применение законов сохранения к столкновению упругих и неупругих тел.

21. Вращательное движение абсолютно твердого тела. Момент инерции тела относительно неподвижной оси. Теорема Штейнера. Момент силы. Основное уравнение динамики вращательного движения.

22. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса и примеры его подтверждающие.

23. Кинетическая энергия вращающегося тела. Кинетическая энергия катящегося тела.

24. Общие свойства жидкости и газа. Уравнение равновесия и движения жидкости. Идеальная жидкость. Гидростатика несжимаемой жидкости. Стационарное течение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли.

25. Вязкая жидкость. Силы внутреннего трения. Стационарное течение вязкой жидкости. Формула Пуазейля. Формула Стокса. Гидродинамическая неустойчивость. Понятие о турбулентности.

26. Идеально упругое тело. Упругие деформации и напряжения. Закон Гука. Растяжение и сжатие стержней. Пластические деформации. Предел прочности.

2.1.4. Задания для самостоятельной работы

1. Какая из формул определяет мгновенную скорость?

А. $\langle \upsilon \rangle = \frac{\Delta r}{\Delta t}$; **Б.** $\vec{\upsilon} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$; **В.** $\vec{\upsilon} = \frac{\vec{s}}{t}$; **Г.** $\upsilon = \frac{ds}{dt}$; **Д.** Среди предложенных вариантов нет верного.

2. Быстроту изменения скорости по направлению характеризует:

А. тангенциальное ускорение; **Б.** нормальное ускорение; **В.** полное ускорение; **Г.** перемещение тела; **Д.** среди предложенных вариантов нет верного.

3. Диск вращается вокруг своей оси. Зависимость угла поворота диска от времени: $\varphi(t) = 3t + 5t^3$. угловая скорость диска через 3с от момента начала движения равна:

А. 3 рад/с; **Б.** 144 рад/с; **В.** 138 рад/с; **Г.** 15 рад/с; **Д.** среди предложенных вариантов нет верного.

4. Какая из предложенных формул соответствует более общей формулировке второго закона Ньютона?

А. $F = \mu N$; **Б.** $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$; **В.** $F = m\frac{\upsilon^2}{r}$; **Г.** $\vec{F} = m\vec{a}$; **Д.** Среди предложенных вариантов нет верного.

5. Проведите соответствия в формулах связи между величинами, описывающими поступательное и вращательное движение по окружности радиуса R:

А. ΔS	**1.** ωR
Б. a_τ	**2.** εR
В. a_n	**3.** $\Delta\varphi R$
Г. a	**4.** $\omega^2 R$
Д. υ	**5.** $R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$

6. Инерционные свойства тел в поступательном движении характеризует

А. вес; **Б.** сила трения; **В.** масса; **Г.** момент инерции; **Д.** импульс.

7. К диссипативным силам относятся:

А. сила тяжести; **Б.** сила трения; **В.** сила упругости; **Г.** сила всемирного тяготения;

Д. сила сопротивления воздуха.

8. Кинетическая энергия определяется по формуле:

А. $E = \frac{kx^2}{2}$; **Б.** $E = mgh$; **В.** $E = FS$; **Г.** $E = \frac{m\upsilon^2}{2}$; **Д.** $E = Nt$.

9. Момент инерции материальной точки определяется по формуле:

А. $I = mr^2$; **Б.** $I = I_c + md^2$; **В.** $I = \frac{M}{\varepsilon}$; **Г.** $I = \frac{ml^2}{3}$.

10. Второй закон Ньютона выражается формулой:

А. $F=Gm_1m_2/R^2$ **Б.** $F=\mu N$

В. $F_{12}=-F_{21}$ **Г.** $F=ma$

2.2. МОДУЛЬ 2. «МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В УПРУГИХ СРЕДАХ»

2.2.1. Содержание модуля

Колебания. Механические колебания. Кинематические характеристики гармонических колебаний. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Пружинный, физический и математический маятники. Энергия гармонических колебаний. Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты. Биения. Сложения взаимно перпендикулярных колебаний. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний. Понятие о резонансе.

Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Синусоидальные (гармонические) волны. Уравнение бегущей волны. Длина волны и волновое число. Волновое уравнение. Фазовая скорость. Энергия волны. Вектор Умова. Волновой пакет. Групповая скорость. Когерентность.

Интерференция волн. Образование стоячих волн. Уравнение стоячей волны и его анализ.

2.2.2. Методические указания по его изучению

Рассматривая «Колебания и волны» необходимо обратить внимание на сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты, а также взаимно перпендикулярных колебаний. Особое внимание следует обращать на определение основных понятий.

Необходимо уяснить содержание формулировок физических законов, их математическую запись в виде формул, а также особенности применения данных законов. При изучении материала по учебнику полезно вести конспект, в который рекомендуется выписывать определения, формулировки законов и их формулы.

2.2.3. Вопросы для самоконтроля

1. Колебания. Гармонические колебания. Основные характеристики колебательного движения: амплитуда, фаза, частота, период. Уравнение гармонических колебаний. Скорость и ускорение при колебательном движении.

2. Кинетическая, потенциальная и полная энергия гармонического колебания.

3. Силы, вызывающие гармонические колебания. Пружинный, физический и математический маятники. Формулы периодов колебаний маятников.

4. Сложение колебаний одного направления с мало отличающимися частотами.

5. Сложение взаимно-перпендикулярных колебаний с одинаковыми фазами и фазами, отличающимися на $\pi/2$.

6. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Логарифмический декремент затухания.

7. Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний. Резонанс.

8. Волновые процессы. Механизм образования волны в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Уравнение бегущей волны. Длина волны и волновое число. Волновое уравнение. Фазовая скорость. Энергия волны. Вектор Умова.

2.2.4. Задания для самостоятельной работы

1. Материальная точка колеблется согласно уравнению $x = 5\sin(\frac{\pi t}{6} + \frac{\pi}{3})$ см. период колебаний равен:
   А. 6 с; **Б.** 4 с; **В.** 3 с; **Г.** 12 с

2. Максимальное смещение точки от положения равновесия в колебательном процессе называется …
   А. амплитудой; **Б.** частотой; **В.** периодом; **Г.** фазой.

3. Твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, проходящей через точку, не совпадающую с центром масс тела называется…
   А. математическим маятником; **Б.** физическим маятником; **В.** пружинным маятником; **Г.** колебательным контуром.

4. Гармоническое колебание задано уравнением $x = A\sin(\omega t + \alpha)$. Какая формула определяет кинетическую энергию заданного колебания $E_к$ =…?
   А. $(m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \alpha))/2$; **Б.** $\frac{m\omega^2 A^2}{2}$; **В.** $\frac{m\omega^2 A^2}{2}\cos^2(\omega t + \alpha)$; **Г.** $A\cos(\omega t + \alpha)$.

5. Период колебаний в СИ измеряется в:
А. м; **Б**. Гц; **В.** с; **Г.** Дж.

6. Частота колебаний материальной точки, движущейся согласно закона x=5sin6πt, равна:
А. 1,2 Гц **Б.** 5 Гц **В.** 6 Гц **Г.** 3 Гц

7. Период колебаний точки, совершающей колебания согласно закона x=5sinπt, равна:
А. 2 с **Б.** 0,2 с **В.** 5 с **Г.** 3,14 с

8. Материальная точка совершает колебания по закону x=2sin(3t+π/4) см.

1. Амплитуда колебаний в см равна:	А. 0,785.
2. Циклическая частота колебаний в $с^{-1}$ равна:	Б. 10.
	В. 3.
3. Начальная фаза колебаний в рад равна:	Г. 2.
	Д. 12.

9. Материальная точка совершает колебания по закону x=5sin(2t+π/3) см. Амплитудное значение скорости точки υ_{max} равно:
А. 10 см/с. **Б.** 3,3 см/с. **В.** 20 см/с. **Г.** 15 см/с.

10. Период колебаний математического маятника зависит:

А. от массы маятника и амплитуды колебаний.

Б. от длины маятника и от ускорения свободного падения.

В. от длины маятника и амплитуды колебаний.

Г. Только от амплитуды колебаний.

2.3. Модуль 3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

2.3.1. Содержание модуля

Термодинамический и статистический методы исследования. Макроскопическое состояние. Макроскопические параметры как средние значения.

Изопроцессы и закономерности их протекания. Абсолютная температурная шкала. Уравнение Клапейрона-Менделеева.

Модель идеального газа. Вывод уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления и его сравнение с уравнением Клапейрона-Менделеева. Средняя кинетическая энергия молекул. Молекулярно-кинетическое толкование термодинамической температуры.

Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Барометрическая формула. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул.

Явления переноса. Диффузия. Коэффициент диффузии. Диффузия в газах, жидкостях и твёрдых телах. Теплопроводность. Коэффициент теплопроводности. Температуропроводность. Вязкость. Коэффициенты вязкости газов и жидкостей.

Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул. Внутренняя энергия идеального газа. Работа газа при изменении его объёма. Количество теплоты. Теплоёмкость. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатному процессу идеального газа. Зависимость теплоёмкости идеального газа от вида процесса.

Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл). Тепловые двигатели и холодильные машины. Цикл Карно и его КПД. Второе начало термодинамики. Независимость КПД цикла Карно от природы рабочего тела. Энтропия. Энтропия идеального толкование второго начала термодинамики.

Реальные газы. Силы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса.

Термодинамика поверхности раздела двух сред. Поверхностная энергия и натяжение в жидкостях. Смачивание. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Капиллярность.

Фазовые превращения. Фазовые диаграммы. Критическое состояние.

Жидкие кристаллы.

2.3.2. Методические указания по его изучению

При изучении этого модуля необходимо знать: положения МКТ, броуновское движение, а также что межмолекулярное взаимодействие характеризуется силами притяжения и отталкивания, основное уравнение МКТ, газовые законы. И уметь их применять при решении задач.

При изучении материала можно воспользоваться презентациями ДО (дистанционного обучения) по данной дисциплине на сайте РГАЗУ.

2.3.3. Вопросы для самоконтроля

1. Изопроцессы и закономерности их протекания. Абсолютная температурная шкала. Уравнение Клапейрона–Менделеева.
2. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов.
3. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул. Эффективный диаметр молекулы. Средняя арифметическая, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорости молекул газа.
4. Барометрическая формула. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле.
5. Явления переноса в термодинамически неравновесных системах.
6. Диффузия. Коэффициент диффузии. Диффузия в природе и технике.
7. Теплопроводность. Уравнение теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
8. Внутреннее трение (вязкость). Сила внутреннего трения. Динамический коэффициент вязкости. Экспериментальное определение коэффициента вязкости.
9. Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекулы. Энергия одной молекулы, моля и произвольной массы газа. Внутренняя энергия идеального газа.
10. Работа газа при изменении его объема. Работа газа при изопроцессах.
11. Количество теплоты. Теплоемкость.
12. Первое начало термодинамики и его применение к изопроцессам. Адиабатный процесс. Уравнения Пуассона. Работа газа при адиабатном процессе. Теплоемкость идеального газа как функция процесса. Уравнение Р.Майера.
13. Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс. Цикл Карно и его КПД. Второе начало термодинамики.
14. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Сравнение изотерм Ван-дер-Ваальса с экспериментальными. Критическое состояние. Сжижение газа.
15. Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Поверхностно-активные вещества. Смачивание. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Капиллярные явления. Высота поднятия жидкости в капиллярах.

2.3.4. Задания для самостоятельной работы

1. Реальный газ можно считать идеальным при…

А. низком давлении; **Б.** высокой температуре; **В.** малом объеме; **Г.** большой молекулярной массе; **Д.** низкой влажности.

2. В соответствии с основным уравнением МКТ произведение давления (p) и объема (V) равно:

А. $3/2\ кT$; **Б.** $\frac{2}{3}\langle E_к \rangle N$; **В.** $кT/N_А$; **Г.** RT/M; **Д.** νRT.

3. Установите соответствие:

Вид газового процесса:	Условие протекания процесса (для данной массы газа):
изотермический процесс	**А.** $p=const$
изохорический процесс	**Б.** $Q=0$
изобарический процесс	**В.** $V=const$
адиабатный процесс	**Г.** $T=const$

4. Сила внутреннего трения между слоями жидкости F=2 Н. При увеличении в 2 раза градиента скорости и уменьшении в 2 раза площади слоёв сила внутреннего трения станет равной:

А. 1 Н; **Б.** 2 Н; **В.** 4 Н; **Г.** 8 Н.

5. Единицей давления в СИ является:

А. Па; **Б.** кгс/м^2; **В.** Па·с; **С.** дин/см^2.

6.Вид газового процесса:	Закономерность его протекания (для идеального газа):
1) изотермический процесс	**А**. $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$
2) изохорический процесс	**Б**. $p_1 V_1 = p_2 V_2$
3) изобарический процесс	**В**. $p_2/p_1 = T_2/T_1$
4) адиабатный процесс	**Г**. $V_2/V_1 = T_2/T_1$
	Д. $Q = cm\Delta T$

7. Работа газа при адиабатном процессе равна:

А. $A = \frac{i}{2}\frac{m}{M}R(T_1 - T_2)$; **Б.** $A = \frac{m}{M}R\Delta T$;

В. $A = 0$; **Г.** $A = \frac{m}{M}RT\ln\frac{V_2}{V_1}$.

8. Явление проникновения молекул одного вещества в межмолекулярные промежутки другого вещества называется:

А. Испарением **Б.** Броуновским движением

В. Конвекцией **Г.** Диффузией

9. Вид газового процесса:

1) изотермический процесс
2) изохорический процесс
3) изобарический процесс
4) адиабатный процесс

Первое начало термодинамики:

А. $Q=\Delta U+A$
Б. $Q=A$
В. $\Delta U+A=0$
Г. $Q=\Delta U$
Д. $Q = cm\Delta T$

10. Явление переноса растворителя через полупроницаемую перегородку, разделяющую растворы разной концентрации, называется:

А. Простой диффузией
Б. Осмосом
В. Конвекцией
Г Испарением

2.4. Модуль 4. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

2.4.1. Содержание модуля

Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Основные характеристики электростатического поля – напряжённость и потенциал. Напряжённость как градиент потенциала. Расчёт электростатических полей методом суперпозиции. Поток вектора напряжённости. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Остроградского-Гаусса к расчёту поля. Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Типы диэлектриков. Электронная и ориентационная поляризация. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость вещества. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды. Вычисление напряжённости поля в диэлектрике. Сегнетоэлектрики. Электреты.

Проводники в электрическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение зарядов в проводнике. Электроёмкость уединенного проводника. Взаимная ёмкость двух проводников. Конденсаторы. Энергия заряженных проводника, конденсатора и системы проводников. Энергия электростатического поля. Объёмная плотность энергии.

Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования. Классическая электронная теория электропроводности металлов и её опытные обоснования. Вывод закона Ома в дифференциальной форме из электронных представлений. Закон Видемана-Франца. Закон Ома в интегральной форме. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение. Законы Кирхгофа. Закон Джоуля-Ленца. Электрический ток в вакууме. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия. Ток в газах. Плазма. Электропроводность электролитов. Законы Фарадея. Электролиз и его применение. Термоэлектрические явления. Контактная разность потенциалов.

2.4.2. Методические указания по его изучению

Изучение основ электродинамики начинается с электрического поля в вакууме. Особое внимание уделяется связи между силовой характеристикой (напряженностью) электрического поля и энергетической характеристикой (потенциалом) поля.

Исчерпывающее описание электрических взаимодействий между неподвижными зарядами может быть построено на базе двух утверждений - закона Кулона и принципа суперпозиции. Для вычисления напряженностей полей, созданных симметричными протяженными распределениями зарядов, применяется теорема Гаусса. При изучении темы «Постоянный ток» необходимо рассмотреть во всех формах законы Ома и Джоуля - Ленца. Для решения задач полезно знать правила Кирхгофа.

2.4.3. Вопросы для самоконтроля

1. Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие электрических зарядов. Закон кулона.
2. Электростатическое поле. Его напряженность и индукция. Поток напряженности и индукции. Теорема Остроградского–Гаусса.
3. Расчет электростатических полей методом суперпозиции. Поле диполя.
4. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение к расчету поля равномерно заряженной бесконечной плоскости и двух параллельных равномерно заряженных бесконечных плоскостей.
5. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение к расчету поля заряженной прямой бесконечной нити.
6. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение к расчету поля заряженного шара.
7. Работа перемещения заряда в электрическом поле. Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов. Напряженность как градиент потенциала. Эквипотенциальные поверхности. Потенциал поля системы зарядов.
8. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля.
9. Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Типы диэлектриков. Электронная и ориентационная поляризация. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды. Электрическое смещение. Вычисление напряжённости поля в диэлектрике. Сегнетоэлектрики. Электреты.
10. Проводники в электростатическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение зарядов в проводнике.
11. Электроемкость уединенного проводника. Электрическая емкость уединенного шара. Энергия заряженного уединенного проводника.
12. Взаимная емкость двух проводников. Конденсаторы. Емкость конденсатора. Последовательное и параллельное соединения конденсаторов. Энергия поля конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

13. Постоянный электрический ток, условие его существования. Сила и плотность тока. Электрическое сопротивление. Удельное сопротивление. Электропроводность. Зависимость удельного сопротивления от температуры.

14. Сторонние силы. ЭДС источника тока. Напряжение.

15. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС. Сопротивление, ток и напряжение при последовательном и параллельном соединении проводников.

16. Закон Ома для полной цепи. Закон Ома для неоднородного участка цепи (для участка цепи, содержащего источник ЭДС).

17. Разветвленные электрические цепи. Законы Кирхгофа.

18. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля – Ленца.

19. Классическая электронная теория проводимости металлов. Вывод закона Ома и Джоуля – Ленца в дифференциальной форме из электронных представлений.

20. Электрический ток в газах. Ионизация газа и рекомбинация ионов. Несамостоятельный и самостоятельный разряд. Виды разрядов. Плазма.

21. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрическое явления и их применение.

22. Полупроводники. Собственная и примесная проводимости полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контакт электронного и дырочного полупроводника (*p*-*n*–переход) и его вольт-амперная характеристика.

2.4.4. Задания для самостоятельной работы

1. Величина, количественно характеризующая способность наэлектризованных тел оказывать электрическое воздействие на другие тела и подвергаться самим этому воздействию, называется.

А. электрическим зарядом; **Б**. количеством электричества; **В**. электрическим током; **Г**. силой тока; **Д**. среди предложенных вариантов ответов нет верного.

2. Напряжённость E электрического поля выражается соотношением:

А. ql **Б**. $W_п/q$ **В**. F/q **Г**. $\varepsilon\varepsilon_0 S/d$

3. Потенциал φ электрического поля выражается соотношением:

А. $\varepsilon\varepsilon_0 S/d$ **Б**. F/q **В**. $W_п/q$ **Г**. qE

4. Единицей напряжённости электрического поля является:

А. В **Б**. Ом **В**. В/м **Г**. Ф

5. Единицей потенциала электрического поля является:

А. В **Б**. А **В**. А/м **Г**. Ом

6. Напряженность через потенциал может быть выражена следующим образом: E =

А. $q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$; **Б.** $(\varphi_1 - \varphi_2)$; **В.** φq_0; **Г.** (-grad φ); **Д.** Среди предложенных вариантов нет верного.

7. Для определения напряженности электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости в вакууме используется следующая формула:

А. $E = \sigma / \varepsilon_0$; **Б.** $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q}{r^2}$; **В.** $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{q}{R^3}r'$; **Г.** $E = \dfrac{1}{2\pi\varepsilon_0}\dfrac{\tau}{r}$; **Д.** $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$.

8. Электрическим током называется…

А. хаотичное движение частиц;

Б. направленное движение молекул;

В. упорядоченное движение заряженных частиц;

Г. любое произвольное движение электронов;

Д. среди предложенных вариантов ответов нет верного.

9. Работа тока определяется как dA = …

А. Udq; **Б.** IUR; **В.** $\dfrac{P}{I}dt$; **Г.** I^2R; **Д.** среди предложенных вариантов ответов нет верного.

10. Сопротивление проводника, в котором при напряжении 200 В течет ток силой 0,5 А, равно:

А. 100 Ом. **Б.** 50 Ом. **В.** 400 Ом. **Г.** 2,5 мОм.

2.5. Модуль 5 . Магнетизм

2.5.1. Содержание модуля

Магнитное поле. Магнитная индукция. Закон Ампера. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчёту магнитного поля. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Магнитное поле кругового тока. Магнитный момент витка с током. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока (циркуляция вектора магнитной индукции) для магнитного поля в вакууме и его применение к расчёту магнитного поля тороида и длинного соленоида. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Принцип действия циклических ускорителей заряженных частиц. Эффект Холла. МГД-генератор. Контур с током в магнитном поле. Магнитный поток. Теорема Остроградского-Гаусса. Работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле.

Магнитное поле в веществе. Магнитные моменты атомов. Типы магнетиков. Намагниченность. Микро и макро токи. Элементарная теория диа- и парамагнетизма. Магнитная восприимчивость вещества и её зависимость от температуры. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость среды. Ферромагнетики. Опыты Столетова. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Домены. Спиновая природа ферромагнетизма.

Явление электромагнитной индукции (опыты Фарадея). Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции и его вывод из закона сохранения энергии. Явление самоиндукции. Индуктивность. Токи при замыкании и размыкании цепи. Явление взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Энергия системы проводников с током. Объёмная плотность энергии магнитного поля. Цепи переменного тока.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме.

Гармонические электромагнитные колебания и их характеристики. Дифференциальное уравнение электромагнитных колебаний. Электрический колебательный контур. Энергия электромагнитных колебаний. Дифференциальное уравнение электромагнитных колебаний и его решение. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонанс.

Электромагнитные волны. Основные свойства электромагнитных волн. Волновое уравнение. Энергия электромагнитных волн. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга.

2.4.2. Методические указания по его изучению

При изучении темы «Магнетизм» особо подчеркивается, что магнитное поле порождается движущимися зарядами и действует на движущиеся заряды. Для расчета магнитных полей необходимо знать закон Био-Савара-Лапласа, а для расчета магнитных полей созданных симметричными конфигурациями токов - теорему о циркуляции. Особое внимание надо обратить на движение заряженных частиц в магнитном поле под действием сил Лоренца и Ампера. При изучении явления электромагнитной индукции необходимо знать, как вычисляется магнитный поток, электродвижущая сила индукции.

2.5.3. Вопросы для самоконтроля

1. Магнитное поле. Магнитная индукция. Действие магнитного поля на проводник с током. Закон Ампера.
2. Магнитное поле. Магнитный момент контура с током. Индукция магнитного поля. Действие магнитного поля на контур с током.
3. Взаимодействие параллельных токов. Закон Ампера.
4. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Плазма в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла.
5. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Масс-спектрограф.
6. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитного поля прямого тока.
7. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитного поля кругового тока.
8. Циркуляция вектора магнитной индукции для магнитного поля в вакууме. Закон полного тока. Магнитное поле соленоида и тороида.

9. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для потока вектора магнитной индукции.

10. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

11. Магнитный момент контура с током. Работа по перемещению контура с током в магнитном поле. Энергия контура стоком в магнитном поле.

12. Явление электромагнитной индукции. Законы Фарадея-Максвелла и Ленца. Вращение проводящей рамки в магнитном поле. Практическое применение явления электромагнитной индукции.

13. Явление самоиндукции. Индуктивность. Индуктивность соленоида. Токи при замыкании и размыкании цепи.

14. Взаимная индукция. Трансформаторы.

15. Энергия магнитного поля. Энергия магнитного поля соленоида. Объемная плотность энергии магнитного поля.

16. Магнитные свойства вещества. Магнитные моменты электронов и атомов. Типы магнетиков. Диа-, пара- и ферромагнетики. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Природа ферромагнетизма. Домены. Точка Кюри.

17. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме и их физический смысл. Плоская электромагнитная волна. Волновое уравнение. Скорость распространения электромагнитных волн. Энергия и импульс электромагнитного поля. Плотность потока энергии. Вектор Умова – Пойнтинга. Основные свойства электромагнитных волн.

18. Колебательный контур. Свободные гармонические колебания в колебательном контуре. Свободные затухающие колебания в электрическом колебательном контуре.

19. Переменный ток. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления в цепи переменного тока.

2.5.4. Задания для самостоятельной работы

1. Силовой характеристикой магнитного поля является:

А. потенциал; **Б.** магнитная проницаемость;

В. магнитная индукция; **Г.** работа.

2. В отличие от линий напряженности электростатического поля линии магнитной индукции всегда:

А. разомкнуты; **Б.** замкнуты;

В. переплетаются; **Г.** уходят в бесконечность.

3. Единицей индукции магнитного поля является:

А. Вб. **Б.** Тл. **В.** Гн. **Г.** А/м.

4. Единицей потока магнитной индукции является:

А. Вб. **Б.** А/м. **В.** Гн. **Г.** Тл.

5. На проводник с током в магнитном поле действует сила 10 Н. При увеличении индукции магнитного поля в 3 раза и уменьшении силы тока в 2 раза, на проводник будет действовать сила Ампера, равная:

А. 60 Н **Б.** 6,7 Н **В.** 45 Н **Г.** 15 Н

6. Индукция магнитного поля, действующего с силой F=0,5 Н на прямолинейный перпендикулярный полю проводник длиной

l=20 см, по которому течёт ток I=1 А, равна:

А. 25 Тл **Б.** 10 Тл **В.** 1 Тл **Г.** 2,5 Тл

7. Вещества, слабо намагничивающиеся во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном вектору магнитной индукции внешнего поля, называются:

А. парамагнетиками; **Б.** диамагнетиками;

В. ферромагнетиками; **Г.** антиферромагнетиками.

8. Вещества, слабо намагничивающиеся во внешнем магнитном поле в направлении вектора магнитной индукции внешнего поля, называются:

А. парамагнетиками; **Б.** диамагнетиками;

В. ферромагнетиками; **Г.** антиферромагнетиками.

9. Твёрдые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью и значительно усиливающие внешнее магнитное поле, называются:

А. парамагнетиками; **Б.** диамагнетиками;

В. ферромагнетиками; **Г.** антиферромагнетиками.

10. Три одинаковых катушки включены последовательно в электрическую цепь постоянного тока. Катушка 1 без сердечника, в катушке 2 – сердечник из кобальта, в катушке 3 – сердечник из трансформаторной стали. Магнитная проницаемость воздуха равна 1, кобальта – 175, трансформаторной стали – 8000. Индукция магнитного поля будет наименьшей:

А. в 1 катушке; **Б.** во 2 катушке; **В.** в третьей катушке.

Г. Индукция магнитного поля во всех катушках одинакова.

2.6. Модуль 6. Волновая оптика

2.6.1. Содержание модуля

Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Расчёт интерференционной картины от двух когерентных источников. Оптическая длина пути. Интерференция света в тонких пленках. Интерферометры.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на одной щели и дифракционной решётке. Разрешающая способность оптических приборов.

Дифракция на пространственной решётке. Формула Вульфа-Брэгга. Принцип голографии. Исследование структуры кристаллов.

Оптически неоднородная среда. Дисперсия света

Распространение света в веществе. Оптически неоднородная среда. Дисперсия света. Области нормальной и аномальной дисперсии. Электронная теория дисперсии света.

Поглощение света. Эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова.

Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Поляризация света при отражении. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление. Одноосные кристаллы. Поляроиды и поляризационные призмы. Закон Малюса.

2.6.2. Методические указания по его изучению.

В этом модуле излагаются основы волновой оптики. Особое внимание надо уделять явлениям и закономерностям отражения и преломления света. Здесь рассматривается распространения упругих волн, а также закономерности дисперсии и дифракции. В дальнейшем световые явления рассматриваются с точки зрения двух моделей света - корпускулярной и волновой.

При изучении материала можно воспользоваться презентациями ДО (дистанционного обучения) по данной дисциплине на сайте РГАЗУ.

2.7.3. Вопросы для самоконтроля

1. Электромагнитная и квантовая природа света. Явления, подтверждающие волновую и квантовую природу света.
2. Основные фотометрические величины и их единицы.
3. Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Получение когерентных волн. Оптическая длина пути. Условие образования минимумов и максимумов интенсивности света при интерференции. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Интерференция в тонких пленках. Применение интерференции света.
4. Дифракция света. Элементарная волна. Принцип Гюйгенса–Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция света на круглом отверстии.
5. Дифракция света на одной щели.
6. Дифракционная решетка. Дифракционный спектр. Применение дифракционной решетки для определения длины волны света.
7. Дифракция на пространственной решетке. Формула Вульфа–Брегов. Исследование структуры кристаллов.
8. Дисперсия света. Области нормальной и аномальной дисперсии. Дисперсионные спектры. Закон Кирхгофа. Дисперсионный анализ. Электронная теория дисперсии света.
9. Поглощение света.

10. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Получение поляризованного света. Поляризация света при отражении от диэлектрика. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление. Поляроиды.

11. Прохождение поляризованного света через поляроид. Закон Малюса.

12. Вращение плоскости поляризации оптически активными веществами.

13. Эффект Доплера.

14. Излучение Вавилова-Черенкова.

2.6.4. Задания для самостоятельной работы

1. Минимальная длина зеркала, в котором человек ростом 1,8 м сможет увидеть себя целиком, равна:

А. 1,8 м; **Б.** 2 м; **В.** 0,5 м; **Г.** 0,9 м.

2. Минимальный угол падения, при котором происходит полное отражение света, переходящего из среды с показателем преломления п1=2 в среду с показателем преломления n2 = 2, равен:

А. 450; **Б.**900; **В.** 1800; **Г.** 00.

3.Электромагнитные волны, приходящие в каждую точку пространства с постоянной во времени разностью фаз, называются:

А. синфазными; **Б.** поперечными;

В. продольными; **Г.** когерентными.

4.Электромагнитные волны одной определённой и строго постоянной частоты называются:

А. идеальными; **Б.** бегущими;

В. плоскими; **Г.** монохроматическими.

5.Сила света источника, создающего световой поток 100 лм внутри телесного угла равного 4 стерадиан, равна:

А. 400 кд **Б.** 25 кд **В.** 50 кд **Г.** 200 кд

6.Сила света источника, создающего на расстоянии 5 м максимальную освещённость 10 лк, равна:

А. 500 кд **Б.** 250 кд **В.** 50 кд **Г.** 25 кд

7.ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА: ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ:

1) сила света	А. стерадиан
2) освещённость	Б. лм/м2
3) светимость	В. кд
4) яркость	Г. лк
	Д. кд/м2

8. Явление наложения двух систем волн, при котором происходит перераспределение энергии колебаний в пространстве с образованием устойчивых областей усиленных и ослабленных колебаний, называется:

А. Интерференцией. **Б.** Дифракцией.

В. Поляризацией. **Г.** Люминесценцией.

9. Явление непрямолинейного распространения света вблизи преграды с интерференционным перераспределением энергии волн в пространстве называют:

А. Интерференцией **Б.** Дифракцией

В. Поляризацией **Г.** Фотоэффектом

10. При раздувании мыльного пузыря он окрашивается в разные цвета. В этом опыте наблюдается явление:

А. дифракции; **Б.** дисперсии;

В. поляризации; **Г.** интерференции.

2.7. Модуль 7. Квантовая физика

2.7.1. Содержание модуля

Тепловое излучение. Чёрное тело. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Распределение энергии в спектре абсолютно чёрного тела. Закон смещения Вина. Квантовая гипотеза и формула Планка. Оптическая пирометрия. Внешний фотоэффект и его законы. Фотоны. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Масса и импульс фотона. Давление света. Опыты Лебедева. Квантовое и волновое объяснение давления света. Эффект Комптона. Диалектическое единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения.

Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма свойств вещества. Формула де Бройля. Соотношение неопределённостей как проявление корпускулярно-волнового дуализма свойств материи.

Волновая функция и её статистический смысл. Ограниченность механического детерминизма. Принцип причинности в квантовой механике. Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Свободная частица. Туннельный эффект.

Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии и импульса частицы. Гармонический осциллятор.

Строение атома. Опыты Резерфорда. Линейчатые спектры атомов. Постулаты Бора. Водородоподобные атомы. Опыт Франка и Герца.

Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спиновое квантовое число. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям. Понятие об энергетических уровнях молекул. Спектры атомов и молекул. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Понятие о лазере.

Фазовое пространство. Элементарная ячейка. Плотность состояний. Понятие о квантовой статистике Бозе – Эйнштейна. Фотонный и фононный газы. Распределение фононов по энергиям. Теплоёмкость кристаллической решётки. Сверхтекучесть. Понятие о квантовой статистике Ферми-Дирака. Распределение электронов проводимости в металле по энергиям при абсолютном нуле температуры. Энергия Ферми. Влияние температуры на распределение электронов. Уровень Ферми. Внутренняя энергия и теплоёмкость электронного газа в металле. Электропроводность металлов. Сверхпроводимость. Магнитные свойства сверхпроводника.

Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по энергетическим зонам. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственная проводимость полупроводников. Квазичастицы – электроны проводимости и дырки. Эффективная масса электрона в кристалле. Примесная проводимость полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контактные явления. Контакт электронного и дырочного полупроводника (p-n–переход) и его вольт-амперная характеристика. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Люминесценция твёрдых тел.

2.7.2. Методические указания по его изучению

Материал этого модуля объединен вокруг стержневой идеи - квантованности в микромире. На основе фотоэффекта вводится идея о дискретности энергии излучения и поглощения кванта энергии. Необходимо заметить, что излучение состоит из отдельных порций квантов излучений (названных впоследствии фотонами) принадлежит Эйнштейну, который пришел к этой идее в результате анализа статистических свойств излучения, а затем применил ее к объяснению ряда объявлений.

При изучении материала по учебнику полезно вести конспект, в который рекомендуется выписывать определения, формулировки законов и их формулы.

Знание теоретического материала лучше закрепить решением задач.

2.7.3. Вопросы для самоконтроля

1. Тепловое излучение. Интегральная и спектральная излучительная способности (плотность излучения) тела. Абсолютно черное тело. Закон Кирхгофа. Спектр излучения абсолютно черного тела. Законы Стефана-Больцмана и Вина. Квантовый характер излучения электромагнитных волн. Формула Планка.

2. Энергия, масса и импульс фотона.

3. Фотоэффект. Опыты Герца и Столетова. Виды фотоэффекта. Законы внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Красная граница фотоэффекта. Объяснение законов внешнего фотоэффекта с помощью уравнения Эйнштейна.

4. Давление света. Опыты Лебедева. Квантовое объяснение давления света.

5. Эксперименты по рассеиванию рентгеновских лучей. Эффект Комптона и его теория.

6. Строение атома. Модель атома Резерфорда. Дискретность энергетических состояний атома. Постулаты Бора. Спектр атома водорода по Бору.

7. Природа и получение рентгеновских лучей. Тормозное и характеристическое излучения.

8. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Оптические квантовые генераторы (лазеры).

9. Волновые свойства материи. Волновые свойства элементарных частиц. Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Соотношение неопределенностей.

10. Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по энергетическим зонам. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственная и примесная проводимости полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контакт электронного и дырочного полупроводника (p-n–переход) и его вольт-амперная характеристика.

11. Люминесценция. Виды люминесценции. Законы Стокса и Вавилова. Люминесцентный анализ.

12. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрическое явления и их применение.

13. Заряд, размер и масса атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Состав атомного ядра: протоны и нейтроны. Основные характеристики нуклонов и ядер. Изотопы. Взаимодействие нуклонов и понятие о ядерных силах. Дефект массы и энергия связи атомного ядра.

14. Радиоактивность. α-, β- и γ-излучения радиоактивных ядер. Законы смещения при радиоактивных распадах. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность радиоактивного препарата. Искусственная радиоактивность. Радиоактивные изотопы. Применение радиоактивных изотопов в народном хозяйстве.

15. Ядерные реакции. Типы ядерных реакций. Закономерности протекания ядерных реакций. Энергетический выход ядерных реакций.

16. Реакция деления ядра. Цепная реакция деления. Понятие о ядерной энергетике.

17. Реакция синтеза атомных ядер. Проблема управляемых термоядерных реакций.

18. Элементарные частицы. Типы взаимодействия элементарных частиц. Кварки, лептоны и кванты. Гипероны.

2.7.4. Задания для самостоятельной работы

1. Интегральная плотность энергетической светимости «абсолютно черного» тела при увеличении его температуры в 3 раза возрастает:

А. в 3 раза; **Б.** в 9 раз; **В.** в 27 раз; **Г.** в 81 раз.

2. Переход белого каления в красное при остывании металла объясняется с помощью закона:

А. Вина; **Б.** Кирхгофа;
В. Релея-Джинса; **Г.** Стефана-Больцмана.

3. Тело, температура которого отлична от нуля, излучает электромагнитные волны. Постоянная Вина равна 2,9•10−3 м•К. При комнатной температуре максимум интенсивности излучения тела лежит в диапазоне длин волн:
А. 0,1 м – 1 мм; **Б.** 1 мм – 760 нм;
В. 760 нм – 390 нм; **Г.** 10 нм – 400 нм.

4. Равновесное состояние системы «тело-излучение» устанавливается:
А. для люминесцентного излучения;
Б. для ультрафиолетового излучения;
В. для теплового излучения;
Г. для ионизирующего излучения.

5. Энергия фотона с частотой $\nu = 1$ Гц равна:
А. постоянной Планка: **Б.** постоянной Больцмана;
В. постоянной Авогадро; **Г.** магнитной постоянной.

6. В энергетическом спектре атома водорода максимальная энергия равна:
А. ∞; **Б.** 10 Дж; **В.** 5 Дж; **Г.** 0.

7. Наличие у атомов линейчатых спектров объясняется:
А. хаотичным тепловым движением электронов;
Б. слабым взаимодействием между атомами;
В. дискретностью энергетических состояний атомов;
Г. наличием у атомов плотного ядра.

8. Видимые линии в спектре излучения атомарного водорода получаются при переходе атома из состояния с квантовым числом m в состояние с квантовым числом n, причём n равно:
А. 1; **Б.** 2; **В.** 3; **Г.** 4.

9. При переходе из возбуждённых состояний в основное излучение атомов водорода является:
А. инфракрасным**;** **Б.** видимым;
В. ультрафиолетовым; **Г.** инфракрасным и видимым.

10. Электродинамическая устойчивость атомов объясняется:
А. наличием у электронов спина;
Б. наличием у электронов орбитального магнитного момента:
В. наличием у электронов стационарных орбит;
Г. наличием у электронов электрического заряда.

Раздел 3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Методические указания по выполнению контрольной работы

Студенты со сроком обучения 5 лет на 1-м курсе выполняют первую и на 2-м курсе – вторую контрольные работы. Студенты со сроком обучения 3 года изучают весь материал дисциплины на 1-м курсе и выполняют одну контрольную работу. Номера задач выбираются по соответствующим таблицам вариантов. Вариант контрольного задания определяется последней и предпоследней цифрами шифра студента.

Работа должна быть выполнена в отдельной ученической тетради, на обложке которой следует указать наименование вуза, факультета, специализации, шифр, фамилию и инициалы студента, дисциплину, по которой выполнена контрольная работа.

Работа выполняется чернилами или шариковой ручкой только синего или черного цвета; не допускаются записи красными чернилами. Задачи контрольной работы должны иметь те номера, под которыми они стоят в контрольном задании. Условие задач необходимо переписывать полностью и каждую задачу начинать с новой страницы, а для замечаний рецензента оставлять поля шириной 3 см.

Решение задачи должно содержать краткое описание явления, о котором говорится в условии задачи, и быть обосновано с использованием законов и положений физики. Следует пояснять формулы, используемые при решении задач, и входящие в них величины. При необходимости решение поясняют чертежом (рисунком, графиком, схемой). Например, следует изобразить тело с приложенными к нему силами, график газового процесса, схему электрической цепи, схему электрического и магнитного полей с указанием направлений векторов $\vec{E}$ и $\vec{B}$, показать ход лучей в оптических системах и т.д. Обозначения на чертеже и в решении задачи должны соответствовать друг другу. Не следует обозначать одну и ту же величину разными символами, а также различные величины одинаковыми символами. Решение задач должно быть пояснено так, как это сделано в примерах, приведенных ниже.

Как правило, задачи решаются в общем виде, т.е. в буквенном виде без вычисления промежуточных величин. При таком способе решения ответ получается в виде расчётной формулы. Если расчётная формула не является прямым следствием какого-либо закона, надо дать её вывод.

Получив расчётную формулу, следует:

- выписать в единицах СИ численные значения величин, входящих в формулу;
- проверить правильность расчётной формулы анализом единиц измерения, для чего подставив в формулу обозначения единиц входящих в нее величин и выполнив преобразования, убедиться, что единицы правой и левой частей формулы совпадают (см. таблицу 12 приложения);

- вычислить искомую величину, подставив в расчётную формулу числовые значения входящих в нее величин.

При выполнении вычислений следует пользоваться микрокалькулятором. После получения результата (в единицах СИ) его можно преобразовать, переведя в единицы, кратные или дольные от единиц СИ.

В конце работы необходимо указать год и место издания методических указаний, перечислить использованную литературу, обязательно указывая авторов учебников и год их издания. Это позволит рецензенту при необходимости дать ссылку на определенную страницу того пособия, которое имеется у студента.

Получив проверенную работу, студент обязан тщательно изучить все замечания рецензента, уяснив свои ошибки, и внести исправления. Если работа не допущена к собеседованию, её необходимо выполнить снова с учетом указаний и замечаний рецензента и сдать вторично на рецензирование.

Тетрадь с контрольной работой следует сохранять до получения зачёта по ней на сессии (а при возможности до сессии). При собеседовании студент должен устно пояснить формулы, сформулировать законы, используемые при решении задач, пояснить физический смысл величин, входящих в формулы, ответить на вопросы к задачам, поставленные преподавателем-рецензентом.

3.2. Таблицы вариантов заданий для контрольных работ студентам направления подготовки.230400, 190600

Срок обучения 3 года

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 24, 31, 55, 81, 101, 140, 160	
1	2, 20, 25, 32, 56, 82, 102, 141	2, 22, 29, 54, 79, 99, 138, 159
2	3, 21, 26, 33, 57, 83, 103, 142	3, 21,28, 53, 78, 98, 137, 158
3	4, 22, 27, 34, 58, 84, 104, 143	4, 20, 27, 52, 77, 97, 136, 157
4	5, 23,28, 35, 59, 85, 105, 145	19, 26, 31, 51, 76, 96, 135, 156
5	6, 29, 36, 55, 60, 86, 106, 146	18, 25, 32, 50, 75, 95, 134, 155
6	7, 30, 37, 61,80, 87, 107, 147	17, 24, 33, 49, 74, 94, 133, 154
7	8, 24, 38, 50, 62, 88, 108, 148	16, 23, 34, 48, 73, 93, 132, 153
8	9, 25, 39, 51, 63, 89, 109, 149	15, 22, 35, 47, 72, 92, 131, 152
9	10, 26, 40, 52, 64, 90, 110, 150	14, 30, 46, 61, 71, 91, 130,151
10	11, 27, 41, 53, 65, 91, 111, 151	13, 29, 45, 62, 70, 90, 129, 150
11	12, 28, 42, 54, 66, 92, 112, 152	12, 28, 44, 69, 89, 115, 128, 149
12	13, 29, 43, 67, 93, 100, 113, 153	11, 27, 43, 68, 88, 116, 127, 148
13	14, 30, 44, 68, 94, 114, 139, 154	10, 26, 42, 67, 87, 117, 126, 147
14	15, 24, 45, 69, 74, 95, 115, 156	9, 25, 41, 66, 86, 118, 125, 146
15	16, 25, 46, 70, 75, 96, 116, 157	8, 24, 40, 59, 65, 85, 124, 145
16	17, 26, 47, 71, 76, 97, 117, 158	7, 30, 39, 58, 64, 84, 123, 144
17	18, 27, 48, 72, 77, 98, 118, 159	6, 29, 38, 57, 63,83, 122, 143
18	19, 28, 49, 73, 78, 99, 119, 160	5, 28, 37, 56, 62, 82, 121, 142

Срок обучения 5 лет **Контрольная работа 1 (1 курс)**

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 11, 24, 31, 41, 56, 61	
1	2, 12, 25, 32, 42, 57, 62	12, 22, 29, 44, 54, 64, 79
2	3, 13, 26, 33, 43, 58, 63	11, 21,28, 43, 53, 63, 78
3	4, 14, 27, 34, 44, 59, 64	10, 20, 27, 42, 52, 62, 77
4	5, 15, 28, 35, 45, 60, 65	9, 19, 26, 41, 51, 61,76
5	6, 16, 29, 36, 46, 61, 66	8, 18, 25, 40, 50, 60, 75
6	7, 17, 30, 37, 47, 62, 68	7, 17, 24, 39, 49, 59, 74
7	8, 18, 24, 38, 48, 63, 69	6, 16, 23, 38, 48, 58, 73
8	9, 19, 25, 39, 49, 64, 70	5, 15, 22, 37, 47, 57, 72
9	10, 20, 26, 40, 50, 65, 71	4, 14, 30, 36, 46, 56, 71
10	11, 21, 27, 41, 51, 66, 72	3, 13, 29, 35, 45, 55, 70
11	12, 22, 28, 42, 52, 67, 73	2, 12, 28, 34, 44, 54, 69
12	13, 23, 29, 43, 53, 68, 74	1, 11, 27, 33, 43, 53, 68
13	10, 14, 30, 44, 54, 69, 75	10, 16, 26, 32, 42, 52, 67
14	9, 15, 24, 45, 55, 70, 76	9, 15, 25, 31, 41, 51, 66
15	8, 16, 25, 46, 56, 71, 77	8, 14, 24, 30, 40, 50, 65
16	7, 17, 26, 47. 57, 72, 78	7, 13, 30, 39, 49, 59, 64
17	6, 18, 27, 48, 58, 73, 79	6, 12, 29, 38, 48, 58, 63
18	5, 19, 28, 49, 59, 74, 80	5, 11, 28, 37, 47, 57, 62

Контрольная работа 2 (2 курс)

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	81, 91, 101, 121, 131, 141, 151	
1	82, 92, 102, 122, 132, 142, 152	99, 110, 119, 138, 141, 152, 159
2	83, 93, 103, 123, 133, 143, 153	98, 109, 118, 137, 140, 151, 158
3	84, 94, 104, 124, 134, 144, 154	97, 108, 117, 136, 139, 150, 157
4	85, 95, 105, 125, 135, 145, 155	96, 107, 116, 135, 138, 149, 156
5	86, 96, 106, 126, 136, 146, 156	95, 106, 115, 134, 137, 148, 155
6	87, 97, 107, 127, 137, 147, 157	94, 105, 114, 133, 136, 147, 154
7	88, 98, 108, 128, 138, 148, 158	93, 104, 113, 132, 135, 146, 153
8	89, 99, 109, 129, 139, 149, 159	92, 103, 112, 131, 134, 145, 152
9	90, 100, 110, 130, 140, 150, 160	91, 102, 111, 130, 133, 144, 151
10	81, 92, 111, 123, 134, 145, 156	90, 101, 110, 129, 132, 143, 150
11	82, 93, 112, 124, 135, 146, 157	89, 100, 109, 128, 131, 142, 149,
12	83, 94, 113, 125, 136, 147, 158	88, 99, 108, 127, 130, 141, 148
13	84, 95, 114, 126, 137, 148, 159	87, 98, 107, 126, 129, 140, 147
14	85, 96, 115, 127, 138, 149, 160	86, 97, 106, 125, 128, 139, 146
15	86, 97, 116, 128, 139, 150, 151	85, 96,105, 124, 127, 138, 145
16	87, 98, 117, 129, 140, 151, 157	84, 95, 104, 123, 126, 137, 144
17	88, 99, 118, 130, 141, 152, 158	83, 94, 103, 122, 125, 136, 143
18	89, 100, 119, 131, 142, 153, 159	82, 93, 102, 121, 124, 135,142

3.3. Таблицы вариантов заданий для контрольных работ студентам направления подготовки 280100, 110800

Срок обучения 3 года

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 20, 25, 33, 58, 85, 106, 147	
1	2, 21, 26, 34, 59, 86, 107, 148	2, 22, 28, 38, 88, 83, 122, 151
2	3, 22, 27, 35, 60, 83, 108, 149	3, 21,27, 55, 87, 84, 123, 150
3	4, 23, 28, 36, 61, 84, 109, 150	4, 20, 26, 54, 80, 85, 124, 149
4	5, 29, 37, 62, 74, 85, 110, 151	19, 25, 31, 53, 79, 100, 125, 148
5	6, 30, 38, 63, 75, 86, 111, 152	18, 24, 32, 52, 78, 99, 139, 147
6	7, 24, 39, 64, 76, 87, 112, 153	17, 23, 33, 51, 77, 98, 138, 160
7	8, 25, 40, 65, 77, 88, 113, 154	16, 22, 34, 50, 76, 97, 137, 159
8	9, 26, 41, 66, 78, 89, 114, 155	15, 23, 35, 49, 75, 96, 136, 158
9	10, 27, 42, 67, 79, 90, 115, 156	14, 24, 36, 48, 74, 95, 135,157
10	11, 28, 43, 68, 91, 116, 125, 157	13, 30, 47, 61, 73, 94, 134, 156
11	12, 29, 44, 69, 92, 117, 126, 158	12, 29, 46, 62, 72, 93, 133, 155
12	13, 30, 45, 70, 93, 118, 127, 159	11, 28, 45, 63, 71, 92, 132, 154
13	14, 24, 46, 71, 94, 119, 129,160	10, 27, 44, 64, 70, 91, 131, 153
14	15, 25, 47, 72, 95, 120, 130, 146	9, 26, 43, 69, 81, 90, 130, 152
15	16, 26, 48, 73, 96, 121, 131, 145	8, 25, 42, 68, 89, 115, 129, 151
16	17, 27, 49, 74. 97, 122, 132, 144	7, 24, 41, 67, 88, 116, 128, 150
17	18, 28, 50, 75, 98, 123, 133, 143	6, 30, 40, 66,87, 117, 127, 149
18	19, 29, 51, 76, 99, 124, 134, 142	5, 29, 39, 65, 86, 118, 126, 148

Срок обучения 5 лет **Контрольная работа 1 (1 курс)**

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 12, 26, 32, 43, 50, 62	
1	2, 13, 27, 33, 44, 51, 63	12, 23, 30, 45, 56, 63, 80
2	3, 14, 28, 34, 45, 52, 64	11, 22,29, 44, 55, 62, 79
3	4, 15, 29, 35, 46, 53, 65	10, 21, 28, 43, 54, 61, 78
4	5, 16, 30, 36, 47, 54, 66	9, 20, 27, 42, 53, 60,77
5	6, 17, 24, 37, 48, 55, 67	8, 19, 26, 41, 52, 59, 76
6	7, 18, 25, 38, 49, 56, 68	7, 18, 25, 40, 51, 58, 75
7	8, 19, 26, 39, 50, 57, 69	6, 17, 24, 39, 50, 57, 74
8	9, 20, 27, 40, 51, 58, 70	5, 16, 30, 38, 49, 56, 73
9	10, 21, 28, 41, 52, 59, 71	4, 15, 29, 37, 48, 55, 72
10	11, 22, 29, 42, 53, 60, 72	3, 14, 28, 36, 47, 54, 71
11	12, 23, 30, 43, 54, 61, 73	2, 13, 27, 35, 46, 53, 70
12	13, 24, 24, 44, 55, 62, 74	1, 12, 26, 34, 45, 52, 69
13	10, 15, 25, 45, 56, 63, 75	10, 15, 25, 33, 44, 51, 68
14	9, 16, 26, 46, 57, 64, 76	9, 14, 24, 32, 43, 50, 67
15	8, 17, 27, 47, 58, 65, 77	8, 13, 23, 31, 42, 49, 66
16	7, 18, 28, 48, 59, 66, 78	7, 12, 29, 38, 48, 58, 65

17	6, 19, 29, 49, 60, 67, 79	6, 11, 28, 37, 47, 57, 64
18	5, 20, 30, 50, 61, 68, 80	5, 10, 27, 36, 46, 56, 63

Контрольная работа 2 (2 курс)

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	81, 92, 103, 124, 135, 146, 150	
1	82, 93, 104, 125, 136, 147, 151	99, 109, 117, 135, 142, 153, 160
2	83, 94, 105, 126, 137, 148, 152	98, 108, 116, 134, 141, 152, 159
3	84, 95, 106, 127, 138, 149, 153	97, 107, 115, 133, 140, 151, 158
4	85, 96, 107, 128, 139, 150, 154	96, 106, 114, 132, 139, 150, 157
5	86, 97, 108, 129, 140, 151, 155	95, 105, 113, 131, 138, 149, 156
6	87, 98, 109, 130, 141, 152, 156	94, 104, 112, 130, 137, 148, 155
7	88, 99, 110, 131, 142, 153, 157	93, 103, 111, 129, 136, 147, 154
8	89, 100, 111, 132, 143, 154, 158	92, 102, 110, 128, 135, 146, 153
9	90, 101, 112, 133, 144, 155, 159	91, 101, 109, 127, 134, 145, 152
10	81, 93, 113, 134, 145, 150, 160	90, 100, 108, 126, 133, 144, 151
11	82, 94, 114, 135, 146, 151, 156	89, 99, 107, 125, 132, 143, 150
12	83, 95, 115, 124, 147, 152, 157	88, 98, 106, 124, 131, 142, 149
13	84, 96, 116, 125, 148, 153, 158	87, 97, 105, 123, 130, 141, 148
14	85, 97, 117, 126, 136, 145, 159	86, 96, 104, 122, 129, 140, 147
15	86, 98, 118, 127, 137, 146, 160	85, 95,103, 121, 128, 139, 146
16	87, 99, 119, 128, 138, 147, 155	84, 94, 102, 120, 127, 138, 145
17	88, 100, 120, 129, 139, 148, 154	83, 93, 101, 119, 126, 137, 144
18	89, 101, 121, 130, 140, 149, 153	82, 92, 100, 118, 125, 136,143

3.4. Задания для контрольных работ

1. Закон движения материальной точки имеет вид: $\vec{r} = 3t\vec{i} + (3 + 2t^2)\vec{j}$. Найти скорость и ускорение тела в конце 5-й секунды движения.

2. Тело брошено под углом к горизонту так, что его радиус вектор изменяется по закону: $\vec{r} = 3t\vec{i} + (3t - 2t^2)\vec{j}$. Определить дальность полета тела.

3. Уравнение движения материальной точки вдоль оси X имеет вид $x=A+Bt+Ct^3$, где A = 2 м; B = 10 м/с; C = −0,5 м/с^3. Найти координату x, скорость υ_x и ускорение a_x точки в момент времени t = 2 с.

4. Барабан сепаратора радиусом R = 0,2 м вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где A = 3 рад; B = −1 рад/с; C = 0,1 рад/с^3. Определить тангенциальное a_τ, нормальное a_n и полное ускорение a точек на поверхности барабана в момент времени t = 10 с.

5. Города А и В расположены на одном берегу реки, причем город В расположен ниже по течению. Одновременно из города А в город В отправляется плот, а из города В в город А — лодка, которая встречается с плотом через τ = 5 ч. Доплыв до города А, лодка поворачивает обратно и приплывает в город В одновременно с плотом. Сколько времени t плот и лодка находились в движении?

6. Два тела падают с высоты H = 20 м без начальной скорости, но одно из них встречает на своем пути закрепленную площадку, наклоненную под углом $\alpha = 45°$ к горизонту. В результате удара о площадку направление скорости становится горизонтальным. Место удара находится на высоте h = 10 м. Определите времена падения тел t_1 и t_2.

7. Тело брошено под углом $\alpha = 30°$ к горизонту со скоростью $v_0 = 30$ м/с. Каковы будут значения нормального и тангенциального ускорений тела через $\tau = 1$ с после начала движения? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

8. Шарик бросают под углом $\alpha = 30°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 14$ м/с. На расстоянии L = 11 м от места бросания шарик упруго ударяется о вертикальную стену. На каком расстоянии s от стены шарик упадет на землю?

9. С высокого берега брошен камень со скоростью $v_0 = 10$ м/с, направленной вниз под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Найдите высоту точки H, с которой был брошен камень, если дальность полета камня s = 20 м.

10. Определить работу по растяжению двух последовательно соединенных пружин жесткостями $k_1 = 400$ Н/м и $k_2 = 300$ Н/м, если первая пружина при этом растянулась на $x_1 = 3$ см.

11. Две пружины жесткостью $k_1 = 0{,}5$ кН/м и $k_2 = 1$ кН/м скреплены параллельно. Определить потенциальную энергию этой системы при абсолютной деформации $x = 4$ см.

12. Налетев на пружинный буфер, вагон массой $m = 16$ т, двигавшийся со скоростью 0,6 м/с, остановился, сжав пружину на $\Delta x = 8$ см. Найти общую жесткость пружин буфера.

13. Груз массой $m = 0{,}5$ кг свободно падает с высоты $h = 2$ м на плиту $M = 1$кг, укрепленную на пружине. Определить величину наибольшего сжатия пружины, если известно, что при действии на неё силы $F = 9{,}8$ Н она сжимается на $x = 1$ см. Удар считать неупругим.

14. Нить с привязанными к ее концам грузами массами $m_1 = 50$ г и $m_2 = 60$ г перекинута через блок диаметром $d = 20$ см. Определить момент инерции J блока, если под действием силы тяжести грузов он получил угловое ускорение $\varepsilon = 1{,}5$ рад/с^2. Трением и проскальзыванием нити по блоку пренебречь.

15. Определить тормозящий момент M, который необходимо приложить к блоку, вращающемуся с частотой $n = 12$ с$^{-1}$, чтобы он остановился в течение времени $t = 8$ с. Диаметр блока $d = 30$ см. Массу блока $m = 6$ кг считать равномерно распределённой по ободу.

16. По касательной к шкиву маховика в виде диска диаметром $d = 75$ см и массой $m = 40$кг приложена сила $F = 1$ кН. Определить угловое ускорение ε и частоту вращения n маховика через время $t = 10$ с после начала действия силы, если радиус шкива R равен 12 см. Силой трения пренебречь.

17. На краю платформы в виде диска, вращающегося по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $n_1 = 8$ мин$^{-1}$, стоит человек массой $m_1 = 70$ кг. Когда человек перешёл в центр платформы, она стала вращаться с частотой

n_2 = 10 мин$^{-1}$. Определить массу m_2 платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

18. Человек сидит на скамье Жуковского и держи на вытянутых руках гири массой m = 5 кг. Расстояние от каждой гири до оси скамьи r_1 = 70 см. Скамья вращается с частотой n_1 = 1 с$^{-1}$. Как изменится частота вращения скамьи и какую работу А совершит человек, если он сожмет в локтях руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до r_2 = 20 см? Момент инерции скамьи с человеком вместе относительно оси скамьи J = 2,5 кг·м^2.

19. Период обращения Луны вокруг Земли T = 27 суток, средний радиус Земли $R_з$ = 6400 км, средняя плотность Земли ρ = 6 г/см^3. Определить расстояние r от Земли до Луны.

20. Спутник массой m = 3 т вращается вокруг Земли по круговой орбите на высоте h = 520 км. Определить полную механическую энергию W спутника относительно Земли.

21. С наклонной плоскости скатываются сплошной и полый цилиндры с одинаковыми массами и радиусами. Сравните время их скатывания с наклонной плоскости.

22. Трубка Пито установлена на оси газопровода, площадь внутреннего сечения которого S. Пренебрегая вязкостью, найти объём газа Q, проходящего через сечение трубы в единицу времени, если разность уровней в жидкостном манометре равна Δh, а плотности жидкости в манометре и газа в газопроводе – соответственно $\rho_{ж}$ и ρ.

23. Через кровеносный сосуд длиной l = 55 мм и диаметром d = 3 мм протекает в минуту V = 175 мл крови. Определить разность давлений на концах сосуда. Коэффициент вязкости крови η = 4,5 мПа·с.

24. Определить возвращающую силу F в момент времени t = 0,2 с и полную энергию W точки массой m = 20 г, совершающей гармонические колебания согласно уравнению $x = A\sin\omega t$, где A = 15см; $\omega = 4\pi$ с$^{-1}$.

25. Маятник Фуко имеет длину l = 50 м и представляет собой железный шар диаметром d = 20 см. Амплитуда колебания маятника A = 2 м. Определить потенциальную $W_п$, кинетическую $W_к$ и полную W энергию маятника при фазе $\varphi = 5\pi/8$ и соответствующий этому условию момент времени t, считая начало отсчёта времени в середине траекторий качаний.

26. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых $x = A\sin\omega t$, где A = 5 см; ω = 2 с$^{-1}$. В момент времени, когда точка обладала потенциальной энергией $W_п$ = 0,1 мДж, на неё действовала возвращающаяся сила F = 5 мН. Найти этот момент времени t и соответствующую ему фазу φ колебаний.

27. Определить частоту ν гармонических колебаний диска радиусом R = 20 см около горизонтальной оси, проходящей через середину радиуса диска перпендикулярно его плоскости.

28. Определить скорость υ распространения волн в упругой среде, если разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек, отстоящих друг от друга на $\Delta x = 15$ см, равна $\pi/2$. Частота колебаний $\nu = 25$ Гц.

29. π-мезон – нестабильная частица. Собственное время жизни его $t_0 = 2{,}6 \cdot 10^{-8}$ с. Какое расстояние пролетит π-мезон до распада, если он движется со скоростью $\upsilon = 0{,}99c$ (c – скорость света в вакууме).

30. Прямоугольный брусок размером 3,3×3,3×6,9 см^3 движется параллельно большому ребру. Определить скорость движения бруска, при которой наблюдателю на земле он будет казаться кубом?

31. Каково давление, оказываемое идеальным газом на дно и стенки сосуда, объем которого V = 3 м3, если в нем содержится N = 15·1026 молекул и каждая обладает средней кинетической энергией поступательного движения
E = 6·10–22 Дж?

32. Дано соединение $Ca(NO_3)_2$.

1) Какова в граммах масса одной молекулы?

2) Какова в килограммах масса 120 молей?

3) Сколько молекул содержится в 0,7 кг соединения?

33. В сосуде вместимостью V = 0,04 м^3 находится ν =1,8 молей газа. Плотность газа ρ = 0,9 кг/м^3. Определить, какой это газ?

34. Вычислить давление, оказываемое кислородом с концентрацией
n = 3·1021 м$^{-3}$, если средняя квадратичная скорость движения равна $v_{кв}$ = 500 м/с.

35. Найти температуру T, при которой средняя квадратичная скорость молекул азота (N_2) больше средней арифметической скорости на Δv = 40,0 м/с.

36. При какой температуре T воздуха средние арифметические скорости молекул азота (N_2) и кислорода (O_2) отличаются на Δv = 30,0 м/с?

37. В запаянном стеклянном баллоне заключен 1 моль одноатомного идеального газа при температуре T = 293 K. Какое количество теплоты Q нужно сообщить газу, чтобы средняя арифметическая скорость его молекул увеличилась на 1%?

38. Вычислить наиболее вероятную, среднюю арифметическую и среднеквадратичную скорости молекул азота (N_2) при 20 °С.

39. Считая атмосферу изотермической, а ускорение свободного падения не зависящим от высоты, вычислить давление

а) на высоте 6 км,

б) на высоте 12 км,

в) в шахте на глубине 3 км.

Расчет произвести для T = 300 K. Давление на уровне моря принять равным p_0.

40. Вблизи поверхности Земли отношение объемных концентраций кислорода (O_2) и азота (N_2) в воздухе равно η_0 = 20,95/78,08 = 0,268. Полагая температуру атмосферы не зависящей от высоты и равной 0 °С, определить это отношение η на высоте h = 10 км.

41. Полагая температуру воздуха и ускорение свободного падения не зависящими от высоты, определить, на какой высоте h над уровнем моря плотность воздуха меньше своего значения на уровне моря в 2 раз? Температуру воздуха положить равной 0 °С.

42. На какой высоте давление воздуха составляет n = 70% от давления на уровне моря? Считать, что температура везде одинакова и равна 25 °С.

43. Найти молярную массу смеси, состоящей из m_1 = 25 г кислорода и m_2 = 75 г азота.

44.Озеро имеет глубину h = 20 м. На дне температура t_1 = 7 °С, на поверхности t_2 = 27 °С. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Пузырек воздуха, имеющий начальный объем V = 1 $мм^3$, медленно поднимается со дна. Чему равен его объем на поверхности воды?

45. Определить плотность воздуха при нормальных условиях (p = 101 кПа, t = 0 °С), если молярная масса воздуха μ = 29 г/моль.

46. Какое количество ртути содержится в зараженном ртутью помещении объемом V = 50 $м^3$ при комнатной температуре t = 20 °С, если давление насыщенного пара ртути при этой температуре p = 0,0011 мм рт.ст.?

47. Некоторая масса воздуха при t_1 = 0 °С и давлении p_1 = 1,33·105 Па занимает объем V_1 = 2 л. При какой температуре давление будет равно $p_2 = 2\cdot10^5$ Па, если при той же массе воздуха уменьшить объем до V_2 = 1 л? Воздух считать идеальным газом.

48. При изохорном нагревании на 6 К давление некоторой массы газа возросло на 2%. Найти начальную температуру газа.

49. При температуре t_1 = 27 °С объем воздуха в воздушном шаре V_1 = 10 $м^3$. На сколько изменится объем шара при понижении температуры до t_2 = –3 °С. Давление окружающего воздуха при этом не меняется.

50. Газ в закрытом сосуде нагрели от t_1 = 10 °С до t_2 = 50 °С. Во сколько раз возросло давление газа?

51. Газ изотермически сжали от первоначального объема V_1 = 0,15 $м^3$ до V_2 = 0,1 $м^3$. Давление при этом повысилось на Δp = 20 Па. Каково было первоначальное давление газа?

52. В одном баллоне емкостью V_1 = 2 л давление газа p_1 = 33 кПа, в другом, емкостью V_2 = 6 л, давление того же газа p_2 = 66 кПа. Баллоны соединяют трубкой, имеющей кран. Какое давление установится в баллонах при открывании крана? Процесс считать изотермическим.

53. Сравнить внутреннюю энергию одного моля гелия и одного моля кислорода, если температура кислорода в два раза больше температуры гелия.

54. В результате адиабатического процесса один моль двухатомного идеального газа перешел из состояния 1 с температурой T_1 в состояние 2 с температурой T_2. Определить изменение энтропии газа при этом процессе.

55. Двигатель работает как машина Карно и за цикл получает от нагревателя Q_1 = 700 кал. Температура нагревателя T_1 = 600 К, температура холодильника T2 = 300 К. Найти совершаемую за цикл работу и количество теплоты, отдаваемое холодильнику.

56. Электрическое поле создано точечным зарядом $q_1 = 5*10^{-8}$ Кл. Точки B и C расположены от заряда на расстояниях $r_B = 0,1$ м и $r_C = 0,2$ м соответственно. Вычислить работу A внешних сил по перемещению точечного заряда $q_2 = -2*10^{-9}$ Кл из точки B в точку C.

57. Около заряженной бесконечно протяженной плоскости находится точечный заряд $q = 5*10^{-10}$ Кл. Под действием поля заряд перемещается по силовой линии на расстояние $\Delta r = 0,02$ м; при этом совершается работа $A = 5*10^{-6}$ Дж. Найти поверхностную плотность заряда σ на плоскости.

58. В средней части плоского конденсатора, расстояние между пластинами которого $d = 0,1$ м, расположен вдоль поля диэлектрический стержень длиной $l = 0,01$ м. На концах стержня имеются два точечных заряда одинаковой величины $q = 1*10^{-11}$ Кл, но противоположного знака. Определить разность потенциалов U между пластинами конденсатора, если для того чтобы повернуть стержень на 90° вокруг оси, проходящей через его центр (т.е. расположить поперек поля), необходимо против сил поля совершить работу $A = 3*10^{-10}$ Дж.

59. Напряженность однородного электрического поля в некоторой точке $E = 600$ В/м. Вычислить разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между этой точкой и другой, лежащей на прямой, составляющей угол $\alpha = 60°$ с направлением вектора напряженности. Расстояние между точками $r_{12} = 2*10^{-3}$ м.

60. Бесконечная тонкая прямая нить заряжена с линейной плотностью $\tau = 1$ нКл/м. Определить напряженность поля E в точке, удаленной на расстояние $r = 0,1$ м от нити. Указать направление градиента потенциала $d\varphi/dr$.

61. Две пластинки площадью $S = 2*10^{-2}$ м^2 каждая находятся в керосине на расстоянии $d = 4*10^{-3}$ м друг от друга. С какой силой F они взаимодействуют, если они заряжены до разности потенциалов $U = 150$ В? Диэлектрическая проницаемость керосина $\varepsilon = 2$.

62 Тонкий стержень длиной $l = 0,1$ м заряжен равномерно зарядом $q = 1$ нКл. Определить потенциал φ электрического поля в точке, лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 0,2$ м от ближайшего его конца.

63. Заряд Q равномерно распределен по кольцу радиусом R. Найти потенциал φ относительно бесконечности и напряженность E на оси кольца как функции расстояния h от центра кольца. Построить графики зависимостей E(h) и φ(h).

64. Сфера радиусом $R_1 = 0,03$ м, равномерно заряженная зарядом $Q_1 = 7*10^{-8}$ Кл, окружена тонкой концентрической сферой радиусом $R_2 = 0,09$ м. Какой заряд Q_2 надо равномерно распределить по поверхности внешней сферы, чтобы потенциал φ_1внутренней сферы относительно бесконечности обратился в нуль?

65. Металлический шар радиусом $R_1 = 0,1$ м, имеющий заряд $Q_1 = 8*10^{-8}$ Кл, окружен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Диэлектрик простирается до сферы радиусом $R_2 = 0,2$ м, концентрической с шаром. Начертить графики зависимостей напряженности E(r) и потенциала φ(r) поля, где r — расстояние от центра шара.

66. Плоский воздушный конденсатор емкостью С = 1 нФ заряжен до разности потенциалов U_1 = 300 В. После отключения от источника напряжения расстояние между пластинами конденсатора было увеличено до $d_2 = 5d_1$. Определить: 1) разность потенциалов U_2 на обкладках конденсатора после их раздвижения, 2) работу А внешних сил по раздвижению пластин.

67. Между обкладками плоского конденсатора емкостью С = $1{*}10^{-10}$ Ф вставлена фарфоровая пластина. Диэлектрическая проницаемость фарфора ε = 5. Конденсатор зарядили до разности потенциалов U = 600 В и отключили от источника напряжения. Какую работу А надо совершить, чтобы вынуть диэлектрик из конденсатора?

68. Конденсатор емкостью C_1 = 0,6 мкФ был заряжен до напряжения U_1 = 300 В и соединен со вторым конденсатором емкостью C_2 = 0,4 мкФ, заряженным до напряжения U_2 = 150 В. Найти величину заряда Δq, перетекающего с пластин первого конденсатора на второй.

69. Определить емкость С конденсатора, состоящего из двух шариков диаметром d = 0,01 м, центры которых находятся в воздухе на расстоянии l = 0,20 м друг от друга, приняв, что заряды на их поверхностях распределены равномерно.

70. Два одинаковых воздушных конденсатора емкостью С = 1 нФ заряжены до напряжения U = 900 В. Один из конденсаторов погружается в заряженном состоянии в керосин, после чего конденсаторы соединяются параллельно. Определить работу А происходящего при этом разряда. Диэлектрическая проницаемость керосина ε = 2.

71.Определить силу токов на всех участках электрической цепи (см. рис. 1), если ε_1 = 10 В, ε_2 = 12 В, $R_1=R_2$= 2 Ом, R_3 = 8 Ом, R_4 = 4 Ом. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

72. Два источника тока ε_1= 10 В с внутренним сопротивлением r_1= 4 Ом и ε_2 = 6 В с внутренним сопротивлением r_2 = 2 Ом соединены, как показано на рис. 2. Определить силы тока в проводнике и источниках тока. Сопротивление проводника R = 6 Ом.

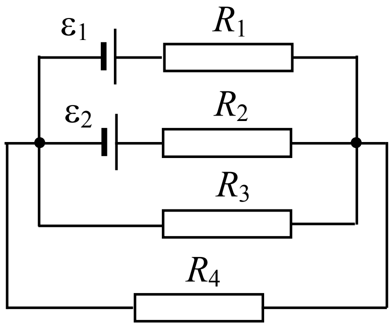


Рис. 1

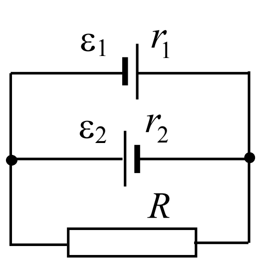


Рис. 2

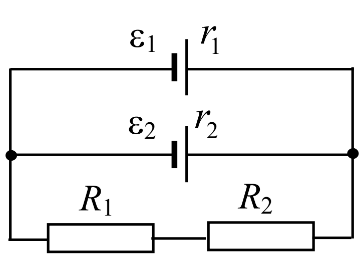


Рис. 3

73. Две батареи (ε_1 = 10 В, r_1 = 2 Ом, ε_2 = 24В, r_2 = 6 Ом) и проводники сопротивлением R_1 = 12 Ом и R_2 = 8 Ом соединены, как показано на рис. 3. Определить силу тока в батареях и проводниках.

74 Определить силу тока I_3 в проводнике R_3 (рис. 4) и напряжение U_3 на концах этого проводника, если $\varepsilon_1 = 8$ В, $\varepsilon_2 = 10$ В, $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Внутренним сопротивлением источников тока пренебречь.

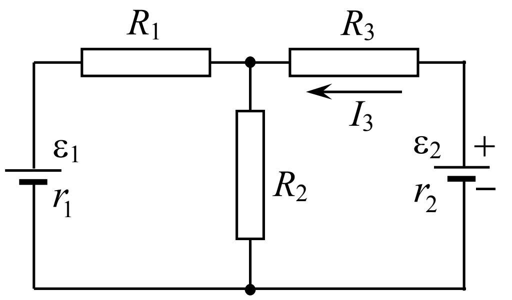


Рис. 4

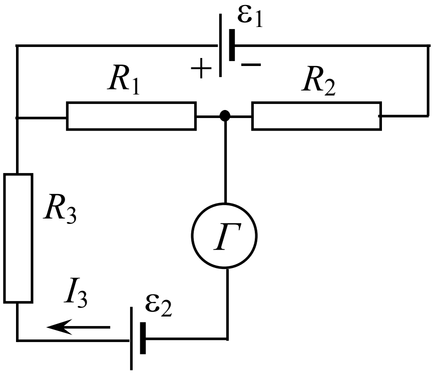


Рис. 5

75. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра (рис. 5). В этой цепи $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 25$ Ом, $R_3 = 5$ Ом, ЭДС элемента $\varepsilon_1 = 4$ В. Гальванометр регистрирует ток $I_3 = 40$ мА, идущий в направлении, указанном стрелкой. Определить ЭДС ε_2 второго элемента. Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

76. Воздух между электродами ионизационной камеры ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока I, текущего через камеру, $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ А. Площадь каждого электрода $S = 300$ см^2, расстояние между ними $d = 2$ см, разность потенциалов $U = 100$ В. Определить концентрацию пар ионов n между пластинами, если ток далёк от насыщения. Подвижность положительных и отрицательных ионов равна соответственно $u_+ = 1{,}4$ и $u_- = 1{,}9$ см^2/(В·с). Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

77. Газ, заключённый в ионизационной камере между плоскими пластинами, облучается рентгеновскими лучами. Определить плотность тока насыщения $j_{нас}$, если ионизатор образует в объёме $V = 3$ см^3 газа $n = 5 \cdot 10^6$ пар ионов в секунду. Принять, что каждый ион несёт на себе элементарный заряд. Расстояние между пластинами камеры $d = 2$ см.

78. Объём газ, заключенного между электродами ионизационной камеры, $V = 6{,}5$ л. Газ ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока насыщения $I_{нас} = 4 \cdot 10^{-9}$ А. Сколько пар ионов образуется за 1 с в 1см^3 газа? Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

79. Воздух ионизируется рентгеновскими лучами. Определить удельную проводимость σ воздуха, если в объёме $V = 1$ см^3 газа находится в условиях равновесия $n = 10^8$ пар ионов.

80. К электродам разрядной трубки, содержащей водород, приложена разность потенциалов $U = 10$ В. Расстояние между электродами $d = 25$ см. Иониза-

тор создает в объёме V = 1 см^3 водорода n = 10^7 пар ионов в секунду. Найти плотность тока j в трубке.

81. По прямому проводнику длиной l = 1 м течёт ток I = 100 А. Определить индукцию B магнитного поля в точке, равноудалённой от концов проводника и находящейся на расстоянии a = 0,5 м от него.

82. Из проволоки длиной l = 2 м сделана квадратная рамка. По рамке пропускают ток I = 5 А. Определить индукцию B магнитного поля в центре рамки.

83. Из проводника длиной l = 3,14 м сделано полукольцо. Определить индукцию B магнитного поля в точке, лежащей в центре диаметра полукольца, если разность потенциалов на концах проводника U = 100 В, сопротивление проводника r = 5 Ом.

84. Индукция B магнитного поля в точке, лежащей на оси проводящего кольца на расстоянии b = 0,6 м от плоскости кольца, равна 5 мкТл. Определить силу I тока в кольце. Диаметр кольца D = 0,8 м.

85. Определить магнитную индукцию B_{A} на оси тонкого проводящего кольца радиусом R = 10 см, в точке A, расположенной на расстоянии b = 30 см от центра кольца, если в центре кольца магнитная индукция B = 100 мкТл.

86. Два длинных прямых параллельных проводника с одинаково направленными токами I_1 = 2 А и I_2 = 4 А расположены на расстоянии d = 10 см друг от друга. Определить магнитную индукцию B в точке, лежащей в середине отрезка прямой, соединяющего проводники.

87. По двум длинным прямым параллельным проводникам текут в противоположных направлениях токи I_1 = 1 А и I_2 = 5 А. Определить магнитную индукцию B в точке, лежащей на продолжении прямой, соединяющей проводники, на расстоянии b = 5 см от второго проводника. Расстояние между проводниками d = 15 см. Прямая, соединяющая проводники, перпендикулярна им.

88. Протон, пройдя в электрическом поле ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi$ = 100 кВ, влетел в однородное магнитное поле с индукцией B = 5 Тл перпендикулярно линиям индукции и начал двигаться по окружности. Определить частоту ν вращения протона.

89. Электрон влетел в однородное магнитное поле под углом α = 60° к направлению линий магнитной индукции и движется по спирали радиуса R = 2 см. Индукция магнитного поля B = 10 мТл. Определить шаг спирали, по которой движется электрон.

90. Определите плотность электронов n_e в проводнике при эффекте Холла, если холловская разность потенциалов $\Delta\varphi_H$ = 50 мкВ. Индукция магнитного поля B = 5 Тл. Ширина проводника b = 2 см. Сила тока в проводнике I = 3 А.

91. Кольцо радиусом r = 20 см находится в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,4 Тл. Плоскость кольца составляет с линиями индукции угол α = 60°. Вычислить магнитный поток Ф, пронизывающий кольцо.

92. Прямой провод длиной l = 0,3 м, по которому течёт ток силой

I = 20 А, помещен в однородное магнитное поле под углом α = 30° к линиям индукции. Магнитная индукция B = 1,5 Тл. Какую работу A совершат силы, действующие на провод со стороны поля, перемещая его на расстояние s = 20 см перпендикулярно линиям поля?

93. Квадратная проволочная рамка со стороной a = 10 см помещена в однородное магнитное поле с индукцией B = 1 Тл. Сила тока в рамке I= 50 А. Определить потенциальную (механическую) энергию рамки в магнитном поле, если на рамку действует механический момент M = 0,25 Н м.

94. Тонкое проводящее кольцо радиусом R = 20 см подвешено свободно в однородном магнитном поле с напряженностью H = 10^5 А/м. Сила тока в кольце I = 2 А. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть кольцо на угол φ = 60° вокруг оси, лежащей в плоскости кольца и проходящей через его центр?

95. Проволочная рамка, содержащая N= 40 витков, вращается в однородном магнитном поле относительно оси, лежащей в плоскости рамки перпендикулярно линиям индукции. Индукция магнитного поля B= 0,2 Тл, площадь контура рамки S = 100 см^2. Амплитудное значение ЭДС индукции, возникающей в рамке, ε = 5 В. Определить частоту вращения n рамки.

96. Плоский проводящий контур с площадью S= 50 см^2 помещён в однородное магнитное поле, индукция которого B = 4 Тл. Сопротивление контура R = 1 Ом. Плоскость контура составляет угол α = 30° с линиями магнитной индукции. Определить величину заряда q, который пройдет по контуру при выключении магнитного поля.

97. По соленоиду, содержащему N=600 витков, течет ток силой I= 5 А. Длина соленоида l= 40 см, площадь его сечения S = 10 см^2, сердечник немагнитный. Определить среднее значение ЭДС <ε> самоиндукции, которая возникает в соленоиде, если сила тока уменьшится практически до нуля за время Δt = 0,4 мс после отключения соленоида от источника тока.

98. Источник тока замкнули на катушку с индуктивностью L= 0,4 Гн, Определить сопротивление R катушки, если сила тока I в катушке достигает 20% её максимального значения за время Δt= 0,1 с после замыкания цепи.

99. На картонный каркас намотан в один слой провод диаметром d= 0,5 мм так, что витки плотно прилегают друг другу. Определить объёмную плотность энергии магнитного поля такого соленоида при токе I = 2 А.

100. Последовательно соединённые конденсатор ёмкостью C = 5 мкФ, катушка с индуктивностью L = 2 мГн и омическим сопротивлением R = 20 Ом включены в цепь переменного тока. Определить амплитудное значение силы тока, если максимум напряжения на этом участке U_m = 100 В, а частота его изменения ν = 50 Гц. Определить также сдвиг фаз между током и напряжением.

101. В опыте с бипризмой Френеля расстояние между мнимыми источниками света d = 0,6 мм, длина волны монохроматического света, падающего на бипризму, λ = 560 нм. Расстояние между интерференционными максимумами на экране Δx = 1,5 мм. Определить расстояние L от мнимых источников до эк-

рана.

102. На стеклянную пластину положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза с радиусом кривизны R = 6 м. Расстояние между пятым и десятым светлыми кольцами Ньютона в отраженном свет $r_{10} - r_5$ = 1,8 мм. Определить длину волны λ монохроматического света, падающего нормально на установку.

103. На мыльную плёнку толщиной d = 0,6 мкм падает монохроматический свет с длиной волны λ = 0,56 мкм. Показатель преломления плёнки n = 1,33. При каком наименьшем угле падения лучей отражённый свет максимально усилен?

104. На пластину со щелью падает нормально монохроматический свет с длиной волны λ = 400 нм. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном на расстоянии L= 1,5 м от пластины. Найти ширину щели, если второй дифракционный максимум смещен от центрального на расстояние l = 3 см.

105. На дифракционную решетку, содержащую N= 250 штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет, а затем проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Расстояние от линзы до экрана L= 1,2 м. Границы видимого спектра: $\lambda_{кр}$ = 0,780 мкм и $\lambda_{ф}$ = 0,400 мкм. Определить ширину спектра первого порядка на экране.

106. Угол преломления луча в жидкости i_2 = 41°. Определить показатель преломления n жидкости, если отраженный луч максимально поляризован.

107. Предельный угол полного внутреннего отражения в бензоле A = 42°. Определить угол максимальной поляризации $i_Б$ света при отражении от этого вещества.

108. Пучок естественного света, последовательно проходя через два николя, ослабляется в 6 раз. Принимая, что коэффициент поглощения каждого николя k = 0,1, найти угол φ между плоскостями пропускания николей.

109. Два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол φ = 45°, ослабляет проходящий через них пучок естественного света в n = 10 раз. Определить коэффициент k поглощения света в николях (потерей света при отражении пренебречь).

110. При прохождении поляризованного света через слой 5%-го сахарного раствора толщиной l_1 = 10 см плоскость поляризации повернулась на угол φ_1=3°. Найти концентрацию C_2 другого раствора сахара толщиной l_2=15 см, если плоскость поляризации повернулась при этом на угол φ_2 =5,4°.

111. Плоская монохроматическая световая волна распространяется в некоторой среде. Коэффициент поглощения среды для данной волны α = 1,2 м$^{-1}$. Определить, на сколько процентов уменьшилась интенсивность света при прохождении данной волной пути x = 0,5 м в этом веществе.

112. Источник монохроматического света с длиной волны λ_0 = 0,6 мкм движется по направлению к наблюдателю со скоростью 0,1 c (c – скорость света в вакууме). Определить доплеровское смещение $\Delta\lambda$ длины волны, регистрируемое приёмником наблюдателя.

113. Вычислить энергию W, излучаемую с поверхности S = 1 см^2 абсолютно чёрного тела за время t = 10 мин, если известно, что максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны λ_{max} = 460 нм.

114. Температура поверхности Земли t = 25°C, Определить среднюю энергетическую светимость Земли $R_т$, если степень черноты поверхности Земли $\alpha_т$ = 0,25.

115. При изменении температуры раскаленной вольфрамовой нити радиационный пирометр показывает температуру $T_р$= 2000 К. Считая, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна $\alpha_т$ = 0,35, определить истинную температуру T вольфрамовой нити.

116. При нагревании абсолютно чёрного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости переместился с λ_{m1} = 650 нм на λ_{m2} = 560 нм. Во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела?

117. Определить, пользуясь формулой Планка, максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости $u_{\lambda,T}$, абсолютно чёрного тела при температуре T = 1500 К.

118. Определить красную границу λ_0 фотоэффекта для цинка, если работа выхода электронов из цинка равна $A_{вых}$ = 4 эВ.

119. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны λ = 250 нм. Определить максимальную скорость υ_{max} фотоэлектронов, вылетающих с поверхности металла, если красная граница фотоэффекта λ_0 = 310 нм.

120. На катод из лития падает монохроматический свет с длиной волны λ = 420 нм. Определить работу выхода электронов из лития, если задерживающая разность потенциалов U_{min}= 625 мВ.

121. На серебряную пластинку падает монохроматический свет. Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов U_{min} = 0,75 В. Определить длину волны λ падающего излучения, если работа выхода электронов из серебра $A_{вых}$ = 4,7 эВ.

122. Под действием ультрафиолетового излучения (λ = 200 нм) электроны вылетают с поверхности металла с максимальной скоростью υ_{max} = 1,2 10^6 м/с. Определить максимальную длину волны λ_0, при которой возможен фотоэффект.

123. На зачерненную поверхность падает нормально монохроматический свет с длиной волны λ = 650 нм. Определить давление света на поверхность, если концентрация фотонов в потоке излучения (число фотонов в единице объёма пространства) n = 5·10^{13} м$^{-3}$.

124. Свет падает нормально на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии r = 0,2 м от точечного монохроматического источника мощностью

P = 220 Вт. Определить давление, оказываемое светом на зеркальную поверхность. Считать, что вся мощность источника расходуется на излучение.

125. Какую силу давления испытывает поверхность, если на неё падает нормально поток излучения Φ_e = 0,2 Вт? Коэффициент отражения поверхности считать равным ρ = 0,5.

126. Монохроматический свет с длиной волны λ = 0,6 мкм, падая нормально на серую поверхность (ρ = 0,7), оказывает давление p =10 мПа. Определить плотность потока фотона (число фотонов, падающих на единицу площади в единицу времени), падающих на эту поверхность.

127. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если при падении нормально на поверхность монохроматического света с длиной волны λ = 0,7 мкм он оказывает давление p = 15 мПа при плотности потока фотонов N' = 10^{25} м$^{-2}$с$^{-1}$.

128. Определить длину волны λ, массу m и импульс p фотона с энергией ε = 1 МэВ.

129. Фотон с длиной волны $\lambda = 3\cdot10^{-10}$ м рассеялся на свободном электроне на угол θ = 30°. Определить длину волны фотона λ' после рассеяния и кинетическую энергию электрона отдачи.

130. Фотон с энергией $\varepsilon_{ф} = 2\cdot10^{-16}$ Дж в результате соударения со свободным электроном рассеялся на угол θ = 150°. Определить импульс p_e электрона и импульс $p_{ф}$ фотона после соударения.

131. В результате комптоновского рассеяния первоначальная частота фотона $\nu = 1{,}5\cdot10^{20}$ Гц уменьшилась в 1,2 раза. Определить угол θ рассеяния фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.

132. При каком угле θ комптоновского рассеяния отношение $\varepsilon / \varepsilon'$ энергий фотона до рассеяния и после рассеяния на свободном электроне будет максимальным? Определить в рассматриваемом случае кинетическую энергию электрона отдачи $W_к$, если частота фотона до столкновения $\nu = 2\cdot10^{21}$ Гц.

133. Определить длину волны де Бройля λ_e электрона отдачи при комптоновском рассеянии, если угол рассеяния θ = 120°, а длина волны фотона до столкновения $\lambda = 3\cdot10^{-12}$ м.

134. При какой скорости длина волны де Бройля для электрона равна его комптоновской длине волны.

135. В электронном микроскопе используются электроны с кинетической энергией $W_к$ = 40,0 кэВ. Определить максимальною разрешающую способность микроскопа, считая, что она равна длине волны де Бройля λ, соответствующей этим электронам.

136. Вычислить длину волны де Бройля λ для протона, движущегося со скоростью $\upsilon = 0{,}6\cdot c$ (c – скорость света в вакууме). Учесть зависимость массы m протона от его скорости υ.

137. Определить кинетическую энергию электронов, при отражении которых от кристалла с расстоянием между атомными плоскостями d =$9{,}1\cdot10^{-11}$ м, наблюдается второй дифракционный максимум под углом θ = 60°.

138. Определить относительную неопределенность $\Delta p/p$ импульса движущейся частицы, если допустить, что неопределенность её координаты равна длине волны де Бройля λ .

139. Электронный пучок ускоряется в электроннолучевой трубке разностью потенциалов U = 1 кВ. Известно, что неопределённость скорости составляет 0,1% от её численного значения. Определить неопределённость координаты электрона. Являются ли электроны в данных условиях квантовыми или классическими частицами?

140. Используя соотношение неопределённостей, оценить размытость энергетических уровней в атоме водорода для основного и для возбуждённого состояний. Время жизни возбуждённого состояния $\Delta t = 10^{-8}$ с.

141. Какова частота электромагнитной волны, излучаемой атомом водорода при переходе с четвертого энергетического уровня на третий?

142. Вычислить по теории Бора радиес r_2 второй стационарной орбиты и скорость υ_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

143. Вычислить по теории Бора период T обращения электрона на орбите в атоме водорода, находящемся в возбужденном состоянии, определяемом главным квантовым числом n = 2.

144. Вычислить энергию ε_i ионизации атома водорода, находящегося в основном состоянии.

145. Определить частоты спектральных линий, излучаемых атомом водорода, возбуждённым на n = 3 энергетический уровень.

146. Активность A некоторого изотопа за время t = 10 сут. уменьшилась на 20%. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

147. Период полураспада $T_{1/2}$ иода ${}^{131}_{53}I$ равен 8 сут. Определить его время жизни τ и постоянную распада λ .

148. Счетчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал $|\Delta N_1|$= 1400 частиц в минуту, а через время t = 4 ч только $|\Delta N_2|$= 400. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

149. Определить массу m изотопа фосфора ${}^{32}_{15}P$, имеющего активность A = 37 ГБк. Период полураспада $T_{1/2}$ изотопа ${}^{32}_{15}P$ равен 14,3 сут.

150. Определить количество теплоты Q, выделяющейся за время t = 1 мин при распаде, радона активностью, $A = 3{,}7\cdot10^{10}$ Бк. Кинетическая энергия $W_к$ вылетающей из радона α -частицы равна 5,5 МэВ. Период полураспада $T_{1/2}$ радона ${}^{222}_{86}Rn$ равен 3,8 сут.

151. Сколько энергии освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро?

152. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра изотопа гелия ${}_{2}^{3}He$.

153. Определить энергию, необходимую для того, чтобы ядро ${}_{3}^{7}Li$ разделить на нуклоны.

154. Определить удельную энергию связи ядра атома углерода ${}_{6}^{12}C$.

155. Вычислить энергию термоядерной реакции

$${}_{1}^{2}H+{}_{1}^{2}H\rightarrow{}_{2}^{3}He+n_{0}^{1}.$$

156. Дописать реакцию

$${}_{7}^{14}N+{}_{0}^{1}n\rightarrow{}_{6}^{14}C+?$$

и определить её энергетический эффект. Выделяется или поглощается энергия в этой ядерной реакции?

157. При соударении α-частицы с ядром бора ${}_{5}^{10}B$ произошла ядерная реакция, в результате которой образовалось два новых ядра. Одним из этих ядер было ядро атома водорода ${}_{1}^{1}H$. Дать символьную запись ядерной реакции с указанием второго продукта ядерной реакции и определить её энергетический эффект.

158. Ядро изотопа висмута ${}_{83}^{210}Bi$ выбросило отрицательно заряженную β-частицу. В какое ядро превратилось ядро висмута? Написать реакцию распада висмута и вычислить энергию связи нового ядра.

159. В процессе осуществления реакции $\gamma\rightarrow{}_{-1}^{0}e+{}_{+1}^{0}e$ энергия ε_{γ} фотона составляет 2,02 МэВ. Определить кинетическую энергию электрона и позитрона в момент их возникновения.

160. При столкновении электрона и позитрона происходит их аннигиляция, в процессе которой электронно-позитронная пара превращается в два γ – кванта, а энергия пары превращается в энергию фотонов. Определить энергию каждого из возникших фотонов, считая, кинетическую энергию электрона и позитрона до столкновения пренебрежимо малой.

3.5. Примеры решения задач

Пример 1. Движение материальной точки задано уравнениями $x = A_1t^2$ и $y = A_2 + B_2t^3$. Определить скорость и ускорение точки к концу 2-й секунды движения и его среднюю скорость за первые 2 с движения. Принять A_1 = 1,5 м/с^2, A_2 = 2,5 м, B_2 = 0,5 м/с^3.

Решение. Движение материальной точки происходит по кривой линии в плоскости, определяемой осями X и Y. Проекции вектора на оси X и Y равны первой производной по времени от соответствующей координаты:

$$\upsilon_x = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t = \mathrm{d}\left(A_1t^2\right)/\mathrm{d}t = 2A_1t\,;$$

$$\upsilon_y = \mathrm{d}y/\mathrm{d}t = \mathrm{d}\left(A_2 + B_2t^3\right)/\mathrm{d}t = 3B_2t^2.$$

Величина (модуль) мгновенной скорости

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2} = \sqrt{4A_1^2 t^2 + 9B_2^2 t^4} = t\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2} \ .$$

Мгновенное ускорение равно первой производной от скорости по времени:

$$a = \mathrm{d}\upsilon / \mathrm{d}t = \mathrm{d}\left(t\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2}\right) / \mathrm{d}t = \left(\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2} + 9B_2^2 t^2 / \sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2}\right).$$

Средняя путевая скорость за некоторый промежуток времени t равна отношению пути s, пройденного за данный промежуток времени, к величине этого промежутка:

$$\langle\upsilon\rangle = s / t \ .$$

Путь, пройденный материальной точкой за время t,

$$s = \int_0^t \upsilon \mathrm{d}\tau = \int_0^t \tau\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 \tau^2}\, d\tau = \left(4A_1^2 + 9B_2^2 t^2\right)^{3/2} / \left(27B_2^2\right).$$

Таким образом, средняя путевая скорость

$$\langle\upsilon\rangle = s / t = \left(4A_1^2 + 9B_2^2 t^2\right)^{3/2} / \left(27B_2^2 t\right).$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

$A_1 = 1{,}5$ м/с^2, $A_2 = 2{,}5$ м, $B_2 = 0{,}5$ м/с^2, $t = 2$ с.

Проверим правильность расчётных формул анализом единиц измерения. Для этого в расчётные формулы подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единиц определяемой величины:

$$\text{м/с} = \text{с}\sqrt{\left(\text{м/с}^2\right)^2 + \left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2} = \text{с}\sqrt{\text{м}^2/\text{с}^4 + \text{м}^2/\text{с}^4} = \text{с}\sqrt{\text{м}^2/\text{с}^4} = \text{с}\cdot\text{м/с}^2 = \text{м/с};$$

$$\text{м/с}^2 = \sqrt{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)^2 + \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^3}\right)^2 \text{с}^2} + \frac{\left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2}{\sqrt{\left(\text{м/с}^2\right)^2 + \left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{\left(\text{м/с}^2\right)^2}{\text{м/с}^2} = \text{м/с}^2;$$

$$\text{м/с} = \frac{\left[\left(\text{м/с}^2\right)^2 + \left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2\right]^{3/2}}{\left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}} = \frac{\left[\left(\text{м/с}^2\right)^2\right]^{3/2}}{\text{м}^2/\text{с}^5} = \frac{\text{м}^3/\text{с}^6}{\text{м}^2/\text{с}^5} = \text{м/с}.$$

Расчётные формулы верны, так как единицы левой и правой частей расчётных формул одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётные формулы и произведём вычисления:

$$\upsilon = 2\sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2 \cdot 2^2}\ \text{м/с} = 8{,}5\ \text{м/с};$$

$$a = \left(\sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2\cdot 2^2} + 9\cdot 0{,}5^2\cdot 2^2 / \sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2\cdot 2^2}\right)\text{м/с}^2 = 6{,}4\ \text{м/с}^2;$$

$$\langle\upsilon\rangle = \left(\sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2\cdot 2^2}\right)^3 / \left(27\cdot 0{,}5^2\cdot 2\right)\text{м/с} = 5{,}7\ \text{м/с}.$$

Пример 2. Навстречу шару массой m_1 = 500 г, движущемуся со скоростью υ_1 = 10 м/с, летит шар массой m_2 = 200 г со скоростью υ_2 = 25 м/с. При столкновении шары испытывают прямой, центральный, абсолютно упругий удар. Определить скорости u_1 и u_2 шаров после столкновения.

Решение. Систему взаимодействующих шаров будем рассматривать как замкнутую систему. Для такой системы при абсолютно упругом ударе справедливы законы сохранения импульса и кинетической энергии.

Закон сохранения импульса для системы двух взаимодействующих шаров выражается соотношением

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2,$$

где m_1 и m_2 – массы шаров; $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ – векторы скоростей шаров до столкновения; $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ – векторы скоростей шаров после столкновения; $m_1\vec{\upsilon}_1$ и $m_1\vec{u}_1$ – импульсы первого шара до и после столкновения; $m_2\vec{\upsilon}_2$ и $m_2\vec{u}_2$ – импульсы второго шара до и после столкновения.

Спроектируем это уравнение на ось, совпадающую с направлением движения первого шара:

$$m_1\upsilon_1 - m_2\upsilon_2 = m_1u_1 + m_2u_2. \qquad (1)$$

Закон сохранения кинетической энергии для рассматриваемой системы:

$$\frac{m_1\upsilon_1^2}{2} + \frac{m_2\upsilon_2^2}{2} = \frac{m_1u_1^2}{2} + \frac{m_2u_2^2}{2}. \qquad (2)$$

Решим совместно уравнения (1) и (2) для этого каждое слагаемое второго уравнения умножим на 2, а затем в первом и первом втором уравнениях перенесём в левую часть уравнения характеристики, касающиеся первого шара, характеристики же, касающиеся второго шара, перенесём в правую часть:

$$m_1\upsilon_1 - m_1u_1 = m_2u_2 + m_2\upsilon_2; \qquad (3)$$

$$m_1\upsilon_1^2 - m_1u_1^2 = m_2u_2^2 - m_2\upsilon_2^2. \qquad (4)$$

Разделим уравнение (4) на уравнение (3):

$$\frac{m_1\left(\upsilon_1^2 - u_1^2\right)}{m_1\left(\upsilon_1 - u_1\right)} = \frac{m_2\left(u_2^2 - \upsilon_2^2\right)}{m_2\left(u_2 + \upsilon_2\right)}.$$

После преобразования получим:

$$\frac{(\upsilon_1 - u_1)(\upsilon_1 + u_1)}{(\upsilon_1 - u_1)} = \frac{(u_2 - \upsilon_2)(u_2 + \upsilon_2)}{(u_2 + \upsilon_2)}; \quad \text{или} \quad \upsilon_1 + u_1 = u_2 - \upsilon_2.$$

Отсюда $u_2 = \upsilon_1 + \upsilon_2 + u_1$.

Подставим полученное для скорости u_2 выражение в уравнение (3):

$$m_1\upsilon_1 - m_1u_1 = m_2\left(\upsilon_1 + \upsilon_2 + u_1\right) + m_2\upsilon_2.$$

Решим последнее уравнение относительно u_1:

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_1 - 2m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2}.$$

Скорость второго шара после столкновения

$$u_2 = \upsilon_1 + \upsilon_2 + \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_1 - 2m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2} = \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_2 + 2m_1\upsilon_1}{m_1 + m_2}.$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:

$m_1 = 500$ г $= 0{,}5$ кг; $m_2 = 200$ г $= 0{,}2$ кг; $\upsilon_1 = 10$ м/с; $\upsilon_2 = 25$ м/с.

Проверим правильность расчётных формул анализом единиц измерения. Для этого в расчётные формулы подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единиц определяемой величины:

$$\text{м/с} = \frac{(\text{кк} - \text{кг}) \cdot \text{м/с} \pm \text{кг} \cdot \text{м/с}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м/с}}{\text{кг}} = \text{м/с}.$$

Расчётные формулы верны, так как единицы левой и правой частей расчётных формул одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётные формулы и произведём вычисления скоростей шаров после соударения:

$$u_1 = \frac{(0{,}5 - 0{,}2) \cdot 10 - 2 \cdot 0{,}2 \cdot 25}{0{,}5 + 0{,}2} \text{ м/с} = -10 \text{ м/с};$$

$$u_2 = \frac{(0{,}5 - 0{,}2) \cdot 25 + 2 \cdot 0{,}5 \cdot 10}{0{,}5 + 0{,}2} \text{ м/с} = 25 \text{ м/с}.$$

Результат показывает, что оба шара, не изменив величин скоростей, изменили направление движения на противоположное.

Пример 3. На блок намотана невесомая и нерастяжимая нить, к свободному концу которой подвешен груз массой $m_1 = 0{,}5$ кг. Блок представляет собой сплошной диск массой $m_2 = 20$ кг и радиусом $R = 15$ см. Груз отпускают. Определить угловое ускорение и кинетическую энергию блока, а также полное ускорение точек на ободе блока через $t = 2$ с после начала падения груза. Сколько оборотов выполнит блок к указанному моменту времени?

Решение. На груз действуют две силы: сила тяжести $m_1\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити $\vec{T}$, направленная вертикально вверх (рис. 6).

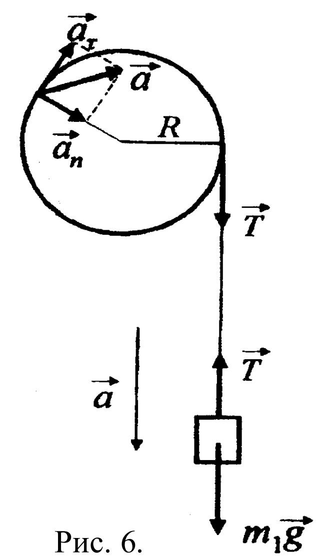


Рис. 6.

Если принять направление вниз за положительное, то согласно второму закону Ньютона можно написать динамическое уравнение движения груза в виде:

$$m_1 g - T = m_1 a_1,$$

где m_1 – масса груза; g – ускорение свободного падения; a_1 – ускорение движения груза.

Отсюда $T = m_1(g - a_1)$.

С такой же силой, но направленной вниз, нить действует на блок. Эта сила создает вращающий момент

С такой же силой, но направленной вниз, нить действует на блок. Эта сила создает вращающий момент

$$M = T \cdot R = m_1(g - a_1)R, \tag{1}$$

где R – радиус блока.

Из основного уравнения динамики вращательного движения вращающий момент

$$M = J\varepsilon, \quad (2)$$

где J – момент инерции блока, ε – его угловое ускорение.

Момент инерции сплошного диска

$$J = m_2R^2/2,$$

где m_2 – масса блока.

Угловое ускорение блока

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

где a_τ – тангенциальное ускорение точек на ободе блока.

Подставив выражения для J и ε в формулу (2), получим

$$M = \frac{1}{2} m_2R^2\, a_\tau / R = \frac{1}{2}\, m_2Ra_\tau\,. \quad (3)$$

Так как нить нерастяжима, то ускорение движения груза и тангенциальное ускорение точек на ободе блока одинаковы: $a_1 = a_\tau$.

Приравняем выражения (1) и (3) для вращающего момента:

$$m_1(g - a_\tau)R = \frac{1}{2} m_2R\, a_\tau\,.$$

Из последнего выражения получаем:

$$a_\tau = \frac{2m_1}{2m_1 + m_2} \cdot g\,.$$

Угловое ускорение блока

$$\varepsilon = \frac{2m_1}{2m_1 + m_2} \cdot \frac{g}{R}\,. \quad (4)$$

Угловая скорость блока в момент времени t

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon\, t,$$

где ω_0 – начальная угловая скорость блока ($\omega_0 = 0$ по условию задачи).

Кинетическая энергия блока в этот момент

$$W_\text{к} = \frac{J\omega^2}{2} = \frac{m_2R^2\varepsilon^2t^2}{4} = \frac{m_2(R\varepsilon t)^2}{4}\,. \quad (5)$$

Нормальное ускорение точек на ободе блока

$$a_n = \omega^2R = \varepsilon^2t^2R\,.$$

Полное линейное ускорение точек на ободе блока

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{(\varepsilon^2t^2R)^2 + (\varepsilon R)^2} = \varepsilon R\sqrt{(\varepsilon t^2)^2 + 1}\,. \quad (6)$$

Количество оборотов, выполненных блоком к моменту времени t,

$$N = \varphi/(2\pi),$$

где φ – угол поворота блока за время t; 2π радиан – угол, соответствующий одному обороту блока.

В случае равноускоренного вращения

$$\varphi = \omega_0 t + \varepsilon t^2/2 \ .$$

При $\omega_0 = 0$

$$\varphi = \varepsilon t^2/2 \ , \quad \text{а} \quad N = \varepsilon t^2/(4\pi).$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

$m_1 = 0{,}5$ кг; $m_2 = 20$ кг; $R = 15$ см $= 0{,}15$ м; $t = 2$ с.

Проверим правильность расчётных формул (4), (5) и (6) анализом единиц измерения. Для этого в расчётные формулы подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единиц определяемой величины:

$$\text{с}^{-2} = \frac{\text{кг}}{\text{кг}+\text{кг}} \cdot \frac{\text{м/с}^2}{\text{м}} = \text{с}^{-2}.$$

$$\text{Дж} = \text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-4}\cdot\text{с}^2 = \text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2 = \text{Дж};$$

$$\text{м/с}^2 = \text{с}^{-2}\cdot\text{м}\sqrt{\left(\text{с}^{-2}\cdot\text{с}^2\right)^2} = \text{м/с}^2.$$

Расчётные формулы верны, так как единицы левой и правой частей расчетных формул одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётные формулы и произведём вычисления:

$$\varepsilon = \frac{2\cdot 0{,}5}{2\cdot 0{,}5+20}\cdot\frac{9{,}8}{0{,}15} \ \text{с}^{-2} = 3{,}1 \ \text{с}^{-2};$$

$$W_\text{к} = \frac{20\cdot\left(0{,}15\cdot 3{,}1\cdot 2\right)^2}{4} \ \text{Дж} = 4{,}3 \ \text{Дж};$$

$$a = 3{,}1\cdot 0{,}15\sqrt{\left(3{,}1\cdot 2^2\right)^2+1} \ \text{м/с}^2 = 5{,}8 \ \text{м/с}^2;$$

$$N = \frac{3{,}1\cdot 2^2}{4\cdot 3{,}14} = 0{,}99.$$

Пример 4. Какую работу надо совершить, чтобы растянуть пружину от $\Delta x_1 = 1$ см до $\Delta x_2 = 3$ см, если под действием силы $F = 50$ Н пружина растягивается на $\Delta x = 2$ см?

Решение. В соответствии с законом сохранения и превращения механической энергии работа внешней деформирующей силы равна приращению потенциальной энергии пружины:

$$A = W_{\text{п}2} - W_{\text{п}1},$$

где $W_{\text{п}1}$ – потенциальная энергия пружины, растянутой на Δx_1;

$W_{\text{п}2}$ – потенциальная энергия пружины, растянутой на Δx_2.

Потенциальная энергия упруго деформированной пружины

$$W_\text{п} = \frac{k\cdot\Delta x^2}{2},$$

где k – жесткость пружины.

Поэтому $$W_{п1} = \frac{k \cdot \Delta x_1^2}{2} \quad \text{и} \quad W_{п2} = \frac{k \cdot \Delta x_2^2}{2} \ ,$$

а $$A = \frac{k \cdot \Delta x_2^2}{2} - \frac{k \cdot \Delta x_1^2}{2} = \frac{k}{2}\left(\Delta x_2^2 - \Delta x_1^2\right) \ .$$

По закону Гука сила упругости, возникающая в упруго деформированном теле,

$$F_у = -k \cdot \Delta x \ .$$

В соответствии с третьим законом Ньютона сила упругости $F_у$ равна по величине внешней силе F, вызывающей деформацию, и противоположно ей направлена: $F_у = -F$. Поэтому $F = k \cdot \Delta x$.

Отсюда $$k = F / \Delta x .$$

С учетом последнего выражения

$$A = \frac{F}{2 \cdot \Delta x}\left(x_2^2 - x_1^2\right) \ .$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

F=50 Н; Δx=2 см=0,02 м; x_1=1 см=0,01 м; Δx_2=3 см=0,03 м.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения. Для этого в расчётную формулу подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единицы измерения определяемой величины:

$$\text{Дж} = \frac{\text{Н}}{\text{м}}\left(\text{м}^2 - \text{м}^2\right) = \frac{\text{Н}}{\text{м}}\text{м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж} .$$

Расчётная формула верна, так как единицы её левой и правой частей одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётную формулу и произведём вычисления:

$$A = \frac{50}{2 \cdot 0{,}02}(0{,}03^2 - 0{,}01^2) \text{ Дж=1 Дж.}$$

Пример 5. На скамье Жуковского стоит человек и держит над головой стержень длиной l = 1,5 м и массой m = 6 кг, расположенный вертикально по оси вращения скамьи, которая вращается с частотой n = 48 об/мин. С какой частотой n' будет вращаться скамья с человеком, если он повернёт стержень в горизонтальное положение, держа его за середину? Суммарный момент инерции человека и скамьи равен J = 6,5 кг·м^2.

Решение. В соответствии с законом сохранения момента импульса момент импульса $J'\vec{\omega}'$ вращающейся системы скамья-человек-стержень при горизонтальном положении стержня равен моменту импульса системы $J\vec{\omega}$ при начальном вертикальном положении стержня :

$$J'\vec{\omega}' = J\vec{\omega} ,$$

где J' – момент инерции системы при горизонтальном положении стержня;

$\vec{\omega}'$ – вектор угловой скорости системы при горизонтальном положении стержня;

J – момент инерции системы при вертикальном положении стержня;

$\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости системы при вертикальном положении стержня.

Так как направления векторов угловых скоростей $\vec{\omega}$ и $\vec{\omega}'$ в рассматриваемом случае совпадают, то в проекции на ось вращения закон сохранения момента импульса запишется в виде:

$$J'\omega' = J\omega .$$

Момент инерции стержня при его расположении вертикально вдоль оси вращения скамьи равен нулю, а при его горизонтальном положении, когда ось вращения проходит через середину стержня, –

$$J_{\text{ст}} = ml^2/12,$$

где m – масса стержня; l – его длина.

Момент инерции системы при горизонтальном положении стержня

$$J' = J + J_{\text{ст}} = J + ml^2/12.$$

Угловые скорости скамьи при вертикальном и горизонтальном положениях стержня соответственно равны:

$$\omega = 2\pi n \quad \text{и} \quad \omega' = 2\pi n',$$

где n и n' – частоты вращения скамьи при вертикальном и горизонтальном положениях стержня.

С учётом всего сказанного закон сохранения момента импульса для рассматриваемой системы запишется в виде:

$$\left(J + ml^2/12\right)2\pi n' = J \cdot 2\pi n .$$

Отсюда
$$n' = \frac{Jn}{J + ml^2/12} .$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

l = 1,5 м; m = 6 кг; n = 48 об/мин = 8 об/с; J = 6,5 кг·м^2.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{об/с} = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{об/с}}{\text{кг}\cdot\text{м}^2 + \text{кг}\cdot\text{м}^2} = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{об/с}}{\text{кг}\cdot\text{м}^2} = \text{об/с}.$$

Расчётная формула верна, так как единицы её левой и правой частей одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётную формулу и произведём вычисления:

$$n' = \frac{6{,}5\cdot 8}{6{,}5 + \frac{1}{12}\cdot 6\cdot 1{,}5^2}\ \text{об/с} = 6{,}8\ \text{об/с}.$$

Пример 6. Точка массой m = 0,1 кг совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0{,}1\sin \pi t$. Определить скорость, ускорение, потенциальную и кинетическую энергию точки через 1/6 с от начала колебаний. Определить также возвращающую силу, действующую на точку в этот момент времени.

Решение. Уравнение гармонических колебаний в общем виде:

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

где x – смещение точки от положения равновесия в момент времени t,

A – амплитуда колебаний, ω – круговая частота.

Сравнивая это уравнение с уравнением колебаний, заданных в условии задачи, находим, что A = 0,1 м, а $\omega = \pi$ с$^{-1}$.

По определению мгновенная скорость есть первая производная от смещения по времени, т. е.

$$\upsilon = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}(A\sin\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\cdot\frac{\mathrm{d}(\sin\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\cos\omega t\cdot\frac{\mathrm{d}(\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\omega\cos\omega t\ . \quad (1)$$

Мгновенное ускорение есть первая производная от скорости по времени, т.е.

$$a = \frac{\mathrm{d}\upsilon}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}(A\omega\cos\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\omega\frac{\mathrm{d}(\cos\omega t)}{\mathrm{d}t} =$$

$$= -A\omega\sin\omega t\frac{\mathrm{d}(\omega t)}{\mathrm{d}t} = -A\omega^2\sin\omega t\ . \quad (2)$$

Кинетическая энергия колеблющейся точки

$$W_{\text{к}} = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2}\cos^2\omega t\,.$$

Полная механическая энергия точки равна максимальному значению её кинетической энергии:

$$W = W_{\text{к}\max} = mA^2\omega^2/2\,.$$

Потенциальная энергия точки

$$W_{\text{п}} = W - W_{\text{к}} = \frac{mA^2\omega^2}{2} - \frac{mA^2\omega^2}{2}\cos^2\omega t =$$

$$= \frac{mA^2\omega^2}{2}\left(1-\cos^2\omega t\right) = \frac{mA^2\omega^2}{2}\sin^2\omega t\,.$$

Возвращающая сила, действующая на колеблющуюся материальную точку в момент времени t,

$$F = ma = -m\omega^2 A\sin\omega t\,.$$

Выразим величины в единицах СИ:

m = 0,1 кг; из уравнения колебаний видно, что A=0,1 м; $\omega = \pi$ с$^{-1}$; t =1/6 с.

Проверим правильность расчётных формул (1) и (2) анализом единиц измерения:

м/с = м·с$^{-1}$ = м/с; м/с^2 = м·(с$^{-1}$)^2 = м/с^2 ;

Дж = кг·м^2·с$^{-2}$ = Дж; Н = кг·с$^{-2}$·м = Н.

Расчётные формулы верны, т. к. единицы измерения левой и правой частей формул одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\upsilon = 0{,}1\cdot\pi\cdot\cos(\pi\cdot 1/6)\ \text{м/с} = 0{,}1\cdot 3{,}14\cdot\cos(\pi/6)\ \text{м/с} = 0{,}272\ \text{м/с};$$

$$a = -0{,}1\cdot\pi^2\cdot\sin(\pi\cdot 1/6)\ \text{м/с}^2 = -0{,}1\cdot 3{,}14^2\cdot\sin(\pi/6)\ \text{м/с}^2 = -0{,}492\ \text{м/с}^2\ .$$

$$W_\text{к} = \frac{0{,}1\cdot 0{,}272^2}{2}\ \text{Дж} = 0{,}0037\ \text{Дж} = 3{,}7\ \text{мДж};$$

$$W_\text{п} = \frac{0{,}1\cdot 0{,}1^2\cdot 3{,}14^2}{2}\sin^2(\pi\cdot 1/6)\ \text{Дж} = 0{,}0012\ \text{Дж} = 1{,}2\ \text{мДж};$$

$$F = 0{,}1\cdot(-0{,}492)\ \text{Н} = 0{,}049\ \text{Н} = 49\ \text{мН}.$$

Пример 7. Определить плотность смеси газов: ν_1 = 5 моль азота и ν_2 = 10 моль кислорода, содержащихся в баллоне при температуре t=17°С и давлении p=2,5 МПа.

Решение. По определению плотность смеси газов

$$\rho_\text{см} = \left(m_1 + m_2\right)/V\ ,$$

где m_1 и m_2 – массы азота и кислорода соответственно; V – объём баллона.

Причем:

$$m_1 = \nu_1\cdot M_1 \quad \text{и} \quad m_2 = \nu_2\cdot M_2\ ,$$

где ν_1 и ν_2 – количество молей азота и кислорода соответственно;
M_1 и M_2 – их молярные массы.

Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для каждого газа в отдельности:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M_1}RT \qquad \text{и} \qquad p_2 V = \frac{m_2}{M_2}RT\ ,$$

где p_1 и p_2 – парциальные давления азота и кислорода соответственно;
R – универсальная газовая постоянная;
T – абсолютная (термодинамическая) температура.

Суммируя правые и левые части этих равенств, получим

$$\left(p_1 + p_2\right)V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)RT\ .$$

Согласно закону Дальтона давление смеси газов

$$p_\text{см} = p_1 + p_2\ .$$

Поэтому $$p_\text{см}V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)RT = \left(\nu_1 + \nu_2\right)RT\ .$$

Отсюда объём газа в баллоне

$$V = (\nu_1 + \nu_2)RT / p_\text{см}\ .$$

Подставив выражения для m_1, m_2 и V в исходную формулу, получим:

$$\rho_\text{см} = \frac{(\nu_1 M_1 + \nu_2 M_2)\,p_\text{см}}{(\nu_1 + \nu_2)RT}\ .$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:

$\nu_1 = 5$ моль; $\nu_2 = 10$ моль; $M_1 = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; $M_2 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; $R = 8{,}31$ Дж/(К·моль); $T = 290$ К; $p_{см} = 2{,}5 \cdot 10^6$ Па.

Проверим размерность левой и правой частей расчётной формулы:

$$\frac{кг}{м^3} = \frac{моль \cdot кг/моль \cdot Па}{моль \cdot Дж/(К \cdot моль) \cdot К} = \frac{кг \cdot Па}{Дж} = \frac{кг \cdot Н}{м^2 \cdot Н \cdot м} = \frac{кг}{м^3}.$$

Расчётная формула верна, так как единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\rho_{см} = \frac{(5 \cdot 28 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 32 \cdot 10^{-3}) \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6}}{(5+10) \cdot 8{,}31 \cdot 290} \frac{кг}{м^3} = 31{,}8 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 8. Определить массу углекислого газа, продиффундировавшего за $t = 1$ час через $S = 1$ м^2 почвы, прогретой до температуры $t_п = 27$°C. Коэффициент диффузии D через почву принять равным 0,05 см^2/с. Плотность газа на глубине $h = 0{,}5$ м составляет $\rho_1 = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$ г/см^3, а у поверхности почвы – $\rho_2 = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ г/см^3. Определить, во сколько раз почва ослабляет диффузию.

Решение. Масса продиффундировавшего вещества выражается уравнением диффузии (законом Фика):

$$m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} St, \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии; $\Delta \rho / \Delta x$ – градиент плотности; S – площадь поверхности, через которую рассчитывается диффузия; t – продолжительность диффузии.

При вертикальном направлении диффузионного потока углекислого газа из почвы градиент плотности

$$\frac{\Delta \rho}{\Delta x} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{h},$$

где h – расстояние между слоями почвы, разность плотностей газа $\Delta \rho$ в которых требуется определить; ρ_1 – плотность углекислого газа в почве на глубине h; ρ_2 – плотность углекислого газа в почве вблизи ее поверхности.

Следовательно, масса продиффундировавшего из почвы углекислого газа

$$m = -D \frac{\rho_2 - \rho_1}{h} St. \quad (2)$$

Влияние среды на интенсивность диффузии определяется отношением коэффициентов диффузии, т. к. отношение диффундирующих масс при одинаковых численных значениях $\Delta \rho / \Delta x$, S и t равно отношению коэффициентов диффузии. Поэтому ослабление диффузии почвой по сравнению с диффузией в газовой среде равно отношению $D_г / D$, где $D_г$ – коэффициент диффузии углекислого газа через газовую среду (воздух).

Коэффициент диффузии вещества в газовой среде

$$D_{\text{г}} = \frac{1}{3}\langle l\rangle\langle \upsilon\rangle\,, \tag{3}$$

где $\langle l\rangle$ – средняя длина свободного пробега молекулы в газовой среде (воздухе);

$\langle \upsilon\rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул углекислого газа.

При диффузии углекислого газа через воздух при температуре, равной средней температуре почвы

$$\langle l\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} \quad \text{и} \quad \langle \upsilon\rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}\,, \tag{4}$$

где d – эффективный диаметр молекулы диффундирующего газа; n – концентрация молекул газа, являющегося средой диффузии; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная (термодинамическая) температура газа; M – молярная масса углекислого газа.

Подставив эти выражения для $\langle l\rangle$ и $\langle \upsilon\rangle$ в формулу (3), получим:

$$D_{\text{г}} = \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}\cdot\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \frac{2}{3d^2 n}\sqrt{\frac{RT}{\pi^3 M}}\,. \tag{5}$$

Концентрация молекул воздуха

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_{\text{A}}}{V}\,, \tag{6}$$

где ν – количество вещества; N_{A} – постоянная Авогадро; V – объем газа.

Из уравнения Менделеева–Клапейрона

$$pV = \nu RT\,,$$

где p – давление воздуха, имеем

$$\nu = \frac{pV}{RT}. \tag{7}$$

Подставив (7) в (6), а затем полученное выражение в (5), получим:

$$D_{\text{г}} = \frac{2}{3d^2 pN_{\text{A}}}\sqrt{\frac{1}{M}\cdot\left(\frac{RT}{\pi}\right)^3}\,.$$

Ослабление диффузии почвой

$$\frac{D_{\text{г}}}{D} = \frac{2}{3Dd^2 pN_{\text{A}}}\sqrt{\frac{1}{M}\cdot\left(\frac{RT}{\pi}\right)^3}\,. \tag{8}$$

Выразим величины, входящие в формулу (8) в СИ:

$p = 10^5$ Па (атмосферное давление); $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К); $t = 1$ ч= 3600 с;
$N_{\text{A}} = 6{,}02\cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$; $d = 3{,}5\cdot 10^{-10}$ м; $M = 0{,}044$ кг/моль; $t_{\text{п}} = 27$°C (температура почвы); $T = 273 + t_{\text{п}} = (273 + 27)$ К $= 300$ К; $h = 0{,}5$ м; $S = 1$ м^2;
$D = 0{,}05$ см^2/с = = $5\cdot 10^{-6}$ м^2/с; $\rho_1 = 1{,}2\cdot 10^{-5}$ г/см^3 = 0,012 кг/м^3;
$\rho_2 = 1{,}0\cdot 10^{-5}$ г/см^3 = 0,010 кг/м^3.

Проверим правильность формулы (8) анализом единиц измерения:

$$1 = \frac{1}{\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{м}^2\cdot\text{Па}\cdot\text{моль}^{-1}}\cdot\sqrt{\frac{1}{\text{кг/моль}}\cdot\left[\text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}\cdot\text{К}\right]^3} =$$

$$= \frac{\text{с}\cdot\text{моль}}{\text{м}^4\cdot\text{Н/м}^2}\cdot\sqrt{\frac{\text{моль}}{\text{кг}}\cdot\left(\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{моль}}\right)^3} = \frac{\text{с}\cdot\text{моль}}{\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{м/с}^2\cdot\text{моль}}\cdot\sqrt{\frac{\text{кг}^3\cdot\text{м}^3/\text{с}^6\cdot\text{м}^3}{\text{кг}}} =$$

$$= \frac{\text{с}^3}{\text{м}^3\cdot\text{кг}}\cdot\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^3}{\text{с}^3} = 1.$$

Подставим численные значения величин в формулы (2) и (8) и произведем вычисления:

$$m = -5\cdot 10^{-6}\cdot\frac{0{,}0010-0{,}0012}{0{,}5}\cdot 1\cdot 3600\ \text{кг} = 7{,}2\cdot 10^{-6}\ \text{кг} = 7{,}2\ \text{мг};$$

$$\frac{D_\text{г}}{D} = \frac{2}{3\cdot 5\cdot 10^{-6}\cdot 3{,}5^2\cdot 10^{-20}\cdot 10^5\cdot 6{,}02\cdot 10^{23}}\cdot\sqrt{\frac{1}{0{,}044}\cdot\left(\frac{8{,}31\cdot 300}{3{,}14}\right)^3} = 1{,}93.$$

Пример 9. Считая водяной пар массой m=180 г, находящийся при температуре t=123°С, идеальным газом, определить: 1) внутреннюю энергию пара; 2) среднюю энергию вращательного движения одной молекулы этого пара.

Решение. Внутренняя энергия идеального газа выражается формулой:

$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{M}RT\ ,$$

где i – число степеней свободы молекулы газа; m – масса газа; M – его молярная масса; R – универсальная газовая постоянная; T – термодинамическая температура.

Выразим величины, входящие в формулу, в единицах СИ:
m = 0,18 кг; M = 18·10^{-3} кг/моль; T = 400 К; R = 8,31 Дж/(К·моль); $i = 6$ (т.к. молекула водяного пара трехатомная).

Проверим правильность расчётной формулы сравнением единиц измерения её левой и правой частей:

$$\text{Дж} = \frac{\text{кг}\cdot\text{Дж/(К}\cdot\text{моль)}\cdot\text{К}}{\text{кг/моль}} = \text{Дж}\ .$$

Расчётная формула верна, так как единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$U = \frac{6\cdot 0{,}18\cdot 8{,}31\cdot 400}{2\cdot 18\cdot 10^{-3}}\text{Дж} = 9{,}98\cdot 10^4\,\text{Дж} = 99{,}8\ \text{кДж}.$$

Известно, что на каждую степень свободы молекулы газа приходится в среднем энергия

$$\langle w_0\rangle = kT/2,$$

где k – постоянная Больцмана.

Вращательному движению каждой молекулы соответствует некоторое число степеней свободы $i_{вр}$. Это относится ко всем молекулам, кроме одноатомных, для которых $i_{вр}= 0$ и $w_{вр}= 0$. Таким образом, энергия вращательного движения молекулы:

$$w_{вр} = \frac{i_{вр}}{2} kT .$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:
$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; $T = 400$ К; $i_{вр} = 3$, т.к. вращательному движению трехатомной молекулы соответствуют три степени свободы.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$Дж = (Дж/К) \cdot К = Дж.$$

Произведём вычисления:

$$w_{вр} = \frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 400}{2} \text{ Дж} = 8{,}28 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Пример 10. Кислород массой $m = 320$ г изобарно расширяется под давлением $p = 2 \cdot 10^5$ Па от начальной температуры $t_1 = 20°C$, поглощая в процессе расширения теплоту $Q = 10$ кДж. Определить работу расширения и приращение энтропии газа в этом процессе.

Решение. Работа, совершаемая газом при неизменном давлении, выражается формулой:

$$A=p(V_2 - V_1),$$

где p – давление газа; V_1 и V_2 – его начальный и конечный объемы соответственно.

Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для начального и конечного состояний газа:

$$pV_1 = \frac{m}{M} RT_1 \qquad \text{и} \qquad pV_2 = \frac{m}{M} RT_2 .$$

Вычитая из второго уравнения первое, получим

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) .$$

Откуда искомая работа расширения газа:

$$A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) ,$$

где m – масса кислорода; M – его молярная масса; R – универсальная газовая постоянная; T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры газа соответственно.

Так как теплота, необходимая для нагревания газа при изобарном процессе:

$$Q=c_p m(T_2 - T_1) , \qquad \text{то} \qquad T_2 - T_1 = \frac{Q}{mc_p} ,$$

где c_p – удельная теплоёмкость газа при постоянном давлении.

Поскольку $c_p = \frac{i+2}{2} \cdot \frac{R}{M}$, то окончательно получаем:

$$A = \frac{m}{M} \cdot R \cdot \frac{Q \cdot 2M}{m(i+2)R} = \frac{2Q}{i+2} .$$

Приращение энтропии в изотермическом процессе

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T},$$

где ΔQ – количество теплоты, сообщенное газу при температуре T.

Так как процесс не изотермический его следует разбить на такие бесконечно малые (элементарные) процессы, в пределах которых температуру можно считать постоянной. Приращение энтропии в таком процессе

$$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q}{T}.$$

Приращение энтропии газа за весь процесс

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\mathrm{d}Q}{T}.$$

Конечная температура газа

$$T_2 = T_1 + \frac{Q}{mc_p} = T_1 + \frac{2QM}{m(i+2)R}.$$

Теплота, сообщенная газу в элементарном процессе,

$$\mathrm{d}Q = mc_p \mathrm{d}T = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \mathrm{d}T,$$

где $\mathrm{d}T$ – приращение температуры в этом элементарном процессе.

Следовательно, приращение энтропии в рассматриваемом изобарном процессе

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \frac{\mathrm{d}T}{T} = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \int_{T_1}^{T_2} \frac{\mathrm{d}T}{T} = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \ln \frac{T_2}{T_1} =$$

$$= \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \ln\left(1 + \frac{2QM}{m(i+2)RT_1}\right).$$

Запишем численные значения величин, входящих в расчётную формулу, в единицах СИ: $Q = 10^4$ Дж; $i = 5$ (т.к. молекула кислорода двухатомная); $m = 320$ г $= 0{,}320$ кг; $M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; $t_1 = 20°\mathrm{C}$; $T_1 = 293$ К.

Произведём проверку правильности расчётных формул, сравнив единицы измерения левой и правой частей формул:

Дж = Дж;

$$\frac{\text{Дж}}{\text{К}} = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \ln\left(\frac{\text{Дж} \cdot \text{кг/моль}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \text{К}}\right) = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Расчётные формулы верны, так как единицы измерения левой и правой частей формул одинаковы.

Выполним вычисления:

$$A = \frac{2 \cdot 10^4}{5+2} \text{Дж} = 2{,}86 \cdot 10^3 \text{Дж} = 2{,}86 \text{ кДж}.$$

$$\Delta S = \frac{5+2}{2} \cdot \frac{0{,}320}{0{,}032} \cdot 8{,}31 \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 0{,}032}{0{,}320 \cdot (5+2) \cdot 8{,}31 \cdot 293}\right) \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 32{,}3 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Пример 11. Через S = 1 м^2 поверхности суглинистой почвы за τ = 1 час на глубину h = 0,5 м проникает Q =58,2 кДж теплоты. Какова температура t_1 поверхности почвы, если на глубине h температура почвы t_2 = 10°С. Во сколько раз процесс теплопроводности через почву интенсивнее, чем через воздух?

Решение. Количество теплоты Q, передаваемое через вещество в процессе теплопроводности, определяется законом Фурье:

через перпендикулярную направлению переноса теплоты площадку площадью S за время τ при градиенте температуры $\Delta T / \Delta x$, выразим, используя уравнение теплопроводности Фурье:

$$Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S\tau, \qquad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности вещества, $\Delta T / \Delta x$ – градиент температуры в направлении передачи теплоты; S – площадь поверхности, через которую переносится теплота (точнее, её проекция на плоскость, перпендикулярную тепловому потоку); τ – продолжительность процесса теплопроводности.

По условию задачи передача теплоты происходит от поверхности почвы к слою, лежащему на глубине h, т. е. тепловой поток направлен вертикально вниз. В этом случае

$$\Delta T / \Delta x = \Delta T / h. \qquad (2)$$

Разность температур слоёв почвы

$$\Delta T = \Delta t = t_2 - t_1, \qquad (3)$$

где t_1 и t_2 – температуры слоёв почвы на поверхности и на глубине h.

Перепишем уравнение теплопроводности (1) с учётом (2) и (3):

$$Q = -\lambda \frac{t_2 - t_1}{h} S\tau.$$

Отсюда $\qquad t_1 = t_2 + Qh / (\lambda S\tau).$

Выпишем численные значения величин и, подставив их в полученную формулу, вычислим температуру поверхности почвы:

t_2 = 10°С; Q =58,2 кДж = 58200 Дж; h = 0,5 м; τ = 1 час = 3600 с;

S = 1 м^2; λ = 1,01 Дж/(м·с·К) (справ. табл.);

$$t_1 = [10 + 58200 \cdot 0{,}5 / (1{,}01 \cdot 1 \cdot 3600)] \cdot °\text{C} = 18°\text{C}.$$

Влияние среды на интенсивность процесса теплопроводности определяется отношением коэффициентов теплопроводности, т. к. сравнение интенсивностей этого процесса допустимо при одинаковых численных значениях S, τ и $\Delta T / \Delta x$. Поэтому ответом на второй вопрос условия задачи будет числовое значение отношения $\lambda / \lambda_{в}$, где $\lambda_{в}$ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Известно, что для газов (в том числе и для воздуха)

$$\lambda_{г} = \lambda_{в} = (1/3)\langle l\rangle\langle \upsilon\rangle \rho c_{v}, \qquad (4)$$

где $\langle l\rangle$ – средняя длина свободного пробега молекул воздуха; $\langle \upsilon\rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул воздуха; ρ – плотность воздуха; c_{v} – удельная теплоёмкость воздуха при постоянном объёме.

Средняя длина свободного пробега молекулы

$$\langle l\rangle = 1/\left(\sqrt{2}\pi d^2 n\right), \qquad (5)$$

где d – эффективный диаметр молекулы воздуха;

n – концентрация молекул воздуха.

Концентрация молекул

$$n = N / V, \qquad (6)$$

где N – количество молекул в объёме V.

Количество молекул

$$N = \nu N_A, \qquad (7)$$

ν – количество вещества; N_{A} – постоянная Авогадро.

Количество вещества ν определим, используя уравнение состояния воздуха (уравнение Клапейрона–Менделеева), считая его идеальным газом:

$$pV = \nu RT,$$

где p – атмосферное давление; R – универсальная газовая постоянная; T –абсолютная (термодинамическая) температура воздуха, которая равна температуре поверхности почвы.

Отсюда

$$\nu = pV/(RT). \qquad (8)$$

Подставив последовательно (8) в (7), а затем, в (6) и (5), получим

$$\langle l\rangle = \frac{RT}{\sqrt{2}\pi d^2 p N_{A}}. \qquad (9)$$

Средняя арифметическая скорость молекул воздуха

$$\langle \upsilon\rangle = \sqrt{8RT/(\pi M)}, \qquad (10)$$

где M = 0,029 кг/моль – молярная масса воздуха.

Удельная теплоемкость воздуха при постоянном объёме

$$c_{v} = iR/(2M) \qquad (11)$$

где i – число степеней свободы молекулы воздуха.

Подставив (9), (10) и (11) в (4), получим выражение для коэффициента теплопроводности воздуха:

$$\lambda_в = \frac{\rho i \sqrt{R^5 T^3}}{3d^2 p N_А \sqrt{\pi^3 M^3}}.$$

Отношение коэффициента теплопроводности почвы к коэффициенту теплопроводности воздуха

$$\frac{\lambda}{\lambda_в} = \frac{3\lambda d^2 p N_А}{i\rho} \sqrt{\left(\frac{\pi M}{T}\right)^3 \frac{1}{R^5}}. \qquad (12)$$

Уточним численные значения некоторых входящих в (12) величин, не использовавшихся ранее: $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К); $N_А = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ (справ. табл. 1); $T = 273 + t_1 = (273+18)$ К $= 291$ К; $p = 10^5$ Па (атмосферное давление); $d = 3 \cdot 10^{-10}$ м (справ, табл. 7, см. азот, т. к. он составляет 78% объёма воздуха); $\rho = 1{,}196$ кг/м^3 (справ, табл. 5, по t_1); $i = 5$ (т. к. большинство молекул, составляющих воздух, двухатомные).

Подставим численные значения величин в формулу (12) и вычислим искомое отношения коэффициентов теплопроводности:

$$\frac{\lambda}{\lambda_в} = \frac{3 \cdot 1{,}01 \cdot (3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}}{5 \cdot 1{,}196} \sqrt{\left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}029}{291}\right)^3 \frac{1}{8{,}31^5}} = 76{,}3.$$

Пример 12. Электрическое поле создано в вакууме двумя точечными зарядами $Q_1 = 2$ нКл и $Q_2 = -3$ нКл. Расстояние между зарядами $d = 20$ см. Определить напряженность E и потенциал φ электрического поля в точке A, находящейся на расстоянии $r_1 = 15$ см от первого и $r_2 = 10$ см от второго заряда.

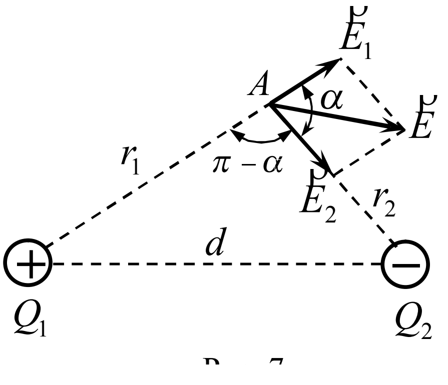
Решение. Согласно принципу суперпозиции электрических полей, каждый заряд создает собственное электрическое поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность $\vec{E}$ результирующего электрического поля в точке A будет равна геометрической сумме напряженностей $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 .$$

Напряженности электрических полей, создаваемых в вакууме зарядами Q_1 и Q_2, равны соответственно:

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} \quad \text{и} \quad E_2 = \frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2},$$

где $|Q_1|$ и $|Q_2|$ – модули зарядов Q_1 и Q_2; r_1 и r_2 – расстояние от зарядов Q_1 и Q_2 до точки A соответственно.



Вектор $\vec{E}$ направлен по прямой, соединяющей заряд и точку A, от заряда Q_1, т.к. заряд Q_1 – положителен. Вектор $\vec{E}_2$ направлен по прямой, соединяющей заряд Q_2 и точку A, к заряду Q_2, так как этот заряд отрицателен (рис. 7) .

Модуль вектора $\vec{E}$ результирующего поля найдем по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha} \ ,$$

где α – угол между векторами $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$.

Из рисунка видно, что $d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos(\pi - \alpha)$.

Но $\cos(\pi - \alpha) = -\cos\alpha$, поэтому $\cos\alpha = \dfrac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}$,

где d – расстояние между зарядами.

Напряженность результирующего поля

$$E = \sqrt{\left(\frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}\right)^2 + \left(\frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}\right)^2 + 2\cdot\frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}\cdot\frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}\cdot\cos\alpha} =$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{\frac{Q_1^2}{r_1^4} + \frac{Q_2^2}{r_2^4} + \frac{2|Q_1|\cdot|Q_2|}{r_1^2\cdot r_2^2}\cdot\cos\alpha} \ .$$

Потенциал электрического поля в точке A определяется алгебраической суммой потенциалов полей, созданных зарядами Q_1 и Q_2:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \, .$$

Поскольку потенциалы в точке A полей, созданных в вакууме точечными зарядами Q_1 и Q_2, соответственно равны:

$$\varphi_1 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1} \qquad \text{и} \qquad \varphi_2 = \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2} \ ,$$

то потенциал результирующего поля в точке A равен

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2}\right) .$$

Выпишем численные значения величин, выразив их в СИ:

$Q_1 = 2$ нКл $= 2\cdot10^{-9}$ Кл; $Q_2 = -3$ нКл $= -3\cdot10^{-9}$ Кл; $d = 20$ см $= 0{,}2$ м;

$r_1 = 15$ см $= 0{,}15$ м; $r_2 = 10$ см $= 0{,}1$ м; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м.

Вычислим значение $\cos\alpha$:

$$\cos\alpha = \frac{0{,}2^2 - 0{,}15^2 - 0{,}1^2}{2\cdot0{,}15\cdot0{,}1} = 0{,}25 \ .$$

Проверим правильность расчётных формул анализом единиц измерения:

$$\frac{\text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{Ф}}\sqrt{\frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^4} + \frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^4} + \frac{\text{Кл}\cdot\text{Кл}}{\text{м}^2\cdot\text{м}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{Ф}}\cdot\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Кл}}{\text{Ф}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\text{Кл}\cdot\text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{м}} \ ;$$

$$\text{В} = \frac{\text{м}}{\text{Ф}}\left(\frac{\text{Кл}}{\text{м}} + \frac{\text{Кл}}{\text{м}}\right) = \frac{\text{Кл}\cdot\text{м}}{\text{Ф}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\text{Кл}} = \text{В} \ .$$

Расчётные формулы верны, т. к. единицы левой и правой частей формул одинаковы.

Подставив числовые значения величин в расчётные формулы, произведём вычисления:

$$E = \frac{1}{4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}\sqrt{\frac{(2\cdot 10^{-9})^2}{0{,}15^4} + \frac{(3\cdot 10^{-9})^2}{0{,}1^4} + \frac{2\cdot 2\cdot 10^{-9}\cdot 3\cdot 10^{-9}}{0{,}15^2\cdot 0{,}1^2}\cdot 0{,}25}\,\frac{\text{В}}{\text{м}} =$$

$= 3{,}0\cdot 10^3$ В/м = 3,0 кВ/м;

$$\varphi = \frac{1}{4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}\left(\frac{2\cdot 10^{-9}}{0{,}15} - \frac{3\cdot 10^{-9}}{0{,}1}\right) \text{В} = -150 \text{ В}.$$

Пример 13. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого d_1=10 см, заряжен до разности потенциалов U_1=250 В и отключён от источника. Площадь пластин конденсатора S=100 см^2. Определить заряд конденсатора. Как изменяется ёмкость, разность потенциалов и энергия конденсатора, если в пространство между пластинами конденсатора поместить фарфоровою плитку толщиной d_2 =2 см и прижать к ней пластины?

Решение. По определению ёмкость конденсатора

$$C_1 = q/U_1 \ , \qquad (1)$$

где q – заряд конденсатора;

U_1 – разность потенциалов между пластинами.

Ёмкость конденсатора зависит от его размеров:

$$C_1 = \varepsilon_0\varepsilon_1 S/d_1 \ , \qquad (2)$$

где ε_0 – электрическая постоянная; ε_1 – диэлектрическая проницаемость пространства между пластинами; S – площадь пластины; d_1 – расстояние между пластинами конденсатора.

Отсюда $\quad q = C_1U_1 = \varepsilon_0\varepsilon_1 SU_1/d_1$.

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:

$\varepsilon_0 = 8{,}85\ 10^{-12}$ Ф/м; $\varepsilon_1 = 1$; $S = 10^{-2}$ м^2; $d_1 = 0{,}1$ м; $U_1 = 250$ В.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{Кл} = \frac{\text{Ф}\cdot\text{м}^2\cdot\text{В}}{\text{м}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\text{В}} = \text{Кл} \ .$$

Произведём вычисления:

$$q = \frac{8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 1\cdot 10^{-2}\cdot 250}{0{,}1}\ \text{Кл} = 222\cdot 10^{-12}\ \text{Кл} = 222\ \text{пКл}\ .$$

При изменении вида диэлектрика и расстояния между пластинами конденсатора происходит изменение его ёмкости:

$$C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 S / d_2 . \qquad (3)$$

Тогда $$C_1 / C_2 = \varepsilon_1 d_2 / (\varepsilon_2 d_1).$$

Выразим входящие в данную формулу величины в единицах СИ:
ε_1=l; ε_2=5; d_1=0,1 м; d_2=$2\cdot 10^{-2}$ м.
Произведём вычисления:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{1\cdot 2\cdot 10^{-2}}{5\cdot 0{,}1} = \frac{1}{25} = 0{,}04 \ .$$

Следовательно, ёмкость конденсатора увеличилась в 25 раз.

Так как конденсатор отключён от источника, заряд его не изменяется при замене диэлектрика и изменении расстояния между пластинами.

Разность потенциалов на обкладках первого конденсатора можно выразить из формулы (1):

$$U_1 = q / C_1 ,$$

и аналогично, записать формулу для разности потенциалов на пластинах второго конденсатора

$$U_2 = q / C_2 .$$

Отсюда

$$U_1 / U_2 = C_2 / C_1 \ . \qquad (4)$$

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

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon_2 d_1}{\varepsilon_1 d_2} \ . \qquad (5)$$

Произведём вычисления: $$\frac{U_1}{U_2} = \frac{5\cdot 0{,}1}{1\cdot 2\cdot 10^{-2}} = 25 \ .$$

Следовательно, напряжение на конденсаторе уменьшается в 25 раз.

Энергия электрического поля заряженного конденсатора в его начальном и конечном состояниях выражается формулами:

$$W_1 = qU_1 / 2 \qquad \text{и} \qquad W_2 = qU_2 / 2 .$$

Отсюда $$\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2} = 25 .$$

Следовательно, энергия конденсатора уменьшается в 25 раз.

Пример 14. Электрон, начальная скорость которого υ_0 = 2 Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью E = 10 кВ/м так, что вектор начальной скорости перпендикулярен его силовым линиям. Определить скорость электрона по истечении времени t = 1нс.

Решение. На электрон, находящийся в электрическом поле, действует сила

$$F=eE,$$

где e – заряд электрона; E – напряженность электрического поля.

Направление этой силы противоположно направлению силовых линий поля (рис. 8). В данном случае сила F направлена перпендикулярно скорости υ_0 и сообщает электрону ускорение

$$a = F / m,$$

где m – масса электрона.

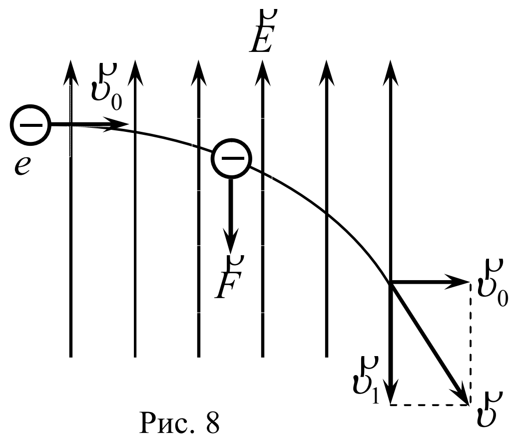


Рис. 8

Движение электрона в электрическом поле по условию задачи является сложным движением, состоящим из двух взаимно перпендикулярных движений: равномерного со скоростью $\vec{\upsilon}_0$ и равноускоренного в направлении действия силы $\vec{F}$.

Таким образом, в момент времени t скорость электрона

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{\upsilon}_1 ,$$

где $\vec{\upsilon}_1$ – скорость, приобретенная электроном под действием силы $\vec{F}$, причём

$$\upsilon_1 = at = Ft / m = eEt / m .$$

Так как направления векторов скоростей $\vec{\upsilon}_0$ и $\vec{\upsilon}_1$ взаимно перпендикулярны, то значение результирующей скорости

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + \upsilon_1^2} ,$$

откуда

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + (eEt / m)^2} .$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг; $t = 10^{-9}$ с; $\upsilon_0 = 2 \cdot 10^6$ м/с; $E = 10^4$ В/м.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{м/с} = \sqrt{(\text{м/с})^2 + \left(\frac{\text{Кл} \cdot \text{В} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{м}}\right)^2} = \sqrt{(\text{м/с})^2 + \left(\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{м}}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(\text{м/с})^2 + \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м}}\right)^2} = \sqrt{(\text{м/с})^2 + (\text{м/с})^2} = \text{м/с} .$$

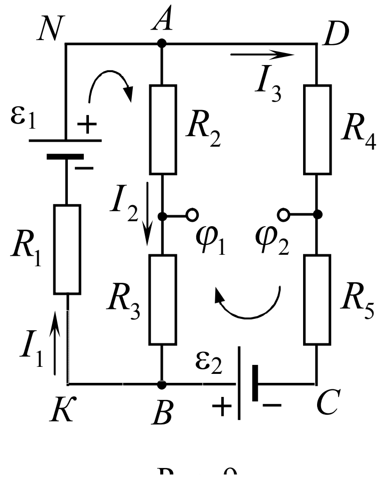
Расчётная формула верна, т, к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\upsilon = \sqrt{\left(2 \cdot 10^2\right)^2 + \left(\frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^4 \cdot 10^{-9}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}\right)^2} = 2{,}68 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$= 2{,}68 \text{ Мм/с}.$$

Пример 15. Определить разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между клеммами и токи в ветвях цепи, изображенной на рис. 9, если ε_1 = 10 В, ε_2 = 4 В, R_1 =2 Ом, $R_2 = R_5$ = 20 Ом и $R_3 = R_4$ = 10 Ом.



Решение. В случае сложной электрической цепи для решения задачи применяют законы Кирхгофа. С этой целью укажем стрелками на схеме предполагаемые направления токов I_1, I_2 и I_3 в ветвях цепи и направления обхода контуров.

Применим первое правило Кирхгофа к узлу A (токи, входящие в узел, считаем положительными, а выходящие – отрицательными):

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

Для записи ещё двух уравнений применим второе правило Кирхгофа для контуров. При записи уравнений учитывают два условия: 1) если направление ЭДС (от отрицательного полюса источника тока – к положительному) совпадает с направление обхода контура, то ЭДС считается положительной; 2) если направление тока в проводнике совпадает с направлением обхода контура, то падение напряжение на этом проводнике тоже считается положительным, в противном случае – отрицательным.

Имеем для контура ABKDA

$$I_2R_2 + I_2R_3 + I_1R_1 = \varepsilon_1 ,$$

для контура ADCBA

$$I_3R_3 + I_3R_5 - I_2R_3 - I_2R_2 = \varepsilon_2 .$$

Получаем систему уравнений с тремя неизвестными I_1, I_2 и I_3:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0, \\ I_1R_1 + I_2(R_2 + R_3) = \varepsilon_1 , \\ -I_2(R_2 + R_3) + I_3(R_3 + R_5) = \varepsilon_2 . \end{cases}$$

Решить эту систему уравнений можно двумя способами.

Первый способ решения заключается в выделении из уравнения неизвестного и подстановке его в другое уравнение:

$I_1 = I_2 + I_3$; $\qquad (I_2 + I_3)R_1 + I_2(R_2 + R_3) = \varepsilon_1$;

$I_2(R_1 + R_2 + R_3) + I_3R_1 = \varepsilon_1$; $\qquad I_2 = (\varepsilon_1 - I_3R_1)/(R_1 + R_2 + R_3)$;

$-(\varepsilon_1 - I_3R_1)(R_2 + R_3)/(R_1 + R_2 + R_3) + I_3(R_3 + R_5) = \varepsilon_2$;

$I_3 = [\varepsilon_1(R_2+R_3)+ \varepsilon_2(R_1+ R_2+R_3)]/[R_1(R_2+R_3)+(R_3+ R_5)(R_1+ R_2+R_3)]$.

Выпишем численные значения величин:

$\varepsilon_1 = 10$ В; $\varepsilon_2 = 4$ В; $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = R_5 = 20$ Ом; $R_3 = R_4 = 10$ Ом.

Вычислим токи в ветвях цепи:

$$I_3 = \frac{10\cdot(20+10) + 4\cdot(2+20+10)}{2\cdot(20+10) + (10+20)(2+20+10)} \text{ А} = 0{,}42 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{10 - 0{,}42\cdot 2}{2+20+10} \text{ А} = 0{,}29 \text{ А};$$

$$I_1 = (0{,}29 + 0{,}42) \text{ А} = 0{,}71 \text{ А}.$$

Решим эту систему уравнений другим методом – методом определителей.

Запишем главный определитель системы – определитель из коэффициентов при неизвестных – и вычислим его:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ R_1 & R_2 + R_3 & 0 \\ 0 & -\left(R_2 + R_3\right) & R_3 + R_5 \end{vmatrix},$$

$$\Delta = \left(R_2 + R_3\right)\left(R_3 + R_5\right) + R_1\left(R_2 + R_3\right) + R_1\left(R_3 + R_5\right) =$$

$$= R_1\left(R_2 + R_3\right) + \left(R_3 + R_5\right)\left(R_1 + R_2 + R_3\right),$$

$$\Delta = 2\cdot(20+10)+(10+20)(2+20+10) = 1020.$$

Теперь запишем дополнительные определители, заменяя в главном определителе коэффициенты при каком-то из неизвестных свободными членами:

$$\Delta_{I_1} = \begin{vmatrix} 0 & -1 & -1 \\ \varepsilon_1 & R_2 + R_3 & 0 \\ \varepsilon_2 & -\left(R_2 + R_3\right) & R_3 + R_5 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{I_1} = \varepsilon_1(R_2+R_3) + \varepsilon_2(R_2+R_3) + \varepsilon_1(R_3+R_5) = \varepsilon_1(R_2+R_3 +R_3 \_R_5) + \varepsilon_2(R_2+R_3),$$

$$\Delta_{I_1} = 10\cdot(20 +10 +10 +20) + 4\cdot(20 +10) = 720;$$

$$\Delta_{I_2} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ R_1 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & R_3 + R_5 \end{vmatrix} = \varepsilon_1(R_3 +R_5) - \varepsilon_2 R_1,$$

$$\Delta_{I_2} = 10\cdot(10 + 20) - 4\cdot 2 = 292.$$

Сила тока равна отношению соответствующего данному тока дополнительного определителя к главному определителю:

$$I_1 = \Delta_{I_1} / \Delta, \qquad I_1 = 720/1020 \text{ А} = 0{,}71 \text{ А}$$

$$I_2 = \Delta_{I_2} / \Delta, \qquad I_2 = 292/1020 \text{ А} = 0{,}29 \text{ А};$$

Ток I_3 найдём из первого уравнения системы:

$$I_3 = I_1 - I_2 = (0{,}71-0{,}29) \text{ А} = 0{,}42 \text{ А}.$$

Разность потенциалов между клеммами

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (\varphi_A - \varphi_2) - (\varphi_A - \varphi_1) = I_3 R_4 - I_2 R_2,$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (0{,}42\cdot 10-0{,}29\cdot 20) \text{ В} = -1{,}6 \text{ В}.$$

Знак «минус» указывает на то, что потенциал φ_2 больше потенциала φ_1.

Пример 16. Два бесконечных прямых параллельных проводника с противоположно направленными токами $I_1 = 3$ А и $I_2 = 5$ А расположены на расстоянии d = 5 см. Определить индукцию B в точке, находящейся на расстоянии r_1= 3 см от первого проводника и r_2 = 4 см от второго проводника.

Решение. Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, каждый электрический ток создаёт магнитное поле независимо от присутствия в пространстве других электрических токов и полей. Индукция $\vec{B}$ магнитного поля, созданного несколькими токами, равна векторной сумме индукций магнитных полей, созданных каждым током в отдельности. В случае двух параллельных токов индукция суммарного магнитного поля, созданного этими токами,

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2,$$

где $\vec{B}_1$ – вектор магнитной индукции поля, созданного первым током;

$\vec{B}_2$ – вектор магнитной индукции поля, созданного вторым током.

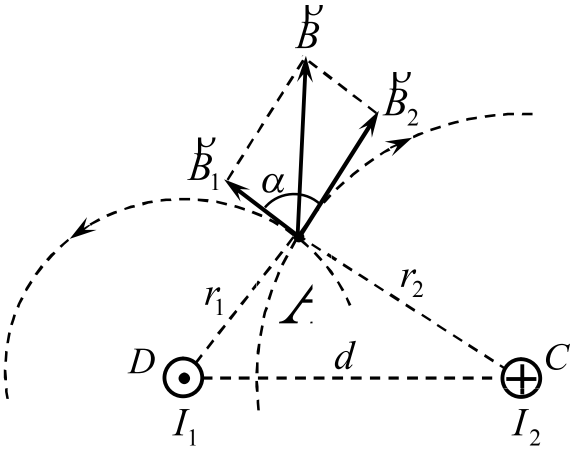


Рис. 10

Для определения величины магнитной индукции $\vec{B}$ суммарного поля необходимо знать направления векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$. Покажем эти векторы на рисунке (см. рис. 10).

На рисунке проводники расположены перпендикулярно плоскости листа. Маленькими кружочками показаны сечения проводников. Точка в первом кружочке означает, что в первом проводнике ток течёт к нам, крестик во втором кружочке, – что во втором проводнике ток течёт от нас.

Силовые линии магнитного поля, созданного прямым током, представляют собой окружности с центром на оси проводника, по которому течёт ток.

Силовая линия магнитного поля первого тока в точке A представляет собой окружность радиуса $DA=r_1$ и, в соответствии с правилом буравчика, направлена против часовой стрелки.

Силовая линия магнитного поля второго тока – окружность радиуса $CA=r_2$, направленная по часовой стрелке.

Векторы магнитных индукций $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ направлены по касательной к соответствующей силовой линии в точке A.

Вектор магнитной индукции $\vec{B}$ является диагональю параллелограмма, построенного на векторах $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ как на сторонах.

Модуль вектора $\vec{B}$ может быть найден по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2\cos\alpha} ,$$

где α – угол между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$.

Так как проводники бесконечно длинные, то магнитные индукции

$$B_1 = \mu_0 \cdot \frac{I_1}{2\pi r_1} \qquad \text{и} \qquad B_2 = \mu_0 \cdot \frac{I_2}{2\pi r_2},$$

где μ_0 – магнитная постоянная;

μ – относительная магнитная проницаемость среды, в которой создается магнитное поле;

I_1 и I_2 – токи, создающие магнитное поле;

r_1 – расстояние от первого проводника до точки A, в которой определяется индукция;

r_2 – расстояние от второго проводника до точки A.

Угол α между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ численно равен углу A в треугольнике DAC (углы α и A – углы с взаимно перпендикулярными сторонами).

По теореме косинусов $d^2 = r_1 + r_2 - 2r_1r_2\cos A$.

Отсюда $\cos A = \left(r_1 + r_2 - d^2\right)/(2r_1r_2)$.

Так как r_1 = 3 см, r_2 = 4 см и d = 5 см, то $\cos A$=(3^2+4^2−5^2)/(2 3 4)=0, а значит и $\cos\alpha$ =0.

С учётом этого $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$.

Подставив в эту формулу выражения для B_1 и B_2, получим:

$$B = \sqrt{\left(\mu_0 \cdot \frac{I_1}{2\pi r_1}\right)^2 + \left(\mu_0 \cdot \frac{I_2}{2\pi r_2}\right)^2} = \frac{\mu_0}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{I_1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{r_2}\right)^2}.$$

Выпишем численные значения величин: $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\mu = 1$ (для вакуума); I_1 = 3 А; I_2 = 5 А; r_1 = 3 см = 0,03 м; r_2 = 4 см = 0,04 м.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерений:

$$\text{Тл} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\sqrt{\left(\frac{\text{А}}{\text{м}}\right)^2 + \left(\frac{\text{А}}{\text{м}}\right)^2} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\sqrt{\left(\frac{\text{А}}{\text{м}}\right)^2} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\cdot\frac{\text{А}}{\text{м}} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Расчётная формула верна, т.к. единицы левой и правой частей формулы одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётную формулу и произведем вычисления:

$$B == \frac{4\pi\cdot 10^{-7}}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{3}{0{,}03}\right)^2 + \left(\frac{5}{0{,}04}\right)^2}\ \text{Тл} = 3{,}2\cdot 10^{-5}\ \text{Тл} = 32\ \text{мТл}.$$

Пример 17. По тонкому кольцу радиусом R = 20 см течет ток I = 40 А. Определить магнитную индукцию B на оси кольца в точке, удалённой от плоскости кольца на расстояние b = 16 см.

Решение. Выделим на кольце элемент dl и от него в точку A, в которой определяется магнитная индукция, проведём радиус-вектор $\vec{r}$ (рис. 11).

По закону Био-Савара-Лапласа магнитная индукция $\mathrm{d}\vec{B}$ поля, создаваемого элементом тока $I\mathrm{d}\vec{l}$,

$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0\mu I\left[\mathrm{d}\vec{l}\,\vec{r}\right]}{4\pi r^3},$$

где μ_0 – магнитная постоянная; μ – относительная магнитная постоянная среды, в которой создаётся магнитное поле; I – сила тока в кольце; r – модуль радиус-вектора $\vec{r}$ (расстояние от элемента проводника до точки A); $\left[\mathrm{d}\vec{l}\,\vec{r}\right]$ – векторное произведение вектора элемента длины проводника $\mathrm{d}\vec{l}$ на радиус-вектор (вектор $\mathrm{d}\vec{l}$ совпадает по направлению с током в элементе dl).

Вектор $\mathrm{d}\vec{B}$ перпендикулярен плоскости, в которой лежат векторы $\mathrm{d}\vec{l}$ и $\vec{r}$, и направлен в сторону перемещения правого винта при вращении его головки от вектора $\mathrm{d}\vec{l}$ к вектору $\vec{r}$.

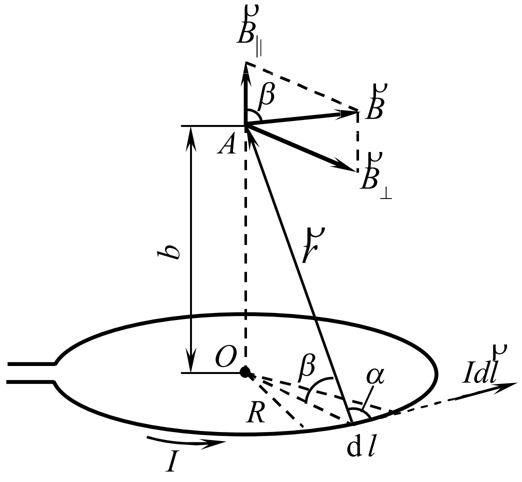


Рис. 11

Согласно принципу суперпозиции полей, магнитная индукция поля, создаваемого в точке A всем кольцом, определяется равенством

$$\vec{B} = \oint_l \mathrm{d}\vec{B},$$

причем интегрирование ведётся по всем элементам $\mathrm{d}\vec{l}$ кольца. Разложим вектор $\mathrm{d}\vec{B}$ на две составляющие: $\mathrm{d}\vec{B}_{\perp}$, перпендикулярную оси кольца, и $\mathrm{d}\vec{B}_{\parallel}$, параллельную оси кольца, т. е.

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mathrm{d}\vec{B}_{\perp} + \mathrm{d}\vec{B}_{\parallel}.$$

Тогда

$$\vec{B} = \oint_l \mathrm{d}\vec{B}_{\perp} + \oint_l \mathrm{d}\vec{B}_{\parallel}.$$

Каждому элементу тока $I\mathrm{d}\vec{l}$ в кольце соответствует симметричный с ним, равный по величине, но противоположно направленный элемент. Составляющие $\mathrm{d}\vec{B}_{\perp}$ полей, создаваемых симметричными элементами тока, противоположны. Поэтому

$$\oint_1 \mathrm{d}\vec{B}_{\perp} = 0,$$

и

$$\vec{B} = \oint_l \mathrm{d}\vec{B}_{\parallel}.$$

Векторы $\mathrm{d}\vec{B}_{\parallel}$ полей, созданных различными элементами $\mathrm{d}\vec{l}$, сонаправлены, поэтому векторное интегрирование можно заменять скалярным

$$B = \oint_l \mathrm{d}B_{\parallel}$$

Из рис. 11 видно, что $\mathrm{d}B_{\parallel} = \mathrm{d}B\cos\beta$, а $\cos\beta = R/r$, где β – угол между направлением положительной нормали к плоскости кольца и вектором $\mathrm{d}\vec{B}$ (он также равен углу между радиус-вектором $\vec{r}$ и плоскостью кольца),

R – радиус кольца.

Согласно закону Био-Савара-Лапласа

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0 \mu I \sin\alpha}{4\pi r^2}\mathrm{d}l = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r^2}\mathrm{d}l,$$

где α – угол между направлением тока в элементе длины кольца $\mathrm{d}l$ и направлением радиус-вектора $\vec{r}$ ($\alpha = 90°$, $\sin\alpha = 1$, т. к. векторы $\mathrm{d}\vec{l}$ и $\vec{r}$ взаимно перпендикулярны).

Таким образом,

$$\mathrm{d}B_{\parallel} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r^2}\cos\beta\,\mathrm{d}l = \frac{\mu_0 \mu I R}{4\pi r^3}\mathrm{d}l,$$

а

$$B = \frac{\mu_0 \mu I R}{4\pi r^3}\int_0^{2\pi R}\mathrm{d}l = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2r^3}$$

(интегрирование проведено по всей длине контура от нуля до $2\pi R$).

Модуль радиус-вектора $r = \sqrt{R^2 + b^2}$, где b – расстояние от плоскости контура до точки A, в которой определяется магнитная индукция.

Поэтому

$$B = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2\left(R^2 + b^2\right)\sqrt{R^2 + b^2}} = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2\left(R^2 + b^2\right)^{3/2}}.$$

Вектор .магнитной индукции $\mathrm{d}\vec{B}$ поля на оси контура совпадает по направлению с положительной нормалью к контуру.

Выпишем числовые значения величин в СИ:

$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\mu = 1{,}0$ (для вакуума); $I = 40$ А;

$R = 20$ см $= 0{,}20$ м; $b = 15$ см $= 0{,}15$ м.

Выполним проверку единиц измерения:

$$\text{Тл} = \frac{\text{Гн/м}\cdot\text{А}\cdot\text{м}^2}{\left(\text{м}^2 + \text{м}^2\right)^{3/2}} = \frac{\text{Гн}\cdot\text{А}\cdot\text{м}^2}{\text{м}\cdot\text{м}^3} = \frac{\text{Гн}\cdot\text{А}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Произведём вычисления:

$$B = \frac{4\cdot 3{,}14\cdot 10^{-7}\cdot 1{,}0\cdot 40\cdot 0{,}20^2}{2\cdot\left(0{,}20^2 + 0{,}15^2\right)^{3/2}}\ \text{Тл} = 6{,}4\cdot 10^{-5}\ \text{Тл} = 64\ \text{мкТл}.$$

Пример 18. α – частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 40$ кВ, влетела в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}2$ Тл под углом $\alpha = 60°$. Вычислить радиус и шаг спирали, описываемой α – частицей, а также период её обращения.

Решение. α – частица из состояния покоя в ускоряющем электрическом поле разгоняется до скорости υ. В соответствии с законом сохранения энергии, работа, совершённая полем при перемещении α – частицы, равна приращению кинетической энергии α – частицы, т. е.

$$A = \Delta W_{\text{к}}. \qquad (1)$$

Работа сил электрического поля при перемещении заряженной частицы

$$A = |q|U,$$
а приращение кинетической энергии частицы
$$\Delta W_{\text{к}} = m\upsilon^2/2 - m\upsilon_0^2/2 = m\upsilon^2/2,$$
так как начальная скорость α – частицы $\upsilon_0 = 0$.

С учётом этого равенство (1) примет вид:
$$|q|U = m\upsilon^2/2\ ,$$
откуда
$$\upsilon = \sqrt{2|q|U/m}\ . \qquad (2)$$
В формулах υ – скорость, полученная частицей при её ускорении в электрическом поле; $|q|$ – модуль заряда α – частицы; m – её масса; U – ускоряющая разность потенциалов электрического поля; $m\upsilon^2/2$ – кинетическая энергия ускоренной α – частицы.

Далее α – частица попадает в магнитное поле. На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле с индукцией B, действует сила Лоренца $F_{\text{л}}$ (рис. 12):

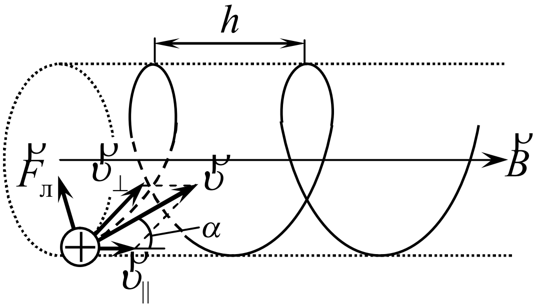


Рис. 12

$$F_{\text{л}} = |q|\upsilon B\sin\alpha\,,$$
где α – угол между направлением векторов скорости $\vec{\upsilon}$ и индукции $\vec{B}$.

Сила Лоренца всегда перпендикулярна плоскости, образованной векторами $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$. Так как сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости, то она, не изменяя величину скорости, изменяет только её, т. е. является центростремительной силой и искривляет траекторию движения частицы.

В результате частица участвует в двух движениях: в равномерном движении вдоль поля со скоростью $\upsilon_{\parallel} = \upsilon\cos\alpha$ и в равномерном движении со скоростью $\upsilon_{\perp} = \upsilon\sin\alpha$ по окружности в плоскости, перпендикулярной полю. Сложение этих двух движений даёт движение по спирали радиусом R, ось которой параллельна вектору магнитной индукции. Движение по окружности вызывается действием силы Лоренца, которая, как уже отмечалось, является центростремительной силой: $F_{\text{л}} = F_{\text{ц}}$. Сила Лоренца $F = |q|\upsilon B\sin\alpha = |q|\upsilon_{\perp}B$, центростремительная сила $F_{\text{ц}} = m\upsilon_{\perp}^2/R$. Приравняв выражения для силы Лоренца и центростремительной силы, получим:
$$|q|\upsilon_{\perp}B = m\upsilon_{\perp}^2/R\,.$$
Отсюда радиус кривизны траектории частицы с учётом (2):
$$R = \frac{m\upsilon_{\perp}}{|q|B} = \frac{m\upsilon}{|q|B}\sin\alpha = \sqrt{\frac{2mU}{|q|}}\cdot\frac{\sin\alpha}{B}\,. \qquad (3)$$

Период T обращения частицы (время, за которое она совершает один полный оборот, двигаясь по спирали)

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon_\perp} = \frac{2\pi}{\upsilon_\perp}\frac{m\upsilon_\perp}{|q|B} = \frac{2\pi m}{|q|B}. \qquad (4)$$

Шаг спирали, т.е. расстояние между соответствующими точками двух соседних витков спирали,

$$h = \upsilon_\parallel T = \frac{2\pi}{B}\sqrt{\frac{2mU}{|q|}}\cos\alpha. \qquad (5)$$

Выпишем численные значения величин, входящих в формулы (3), (4) и (5): $|q|$ = 3,2·10^{-19} Кл (для α – частицы); m = 6,6444·10^{-27} кг; B = 0,2 Тл; U = 40 кВ = 4·10^4 В; α = 60°.

Проверим правильность расчётных формул (3), (4) и (5) анализом единиц измерения:

$$\text{м} = \sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{В}}{\text{Кл}}}\frac{1}{\text{Тл}} = \sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{Дж/Кл}}{\text{Кл}}}\frac{1}{\text{Н/(А}\cdot\text{м)}} = \frac{\sqrt{\text{кг}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2}}{\text{Кл}}\cdot\frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{Н}} =$$

$$= \frac{\sqrt{\text{Н}^2\text{с}^2}}{\text{А}\cdot\text{с}}\cdot\frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$\text{с} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}\cdot\text{Тл}} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}\cdot\text{Н/(А}\cdot\text{м)}} = \frac{\text{кг}\cdot\text{А}\cdot\text{м}}{\text{А}\cdot\text{с}\cdot\text{Н}} = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}\cdot\text{кг}\cdot\text{м/с}^2} = \text{с};$$

$$\text{м} = \frac{1}{\text{Тл}}\sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{В}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{Н}}\sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{Дж/Кл}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{м}}{\text{с}\cdot\text{Н}}\frac{\sqrt{\text{кг}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2}}{\text{Кл}} = \frac{\text{м}}{\text{с}\cdot\text{Н}}\text{Н}\cdot\text{с} = \text{м}.$$

Расчётные формулы верны, т. к. единицы их левых и правых частей одинаковы.

Произведём вычисления:

$$R = \sqrt{\frac{2\cdot 6{,}6444\cdot 10^{-27}\cdot 4\cdot 10^4}{3{,}2\cdot 10^{-19}}}\cdot\frac{\sin 60^0}{0{,}2}\ \text{м} = 0{,}18\ \text{м};$$

$$T = \frac{2\cdot 3{,}14\cdot 6{,}6444\cdot 10^{-27}}{3{,}2\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}2}\ \text{с} = 6{,}5\cdot 10^{-7}\ \text{с} = 0{,}65\ \text{мкс};$$

$$h = \frac{2\cdot 3{,}14}{0{,}2}\sqrt{\frac{2\cdot 6{,}6444\cdot 10^{-27}\cdot 4\cdot 10^4}{3{,}2\cdot 10^{-19}}}\cos 60^0\ \text{м} = 0{,}64\ \text{м}.$$

Пример 19. Цепь, содержащая активное сопротивление R = 20 Ом и индуктивность L = 10 1мГн, подключена к источнику ЭДС. Определить время t, в течение которого сила тока уменьшится в e раз при размыкании цепи (e – основание натурального логарифма).

Решение. При размыкании цепи, содержащей активное сопротивление R, индуктивность L и источник с ЭДС ε сила тока изменяется по экспоненциальному закону

$$I = I_0 e^{-Rt/L}, \qquad (1)$$

где $I_0 = \varepsilon/R$ –установившийся ток в цепи до её размыкания.

Из формулы (1)

$$I_0 / I = e^{Rt/L}. \qquad (2)$$

Для того чтобы выделить время, надо выражение (2) прологарифмировать

$$\ln\frac{I_0}{I} = \frac{Rt}{L}\ln e = \frac{Rt}{L}.$$

Отсюда

$$t = \frac{L}{R}\ln\frac{I_0}{I}$$

Так как по условию $I_0 / I = e$, то $t = L/R$.

Промежуток времени, в течение которого сила тока уменьшается в e раз, называется временем релаксации и обозначается буквой τ – «тау», т. е.

$$\tau = L / R.$$

Выпишем числовые значения величин в СИ, произведем проверку единиц измерения и вычисления.

L = 10 мГн = 0,010 Гн; R =20 Ом.

Сделаем проверку единиц измерения:

$$\text{с} = \text{Гн/Ом} = (\text{В}\cdot\text{с})/(\text{А}\cdot\text{Ом}) = (\text{В}\cdot\text{с})/\text{В} = \text{с}.$$

Произведём вычисления:

$$\tau = 0{,}010/20 \text{ с} = 0{,}00050 \text{ с} = 0{,}50 \text{ мс}.$$

Пример 20. На каком расстоянии l друг от друга необходимо подвесить лампы в теплицах, чтобы освещённость E на поверхности грунта в точке, лежащей посередине между двумя соседними лампами, была не менее 200 лк? Высота теплицы h = 2 м. Сила света каждой лампы I = 800 кд.

Решение. Расстояние l между лампами (рис. 13) определим из формулы прямоугольного треугольника (теорема Пифагора):

$$l = 2a = 2\sqrt{r^2 - h^2}, \qquad (1)$$

где a – половина расстояния между лампами; r – расстояние от лампы до места с минимальной освещённостью; h – высота теплицы.

Будем считать лампу точечным источником света, поскольку её размеры малы по сравнению с расстоянием до точки A, в которой определяется освещенность.

Поэтому найти расстояние r от лампы до точки A можно из формулы освещённости:

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos\alpha ,$$

где I – сила света лампы;

α – угол падения лучей на грунт теплицы.

Из рис. 13 находим, что

$$\cos \alpha = h/r.$$

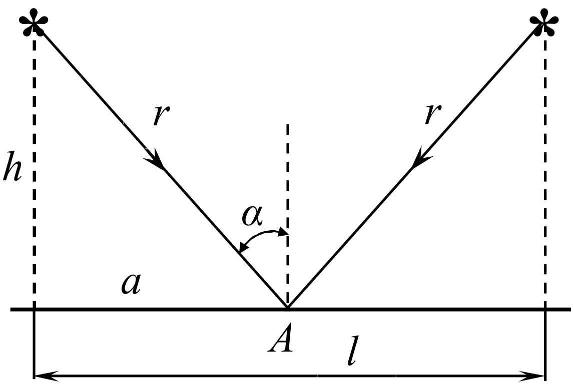


Рис. 13

Тогда $E = I \cdot h / r^3$,

откуда

$$r = \sqrt[3]{I \cdot h / E} \ . \qquad (2)$$

Подставляя выражение (2) в (1), получим:

$$l = 2\sqrt{\left(\sqrt[3]{I \cdot h/E}\right)^2 - h^2} \ . \qquad (3)$$

Выпишем численные значения величин:

E = 200 лк; I = 100 кд; h = 2 м .

Проверим правильность расчётной формулы, сравнив единицы измерения правой и левой частей формулы (3):

$$\text{м} = \sqrt{\left(\sqrt[3]{\frac{\text{кд} \cdot \text{м}}{\text{лк}}}\right)^2 - \text{м}^2} = \sqrt{\left(\sqrt[3]{\frac{\text{кд} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{лм}}}\right)^2 - \text{м}^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\sqrt[3]{\frac{\text{кд} \cdot \text{м}^3}{\text{кд} \cdot \text{ср}}}\right)^2 - \text{м}^2} = \sqrt{\text{м}^2 - \text{м}^2} = \text{м} .$$

Расчётная формула верна, т. к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Подставив числовые значения величин в (3), произведём вычисления:

$$l = \sqrt{\left(\sqrt[3]{800 \cdot 2/100}\right)^2 - 2^2} \ \text{м} = 2{,}32 \text{ м}.$$

Пример 21. Плосковыпуклая стеклянная линза с фокусным расстоянием f = 1 м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете r_5= 1,1 мм. Определить длину световой волны λ , падающей на линзу.

Решение. При освещении нормально падающим светом установки, состоящей из плосковыпуклой линзы, лежащей выпуклой стороной на стеклянной пластинке наблюдается интерференционная картина в виде кривых равной толщины. Места равной толщины прослойки, заключенной между линзой и стеклянной пластинкой, представляют собой окружности радиуса r с центром в точке O, в которой линза касается поверхности стеклянной пластинки (рис. 14).

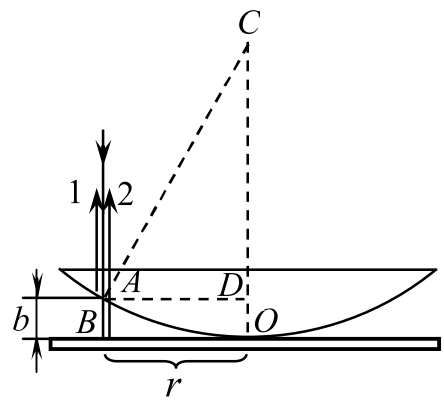


Рис. 14

Световые волны, отражённые от верхней (точка A) и нижней (точка B) границ прослойки, интерферируют между собой. При этом интерференционная картина представляет собой темное пятно (в точке соприкосновения линзы и пластинки), окружённое рядом концентрических темных, и светлых колец.

Между отражёнными волнами 1 и 2 возникает оптическая разность хода

$$\Delta = 2bn + \frac{\lambda_0}{2}, \qquad (1)$$

если показатель преломления n вещества прослойки меньше показателя преломления $n_{\text{ст}}$ стекла. В этом случае луч 2 отражается от среды оптически более плотной ($n_{\text{ст}} > n$), поэтому фаза колебания световой волны в луче 2 изменяется на π, что соответствует добавлению половины длины волны $(\lambda_0/2)$ к оптической длине пути этого луча.

Если показатель преломления вещества прослойки больше показателя преломления стекла ($n > n_{\text{ст}}$), то от оптически более плотной среды отражается луч 1, и при этом фаза колебаний у него изменяется на π. Изменение фазы колебания на противоположную можно учесть, если к оптической длине пути луча 1 прибавить полволны $(\lambda_0/2)$. В этом случае оптическая разность хода лучей 1 и 2:

$$\Delta = 2bn - \frac{\lambda_0}{2},$$

где Δ – оптическая разность хода отраженных световых волн;

b – толщина прослойки между линзой и пластинкой в месте, где наблюдается кольцо;

n – показатель преломления этой прослойки;

λ – длина световой волны, падающей на установку.

Так как в условии задачи о веществе прослойки ничего не сказано,

предположим, что вещество прослойки – воздух (n = 1). Поэтому для рассматриваемого случая справедлива формула (1).

Условием образования темных интерференционных колец в отраженном свете (или светлых колец в проходящем свете) будет соотношение:

$$\Delta = 2bn + \frac{\lambda_0}{2} = (2л + 1)\frac{\lambda_0}{2}, \qquad (3)$$

где k – номер кольца (k = 1; 2; 3; ...).

Из рис. 14 имеем:

$$\text{OD} = \text{OC} - \text{DC}, \quad \text{т. е.} \quad b = R - \sqrt{R^2 - r_k^2}.$$

Отсюда $2bR - b \; = r_k^2$ или, приближенно,

$$b = r_k^2/(2R) \qquad (4)$$

(здесь мы пренебрегаем значением b^2 вследствие малости, $r_k << R$),
где r_k – радиус k-го интерференционного кольца; R – радиус кривизны поверхности линзы.

Подставив выражение для b из (4) в формулу (3), получим:

$$2\frac{r_k^2}{2r}n + \frac{\lambda_0}{2} = (2k+1)\frac{\lambda_0}{2},$$

или

$$r_k^2 = kR\lambda_0/n.$$

Отсюда

$$\lambda_0 = nr_k^2/(kR). \qquad (5)$$

Радиус выпуклой поверхности линзы найдём из формулы тонкой линзы

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{ст}}}{n} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

где f – главное фокусное расстояние линзы; R_1 и R_2 – радиусы кривизны поверхностей линзы; $n_{\text{ст}}/n$ – относительный показатель преломления вещества линзы (стекла) относительно окружающей среды (воздуха).

У плосковыпуклой линзы $R_1 = R$, а $R_2 = \infty$ (радиус кривизны у плоской поверхности). Поэтому

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{ст}}}{n} - 1\right)\frac{1}{R},$$

откуда

$$R = \left(\frac{n_{\text{ст}}}{n} - 1\right)f.$$

Подставив полученное выражение для радиуса кривизны выпуклой поверхности линзы в формулу (5), получим:

$$\lambda_0 = \frac{nr_k^2}{k(n_{\text{ст}}/n - 1)f}. \qquad (6)$$

Выпишем численные значения величин в СИ и, подставив их в формулу (6), произведём вычисления:

$n = 1$; $n_{\text{ст}} = 1{,}5$; $r_k = 1{,}1$ мм $= 1{,}1 \cdot 10^{-3}$ м; $k = 5$; $f = 1$ м.

$$\lambda_0 = \frac{1 \cdot \left(1{,}1 \cdot 10^{-3}\right)^2}{5 \cdot (1{,}5.1 - 1) \cdot 1} \text{ м} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0{,}5 \text{ мкм}.$$

Пример 22. Определить число штрихов на 1 мм дифракционной решётки, если при нормальном падении света длиной волны $\lambda = 600$ нм решётка дает первый максимум на расстоянии $l = 3{,}3$ см от центрального. Расстояние от решётки до экрана $L = 110$ см.

Решение. Число штрихов N на 1 мм решётки определим по формуле

$$N=1/d,$$

где d – период решётки, который найдем из условия главных максимумов:

$$d\sin\varphi = k\lambda\ ,$$

где φ – угол, под которым наблюдается k-й максимум;

k – номер (порядок) максимума;

λ – длина волны света.

Поскольку для максимума 1-го порядка угол φ мал, можно принять (см. рис. 15):

$$\sin\varphi \approx \mathrm{tg}\varphi = \frac{l}{L},$$

где L – расстояние от дифракционной решётки до экрана; l – расстояние от центрального до k-го максимума.

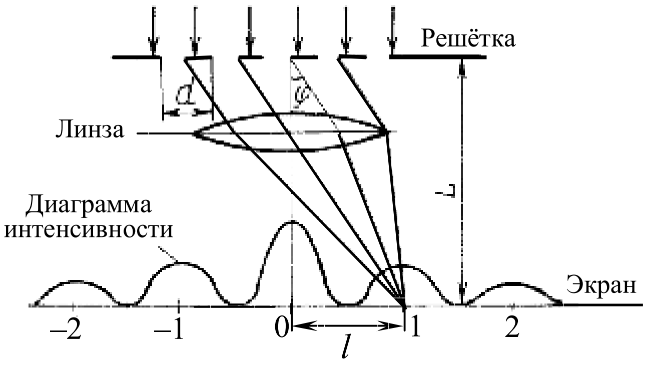


Рис. 15

Тогда постоянная решётки будет равна

$$d = k\lambda L / l$$

откуда $\quad N = \dfrac{l}{k\lambda L}.$

Выпишем численные значения величин, выразив их в СИ, и, подставив их в расчётную формулу, произведем вычисления:

l=3,3·10^{-2} м; $\quad L$=1,1 м; $\quad k$=1; $\quad \lambda$=6·10^{-7} м;

$$N = \frac{3{,}3\cdot10^{-2}}{1\cdot6\cdot10^{-7}\cdot1{,}1}\ \frac{1}{\text{м}} = 50000\ \text{м}^{-1} = 50\ \text{мм}^{-1}.$$

Пример 23. Определить концентрацию C сахарного раствора, если при прохождении света через трубку с этим раствором длиной l=20 см плоскость поляризации света поворачивается на угол φ = 10°. Удельное вращение раствора сахара [α] = 0,6 град/(дм·проц).

Решение. Угол поворота плоскости поляризации при прохождении света через раствор оптически активного вещества

$$\varphi = [\alpha]\cdot C\cdot l\ .$$

Отсюда концентрация раствора

$$C = \frac{\varphi}{[\alpha]\cdot l}\ ,$$

где [α] – удельное вращение сахара в растворе;

l – толщина раствора (длина трубки).

Выпишем численные значения величин:

l=20 см =2 дм; φ=10°; $[\alpha]$=0,6 град/(дм·проц) .

Проверим правильность расчетной формулы анализом единиц измерения:

$$\% = \frac{\text{град}}{\text{град/(дм} \cdot \text{проц)} \cdot \text{дм}} = \%.$$

Произведём вычисления:

$$C = \frac{10}{0{,}6 \cdot 2}\% = 8{,}33\%.$$

Пример 24. Максимум энергии излучения абсолютно черного тела при некоторой температуре приходится на длину волны λ_m= 1мкм. Вычислить энергетическую светимость тела при этой температуре и энергию, излучаемую с площади S = 300 см^2 поверхности тела за время t = 1 мин.

Решение. Энергетическую светимость абсолютно черного тела определим из закона Стефана — Больцмана:

$$R_e = \sigma \cdot T^4 \ ,$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана;

T – термодинамическая температура тела.

Из закона смещения Вина

$$\lambda_m = b/T$$

определим термодинамическую температуру:

$$T = b/\lambda_m,$$

где b – постоянная Вина; λ_m – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения при температуре T.

С учетом этого получаем:

$$R_e = \sigma\left(b/\lambda_m\right)^4.$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

σ = 5,67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4); b = 2,89·10^{-3} м·К; λ_m = 10^{-6} м.

Проверим правильность расчетной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{Вт/м}^2 = \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4) \cdot \text{(м} \cdot \text{К)/м} = \text{Вт/м}^2.$$

Произведем вычисления:

$$R_e = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{2{,}89 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}}\right)^4 \text{ Вт/м}^2 = 3{,}95 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2 = 3{,}95 \text{ МВт/м}^2 .$$

Энергия, излучаемая с площади S поверхности тела за время t:

$$W = R_e \cdot S \cdot t\ .$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

R_e = 3,95·10^6 Вт/м^2; S = 300 см^2 = 3·10^{-2} м^2; t = 1 мин = 60 с.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{Дж} = (\text{Вт/м}^2)\cdot\text{м}^2\cdot\text{с} = \text{Вт}\cdot\text{с} = (\text{Дж/с})\cdot\text{с} = \text{Дж}.$$

Произведём вычисления:

$$W=3{,}95\cdot10^{6}\cdot3\cdot10^{-2}\cdot60 \text{ Дж} = 7{,}1\cdot10^{6} \text{ Дж} = 7{,}1 \text{ МДж}.$$

Пример 25. Определить кинетическую энергию и скорость фотоэлектронов при облучении натрия лучами длиной волны $\lambda = 400$ нм, если красная граница фотоэффекта для натрия $\lambda_0 = 600$ нм.

Решение. Кинетическую энергию фотоэлектронов определим из уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}, \qquad (1)$$

где h – постоянная Планк; ν – частота света; A – работа выхода электрона из металла; $W_к = m\upsilon^2/2$ – кинетическая энергия фотоэлектронов; m – масса электрона; υ – его скорость.

Отсюда $$W_к = \frac{m\upsilon^2}{2} = h\nu - A.$$

Частота света $$\nu=c/\lambda,$$

где λ – длина волны падающего света; c – скорость света в вакууме.

Поэтому

$$W_к = \frac{hc}{\lambda} - A. \qquad (2)$$

Если поверхность металла освещать лучами частотой ν_0, соответствующей “красной границе” фотоэффекта, то кинетическая энергия фотоэлектронов равна нулю, и формула (1) примет вид:

$$h\nu_0=A.$$

Отсюда работа выхода $$A = h\nu_0,$$
или же

$$A = hc/\lambda_0, \qquad (3)$$

где λ_0 – красная граница фотоэффекта, т. е. максимальная длина волны, при которой ещё возможен фотоэффект.

Подставим в (2) выражение (3) и получим:

$$W_к = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0} = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right). \qquad (4)$$

Выпишем численные значения величин в СИ:
$h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с; $c = 3\cdot10^{8}$ м/с; $\lambda = 4\cdot10^{-7}$ м; $\lambda_0 = 6\cdot10^{-7}$ м.

Проверим единицы измерения правой и левой частей формулы (4):

$$Дж = Дж \cdot с \cdot м/с \cdot 1/м = Дж.$$

Расчётная формула верна, т. к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$W_к = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8} \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{6 \cdot 10^{-7}}\right) \text{ Дж} = 1{,}67 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Из формулы $W_к = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$ определяем скорость фотоэлектронов:

$$\upsilon = \sqrt{2W_к / m}.$$

Масса электрона $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Произведём вычисления:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-19}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} \text{ м/с} = 6{,}06 \cdot 10^{5} \text{ м/с} = 606 \text{ км/с}.$$

Пример 26. Определить энергию, массу и импульс фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона с третьего энергетического уровня на первый, а также длину электромагнитной волны, соответствующую этому фотону, и радиус третьей орбиты.

Решение. Переход электрона в атоме водорода с отдаленной орбиты на внутреннюю (из возбужденного состояния в менее возбужденное) связан с излучением фотона (кванта энергии):

$$\varepsilon = h\nu = hc/\lambda, \qquad (1)$$

где ε – энергия фотона; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; ν и λ – частота и длина волны, соответствующие фотону с энергией ε.

Длина волны излучаемого света связана с номерами орбит (с номерами энергетических состояний) соотношением:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2}\right),$$

где R – постоянная Ридберга;

n_i – номер энергетического уровня, на который переходит электрон;

n_k – номер энергетического уровня, с которого уходит электрон.

Согласно закону пропорциональности энергии и массы

$$\varepsilon = mc^2,$$

где m – масса фотона; c – скорость света в вакууме.

Масса фотона $\qquad m = \varepsilon/c^2. \qquad (2)$

Импульс фотона $\qquad p = mc.$

Из условия квантования электронных орбит по Бору (момент импульса электрона на орбите кратен отношению $h/(2\pi)$

$$m_e\upsilon r = nh/(2\pi)$$

выделим орбитальную скорость электрона

$$\upsilon = n\frac{h}{2\pi m_e r} \ ,$$

где n – номер электронной орбиты (главное квантовое число);

υ – скорость электрона на n-ой орбите; m_e – масса электрона;

r – радиус n-ой электронной орбиты в атоме водорода.

Сила электрического притяжения электрона к атомному ядру (к протону)

$$F = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

является центростремительной $F_ц = m_e\upsilon^2 / r$, то есть

$$F{=}F_ц \qquad \text{или} \qquad \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{m_e\upsilon^2}{r} \ ,$$

где ε_0 – электрическая постоянная; e – заряд электрона.

Подставим в последнюю формулу выражение для скорости υ электрона и преобразуем полученное выражение относительно радиуса орбиты r :

$$r = n^2\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} \ . \qquad (3)$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

$h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с; $R = 1{,}1\cdot10^{7}$ м$^{-1}$; $n_k = 3$; $n_i = 1$; $c = 3\cdot10^{8}$ м/с;
$n = 3$; $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг; $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м .

Проверим единицы измерения правой и левой частей расчётных формул (1), (2) и (3):

$$\text{Дж} = \frac{\text{Дж}\cdot\text{с}\cdot\text{м/с}}{\text{м}} = \text{Дж},$$

$$\text{кг}{=}\text{Дж/(м/с)}^2{=}\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2}{\text{м}^2/\text{с}^2}{=}\text{кг},$$

$$\text{м} = \frac{\text{Ф/м}\cdot\text{Дж}^2\cdot\text{с}^2}{\text{кг}\cdot\text{Кл}^2} = \frac{\text{Ф}\cdot\text{Дж}\cdot\text{Дж}\cdot\text{с}^2}{\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{Кл}^2} = \frac{\text{Кл/В}\cdot\text{Кл}\cdot\text{В}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2\cdot\text{с}^2}{\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{Кл}^2} = \text{м}.$$

Расчётные формулы верны, т. к. единицы измерения левой и правой частей формул одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\frac{1}{\lambda} = 1{,}1\cdot10^7\cdot\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{3^2}\right)\ \text{м}^{-1} = 9{,}77\cdot10^6\ \text{м}^{-1};$$

$$\lambda = 1/(9{,}77\cdot10^6)\ \text{м} = 1{,}02\cdot10^{-7}\ \text{м} = 102\ \text{нм}.$$

Тогда энергия излучаемого фотона

$$\varepsilon = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{1{,}02 \cdot 10^{-7}} \text{ Дж}=1{,}95\cdot 10^{-18} \text{ Дж}= \frac{1{,}95 \cdot 10^{-18}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ} = 12{,}2 \text{ эВ};$$

масса фотона $m = \dfrac{1{,}95 \cdot 10^{-18}}{(3 \cdot 10^{8})^{2}}$ кг = $2{,}17\cdot 10^{-35}$ кг;

его импульс $p = 2{,}17\cdot 10^{-35}\cdot 3\cdot 10^{8}$ кг·м/с = $6{,}51\cdot 10^{-27}$ кг·м/с.

Радиус третьей электронной орбиты в атоме водорода

$$r = 3^{2} \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot (6{,}63 \cdot 10^{-34})^{2}}{3{,}14 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot (1{,}6 \cdot 10^{-19})^{2}} \text{ м} =4{,}8\cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Пример 27. Параллельный пучок монохроматических лучей длиной волны λ = 663 нм падает на зачернённую поверхность и производит на неё давление p= 0,3 мкПа. Определить концентрацию фотонов в световом пучке.

Решение. Давление света на поверхность

$$p = \frac{E}{cSt}(1+\rho),$$

где E – световая энергия, падающая на поверхность S за время t;

c – скорость света в вакууме;

ρ – коэффициент отражения света поверхностью.

Энергия, переносимая световыми лучами, равна произведению энергии фотона ε и количества N фотонов, падающих на указанную поверхность за время t:

$$E=\varepsilon\cdot N.$$

Энергия фотона $\varepsilon=hc/\lambda$,

где h – постоянная Планка; λ – длина волны света.

Все N фотонов находятся в объёме пространства $V=cSt$. Поэтому концентрация фотонов в световом пучке $N'=N/V=N/(cSt)$.

С учётом изложенного, световое давление

$$p = \frac{hcN'}{\lambda}(1+\rho).$$

Концентрация фотонов в световом пучке

$$N' = \frac{p\lambda}{hc(1+\rho)} .$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

P = 0,3 мкПа = $3\cdot 10^{-7}$ Па; λ = 663 нм = $6{,}63\cdot 10^{-7}$ м; h = $6{,}63\cdot 10^{-34}$ Дж·с; $c = 3\cdot 10^{8}$ м/с; $\rho = 0$ (поверхность зачернённая).

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{м}^{-3} = \frac{\text{Па}\cdot\text{м}}{\text{Дж}\cdot\text{с}\cdot\text{м/с}} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2\cdot\text{Н}\cdot\text{м}} = \frac{1}{\text{м}^3} = \text{м}^{-3}.$$

Расчётная формула верна, т. к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведем вычисления:

$$N' = \frac{3\cdot 10^{-7}\cdot 6{,}63\cdot 10^{-7}}{6{,}63\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}\cdot(1+0)}\ \text{м}^{-3} = 10^{12}\ \text{м}^{-3}.$$

Пример 28. Определить активность радиоактивного препарата магния ${}^{27}_{12}Mg$ через 6 часов, если его начальная активность A_0=5,13·10^{12} Бк, а период полураспада $T_{1/2}$ =10 мин.

Решение. По закону радиоактивного распада в дифференциальной форме

$$\mathrm{d}N = -\lambda N\mathrm{d}t,$$

где dN – количество радиоактивных ядер, распавшихся за промежуток времени dt;

N – количество ядер в начале этого промежутка времени;

λ – постоянная радиоактивного распада данного радионуклида.

Активность радиоактивного препарата

$$A = \left|\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}\right| = \lambda N.$$

Уменьшение с течением времени количества радиоактивных ядер вследствие распада происходит по закону

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

где N_0 – начальное количество радиоактивных ядер;

N – количество радиоактивных ядер, оставшихся по истечении времени t;

e – основание натуральных логарифмов.

Умножив правую и левую части равенства на λ, получим

$$A = A_0 e^{-\lambda t},$$

где $A_0 = \lambda N_0$ – начальная активность радиоактивного препарата,

$A = \lambda N$ – активность препарата в момент времени t.

Постоянная радиоактивного распада $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$,

где $T_{1/2}$ – период полураспада данного радионуклида.

Учитывая, что $e^{\ln 2} = 2$,

а $$e^{-\lambda t} = e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}}t} = e^{\ln 2\left(-\frac{t}{T_{1/2}}\right)} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = \frac{1}{2^{t/T_{1/2}}},$$

можно записать: $$A = \frac{A_0}{2^{t/T_{1/2}}}.$$

Выпишем численные значения величин:

$A_0 = 5{,}13 \cdot 10^{12}$ Бк; t = 6 час = 360 мин; $T_{1/2}$ = 10 мин.

Произведем вычисления:

$$A = 5{,}13 \cdot 10^{12} / 2^{360/10} \text{ Бк} = 74{,}7 \text{ Бк}.$$

Пример 39. Дописать ядерную реакцию ${}^3_1\mathrm{H} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^3_2\mathrm{He} + ?$. Найти энергию этой реакции. Выделяется или поглощается энергия?

Решение. При ядерных реакциях соблюдаются законы сохранения зарядовых и массовых чисел атомных ядер. В соответствии с этими законами сумма зарядовых (массовых) чисел частиц, вступивших в реакцию, равна сумме зарядовых (массовых) чисел продуктов ядерной реакции. Зарядовые и массовые числа, обычно, пишутся в виде индексов слева от символа химического элемента или частицы: зарядовое число – внизу, а массовое число – вверху. В данной ядерной реакции сумма зарядовых чисел частиц до реакции равна 2. Зарядовое число ядра атома гелия, образовавшегося в результате реакции тоже равно 2. Значит вторая частица, образовавшаяся в результате реакции, имеет заряд равный нулю (нейтральная частица, так как 1+1=2+0).

Сумма массовых чисел частиц до реакции равна 4. Массовое число ядра данного изотопа гелия равно 3. Значит массовое число неизвестной частицы равно единице (3+1=3+1).

Таким образом, второй частицей – продуктом ядерной реакции является частица с зарядовым числом, равным нулю, и массовым числом, равным единице. Это нейтрон. Заданная ядерная реакция должна быть записана следующим образом:

$${}^3_1\mathrm{H} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^3_2\mathrm{He} + {}^1_0\mathrm{n}\ .$$

Энергетический выход ядерной реакции определяется по закону пропорциональности массы и энергии:

$$\Delta E = 931 \cdot \Delta m\ , \qquad (1)$$

где Δm – изменение массы при ядерной реакции, то есть разность между суммой масс частиц, вступивших в реакцию, и суммой масс частиц, образовавшихся в результате реакции (в а.е.м.).

А именно,

$$\Delta m = (m_{{}^3_1\mathrm{H}} + m_{{}^1_1\mathrm{H}}) - (m_{{}^3_2\mathrm{He}} + m_n). \qquad (2)$$

где $m_{{}^3_1\mathrm{H}}$, $m_{{}^1_1\mathrm{H}}$, $m_{{}^3_2\mathrm{He}}$ и m_n – соответственно массы атомов трития, простого водорода, гелия и масса нейтрона соответственно.

Подставив выражение (2) в формулу (1) получим:

$$\Delta E = 931\left[(m_{{}^3_1\mathrm{H}} + m_{{}^1_1\mathrm{H}}) - (m_{{}^3_2\mathrm{He}} + m_n)\right].$$

Выпишем численные значения масс атомов и нейтрона, взяв их из таблиц 10 и 11:

$$m_{{}^3_1\mathrm{H}} = 3{,}01605 \text{ а.е.м.}; \qquad m_{{}^1_1\mathrm{H}} = 1{,}00783 \text{ а.е.м.};$$

$$m_{{}^3_2\mathrm{He}} = 3{,}01603 \text{ а.е.м.}; \qquad m_n = 1{,}00867 \text{ а.е.м.}$$

Подставив эти значения величин в формулу (1), получим:

$\Delta E = 931[(3{,}01605+1{,}00783) - (3{,}01603+1{,}00867)] = -\,0{,}847$ (МэВ).

Энергетический выход рассматриваемой ядерной реакции отрицательный. Это говорит о том, что суммарная энергия продуктов реакции больше, чем общая энергия частиц, вступивших в реакцию; а значит, ядерная энергия идет с поглощением энергии.

ТАБЛИЦЫ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

1. Основные физические величины (значения округленные)

Физическая величина	Обозначение	Численное значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с^2
Гравитационная постоянная	G	$6{,}67\cdot10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Постоянная Авогадро	N_A	$6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К
Заряд электрона, протона	e	$1{,}60\cdot10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9{,}11\cdot10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	m_p	$1{,}67\cdot10^{-27}$ кг
Постоянная Фарадея	F	$9{,}65\cdot10^{4}$ Кл/моль
Скорость света в вакууме	C	$3\cdot10^{8}$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4)
Постоянная Вина	b	$2{,}9\cdot10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1{,}1\cdot10^{7}$ м$^{-1}$
Электрическая постоянная	ε_0	$8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м

1. Некоторые астрономические величины

Наименование	Численное значение	Наименование	Численное значение
Масса Солнца	$1{,}98\cdot10^{30}$ кг	Среднее расстояние между центрами Солнца и Земли	$1{,}5\cdot10^{11}$ м
Масса Земли	$5{,}96\cdot10^{24}$ кг	Среднее расстояние между центрами Земли и Луны	$3{,}84\cdot10^{8}$ м
Масса Луны	$7{,}35\cdot10^{22}$ кг		
Период обращения Луны вокруг Земли	27 сут 7 ч 43 мин		

2. Молярная масса и относительная молекулярная масса газов

Газ	Молярная масса M, кг/моль	Относительная молекулярная масса M_r
Азот	$28\cdot10^{-3}$	28
Водород	$2\cdot10^{-3}$	2
Водяной пар	$18\cdot10^{-3}$	18
Воздух	$29\cdot10^{-3}$	29
Гелий	$4\cdot10^{-3}$	4
Кислород	$32\cdot10^{-3}$	32
Неон	$20\cdot10^{-3}$	20
Углекислый газ	$44\cdot10^{-3}$	44

3. Зависимость плотности сухого воздуха от температуры

Температура, °C	Плотность, кг/м^3	Температура, °C	Плотность, кг/м^3
–20	1,418	10	1,247
–20	1,342	20	1,208
0	1,293	30	1,165

4. Коэффициенты поверхностного натяжения жидкостей (КПН)

Жидкость	КПН, мН/м	Жидкость	КПН, мН/м
Вода	72	Ртуть	500
Мыльная пена	40	Спирт	22

6. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м	Газ	Диаметр, м
Азот	$3{,}0\cdot 10^{-10}$	Гелий	$1{,}9\cdot 10^{-10}$
Водород	$2{,}3\cdot 10^{-10}$	Кислород	$2{,}7\cdot 10^{-10}$
		Углекислый газ	$3{,}5\cdot 10^{-10}$

7. Коэффициенты теплопроводности (Дж/(м·с·К)

Вещество	Коэффициент	Вещество	Коэффициент
Песок	0,671	Кирпич	0,71
Почва (суглинистая)	1,01	Бетон	0,817
		Лёд	2,10

8. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Парафин	2,0
Масло трансфор-маторное	2,2	Стекло	7,0

9. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Стекло	1,33	Стекло	1,50

10. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а. е. м.	Дж	МэВ
Электрон	$9{,}11\cdot 10^{-31}$	0,00055	$8{,}16\cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1{,}672\cdot 10^{-27}$	1,00728	$1{,}50\cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1{,}675\cdot 10^{-27}$	1,00867	$1{,}51\cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3{,}35\cdot 10^{-27}$	2,01355	$3{,}00\cdot 10^{-10}$	1876
α -частица	$6{,}64\cdot 10^{-27}$	4,00149	$5{,}96\cdot 10^{-10}$	3733

11. Массы нейтральных атомов некоторых изотопов, а. е. м.

Водород $^{1}_{1}H$	1,00783	Бор $^{10}_{5}B$	10,01294
Водород $^{2}_{1}H$	2,01410	Углерод $^{12}_{6}C$	12,00000
Водород $^{3}_{1}H$	3,01605	Углерод $^{13}_{6}C$	13, 00335
Гелий $^{3}_{2}He$	3,01603	Углерод $^{14}_{6}C$	14,00324
Гелий $^{4}_{2}He$	4,00260	Азот $^{13}_{7}N$	13,00574
Литий $^{6}_{3}Li$	6,01513	Азот $^{14}_{7}N$	14,00307
Литий $^{7}_{3}Li$	7,01601	Полоний $^{210}_{84}Po$	209,88297

12. Основные, дополнительные и производные единицы Международной системы единиц (СИ)

Наименование величины	Наименование единицы	Обозначение единицы	Выражение через основные и дополнительные единицы
1	2	3	4
	Основные единицы		
Длина	метр	м	
Масса	килограмм	кг	
Время	секунда	с	
Сила электрического тока	ампер	А	
Термодинамическая температура	кельвин	К	
Количество вещества	моль	моль	
Сила света	кандела	кд	
	Дополнительные единицы		
Плоский угол	радиан	рад	
Телесный угол	стерадиан	ср	
	Производные единицы		
Частота	герц	Гц	с$^{-1}$
Частота вращения	ссекунда в минус первой степени	с$^{-1}$	с$^{-1}$
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	с$^{-1}$·рад
Угловое ускорение	радиан в секунду в квадрате	рад/с^{2}	с$^{-2}$·рад
Сила, вес	ньютон	Н	м·кг·с$^{-2}$

1	2	3	4
Момент инерции	килограмм-метр в квадрате	$кг \cdot м^2$	$м^2 \cdot кг$
Импульс (количество движения)	килограмм-метр в секунду	$кг \cdot м/с$	$м \cdot кг \cdot с^{-1}$
Момент импульса (момент количества движения)	килограмм-метр в квадрате на секунду	$кг \cdot м^2/с$	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-1}$
Момент силы, момент пары сил	ньютон-метр	$Н \cdot м$	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$
Импульс силы	ньютон-секунда	$Н \cdot с$	$м \cdot кг \cdot с^{-1}$
Давление, механическое напряжение	паскаль	Па	$м^{-1} \cdot кг^2 \cdot с^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$
Мощность, поток энергии	ватт	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$
Удельная теплоёмкость	джоуль на килограмм-кельвин	$Дж/(кг \cdot К)$	$м^2 \cdot с^{-2} \cdot К^{-1}$
Вязкость (динамическая)	Паскаль-секунда	$Па \cdot с$	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-1}$
Количество электричества (электрический заряд)	кулон	Кл	$с \cdot А$
Электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила	вольт	В	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$
Напряжённость электрического поля	вольт на метр	В/м	$м \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$
Электрическая ёмкость	фарад	Ф	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^4 \cdot А^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ом	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Удельное сопротивление	Ом-метр	$Ом \cdot м$	$м^3 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Удельная проводимость	сименс на метр	См/м	$м^{-3} \cdot кг^{-1} \cdot с^3 \cdot А^2$
Магнитная индукция	тесла	Тл	$кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Магнитный поток	вебер	Вб	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Напряжённость магнитного поля	ампер на метр	А/м	$м^{-1} \cdot А$
Индуктивность	генри	Гн	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-2}$
Магнитная постоянная	генри на метр	Гн/м	$м \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-2}$
Световой поток	люмен	лм	$кд \cdot ср$
Освещённость	люкс	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Энергетическая светимость (излучательность)	ватт на квадратный метр	$Вт/м^2$	$кг \cdot с^{-3}$

Окончание таблицы

1	2	3	4
Спектральная плотность энергетической светимости (излучательности)	ватт на кубический метр	Вт/м^3	м$^{-1}$·кг·с$^{-3}$
Активность изотопа	беккерель	Бк	с$^{-1}$
Поглощенная доза излучения	грей	Гр	м^2·с$^{-2}$

Примечания:

1. Кроме температуры Кельвина (обозначение *T*) допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением $t=T-T_0$, где T_0=273,15 К. Температура Кельвина выражается в Кельвинах, температура Цельсия – в градусах Цельсия (обозначение международное и русское °С). По размеру градус Цельсия равен Кельвину.
2. Интервал или разность температур Кельвина выражают в кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в Кельвинах, так и в градусах Цельсия.

13. Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка		Отношение к основной единице	Приставка		Отношение к основной единице
наименование	обозначение		наименование	обозначение	
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пета	П	10^{15}	санти	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^{9}	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^{6}	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^{3}	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^{2}	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^{1}	атто	а	10^{-18}

14. Греческий и латинский алфавиты

Алфавит греческий	Алфавит латинский
Α, α – альфа	*A, a* – а
Β, β – бета	*B, b* – бе
Γ, γ – гамма	*C, c* – це
Δ, δ – дельта	*D, d* –- де
Ε, ε – эпсилон	*E, e* – е
Ζ, ζ – дзета	*F, f* – эф
Η, η – эта	*G, g* – же (ге)
Θ, θ, ϑ – тета	*H, h* – аш
Ι, ι – иота	*I, i* – и
Κ, ι – каппа	*J, j* – йот
Λ, λ – ламбда	*K, k* – ка
Μ, μ – ми (мю)	*L, l* – эль
Ν, ν – ни (ню)	*M, m* – эм
Ξ, ξ – кси	*N, n* – эн
Ο, ο – омикрон	*O, o* – о
Π, π – пи	*P, p* – пэ
Ρ, ρ – ро	*Q, q* – ку
∑, σ, ς – сигма	*R, r* – эр
Τ, τ – тау	*S, s* – эс
ϒ, υ – ипсилон	*T, t* – тэ
Φ, φ – пси	*U, u* – у
Ω, ω – омега	*V, υ* – ве
	W, ϖ – дубль-ве
	X, x – икс
	Y, y – игрек
	Z, z – зет

Приложение 3

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

ФГОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет ____

Специальность ____

Курс __________ Шифр ____________

Студент ____
(фамилия, имя, отчество)

участвует в сессии с _____________________________________
(дата)

КОНТРОЛЬНАЯ / КУРСОВАЯ РАБОТА № __________

по ____
(наименование дисциплины)

кафедра ____

Дата регистрации работы:

кафедрой ____

Заполненный бланк обязательно наклеивается на лицевую сторону работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКА

Составители
Махмутов Мансур Магфурович
Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет энергетики и охраны водных ресурсов

Кафедра физики и прикладной информатики

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО
ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И
ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Студентам 1*, 1, 2 курсов направления подготовки бакалавров
110800 – “Агроинженерия”,
230400 – “Информационные системы и технологии”,
280100 – “Природообустройство и водопользование”,
190600 – “Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов”

Москва 2011

Составители: профессор А.Ф.Толстой (задачи 1-3, 100-160), доцент О.А.Липа (раздел 3.4, задачи 5-41, 85-98 и приложение), доцент М.М.Махмутов (раздел 1, п. 1.2, раздел 2, п. 2.1, задачи 4, 99), преподаватель Г.Г.Рамазанова (раздел 1, п.1.1, 1.3; раздел 2, п. 2.2, 2.3, 2,4, задачи 42-84)

УДК 53(075)

Физика: Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольных работ/Рос. гос. аграр. заоч. ун-т; Сост. А.Ф.Толстой, О.А.Липа, М.М. Махмутов, Г.Г. Рамазанова. М., 2011. 99 с.

Предназначены для студентов 1*, 1, 2 курсов

Утверждены методической комиссией Э и ОВР факультета

Рецензенты: к.т.н., профессор С.Г. Аббасов (ФГОУ ВПО РГАЗУ)
д.т.н., профессор В.И.Славкин (ФГОУ ВПО РГАЗУ)

Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «ФИЗИКА» относится к базовой (обязательной) части математического и естественнонаучного цикла ООП. Методические указания по данной дисциплине составлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, утвержденного Министерством образования и науки РФ от 9 ноября 2009 г. №552 по направлению подготовки 110800 «Агроинженерия»,от 14 января 2010 г.№25 по направлению подготовки 230400 «Информационные системы и технологии», от 21 декабря 2009 г. №776 по направлению подготовки 280100 «Природообустройсто и водопользование», от 8 декабря 2009 г.№706 по направлению подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и рабочими учебными планами, утвержденными ученым советом ФГОУ ВПО РГАЗУ 26.01.2011 г.

1.1. Цели и задачи дисциплины

Курс физики является основой для получения студентами естественнонаучных знаний.

Цель курса – изучение студентами основных современных представлений человека об окружающем мире, овладение фундаментальными понятиями, теориями и законами, методами физического исследования и анализа полученных результатов, усвоение методов и приёмов решения задач из различных областей физики и техники.

Задачи курса – овладение знаниями о физических явлениях и их применение к пониманию процессов, протекающих в природе и технике.

В результате изучения дисциплины студент **должен**:

обладать компетенциями

- владением культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);
- осознанием социальной значимости своей будущей профессии, обладание высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-7);
- способностью решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и тепломассообмена; знанием устройства гидравлических машин и теплотехнического оборудования (ПК-3);
- способностью проводить и оценивать результаты измерений (ПК-4);

знать

- основные положения классической и современной физики;
- закономерности протекания физических явлений в технике и в природе;

- основы физических методов измерений;
- основы теории погрешностей;
- основы применения физических теорий в технике;

уметь

- применять знания физических явлений, законы физики, методы физических исследований в практической деятельности;
- пользоваться современной научной аппаратурой, выполнять простейшие экспериментальные научные исследования различных физических явлений и оценивать погрешности измерений;
- решать конкретные задачи из различных областей физики.

владеть

навыками решения конкретных задач из различных областей физики, помогающих решать инженерные задачи, а также начальными навыками проведения экспериментальных исследований различных физических явлений.

1.2. Библиографический список

Основной

1. Грабовский Р.И. Курс физики. - СПб.: Лань, 2009.

2. Шеин Е. В. Агрофизика: учеб. для вузов /Е.В. Шеин, В.М. Гончаров.-Ростов н/Д: Феникс,2006.-397с., 30

3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 2006.

4. Дмитриева В. Ф. Физика: программа, метод. указания и контрольные задания для вузов/В.Ф. Дмитриева, В.А. Рябов, В.М. Гладской.-4-е изд., перераб. и доп.-М.: Высш. шк., 2007.-126с.

Дополнительный

5. Детлаф А.А., Курс физики: учеб.пособие для вузов/А.А. Детлаф,Б.М. Яворский.-7-е изд.,стер.-М.:академия,2008. - 720с.:ил.

6. Фриш С.Э. Курс общей физики: в 3-х т.: учебник / С.Э.Фриш, А.В. Тиморева. - 12-е изд., стер. - СПб: Лань. -Т. 1: Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны.-2007.-470с.

7. Трофимова Т.И., Сборник задач по курсу физики с решениями. – М., Высш. шк., 2006, … 2010.

1.3. Распределение учебного времени по модулям и темам дисциплины

Таблица 1

Направлениям подготовки бакалавров 190600, 110800, 230400, 280100-5(3) лет

5.1. Модули (разделы) дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование модуля и тем дисциплины	Всего часов	Лекции	Лабораторные, практические зан.ятия	Самостоятельные работы
1	2	3	4	5	6
	1 курс				
1.	***Модуль 1 «Физические основы механики»***	**16(40)**			**10(28)**
	Тема 1.1. Кинематика поступательного и вращательного движений материальной точки. Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела	2(6)	1(1)	2(2)	1(4)
		2(6)			1(4)
	Тема 1.2. Фундаментальные взаимодействия и виды сил	2(4)			1(8)
	Тема 1.3. Энергия. Работа. Энергия механической системы. Закон сохранения и превращения энергии	2(6)			2(4)
	Тема 1.4. Элементы динамики вращательного движения. Принцип относительности в механике.	4(6)	1(1)	2(2)	2(2)
		2(4)			1(2)
	Тема 1.5. Элементы релятивистской динамики. Элементы механики сплошных сред	1(4)			1(2)
		1(4)		2	1(2)
2.	***Модуль 2 «Механические колебания и волны в упругих средах»***	**16(14)**			**12(20)**
	Тема 2.1. Гармонические колебания. Метод векторных диаграмм. Понятие о математическом и физическом маятниках.	6(4)	1		4(8)
	Тема 2.2. Свободные, затухающие и вынужденные гармонические колебания. Явления резонанса.	4(4)			4(6)
	Тема 2.3. Волны. Виды волн. Уравнение, график и основные характеристики волнового процесса.	6(6)			4(6)
1	2	3	4	5	6
3	***Модуль 3 «Молекулярная физика и термодинамика»***	**16(36)**			**16(38)**
	Тема 3.1. Термодинамический метод исследования	1(0,75)	1(1)	2(2)	0,75(4)
	Тема 3.2. Экспериментальные газовые законы	2(1,25)			1,25(3)
	Тема 3.3. Основы статистической механики	8(8)			8(10)
	Тема 3.4. Термодинамика	2(16)	1(1)	2	6(12)
	Тема 3.5. Фазы и условия равновесия фаз	3(10)			10(9)
4	***Модуль 4 «Электричество»***	**20(40)**			**20(34)**
	Тема 4.1. Основы электростатики	10(20)	1(1)		10(22)
	Тема 4.2. Постоянный электрический ток	10(20)		2(2)	10(12)
	2 курс				

5	***Модуль 5 «Магнетизм»***	**20(60)**			**20(42)**
	Тема 5.1. Магнитное поле в вакууме	2(22)		2	2(12)
	Тема 5.2. Магнитное поле в веществе	4(8)	2(1)		4(10)
	Тема 5.3. Переменный ток	4(15)		2(2)	4(10)
	Тема 5.4. Электромагнитное поле	6(5,5)			6(4)
	Тема 5.5. Электромагнитные колебания и волны	4(9,5)			4(6)
6	***Модуль 6 «Волновая оптика»***	**36(46)**			**36(50)**
	Тема 6.1. Интерференция света	10(11)		2(2)	10(12)
	Тема 6.2. Дифракция света	6(13)	2(1)		6(14)
	Тема 6.3. Оптически неоднородная среда. Дисперсия света	4(8)			4(8)
	Тема 6.4. Поглощение и рассеяние света	8(6)	1(1)		8(6)
	Тема 6.5. Поляризация света	8(8)		2	8(10)
7	***Модуль 7 «Квантовая физика»***	**16(84)**			**12(90)**
	Тема 7.1. Квантовая природа излучения. Фотоны	4(19)			4(23)
	Тема 7.2. Корпускулярно-волновой дуализм	4(5)			2(5)
	Тема 7.3. Уравнение Шрёдингера	2(12)	3(1)		2(12)
	Тема 7.4. Атом	4(13)			4(15)
	Тема 7.5. Элементы физики твердого тела	6(20)			6(20)
	Тема 7.6. Атомное ядро	4(15)			2(15)
8	***Модуль 8 «Современная физическая картина мира»***	**4**	2(1)		**4**

Примечание: в скобках указаны часы для студентов с сокращенным сроком обучения.

Раздел 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ИЗУЧЕНИЮ

2.1. Модуль 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

2.1.1. Содержание модуля

Пространственно-временные отношения. Материальная точка. Абсолютно твёрдое тело. Векторный (координатный) метод описания относительного движения материальной точки. Кинематические уравнения и траектория движения. Скорость и ускорение точки как производные радиуса-вектора по времени. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Нормальное и тангенциальное ускорения. Движение частицы по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейными скоростями и ускорениями точек вращающегося тела. Поступательное и вращательное движения абсолютно твёрдого тела.

Закон инерции и инерциальные системы отсчёта. Законы динамики материальной точки и системы материальных точек. Внешние и внутренние силы. Центр масс (центр инерции) механической системы и закон его движения. Закон сохранения импульса. Реактивная сила.

Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Гравитационное поле. Ускорение свободного падения. Движение тел у поверхности Земли. Первая космическая скорость.

Силы упругости и трения.

Закон сохранения и превращения энергии

Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Работа переменной силы. Кинетическая энергия механической системы и ее связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе.

Поле как форма материи, осуществляющая силовое взаимодействие между частицами вещества. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и ее связь с силой, действующей на материальную точку. Понятие о градиенте скалярной функции координат. Поле центральных сил. Потенциальная энергия системы. Закон сохранения механической энергии. Диссипация энергии. Закон сохранения и превращения энергии как проявление неуничтожимости материи и её движения. Применение законов сохранения к столкновению упругих и неупругих тел.

Динамика вращательного движения. Момент силы, момент инерции и момент импульса. Момент силы относительно оси. Момент импульса тела относительно оси. Уравнение динамики вращательного движения твёрдого тела относительно неподвижной оси. Кинетическая энергия вращающегося тела. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства.

Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции. Сила Кориолиса. Законы сохранения в неинерциальных системах отсчёта.

Принцип относительности в релятивистской механике. Постулаты специальной теории относительности. Преобразование Лоренца. Понятие одновременности. Относительность длин и промежутков времени. Интервал между событиями и его инвариантность по отношению к выбору инерциальной системы отсчёта как проявление взаимосвязи пространства и времени. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистский импульс. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Релятивистское выражение для кинетической энергии. Взаимосвязь массы и энергии. Энергия связи системы. Соотношение между полной энергией и импульсом частицы. Границы применимости классической (ньютоновской) механики.

Общие свойства жидкости и газа. Уравнение равновесия и движения жидкости. Идеальная жидкость. Гидростатика несжимаемой жидкости. Стационарное течение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли.

Вязкая жидкость. Силы внутреннего трения. Стационарное течение вязкой жидкости. Формула Пуазейля. Формула Стокса. Гидродинамическая неустойчивость. Понятие о турбулентности. Движение тел в жидкостях и газах.

Идеально упругое тело. Упругие деформации и напряжения. Закон Гука. Пластические деформации. Предел прочности.

2.1.2. Методические указания по его изучению

При изучении раздела кинематики, очень важно то, что для данной системы точек, зная закон движения, можно определить все характеристики движения (положение в пространстве в интересующий нас момент времени, время, когда точка будет находиться в данном положении, скорость и ускорение) не имея никаких дополнительных сведений о системе.

При изучении темы «Динамика материальной точки» следует обратить внимание на то, что второй закон Ньютона является основным законом динамики. Такой методологический подход обеспечивает правильное понимание студентами основ механики с самого начала ее изучения. Второй закон Ньютона представляет собой дифференциальное уравнение, решением которого является закон движения.

При решении задач по кинематике теории относительности нужно обратить внимание на то, когда целесообразно пользоваться преобразованиями Лоренца для перехода от одной инерциальной системы отсчёта к другой. Очень важно методологическое осмысление задач, а не лишь техника их решения.

2.1.3. Вопросы для самоконтроля

1. Механическое движение. Система отчета. Материальная точка. Путь и перемещение. Скорость и ускорение. Абсолютно твердое тело. Поступательное и вращательное движения абсолютно твёрдого тела.

2. Равномерное и равнопеременное движения и величины их характеризующие.

3. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Нормальное и тангенциальное ускорения.

4. Кинематика вращательного движения. Угловые скорость и ускорение и их связь линейными скоростью и ускорением. Частота и период обращения.

5. Элементы кинематики вращательного движения. Угловые скорость и ускорение, их связь с линейными скоростями и ускорениями вращающегося тела.

6. Первый закон Ньютона – закон инерции. Инерциальные системы отсчёта.

7. Взаимодействие тел. Масса, сила. Второй закон Ньютона. Сила как производная импульса.

8. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Примеры его подтверждающие. Реактивная сила.

9. Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Гравитационное поле. Ускорение свободного падения. Движение тел у поверхности Земли. Первая космическая скорость.

10. Силы упругости и трения.

11. Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия.

12. Работа постоянной силы на прямолинейном пути.

13. Работа переменной силы. Мощность.

14. Кинетическая энергия механической системы и ее связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе.

15. Поле как форма материи, осуществляющая силовое взаимодействие между частицами вещества. Консервативные силы. Работа консервативных сил и ее связь с изменением потенциальной энергии.

16. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и ее связь с силой, действующей на материальную точку.

17. Поле центральных сил. Работа в поле тяготения. Потенциальная энергия в поле тяготения Земли.

18. Потенциальная энергия упруго деформированного тела.

19. Закон сохранения механической энергии. Диссипация энергии. Закон сохранения и превращения энергии как проявление неуничтожимости материи и её движения.

20. Применение законов сохранения к столкновению упругих и неупругих тел.

21. Вращательное движение абсолютно твердого тела. Момент инерции тела относительно неподвижной оси. Теорема Штейнера. Момент силы. Основное уравнение динамики вращательного движения.

22. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса и примеры его подтверждающие.

23. Кинетическая энергия вращающегося тела. Кинетическая энергия катящегося тела.

24. Общие свойства жидкости и газа. Уравнение равновесия и движения жидкости. Идеальная жидкость. Гидростатика несжимаемой жидкости. Стационарное течение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли.

25. Вязкая жидкость. Силы внутреннего трения. Стационарное течение вязкой жидкости. Формула Пуазейля. Формула Стокса. Гидродинамическая неустойчивость. Понятие о турбулентности.

26. Идеально упругое тело. Упругие деформации и напряжения. Закон Гука. Растяжение и сжатие стержней. Пластические деформации. Предел прочности.

2.1.4. Задания для самостоятельной работы

1. Какая из формул определяет мгновенную скорость?

А. $\langle \upsilon \rangle = \frac{\Delta r}{\Delta t}$; **Б.** $\vec{\upsilon} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$; **В.** $\vec{\upsilon} = \frac{\vec{s}}{t}$; **Г.** $\upsilon = \frac{ds}{dt}$; **Д.** Среди предложенных вариантов нет верного.

2. Быстроту изменения скорости по направлению характеризует:

А. тангенциальное ускорение; **Б.** нормальное ускорение; **В.** полное ускорение; **Г.** перемещение тела; **Д.** среди предложенных вариантов нет верного.

3. Диск вращается вокруг своей оси. Зависимость угла поворота диска от времени: $\varphi(t) = 3t + 5t^3$. угловая скорость диска через 3с от момента начала движения равна:

А. 3 рад/с; **Б.** 144 рад/с; **В.** 138 рад/с; **Г.** 15 рад/с; **Д.** среди предложенных вариантов нет верного.

4. Какая из предложенных формул соответствует более общей формулировке второго закона Ньютона?

А. $F = \mu N$; **Б.** $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$; **В.** $F = m\frac{\upsilon^2}{r}$; **Г.** $\vec{F} = m\vec{a}$; **Д.** Среди предложенных вариантов нет верного.

5. Проведите соответствия в формулах связи между величинами, описывающими поступательное и вращательное движение по окружности радиуса R:

А. ΔS	**1.** ωR
Б. a_τ	**2.** εR
В. a_n	**3.** $\Delta\varphi R$
Г. a	**4.** $\omega^2 R$
Д. υ	**5.** $R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$

6. Инерционные свойства тел в поступательном движении характеризует

А. вес; **Б.** сила трения; **В.** масса; **Г.** момент инерции; **Д.** импульс.

7. К диссипативным силам относятся:

А. сила тяжести; **Б.** сила трения; **В.** сила упругости; **Г.** сила всемирного тяготения;
Д. сила сопротивления воздуха.

8. Кинетическая энергия определяется по формуле:

А. $E = \frac{kx^2}{2}$; **Б.** $E = mgh$; **В.** $E = FS$; **Г.** $E = \frac{m\upsilon^2}{2}$; **Д.** $E = Nt$.

9. Момент инерции материальной точки определяется по формуле:

А. $I = mr^2$; **Б.** $I = I_c + md^2$; **В.** $I = \frac{M}{\varepsilon}$; **Г.** $I = \frac{ml^2}{3}$.

10. Второй закон Ньютона выражается формулой:

А. $F=Gm_1m_2/R^2$	**Б.** $F=\mu N$
В. $F_{12}=-F_{21}$	**Г.** $F=ma$

2.2. МОДУЛЬ 2. «МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В УПРУГИХ СРЕДАХ»

2.2.1. Содержание модуля

Колебания. Механические колебания. Кинематические характеристики гармонических колебаний. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Пружинный, физический и математический маятники. Энергия гармонических колебаний. Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты. Биения. Сложения взаимно перпендикулярных колебаний. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний. Понятие о резонансе.

Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Синусоидальные (гармонические) волны. Уравнение бегущей волны. Длина волны и волновое число. Волновое уравнение. Фазовая скорость. Энергия волны. Вектор Умова. Волновой пакет. Групповая скорость. Когерентность.

Интерференция волн. Образование стоячих волн. Уравнение стоячей волны и его анализ.

2.2.2. Методические указания по его изучению

Рассматривая «Колебания и волны» необходимо обратить внимание на сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты, а также взаимно перпендикулярных колебаний. Особое внимание следует обращать на определение основных понятий.

Необходимо уяснить содержание формулировок физических законов, их математическую запись в виде формул, а также особенности применения данных законов. При изучении материала по учебнику полезно вести конспект, в который рекомендуется выписывать определения, формулировки законов и их формулы.

2.2.3. Вопросы для самоконтроля

1. Колебания. Гармонические колебания. Основные характеристики колебательного движения: амплитуда, фаза, частота, период. Уравнение гармонических колебаний. Скорость и ускорение при колебательном движении.

2. Кинетическая, потенциальная и полная энергия гармонического колебания.

3. Силы, вызывающие гармонические колебания. Пружинный, физический и математический маятники. Формулы периодов колебаний маятников.

4. Сложение колебаний одного направления с мало отличающимися частотами.

5. Сложение взаимно-перпендикулярных колебаний с одинаковыми фазами и фазами, отличающимися на $\pi/2$.

6. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Логарифмический декремент затухания.

7. Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний. Резонанс.

8. Волновые процессы. Механизм образования волны в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Уравнение бегущей волны. Длина волны и волновое число. Волновое уравнение. Фазовая скорость. Энергия волны. Вектор Умова.

2.2.4. Задания для самостоятельной работы

1. Материальная точка колеблется согласно уравнению $x = 5\sin(\frac{\pi t}{6} + \frac{\pi}{3})$ см. период колебаний равен:

   А. 6 с; **Б.** 4 с; **В.** 3 с; **Г.**12 с

2. Максимальное смещение точки от положения равновесия в колебательном процессе называется …

   А. амплитудой; **Б.** частотой; **В.** периодом; **Г.** фазой.

3. Твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, проходящей через точку, не совпадающую с центром масс тела называется…

   А. математическим маятником; **Б.** физическим маятником; **В.** пружинным маятником; **Г.** колебательным контуром.

4. Гармоническое колебание задано уравнением $x = A\sin(\omega t + \alpha)$. Какая формула определяет кинетическую энергию заданного колебания $E_к$ =…?

   А. $(m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \alpha))/2$; **Б.** $\frac{m\omega^2 A^2}{2}$; **В.** $\frac{m\omega^2 A^2}{2}\cos^2(\omega t + \alpha)$; **Г.** $A\cos(\omega t + \alpha)$.

5. Период колебаний в СИ измеряется в:

А. м; **Б**. Гц; **В.** с; **Г.** Дж.

6. Частота колебаний материальной точки, движущейся согласно закона x=5sin6πt, равна:

А. 1,2 Гц **Б.** 5 Гц **В.** 6 Гц **Г.** 3 Гц

7. Период колебаний точки, совершающей колебания согласно закона x=5sinπt, равна:

А. 2 с **Б.** 0,2 с **В.** 5 с **Г.** 3,14 с

8. Материальная точка совершает колебания по закону x=2sin(3t+π/4) см.

1. Амплитуда колебаний в см равна:	А. 0,785.
2. Циклическая частота колебаний	Б. 10.
в $с^{-1}$ равна:	В. 3.
3. Начальная фаза колебаний в рад равна:	Г. 2.
	Д. 12.

9. Материальная точка совершает колебания по закону x=5sin(2t+π/3) см. Амплитудное значение скорости точки υ_{max} равно:

А. 10 см/с. **Б.** 3,3 см/с. **В.** 20 см/с. **Г.** 15 см/с.

10. Период колебаний математического маятника зависит:
А. от массы маятника и амплитуды колебаний.
Б. от длины маятника и от ускорения свободного падения.
В. от длины маятника и амплитуды колебаний.
Г. Только от амплитуды колебаний.

2.3. Модуль 3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

2.3.1. Содержание модуля

Термодинамический и статистический методы исследования. Макроскопическое состояние. Макроскопические параметры как средние значения.

Изопроцессы и закономерности их протекания. Абсолютная температурная шкала. Уравнение Клапейрона-Менделеева.

Модель идеального газа. Вывод уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления и его сравнение с уравнением Клапейрона-Менделеева. Средняя кинетическая энергия молекул. Молекулярно-кинетическое толкование термодинамической температуры.

Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Барометрическая формула. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул.

Явления переноса. Диффузия. Коэффициент диффузии. Диффузия в газах, жидкостях и твёрдых телах. Теплопроводность. Коэффициент теплопроводности. Температуропроводность. Вязкость. Коэффициенты вязкости газов и жидкостей.

Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул. Внутренняя энергия идеального газа. Работа газа при изменении его объёма. Количество теплоты. Теплоёмкость. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатному процессу идеального газа. Зависимость теплоёмкости идеального газа от вида процесса.

Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл). Тепловые двигатели и холодильные машины. Цикл Карно и его КПД. Второе начало термодинамики. Независимость КПД цикла Карно от природы рабочего тела. Энтропия. Энтропия идеального толкование второго начала термодинамики.

Реальные газы. Силы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса.

Термодинамика поверхности раздела двух сред. Поверхностная энергия и натяжение в жидкостях. Смачивание. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Капиллярность.

Фазовые превращения. Фазовые диаграммы. Критическое состояние.

Жидкие кристаллы.

2.3.2. Методические указания по его изучению

При изучении этого модуля необходимо знать: положения МКТ, броуновское движение, а также что межмолекулярное взаимодействие характеризуется силами притяжения и отталкивания, основное уравнение МКТ, газовые законы. И уметь их применять при решении задач.

При изучении материала можно воспользоваться презентациями ДО (дистанционного обучения) по данной дисциплине на сайте РГАЗУ.

2.3.3. Вопросы для самоконтроля

1. Изопроцессы и закономерности их протекания. Абсолютная температурная шкала. Уравнение Клапейрона–Менделеева.

2. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов.

3. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул. Эффективный диаметр молекулы. Средняя арифметическая, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорости молекул газа.

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

5. Явления переноса в термодинамически неравновесных системах.

6. Диффузия. Коэффициент диффузии. Диффузия в природе и технике.

7. Теплопроводность. Уравнение теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.

8. Внутреннее трение (вязкость). Сила внутреннего трения. Динамический коэффициент вязкости. Экспериментальное определение коэффициента вязкости.

9. Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекулы. Энергия одной молекулы, моля и произвольной массы газа. Внутренняя энергия идеального газа.

10. Работа газа при изменении его объема. Работа газа при изопроцессах.

11. Количество теплоты. Теплоемкость.

12. Первое начало термодинамики и его применение к изопроцессам. Адиабатный процесс. Уравнения Пуассона. Работа газа при адиабатном процессе. Теплоемкость идеального газа как функция процесса. Уравнение Р.Майера.

13. Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс. Цикл Карно и его КПД. Второе начало термодинамики.

14. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Сравнение изотерм Ван-дер-Ваальса с экспериментальными. Критическое состояние. Сжижение газа.

15. Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Поверхностно-активные вещества. Смачивание. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Капиллярные явления. Высота поднятия жидкости в капиллярах.

2.3.4. Задания для самостоятельной работы

1. Реальный газ можно считать идеальным при…

А. низком давлении; **Б.** высокой температуре; **В.** малом объеме; **Г.** большой молекулярной массе; **Д.** низкой влажности.

2. В соответствии с основным уравнением МКТ произведение давления (p) и объема (V) равно:

А. 3/2 $кT$; **Б.** $\frac{2}{3}\langle E_к \rangle N$; **В.** $кT/N_А$; **Г.** RT/M; **Д.** νRT.

3. Установите соответствие:

Вид газового процесса: Условие протекания процесса (для данной массы газа):

изотермический процесс	**А.** $p=const$
изохорический процесс	**Б.** $Q=0$
изобарический процесс	**В.** $V=const$
адиабатный процесс	**Г.** $T=const$

4. Сила внутреннего трения между слоями жидкости F=2 Н. При увеличении в 2 раза градиента скорости и уменьшении в 2 раза площади слоёв сила внутреннего трения станет равной:

А. 1 Н; **Б.** 2 Н; **В.** 4 Н; **Г.** 8 Н.

5. Единицей давления в СИ является:

А. Па; **Б**. кгс/м^2; **В.** Па·с; **С.** дин/см^2.

6.Вид газового процесса: Закономерность его протекания (для идеального газа):

1) изотермический процесс	**А**. $p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma$
2) изохорический процесс	**Б**. $p_1V_1 = p_2V_2$
3) изобарический процесс	**В**. $p_2/p_1 = T_2/T_1$
4) адиабатный процесс	**Г**. $V_2/V_1 = T_2/T_1$
	Д. $Q = cm\Delta T$

7. Работа газа при адиабатном процессе равна:

А. $A = \frac{i}{2}\frac{m}{M}R(T_1 - T_2)$; **Б.** $A = \frac{m}{M}R\Delta T$;

В. $A = 0$; **Г.** $A = \frac{m}{M}RT\ln\frac{V_2}{V_1}$.

8. Явление проникновения молекул одного вещества в межмолекулярные промежутки другого вещества называется:

А. Испарением **Б.** Броуновским движением

В. Конвекцией **Г.** Диффузией

9. Вид газового процесса:

1) изотермический процесс
2) изохорический процесс
3) изобарический процесс
4) адиабатный процесс

Первое начало термодинамики:

А. $Q=\Delta U+A$
Б. $Q=A$
В. $\Delta U+A=0$
Г. $Q=\Delta U$
Д. $Q = cm\Delta T$

10. Явление переноса растворителя через полупроницаемую перегородку, разделяющую растворы разной концентрации, называется:

А. Простой диффузией
Б. Осмосом
В. Конвекцией
Г Испарением

2.4. Модуль 4. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

2.4.1. Содержание модуля

Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Основные характеристики электростатического поля – напряжённость и потенциал. Напряжённость как градиент потенциала. Расчёт электростатических полей методом суперпозиции. Поток вектора напряжённости. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Остроградского-Гаусса к расчёту поля. Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Типы диэлектриков. Электронная и ориентационная поляризация. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость вещества. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды. Вычисление напряжённости поля в диэлектрике. Сегнетоэлектрики. Электреты.

Проводники в электрическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение зарядов в проводнике. Электроёмкость уединенного проводника. Взаимная ёмкость двух проводников. Конденсаторы. Энергия заряженных проводника, конденсатора и системы проводников. Энергия электростатического поля. Объёмная плотность энергии.

Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования. Классическая электронная теория электропроводности металлов и её опытные обоснования. Вывод закона Ома в дифференциальной форме из электронных представлений. Закон Видемана-Франца. Закон Ома в интегральной форме. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение. Законы Кирхгофа. Закон Джоуля-Ленца. Электрический ток в вакууме. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия. Ток в газах. Плазма. Электропроводность электролитов. Законы Фарадея. Электролиз и его применение. Термоэлектрические явления. Контактная разность потенциалов.

2.4.2. Методические указания по его изучению

Изучение основ электродинамики начинается с электрического поля в вакууме. Особое внимание уделяется связи между силовой характеристикой (напряженностью) электрического поля и энергетической характеристикой (потенциалом) поля.

Исчерпывающее описание электрических взаимодействий между неподвижными зарядами может быть построено на базе двух утверждений - закона Кулона и принципа суперпозиции. Для вычисления напряженностей полей, созданных симметричными протяженными распределениями зарядов, применяется теорема Гаусса. При изучении темы «Постоянный ток» необходимо рассмотреть во всех формах законы Ома и Джоуля - Ленца. Для решения задач полезно знать правила Кирхгофа.

2.4.3. Вопросы для самоконтроля

1. Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие электрических зарядов. Закон кулона.
2. Электростатическое поле. Его напряженность и индукция. Поток напряженности и индукции. Теорема Остроградского–Гаусса.
3. Расчет электростатических полей методом суперпозиции. Поле диполя.
4. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение к расчету поля равномерно заряженной бесконечной плоскости и двух параллельных равномерно заряженных бесконечных плоскостей.
5. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение к расчету поля заряженной прямой бесконечной нити.
6. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение к расчету поля заряженного шара.
7. Работа перемещения заряда в электрическом поле. Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов. Напряженность как градиент потенциала. Эквипотенциальные поверхности. Потенциал поля системы зарядов.
8. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля.
9. Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Типы диэлектриков. Электронная и ориентационная поляризация. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды. Электрическое смещение. Вычисление напряжённости поля в диэлектрике. Сегнетоэлектрики. Электреты.
10. Проводники в электростатическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение зарядов в проводнике.
11. Электроемкость уединенного проводника. Электрическая емкость уединенного шара. Энергия заряженного уединенного проводника.
12. Взаимная емкость двух проводников. Конденсаторы. Емкость конденсатора. Последовательное и параллельное соединения конденсаторов. Энергия поля конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

13. Постоянный электрический ток, условие его существования. Сила и плотность тока. Электрическое сопротивление. Удельное сопротивление. Электропроводность. Зависимость удельного сопротивления от температуры.

14. Сторонние силы. ЭДС источника тока. Напряжение.

15. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС. Сопротивление, ток и напряжение при последовательном и параллельном соединении проводников.

16. Закон Ома для полной цепи. Закон Ома для неоднородного участка цепи (для участка цепи, содержащего источник ЭДС).

17. Разветвленные электрические цепи. Законы Кирхгофа.

18. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля – Ленца.

19. Классическая электронная теория проводимости металлов. Вывод закона Ома и Джоуля – Ленца в дифференциальной форме из электронных представлений.

20. Электрический ток в газах. Ионизация газа и рекомбинация ионов. Несамостоятельный и самостоятельный разряд. Виды разрядов. Плазма.

21. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрическое явления и их применение.

22. Полупроводники. Собственная и примесная проводимости полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контакт электронного и дырочного полупроводника (*p-n*–переход) и его вольт-амперная характеристика.

2.4.4. Задания для самостоятельной работы

1. Величина, количественно характеризующая способность наэлектризованных тел оказывать электрическое воздействие на другие тела и подвергаться самим этому воздействию, называется.

А. электрическим зарядом; **Б**. количеством электричества; **В**. электрическим током; **Г**. силой тока; **Д**. среди предложенных вариантов ответов нет верного.

2. Напряжённость E электрического поля выражается соотношением:

А. ql **Б**. $W_п/q$ **В.**F/q **Г**. $\varepsilon\varepsilon_0 S/d$

3. Потенциал φ электрического поля выражается соотношением:

А. $\varepsilon\varepsilon_0 S/d$ **Б**. F/q **В.** $W_п/q$ **Г**. qE

4. Единицей напряжённости электрического поля является:

А. В **Б**. Ом **В.** В/м **Г**. Ф

5. Единицей потенциала электрического поля является:

А. В **Б**. А **В.** А/м **Г**. Ом

6. Напряженность через потенциал может быть выражена следующим образом: Е =

А. $q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$; **Б.** $(\varphi_1 - \varphi_2)$; **В.** φq_0; **Г.** (-grad φ); **Д.** Среди предложенных вариантов нет верного.

7. Для определения напряженности электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости в вакууме используется следующая формула:

А. $E = \sigma / \varepsilon_0$; **Б.** $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q}{r^2}$; **В.** $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{q}{R^3}r'$; **Г.** $E = \dfrac{1}{2\pi\varepsilon_0}\dfrac{\tau}{r}$; **Д.** $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$.

8. Электрическим током называется…

А. хаотичное движение частиц;

Б. направленное движение молекул;

В. упорядоченное движение заряженных частиц;

Г. любое произвольное движение электронов;

Д. среди предложенных вариантов ответов нет верного.

9. Работа тока определяется как dA = …

А. *Udq*; **Б.** *IUR;* **В.** $\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{I}}\mathrm{dt}$; **Г.** I^2R; **Д.** среди предложенных вариантов ответов нет верного.

10. Сопротивление проводника, в котором при напряжении 200 В течет ток силой 0,5 А, равно:

А. 100 Ом. **Б.** 50 Ом. **В.** 400 Ом. **Г.** 2,5 мОм.

2.5. Модуль 5 . Магнетизм

2.5.1. Содержание модуля

Магнитное поле. Магнитная индукция. Закон Ампера. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчёту магнитного поля. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Магнитное поле кругового тока. Магнитный момент витка с током. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока (циркуляция вектора магнитной индукции) для магнитного поля в вакууме и его применение к расчёту магнитного поля тороида и длинного соленоида. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Принцип действия циклических ускорителей заряженных частиц. Эффект Холла. МГД-генератор. Контур с током в магнитном поле. Магнитный поток. Теорема Остроградского-Гаусса. Работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле.

Магнитное поле в веществе. Магнитные моменты атомов. Типы магнетиков. Намагниченность. Микро и макро токи. Элементарная теория диа- и парамагнетизма. Магнитная восприимчивость вещества и её зависимость от температуры. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость среды. Ферромагнетики. Опыты Столетова. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Домены. Спиновая природа ферромагнетизма.

Явление электромагнитной индукции (опыты Фарадея). Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции и его вывод из закона сохранения энергии. Явление самоиндукции. Индуктивность. Токи при замыкании и размыкании цепи. Явление взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Энергия системы проводников с током. Объёмная плотность энергии магнитного поля. Цепи переменного тока.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме.

Гармонические электромагнитные колебания и их характеристики. Дифференциальное уравнение электромагнитных колебаний. Электрический колебательный контур. Энергия электромагнитных колебаний. Дифференциальное уравнение электромагнитных колебаний и его решение. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонанс.

Электромагнитные волны. Основные свойства электромагнитных волн. Волновое уравнение. Энергия электромагнитных волн. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга.

2.4.2. Методические указания по его изучению

При изучении темы «Магнетизм» особо подчеркивается, что магнитное поле порождается движущимися зарядами и действует на движущиеся заряды. Для расчета магнитных полей необходимо знать закон Био-Савара-Лапласа, а для расчета магнитных полей созданных симметричными конфигурациями токов - теорему о циркуляции. Особое внимание надо обратить на движение заряженных частиц в магнитном поле под действием сил Лоренца и Ампера. При изучении явления электромагнитной индукции необходимо знать, как вычисляется магнитный поток, электродвижущая сила индукции.

2.5.3. Вопросы для самоконтроля

1. Магнитное поле. Магнитная индукция. Действие магнитного поля на проводник с током. Закон Ампера.

2. Магнитное поле. Магнитный момент контура с током. Индукция магнитного поля. Действие магнитного поля на контур с током.

3. Взаимодействие параллельных токов. Закон Ампера.

4. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Плазма в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла.

5. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Масс-спектрограф.

6. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитного поля прямого тока.

7. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитного поля кругового тока.

8. Циркуляция вектора магнитной индукции для магнитного поля в вакууме. Закон полного тока. Магнитное поле соленоида и тороида.

9. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для потока вектора магнитной индукции.

10. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

11. Магнитный момент контура с током. Работа по перемещению контура с током в магнитном поле. Энергия контура стоком в магнитном поле.

12. Явление электромагнитной индукции. Законы Фарадея-Максвелла и Ленца. Вращение проводящей рамки в магнитном поле. Практическое применение явления электромагнитной индукции.

13. Явление самоиндукции. Индуктивность. Индуктивность соленоида. Токи при замыкании и размыкании цепи.

14. Взаимная индукция. Трансформаторы.

15. Энергия магнитного поля. Энергия магнитного поля соленоида. Объемная плотность энергии магнитного поля.

16. Магнитные свойства вещества. Магнитные моменты электронов и атомов. Типы магнетиков. Диа-, пара- и ферромагнетики. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Природа ферромагнетизма. Домены. Точка Кюри.

17. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме и их физический смысл. Плоская электромагнитная волна. Волновое уравнение. Скорость распространения электромагнитных волн. Энергия и импульс электромагнитного поля. Плотность потока энергии. Вектор Умова – Пойнтинга. Основные свойства электромагнитных волн.

18. Колебательный контур. Свободные гармонические колебания в колебательном контуре. Свободные затухающие колебания в электрическом колебательном контуре.

19. Переменный ток. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления в цепи переменного тока.

2.5.4. Задания для самостоятельной работы

1. Силовой характеристикой магнитного поля является:

А. потенциал; **Б.** магнитная проницаемость;

В. магнитная индукция; **Г.** работа.

2. В отличие от линий напряженности электростатического поля линии магнитной индукции всегда:

А. разомкнуты; **Б.** замкнуты;

В. переплетаются; **Г.** уходят в бесконечность.

3. Единицей индукции магнитного поля является:

А. Вб. **Б.** Тл. **В.** Гн. **Г.** А/м.

4. Единицей потока магнитной индукции является:

А. Вб. **Б.** А/м. **В.** Гн. **Г.** Тл.

5. На проводник с током в магнитном поле действует сила 10 Н. При увеличении индукции магнитного поля в 3 раза и уменьшении силы тока в 2 раза, на проводник будет действовать сила Ампера, равная:

А. 60 Н **Б.** 6,7 Н **В.** 45 Н **Г.** 15 Н

6. Индукция магнитного поля, действующего с силой F=0,5 Н на прямолинейный перпендикулярный полю проводник длиной

l=20 см, по которому течёт ток I=1 А, равна:

А. 25 Тл **Б.** 10 Тл **В.** 1 Тл **Г.** 2,5 Тл

7. Вещества, слабо намагничивающиеся во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном вектору магнитной индукции внешнего поля, называются:

А. парамагнетиками; **Б.** диамагнетиками;

В. ферромагнетиками; **Г.** антиферромагнетиками.

8. Вещества, слабо намагничивающиеся во внешнем магнитном поле в направлении вектора магнитной индукции внешнего поля, называются:

А. парамагнетиками; **Б.** диамагнетиками;

В. ферромагнетиками; **Г.** антиферромагнетиками.

9. Твёрдые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью и значительно усиливающие внешнее магнитное поле, называются:

А. парамагнетиками; **Б.** диамагнетиками;

В. ферромагнетиками; **Г.** антиферромагнетиками.

10. Три одинаковых катушки включены последовательно в электрическую цепь постоянного тока. Катушка 1 без сердечника, в катушке 2 – сердечник из кобальта, в катушке 3 – сердечник из трансформаторной стали. Магнитная проницаемость воздуха равна 1, кобальта – 175, трансформаторной стали – 8000. Индукция магнитного поля будет наименьшей:

А. в 1 катушке; **Б.** во 2 катушке; **В.** в третьей катушке.

Г. Индукция магнитного поля во всех катушках одинакова.

2.6. Модуль 6. Волновая оптика

2.6.1. Содержание модуля

Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Расчёт интерференционной картины от двух когерентных источников. Оптическая длина пути. Интерференция света в тонких пленках. Интерферометры.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на одной щели и дифракционной решётке. Разрешающая способность оптических приборов.

Дифракция на пространственной решётке. Формула Вульфа-Брэгга. Принцип голографии. Исследование структуры кристаллов.

Оптически неоднородная среда. Дисперсия света

Распространение света в веществе. Оптически неоднородная среда. Дисперсия света. Области нормальной и аномальной дисперсии. Электронная теория дисперсии света.

Поглощение света. Эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова.

Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Поляризация света при отражении. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление. Одноосные кристаллы. Поляроиды и поляризационные призмы. Закон Малюса.

2.6.2. Методические указания по его изучению.

В этом модуле излагаются основы волновой оптики. Особое внимание надо уделять явлениям и закономерностям отражения и преломления света. Здесь рассматривается распространения упругих волн, а также закономерности дисперсии и дифракции. В дальнейшем световые явления рассматриваются с точки зрения двух моделей света - корпускулярной и волновой.

При изучении материала можно воспользоваться презентациями ДО (дистанционного обучения) по данной дисциплине на сайте РГАЗУ.

2.7.3. Вопросы для самоконтроля

1. Электромагнитная и квантовая природа света. Явления, подтверждающие волновую и квантовую природу света.
2. Основные фотометрические величины и их единицы.
3. Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Получение когерентных волн. Оптическая длина пути. Условие образования минимумов и максимумов интенсивности света при интерференции. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Интерференция в тонких пленках. Применение интерференции света.
4. Дифракция света. Элементарная волна. Принцип Гюйгенса–Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция света на круглом отверстии.
5. Дифракция света на одной щели.
6. Дифракционная решетка. Дифракционный спектр. Применение дифракционной решетки для определения длины волны света.
7. Дифракция на пространственной решетке. Формула Вульфа–Брегов. Исследование структуры кристаллов.
8. Дисперсия света. Области нормальной и аномальной дисперсии. Дисперсионные спектры. Закон Кирхгофа. Дисперсионный анализ. Электронная теория дисперсии света.
9. Поглощение света.

10. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Получение поляризованного света. Поляризация света при отражении от диэлектрика. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление. Поляроиды.

11. Прохождение поляризованного света через поляроид. Закон Малюса.

12. Вращение плоскости поляризации оптически активными веществами.

13. Эффект Доплера.

14. Излучение Вавилова-Черенкова.

2.6.4. Задания для самостоятельной работы

1. Минимальная длина зеркала, в котором человек ростом 1,8 м сможет увидеть себя целиком, равна:

А. 1,8 м; **Б.** 2 м; **В.** 0,5 м; **Г.** 0,9 м.

2. Минимальный угол падения, при котором происходит полное отражение света, переходящего из среды с показателем преломления п1=2 в среду с показателем преломления n2 = 2, равен:

А. 450; **Б.**900; **В.** 1800; **Г.** 00.

3.Электромагнитные волны, приходящие в каждую точку пространства с постоянной во времени разностью фаз, называются:

А. синфазными; **Б.** поперечными;

В. продольными; **Г.** когерентными.

4.Электромагнитные волны одной определённой и строго постоянной частоты называются:

А. идеальными; **Б.** бегущими;

В. плоскими; **Г.** монохроматическими.

5.Сила света источника, создающего световой поток 100 лм внутри телесного угла равного 4 стерадиан, равна:

А. 400 кд **Б.** 25 кд **В.** 50 кд **Г.** 200 кд

6.Сила света источника, создающего на расстоянии 5 м максимальную освещённость 10 лк, равна:

А. 500 кд **Б.** 250 кд **В.** 50 кд **Г.** 25 кд

7.ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА: ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ:

1) сила света	А. стерадиан
2) освещённость	Б. лм/м2
3) светимость	В. кд
4) яркость	Г. лк
	Д. кд/м2

8. Явление наложения двух систем волн, при котором происходит перераспределение энергии колебаний в пространстве с образованием устойчивых областей усиленных и ослабленных колебаний, называется:

А. Интерференцией. **Б.** Дифракцией.

В. Поляризацией. **Г.** Люминесценцией.

9. Явление непрямолинейного распространения света вблизи преграды с интерференционным перераспределением энергии волн в пространстве называют:

А. Интерференцией **Б.** Дифракцией

В. Поляризацией **Г.** Фотоэффектом

10. При раздувании мыльного пузыря он окрашивается в разные цвета. В этом опыте наблюдается явление:

А. дифракции; **Б.** дисперсии;

В. поляризации; **Г.** интерференции.

2.7. Модуль 7. Квантовая физика

2.7.1. Содержание модуля

Тепловое излучение. Чёрное тело. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Распределение энергии в спектре абсолютно чёрного тела. Закон смещения Вина. Квантовая гипотеза и формула Планка. Оптическая пирометрия. Внешний фотоэффект и его законы. Фотоны. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Масса и импульс фотона. Давление света. Опыты Лебедева. Квантовое и волновое объяснение давления света. Эффект Комптона. Диалектическое единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения.

Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма свойств вещества. Формула де Бройля. Соотношение неопределённостей как проявление корпускулярно-волнового дуализма свойств материи.

Волновая функция и её статистический смысл. Ограниченность механического детерминизма. Принцип причинности в квантовой механике. Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Свободная частица. Туннельный эффект.

Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии и импульса частицы. Гармонический осциллятор.

Строение атома. Опыты Резерфорда. Линейчатые спектры атомов. Постулаты Бора. Водородоподобные атомы. Опыт Франка и Герца.

Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спиновое квантовое число. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям. Понятие об энергетических уровнях молекул. Спектры атомов и молекул. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Понятие о лазере.

Фазовое пространство. Элементарная ячейка. Плотность состояний. Понятие о квантовой статистике Бозе – Эйнштейна. Фотонный и фононный газы. Распределение фононов по энергиям. Теплоёмкость кристаллической решётки. Сверхтекучесть. Понятие о квантовой статистике Ферми-Дирака. Распределение электронов проводимости в металле по энергиям при абсолютном нуле температуры. Энергия Ферми. Влияние температуры на распределение электронов. Уровень Ферми. Внутренняя энергия и теплоёмкость электронного газа в металле. Электропроводность металлов. Сверхпроводимость. Магнитные свойства сверхпроводника.

Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по энергетическим зонам. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственная проводимость полупроводников. Квазичастицы – электроны проводимости и дырки. Эффективная масса электрона в кристалле. Примесная проводимость полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контактные явления. Контакт электронного и дырочного полупроводника (p-n–переход) и его вольт-амперная характеристика. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Люминесценция твёрдых тел.

2.7.2. Методические указания по его изучению

Материал этого модуля объединен вокруг стержневой идеи - квантованности в микромире. На основе фотоэффекта вводится идея о дискретности энергии излучения и поглощения кванта энергии. Необходимо заметить, что излучение состоит из отдельных порций квантов излучений (названных впоследствии фотонами) принадлежит Эйнштейну, который пришел к этой идее в результате анализа статистических свойств излучения, а затем применил ее к объяснению ряда объявлений.

При изучении материала по учебнику полезно вести конспект, в который рекомендуется выписывать определения, формулировки законов и их формулы.

Знание теоретического материала лучше закрепить решением задач.

2.7.3. Вопросы для самоконтроля

1. Тепловое излучение. Интегральная и спектральная излучительная способности (плотность излучения) тела. Абсолютно черное тело. Закон Кирхгофа. Спектр излучения абсолютно черного тела. Законы Стефана-Больцмана и Вина. Квантовый характер излучения электромагнитных волн. Формула Планка.

2. Энергия, масса и импульс фотона.

3. Фотоэффект. Опыты Герца и Столетова. Виды фотоэффекта. Законы внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Красная граница фотоэффекта. Объяснение законов внешнего фотоэффекта с помощью уравнения Эйнштейна.

4. Давление света. Опыты Лебедева. Квантовое объяснение давления света.

5. Эксперименты по рассеиванию рентгеновских лучей. Эффект Комптона и его теория.

6. Строение атома. Модель атома Резерфорда. Дискретность энергетических состояний атома. Постулаты Бора. Спектр атома водорода по Бору.

7. Природа и получение рентгеновских лучей. Тормозное и характеристическое излучения.

8. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Оптические квантовые генераторы (лазеры).

9. Волновые свойства материи. Волновые свойства элементарных частиц. Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Соотношение неопределенностей.

10. Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по энергетическим зонам. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственная и примесная проводимости полупроводников. Электронный и дырочный полупроводники. Контакт электронного и дырочного полупроводника (p-n–переход) и его вольт-амперная характеристика.

11. Люминесценция. Виды люминесценции. Законы Стокса и Вавилова. Люминесцентный анализ.

12. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрическое явления и их применение.

13. Заряд, размер и масса атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Состав атомного ядра: протоны и нейтроны. Основные характеристики нуклонов и ядер. Изотопы. Взаимодействие нуклонов и понятие о ядерных силах. Дефект массы и энергия связи атомного ядра.

14. Радиоактивность. α-, β- и γ-излучения радиоактивных ядер. Законы смещения при радиоактивных распадах. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность радиоактивного препарата. Искусственная радиоактивность. Радиоактивные изотопы. Применение радиоактивных изотопов в народном хозяйстве.

15. Ядерные реакции. Типы ядерных реакций. Закономерности протекания ядерных реакций. Энергетический выход ядерных реакций.

16. Реакция деления ядра. Цепная реакция деления. Понятие о ядерной энергетике.

17. Реакция синтеза атомных ядер. Проблема управляемых термоядерных реакций.

18. Элементарные частицы. Типы взаимодействия элементарных частиц. Кварки, лептоны и кванты. Гипероны.

2.7.4. Задания для самостоятельной работы

1. Интегральная плотность энергетической светимости «абсолютно черного» тела при увеличении его температуры в 3 раза возрастает:

А. в 3 раза; **Б.** в 9 раз; **В.** в 27 раз; **Г.** в 81 раз.

2. Переход белого каления в красное при остывании металла объясняется с помощью закона:

А. Вина; **Б.** Кирхгофа;
В. Релея-Джинса; **Г.** Стефана-Больцмана.

3. Тело, температура которого отлична от нуля, излучает электромагнитные волны. Постоянная Вина равна 2,9•10−3 м•К. При комнатной температуре максимум интенсивности излучения тела лежит в диапазоне длин волн:
А. 0,1 м – 1 мм; **Б.** 1 мм – 760 нм;
В. 760 нм – 390 нм; **Г.** 10 нм – 400 нм.

4. Равновесное состояние системы «тело-излучение» устанавливается:
А. для люминесцентного излучения;
Б. для ультрафиолетового излучения;
В. для теплового излучения;
Г. для ионизирующего излучения.

5. Энергия фотона с частотой $\nu = 1$ Гц равна:
А. постоянной Планка: **Б.** постоянной Больцмана;
В. постоянной Авогадро; **Г.** магнитной постоянной.

6. В энергетическом спектре атома водорода максимальная энергия равна:
А. ∞; **Б.** 10 Дж; **В.** 5 Дж; **Г.** 0.

7. Наличие у атомов линейчатых спектров объясняется:
А. хаотичным тепловым движением электронов;
Б. слабым взаимодействием между атомами;
В. дискретностью энергетических состояний атомов;
Г. наличием у атомов плотного ядра.

8. Видимые линии в спектре излучения атомарного водорода получаются при переходе атома из состояния с квантовым числом m в состояние с квантовым числом n, причём n равно:
А. 1; **Б.** 2; **В.** 3; **Г.** 4.

9. При переходе из возбуждённых состояний в основное излучение атомов водорода является:
А. инфракрасным**;** **Б.** видимым;
В. ультрафиолетовым; **Г.** инфракрасным и видимым.

10. Электродинамическая устойчивость атомов объясняется:
А. наличием у электронов спина;
Б. наличием у электронов орбитального магнитного момента:
В. наличием у электронов стационарных орбит;
Г. наличием у электронов электрического заряда.

Раздел 3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Методические указания по выполнению контрольной работы

Студенты со сроком обучения 5 лет на 1-м курсе выполняют первую и на 2-м курсе – вторую контрольные работы. Студенты со сроком обучения 3 года изучают весь материал дисциплины на 1-м курсе и выполняют одну контрольную работу. Номера задач выбираются по соответствующим таблицам вариантов. Вариант контрольного задания определяется последней и предпоследней цифрами шифра студента.

Работа должна быть выполнена в отдельной ученической тетради, на обложке которой следует указать наименование вуза, факультета, специализации, шифр, фамилию и инициалы студента, дисциплину, по которой выполнена контрольная работа.

Работа выполняется чернилами или шариковой ручкой только синего или черного цвета; не допускаются записи красными чернилами. Задачи контрольной работы должны иметь те номера, под которыми они стоят в контрольном задании. Условие задач необходимо переписывать полностью и каждую задачу начинать с новой страницы, а для замечаний рецензента оставлять поля шириной 3 см.

Решение задачи должно содержать краткое описание явления, о котором говорится в условии задачи, и быть обосновано с использованием законов и положений физики. Следует пояснять формулы, используемые при решении задач, и входящие в них величины. При необходимости решение поясняют чертежом (рисунком, графиком, схемой). Например, следует изобразить тело с приложенными к нему силами, график газового процесса, схему электрической цепи, схему электрического и магнитного полей с указанием направлений векторов $\vec{E}$ и $\vec{B}$, показать ход лучей в оптических системах и т.д. Обозначения на чертеже и в решении задачи должны соответствовать друг другу. Не следует обозначать одну и ту же величину разными символами, а также различные величины одинаковыми символами. Решение задач должно быть пояснено так, как это сделано в примерах, приведенных ниже.

Как правило, задачи решаются в общем виде, т.е. в буквенном виде без вычисления промежуточных величин. При таком способе решения ответ получается в виде расчётной формулы. Если расчётная формула не является прямым следствием какого-либо закона, надо дать её вывод.

Получив расчётную формулу, следует:

- выписать в единицах СИ численные значения величин, входящих в формулу;
- проверить правильность расчётной формулы анализом единиц измерения, для чего подставив в формулу обозначения единиц входящих в нее величин и выполнив преобразования, убедиться, что единицы правой и левой частей формулы совпадают (см. таблицу 12 приложения);

- вычислить искомую величину, подставив в расчётную формулу числовые значения входящих в нее величин.

При выполнении вычислений следует пользоваться микрокалькулятором. После получения результата (в единицах СИ) его можно преобразовать, переведя в единицы, кратные или дольные от единиц СИ.

В конце работы необходимо указать год и место издания методических указаний, перечислить использованную литературу, обязательно указывая авторов учебников и год их издания. Это позволит рецензенту при необходимости дать ссылку на определенную страницу того пособия, которое имеется у студента.

Получив проверенную работу, студент обязан тщательно изучить все замечания рецензента, уяснив свои ошибки, и внести исправления. Если работа не допущена к собеседованию, её необходимо выполнить снова с учетом указаний и замечаний рецензента и сдать вторично на рецензирование.

Тетрадь с контрольной работой следует сохранять до получения зачёта по ней на сессии (а при возможности до сессии). При собеседовании студент должен устно пояснить формулы, сформулировать законы, используемые при решении задач, пояснить физический смысл величин, входящих в формулы, ответить на вопросы к задачам, поставленные преподавателем-рецензентом.

3.2. Таблицы вариантов заданий для контрольных работ студентам направления подготовки.230400, 190600

Срок обучения 3 года

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 24, 31, 55, 81, 101, 140, 160	
1	2, 20, 25, 32, 56, 82, 102, 141	2, 22, 29, 54, 79, 99, 138, 159
2	3, 21, 26, 33, 57, 83, 103, 142	3, 21,28, 53, 78, 98, 137, 158
3	4, 22, 27, 34, 58, 84, 104, 143	4, 20, 27, 52, 77, 97, 136, 157
4	5, 23,28, 35, 59, 85, 105, 145	19, 26, 31, 51, 76, 96, 135, 156
5	6, 29, 36, 55, 60, 86, 106, 146	18, 25, 32, 50, 75, 95, 134, 155
6	7, 30, 37, 61,80, 87, 107, 147	17, 24, 33, 49, 74, 94, 133, 154
7	8, 24, 38, 50, 62, 88, 108, 148	16, 23, 34, 48, 73, 93, 132, 153
8	9, 25, 39, 51, 63, 89, 109, 149	15, 22, 35, 47, 72, 92, 131, 152
9	10, 26, 40, 52, 64, 90, 110, 150	14, 30, 46, 61, 71, 91, 130,151
10	11, 27, 41, 53, 65, 91, 111, 151	13, 29, 45, 62, 70, 90, 129, 150
11	12, 28, 42, 54, 66, 92, 112, 152	12, 28, 44, 69, 89, 115, 128, 149
12	13, 29, 43, 67, 93, 100, 113, 153	11, 27, 43, 68, 88, 116, 127, 148
13	14, 30, 44, 68, 94, 114, 139, 154	10, 26, 42, 67, 87, 117, 126, 147
14	15, 24, 45, 69, 74, 95, 115, 156	9, 25, 41, 66, 86, 118, 125, 146
15	16, 25, 46, 70, 75, 96, 116, 157	8, 24, 40, 59, 65, 85, 124, 145
16	17, 26, 47, 71, 76, 97, 117, 158	7, 30, 39, 58, 64, 84, 123, 144
17	18, 27, 48, 72, 77, 98, 118, 159	6, 29, 38, 57, 63,83, 122, 143
18	19, 28, 49, 73, 78, 99, 119, 160	5, 28, 37, 56, 62, 82, 121, 142

Срок обучения 5 лет **Контрольная работа 1 (1 курс)**

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 11, 24, 31, 41, 56, 61	
1	2, 12, 25, 32, 42, 57, 62	12, 22, 29, 44, 54, 64, 79
2	3, 13, 26, 33, 43, 58, 63	11, 21,28, 43, 53, 63, 78
3	4, 14, 27, 34, 44, 59, 64	10, 20, 27, 42, 52, 62, 77
4	5, 15, 28, 35, 45, 60, 65	9, 19, 26, 41, 51, 61,76
5	6, 16, 29, 36, 46, 61, 66	8, 18, 25, 40, 50, 60, 75
6	7, 17, 30, 37, 47, 62, 68	7, 17, 24, 39, 49, 59, 74
7	8, 18, 24, 38, 48, 63, 69	6, 16, 23, 38, 48, 58, 73
8	9, 19, 25, 39, 49, 64, 70	5, 15, 22, 37, 47, 57, 72
9	10, 20, 26, 40, 50, 65, 71	4, 14, 30, 36, 46, 56, 71
10	11, 21, 27, 41, 51, 66, 72	3, 13, 29, 35, 45, 55, 70
11	12, 22, 28, 42, 52, 67, 73	2, 12, 28, 34, 44, 54, 69
12	13, 23, 29, 43, 53, 68, 74	1, 11, 27, 33, 43, 53, 68
13	10, 14, 30, 44, 54, 69, 75	10, 16, 26, 32, 42, 52, 67
14	9, 15, 24, 45, 55, 70, 76	9, 15, 25, 31, 41, 51, 66
15	8, 16, 25, 46, 56, 71, 77	8, 14, 24, 30, 40, 50, 65
16	7, 17, 26, 47. 57, 72, 78	7, 13, 30, 39, 49, 59, 64
17	6, 18, 27, 48, 58, 73, 79	6, 12, 29, 38, 48, 58, 63
18	5, 19, 28, 49, 59, 74, 80	5, 11, 28, 37, 47, 57, 62

Контрольная работа 2 (2 курс)

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	81, 91, 101, 121, 131, 141, 151	
1	82, 92, 102, 122, 132, 142, 152	99, 110, 119, 138, 141, 152, 159
2	83, 93, 103, 123, 133, 143, 153	98, 109, 118, 137, 140, 151, 158
3	84, 94, 104, 124, 134, 144, 154	97, 108, 117, 136, 139, 150, 157
4	85, 95, 105, 125, 135, 145, 155	96, 107, 116, 135, 138, 149, 156
5	86, 96, 106, 126, 136, 146, 156	95, 106, 115, 134, 137, 148, 155
6	87, 97, 107, 127, 137, 147, 157	94, 105, 114, 133, 136, 147, 154
7	88, 98, 108, 128, 138, 148, 158	93, 104, 113, 132, 135, 146, 153
8	89, 99, 109, 129, 139, 149, 159	92, 103, 112, 131, 134, 145, 152
9	90, 100, 110, 130, 140, 150, 160	91, 102, 111, 130, 133, 144, 151
10	81, 92, 111, 123, 134, 145, 156	90, 101, 110, 129, 132, 143, 150
11	82, 93, 112, 124, 135, 146, 157	89, 100, 109, 128, 131, 142, 149,
12	83, 94, 113, 125, 136, 147, 158	88, 99, 108, 127, 130, 141, 148
13	84, 95, 114, 126, 137, 148, 159	87, 98, 107, 126, 129, 140, 147
14	85, 96, 115, 127, 138, 149, 160	86, 97, 106, 125, 128, 139, 146
15	86, 97, 116, 128, 139, 150, 151	85, 96,105, 124, 127, 138, 145
16	87, 98, 117, 129, 140, 151, 157	84, 95, 104, 123, 126, 137, 144
17	88, 99, 118, 130, 141, 152, 158	83, 94, 103, 122, 125, 136, 143
18	89, 100, 119, 131, 142, 153, 159	82, 93, 102, 121, 124, 135,142

3.3. Таблицы вариантов заданий для контрольных работ студентам направления подготовки 280100, 110800

Срок обучения 3 года

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 20, 25, 33, 58, 85, 106, 147	
1	2, 21, 26, 34, 59, 86, 107, 148	2, 22, 28, 38, 88, 83, 122, 151
2	3, 22, 27, 35, 60, 83, 108, 149	3, 21,27, 55, 87, 84, 123, 150
3	4, 23, 28, 36, 61, 84, 109, 150	4, 20, 26, 54, 80, 85, 124, 149
4	5, 29, 37, 62, 74, 85, 110, 151	19, 25, 31, 53, 79, 100, 125, 148
5	6, 30, 38, 63, 75, 86, 111, 152	18, 24, 32, 52, 78, 99, 139, 147
6	7, 24, 39, 64, 76, 87, 112, 153	17, 23, 33, 51, 77, 98, 138, 160
7	8, 25, 40, 65, 77, 88, 113, 154	16, 22, 34, 50, 76, 97, 137, 159
8	9, 26, 41, 66, 78, 89, 114, 155	15, 23, 35, 49, 75, 96, 136, 158
9	10, 27, 42, 67, 79, 90, 115, 156	14, 24, 36, 48, 74, 95, 135,157
10	11, 28, 43, 68, 91, 116, 125, 157	13, 30, 47, 61, 73, 94, 134, 156
11	12, 29, 44, 69, 92, 117, 126, 158	12, 29, 46, 62, 72, 93, 133, 155
12	13, 30, 45, 70, 93, 118, 127, 159	11, 28, 45, 63, 71, 92, 132, 154
13	14, 24, 46, 71, 94, 119, 129,160	10, 27, 44, 64, 70, 91, 131, 153
14	15, 25, 47, 72, 95, 120, 130, 146	9, 26, 43, 69, 81, 90, 130, 152
15	16, 26, 48, 73, 96, 121, 131, 145	8, 25, 42, 68, 89, 115, 129, 151
16	17, 27, 49, 74. 97, 122, 132, 144	7, 24, 41, 67, 88, 116, 128, 150
17	18, 28, 50, 75, 98, 123, 133, 143	6, 30, 40, 66,87, 117, 127, 149
18	19, 29, 51, 76, 99, 124, 134, 142	5, 29, 39, 65, 86, 118, 126, 148

Срок обучения 5 лет **Контрольная работа 1 (1 курс)**

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	1, 12, 26, 32, 43, 50, 62	
1	2, 13, 27, 33, 44, 51, 63	12, 23, 30, 45, 56, 63, 80
2	3, 14, 28, 34, 45, 52, 64	11, 22,29, 44, 55, 62, 79
3	4, 15, 29, 35, 46, 53, 65	10, 21, 28, 43, 54, 61, 78
4	5, 16, 30, 36, 47, 54, 66	9, 20, 27, 42, 53, 60,77
5	6, 17, 24, 37, 48, 55, 67	8, 19, 26, 41, 52, 59, 76
6	7, 18, 25, 38, 49, 56, 68	7, 18, 25, 40, 51, 58, 75
7	8, 19, 26, 39, 50, 57, 69	6, 17, 24, 39, 50, 57, 74
8	9, 20, 27, 40, 51, 58, 70	5, 16, 30, 38, 49, 56, 73
9	10, 21, 28, 41, 52, 59, 71	4, 15, 29, 37, 48, 55, 72
10	11, 22, 29, 42, 53, 60, 72	3, 14, 28, 36, 47, 54, 71
11	12, 23, 30, 43, 54, 61, 73	2, 13, 27, 35, 46, 53, 70
12	13, 24, 24, 44, 55, 62, 74	1, 12, 26, 34, 45, 52, 69
13	10, 15, 25, 45, 56, 63, 75	10, 15, 25, 33, 44, 51, 68
14	9, 16, 26, 46, 57, 64, 76	9, 14, 24, 32, 43, 50, 67
15	8, 17, 27, 47, 58, 65, 77	8, 13, 23, 31, 42, 49, 66
16	7, 18, 28, 48, 59, 66, 78	7, 12, 29, 38, 48, 58, 65

17	6, 19, 29, 49, 60, 67, 79	6, 11, 28, 37, 47, 57, 64
18	5, 20, 30, 50, 61, 68, 80	5, 10, 27, 36, 46, 56, 63

Контрольная работа 2 (2 курс)

Сумма двух последних цифр шифра студента	Предпоследняя цифра шифра студента	
	чётная	нечётная
	Номера задач	
0	81, 92, 103, 124, 135, 146, 150	
1	82, 93, 104, 125, 136, 147, 151	99, 109, 117, 135, 142, 153, 160
2	83, 94, 105, 126, 137, 148, 152	98, 108, 116, 134, 141, 152, 159
3	84, 95, 106, 127, 138, 149, 153	97, 107, 115, 133, 140, 151, 158
4	85, 96, 107, 128, 139, 150, 154	96, 106, 114, 132, 139, 150, 157
5	86, 97, 108, 129, 140, 151, 155	95, 105, 113, 131, 138, 149, 156
6	87, 98, 109, 130, 141, 152, 156	94, 104, 112, 130, 137, 148, 155
7	88, 99, 110, 131, 142, 153, 157	93, 103, 111, 129, 136, 147, 154
8	89, 100, 111, 132, 143, 154, 158	92, 102, 110, 128, 135, 146, 153
9	90, 101, 112, 133, 144, 155, 159	91, 101, 109, 127, 134, 145, 152
10	81, 93, 113, 134, 145, 150, 160	90, 100, 108, 126, 133, 144, 151
11	82, 94, 114, 135, 146, 151, 156	89, 99, 107, 125, 132, 143, 150
12	83, 95, 115, 124, 147, 152, 157	88, 98, 106, 124, 131, 142, 149
13	84, 96, 116, 125, 148, 153, 158	87, 97, 105, 123, 130, 141, 148
14	85, 97, 117, 126, 136, 145, 159	86, 96, 104, 122, 129, 140, 147
15	86, 98, 118, 127, 137, 146, 160	85, 95,103, 121, 128, 139, 146
16	87, 99, 119, 128, 138, 147, 155	84, 94, 102, 120, 127, 138, 145
17	88, 100, 120, 129, 139, 148, 154	83, 93, 101, 119, 126, 137, 144
18	89, 101, 121, 130, 140, 149, 153	82, 92, 100, 118, 125, 136,143

3.4. Задания для контрольных работ

1. Закон движения материальной точки имеет вид: $\vec{r} = 3t\vec{i} + (3 + 2t^2)\vec{j}$. Найти скорость и ускорение тела в конце 5-й секунды движения.

2. Тело брошено под углом к горизонту так, что его радиус вектор изменяется по закону: $\vec{r} = 3t\vec{i} + (3t - 2t^2)\vec{j}$. Определить дальность полета тела.

3. Уравнение движения материальной точки вдоль оси X имеет вид $x=A+Bt+Ct^3$, где A = 2 м; B = 10 м/с; C = −0,5 м/с^3. Найти координату x, скорость υ_x и ускорение a_x точки в момент времени t = 2 с.

4. Барабан сепаратора радиусом R = 0,2 м вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где A = 3 рад; B = −1 рад/с; C = 0,1 рад/с^3. Определить тангенциальное a_τ, нормальное a_n и полное ускорение a точек на поверхности барабана в момент времени t = 10 с.

5. Города A и B расположены на одном берегу реки, причем город B расположен ниже по течению. Одновременно из города A в город B отправляется плот, а из города B в город A — лодка, которая встречается с плотом через τ = 5 ч. Доплыв до города A, лодка поворачивает обратно и приплывает в город B одновременно с плотом. Сколько времени t плот и лодка находились в движении?

6. Два тела падают с высоты H = 20 м без начальной скорости, но одно из них встречает на своем пути закрепленную площадку, наклоненную под углом $\alpha = 45°$ к горизонту. В результате удара о площадку направление скорости становится горизонтальным. Место удара находится на высоте h = 10 м. Определите времена падения тел t_1 и t_2.

7. Тело брошено под углом $\alpha = 30°$ к горизонту со скоростью $v_0 = 30$ м/с. Каковы будут значения нормального и тангенциального ускорений тела через $\tau = 1$ с после начала движения? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

8. Шарик бросают под углом $\alpha = 30°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 14$ м/с. На расстоянии L = 11 м от места бросания шарик упруго ударяется о вертикальную стену. На каком расстоянии s от стены шарик упадет на землю?

9. С высокого берега брошен камень со скоростью $v_0 = 10$ м/с, направленной вниз под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Найдите высоту точки H, с которой был брошен камень, если дальность полета камня s = 20 м.

10. Определить работу по растяжению двух последовательно соединенных пружин жесткостями $k_1 = 400$ Н/м и $k_2 = 300$ Н/м, если первая пружина при этом растянулась на $x_1 = 3$ см.

11. Две пружины жесткостью $k_1 = 0{,}5$ кН/м и $k_2 = 1$ кН/м скреплены параллельно. Определить потенциальную энергию этой системы при абсолютной деформации $x = 4$ см.

12. Налетев на пружинный буфер, вагон массой $m = 16$ т, двигавшийся со скоростью 0,6 м/с, остановился, сжав пружину на $\Delta x = 8$ см. Найти общую жесткость пружин буфера.

13. Груз массой $m = 0{,}5$ кг свободно падает с высоты $h = 2$ м на плиту $M = 1$кг, укрепленную на пружине. Определить величину наибольшего сжатия пружины, если известно, что при действии на неё силы $F = 9{,}8$ Н она сжимается на $x = 1$ см. Удар считать неупругим.

14. Нить с привязанными к ее концам грузами массами $m_1 = 50$ г и $m_2 = 60$ г перекинута через блок диаметром $d = 20$ см. Определить момент инерции J блока, если под действием силы тяжести грузов он получил угловое ускорение $\varepsilon = 1{,}5$ рад/с^2. Трением и проскальзыванием нити по блоку пренебречь.

15. Определить тормозящий момент M, который необходимо приложить к блоку, вращающемуся с частотой $n = 12$ с$^{-1}$, чтобы он остановился в течение времени $t = 8$ с. Диаметр блока $d = 30$ см. Массу блока $m = 6$ кг считать равномерно распределённой по ободу.

16. По касательной к шкиву маховика в виде диска диаметром $d = 75$ см и массой $m = 40$кг приложена сила $F = 1$ кН. Определить угловое ускорение ε и частоту вращения n маховика через время $t = 10$ с после начала действия силы, если радиус шкива R равен 12 см. Силой трения пренебречь.

17. На краю платформы в виде диска, вращающегося по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $n_1 = 8$ мин$^{-1}$, стоит человек массой $m_1 = 70$ кг. Когда человек перешёл в центр платформы, она стала вращаться с частотой

$n_2 = 10$ мин$^{-1}$. Определить массу m_2 платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

18. Человек сидит на скамье Жуковского и držи на вытянутых руках гири массой $m = 5$ кг. Расстояние от каждой гири до оси скамьи $r_1 = 70$ см. Скамья вращается с частотой $n_1 = 1$ с$^{-1}$. Как изменится частота вращения скамьи и какую работу А совершит человек, если он сожмет в локтях руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до $r_2 = 20$ см? Момент инерции скамьи с человеком вместе относительно оси скамьи $J = 2{,}5$ кг·м^2.

19. Период обращения Луны вокруг Земли $T = 27$ суток, средний радиус Земли $R_з = 6400$ км, средняя плотность Земли $\rho = 6$ г/см^3. Определить расстояние r от Земли до Луны.

20. Спутник массой $m = 3$ т вращается вокруг Земли по круговой орбите на высоте $h = 520$ км. Определить полную механическую энергию W спутника относительно Земли.

21. С наклонной плоскости скатываются сплошной и полый цилиндры с одинаковыми массами и радиусами. Сравните время их скатывания с наклонной плоскости.

22. Трубка Пито установлена на оси газопровода, площадь внутреннего сечения которого S. Пренебрегая вязкостью, найти объём газа Q, проходящего через сечение трубы в единицу времени, если разность уровней в жидкостном манометре равна Δh, а плотности жидкости в манометре и газа в газопроводе – соответственно $\rho_{ж}$ и ρ.

23. Через кровеносный сосуд длиной $l = 55$ мм и диаметром $d = 3$ мм протекает в минуту $V = 175$ мл крови. Определить разность давлений на концах сосуда. Коэффициент вязкости крови $\eta = 4{,}5$ мПа·с.

24. Определить возвращающую силу F в момент времени $t = 0{,}2$ с и полную энергию W точки массой $m = 20$ г, совершающей гармонические колебания согласно уравнению $x = A\sin\omega t$, где $A = 15$см; $\omega = 4\pi$ с$^{-1}$.

25. Маятник Фуко имеет длину $l = 50$ м и представляет собой железный шар диаметром $d = 20$ см. Амплитуда колебания маятника $A = 2$ м. Определить потенциальную $W_п$, кинетическую $W_к$ и полную W энергию маятника при фазе $\varphi = 5\pi/8$ и соответствующий этому условию момент времени t, считая начало отсчёта времени в середине траекторий качаний.

26. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых $x = A\sin\omega t$, где $A = 5$ см; $\omega = 2$ с$^{-1}$. В момент времени, когда точка обладала потенциальной энергией $W_п = 0{,}1$ мДж, на неё действовала возвращающаяся сила $F = 5$ мН. Найти этот момент времени t и соответствующую ему фазу φ колебаний.

27. Определить частоту ν гармонических колебаний диска радиусом $R = 20$ см около горизонтальной оси, проходящей через середину радиуса диска перпендикулярно его плоскости.

28. Определить скорость υ распространения волн в упругой среде, если разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек, отстоящих друг от друга на $\Delta x = 15$ см, равна $\pi/2$. Частота колебаний $\nu = 25$ Гц.

29. π-мезон – нестабильная частица. Собственное время жизни его $t_0 = 2{,}6 \cdot 10^{-8}$ с. Какое расстояние пролетит π-мезон до распада, если он движется со скоростью $\upsilon = 0{,}99c$ (c – скорость света в вакууме).

30. Прямоугольный брусок размером 3,3×3,3×6,9 см^3 движется параллельно большому ребру. Определить скорость движения бруска, при которой наблюдателю на земле он будет казаться кубом?

31. Каково давление, оказываемое идеальным газом на дно и стенки сосуда, объем которого V = 3 м3, если в нем содержится N = 15·1026 молекул и каждая обладает средней кинетической энергией поступательного движения
E = 6·10–22 Дж?

32. Дано соединение $Ca(NO_3)_2$.

1) Какова в граммах масса одной молекулы?

2) Какова в килограммах масса 120 молей?

3) Сколько молекул содержится в 0,7 кг соединения?

33. В сосуде вместимостью V = 0,04 м^3 находится ν =1,8 молей газа. Плотность газа $\rho = 0{,}9$ кг/м^3. Определить, какой это газ?

34. Вычислить давление, оказываемое кислородом с концентрацией n = 3·1021 м$^{-3}$, если средняя квадратичная скорость движения равна $v_{кв} = 500$ м/с.

35. Найти температуру T, при которой средняя квадратичная скорость молекул азота (N_2) больше средней арифметической скорости на $\Delta v = 40{,}0$ м/с.

36. При какой температуре T воздуха средние арифметические скорости молекул азота (N_2) и кислорода (O_2) отличаются на $\Delta v = 30{,}0$ м/с?

37. В запаянном стеклянном баллоне заключен 1 моль одноатомного идеального газа при температуре T = 293 K. Какое количество теплоты Q нужно сообщить газу, чтобы средняя арифметическая скорость его молекул увеличилась на 1%?

38. Вычислить наиболее вероятную, среднюю арифметическую и среднеквадратичную скорости молекул азота (N_2) при 20 °C.

39. Считая атмосферу изотермической, а ускорение свободного падения не зависящим от высоты, вычислить давление

а) на высоте 6 км,

б) на высоте 12 км,

в) в шахте на глубине 3 км.

Расчет произвести для T = 300 K. Давление на уровне моря принять равным p_0.

40. Вблизи поверхности Земли отношение объемных концентраций кислорода (O_2) и азота (N_2) в воздухе равно $\eta_0 = 20{,}95/78{,}08 = 0{,}268$. Полагая температуру атмосферы не зависящей от высоты и равной 0 °C, определить это отношение η на высоте h = 10 км.

41. Полагая температуру воздуха и ускорение свободного падения не зависящими от высоты, определить, на какой высоте h над уровнем моря плотность воздуха меньше своего значения на уровне моря в 2 раз? Температуру воздуха положить равной 0 °С.

42. На какой высоте давление воздуха составляет n = 70% от давления на уровне моря? Считать, что температура везде одинакова и равна 25 °С.

43. Найти молярную массу смеси, состоящей из m_1 = 25 г кислорода и m_2 = 75 г азота.

44.Озеро имеет глубину h = 20 м. На дне температура t_1 = 7 °С, на поверхности t_2 = 27 °С. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Пузырек воздуха, имеющий начальный объем V = 1 мм^3, медленно поднимается со дна. Чему равен его объем на поверхности воды?

45. Определить плотность воздуха при нормальных условиях (p = 101 кПа, t = 0 °С), если молярная масса воздуха μ = 29 г/моль.

46. Какое количество ртути содержится в зараженном ртутью помещении объемом V = 50 м^3 при комнатной температуре t = 20 °С, если давление насыщенного пара ртути при этой температуре p = 0,0011 мм рт.ст.?

47. Некоторая масса воздуха при t_1 = 0 °С и давлении p_1 = 1,33·105 Па занимает объем V_1 = 2 л. При какой температуре давление будет равно $p_2 = 2\cdot10^5$ Па, если при той же массе воздуха уменьшить объем до V_2 = 1 л? Воздух считать идеальным газом.

48. При изохорном нагревании на 6 К давление некоторой массы газа возросло на 2%. Найти начальную температуру газа.

49. При температуре t_1 = 27 °С объем воздуха в воздушном шаре V_1 = 10 м^3. На сколько изменится объем шара при понижении температуры до t_2 = –3 °С. Давление окружающего воздуха при этом не меняется.

50. Газ в закрытом сосуде нагрели от t_1 = 10 °С до t_2 = 50 °С. Во сколько раз возросло давление газа?

51. Газ изотермически сжали от первоначального объема V_1 = 0,15 м^3 до V_2 = 0,1 м^3. Давление при этом повысилось на Δp = 20 Па. Каково было первоначальное давление газа?

52. В одном баллоне емкостью V_1 = 2 л давление газа p_1 = 33 кПа, в другом, емкостью V_2 = 6 л, давление того же газа p_2 = 66 кПа. Баллоны соединяют трубкой, имеющей кран. Какое давление установится в баллонах при открывании крана? Процесс считать изотермическим.

53. Сравнить внутреннюю энергию одного моля гелия и одного моля кислорода, если температура кислорода в два раза больше температуры гелия.

54. В результате адиабатического процесса один моль двухатомного идеального газа перешел из состояния 1 с температурой T_1 в состояние 2 с температурой T_2. Определить изменение энтропии газа при этом процессе.

55. Двигатель работает как машина Карно и за цикл получает от нагревателя Q_1 = 700 кал. Температура нагревателя T_1 = 600 К, температура холодильника T2 = 300 К. Найти совершаемую за цикл работу и количество теплоты, отдаваемое холодильнику.

56. Электрическое поле создано точечным зарядом $q_1 = 5*10^{-8}$ Кл. Точки B и C расположены от заряда на расстояниях $r_B = 0,1$ м и $r_C = 0,2$ м соответственно. Вычислить работу A внешних сил по перемещению точечного заряда $q_2 = -2*10^{-9}$ Кл из точки B в точку C.

57. Около заряженной бесконечно протяженной плоскости находится точечный заряд $q = 5*10^{-10}$ Кл. Под действием поля заряд перемещается по силовой линии на расстояние $\Delta r = 0,02$ м; при этом совершается работа $A = 5*10^{-6}$ Дж. Найти поверхностную плотность заряда σ на плоскости.

58. В средней части плоского конденсатора, расстояние между пластинами которого $d = 0,1$ м, расположен вдоль поля диэлектрический стержень длиной $l = 0,01$ м. На концах стержня имеются два точечных заряда одинаковой величины $q = 1*10^{-11}$ Кл, но противоположного знака. Определить разность потенциалов U между пластинами конденсатора, если для того чтобы повернуть стержень на 90° вокруг оси, проходящей через его центр (т.е. расположить поперек поля), необходимо против сил поля совершить работу $A = 3*10^{-10}$ Дж.

59. Напряженность однородного электрического поля в некоторой точке E = 600 В/м. Вычислить разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между этой точкой и другой, лежащей на прямой, составляющей угол $\alpha = 60°$ с направлением вектора напряженности. Расстояние между точками $r_{12} = 2*10^{-3}$ м.

60. Бесконечная тонкая прямая нить заряжена с линейной плотностью $\tau = 1$ нКл/м. Определить напряженность поля E в точке, удаленной на расстояние $r = 0,1$ м от нити. Указать направление градиента потенциала $d\varphi/dr$.

61. Две пластинки площадью $S = 2*10^{-2}$ м^2 каждая находятся в керосине на расстоянии $d = 4*10^{-3}$ м друг от друга. С какой силой F они взаимодействуют, если они заряжены до разности потенциалов U = 150 В? Диэлектрическая проницаемость керосина $\varepsilon = 2$.

62 Тонкий стержень длиной $l = 0,1$ м заряжен равномерно зарядом q = 1 нКл. Определить потенциал φ электрического поля в точке, лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 0,2$ м от ближайшего его конца.

63. Заряд Q равномерно распределен по кольцу радиусом R. Найти потенциал φ относительно бесконечности и напряженность E на оси кольца как функции расстояния h от центра кольца. Построить графики зависимостей E(h) и φ(h).

64. Сфера радиусом $R_1 = 0,03$ м, равномерно заряженная зарядом $Q_1 = 7*10^{-8}$ Кл, окружена тонкой концентрической сферой радиусом $R_2 = 0,09$ м. Какой заряд Q_2 надо равномерно распределить по поверхности внешней сферы, чтобы потенциал φ_1внутренней сферы относительно бесконечности обратился в нуль?

65. Металлический шар радиусом $R_1 = 0,1$ м, имеющий заряд $Q_1 = 8*10^{-8}$ Кл, окружен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Диэлектрик простирается до сферы радиусом $R_2 = 0,2$ м, концентрической с шаром. Начертить графики зависимостей напряженности E(r) и потенциала φ(r) поля, где r — расстояние от центра шара.

66. Плоский воздушный конденсатор емкостью C = 1 нФ заряжен до разности потенциалов U_1 = 300 В. После отключения от источника напряжения расстояние между пластинами конденсатора было увеличено до $d_2 = 5d_1$. Определить: 1) разность потенциалов U_2 на обкладках конденсатора после их раздвижения, 2) работу A внешних сил по раздвижению пластин.

67. Между обкладками плоского конденсатора емкостью $C = 1*10^{-10}$ Ф вставлена фарфоровая пластина. Диэлектрическая проницаемость фарфора $\varepsilon = 5$. Конденсатор зарядили до разности потенциалов U = 600 В и отключили от источника напряжения. Какую работу A надо совершить, чтобы вынуть диэлектрик из конденсатора?

68. Конденсатор емкостью C_1 = 0,6 мкФ был заряжен до напряжения U_1 = 300 В и соединен со вторым конденсатором емкостью C_2 = 0,4 мкФ, заряженным до напряжения U_2 = 150 В. Найти величину заряда Δq, перетекающего с пластин первого конденсатора на второй.

69. Определить емкость C конденсатора, состоящего из двух шариков диаметром d = 0,01 м, центры которых находятся в воздухе на расстоянии l = 0,20 м друг от друга, приняв, что заряды на их поверхностях распределены равномерно.

70. Два одинаковых воздушных конденсатора емкостью C = 1 нФ заряжены до напряжения U = 900 В. Один из конденсаторов погружается в заряженном состоянии в керосин, после чего конденсаторы соединяются параллельно. Определить работу A происходящего при этом разряда. Диэлектрическая проницаемость керосина $\varepsilon = 2$.

71.Определить силу токов на всех участках электрической цепи (см. рис. 1), если ε_1 = 10 В, ε_2 = 12 В, $R_1=R_2$= 2 Ом, R_3 = 8 Ом, R_4 = 4 Ом. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

72. Два источника тока ε_1= 10 В с внутренним сопротивлением r_1= 4 Ом и ε_2 = 6 В с внутренним сопротивлением r_2 = 2 Ом соединены, как показано на рис. 2. Определить силы тока в проводнике и источниках тока. Сопротивление проводника R = 6 Ом.

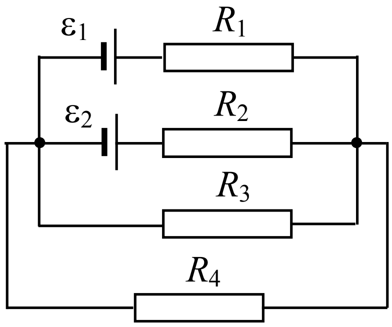


Рис. 1

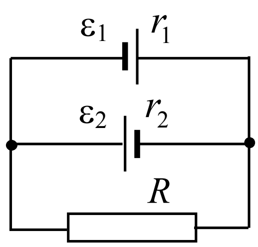


Рис. 2

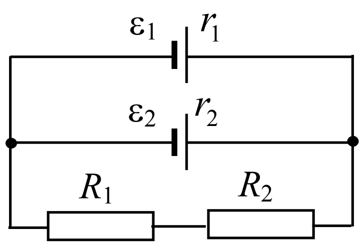


Рис. 3

73. Две батареи (ε_1 = 10 В, r_1 = 2 Ом, ε_2 = 24В, r_2 = 6 Ом) и проводники сопротивлением R_1 = 12 Ом и R_2 = 8 Ом соединены, как показано на рис. 3. Определить силу тока в батареях и проводниках.

74 Определить силу тока I_3 в проводнике R_3 (рис. 4) и напряжение U_3 на концах этого проводника, если $\varepsilon_1 = 8$ В, $\varepsilon_2 = 10$ В, $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Внутренним сопротивлением источников тока пренебречь.

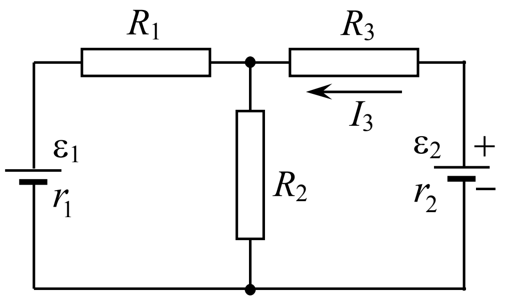


Рис. 4

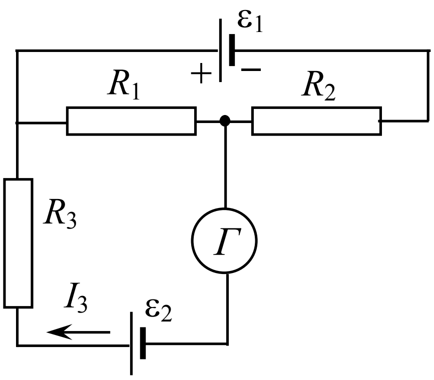


Рис. 5

75. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра (рис. 5). В этой цепи $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 25$ Ом, $R_3 = 5$ Ом, ЭДС элемента $\varepsilon_1 = 4$ В. Гальванометр регистрирует ток $I_3 = 40$ мА, идущий в направлении, указанном стрелкой. Определить ЭДС ε_2 второго элемента. Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

76. Воздух между электродами ионизационной камеры ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока I, текущего через камеру, $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ А. Площадь каждого электрода $S = 300$ см^2, расстояние между ними $d = 2$ см, разность потенциалов $U = 100$ В. Определить концентрацию пар ионов n между пластинами, если ток далёк от насыщения. Подвижность положительных и отрицательных ионов равна соответственно $u_+ = 1{,}4$ и $u_- = 1{,}9$ см^2/(В·с). Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

77. Газ, заключённый в ионизационной камере между плоскими пластинами, облучается рентгеновскими лучами. Определить плотность тока насыщения $j_{нас}$, если ионизатор образует в объёме $V = 3$ см^3 газа $n = 5 \cdot 10^6$ пар ионов в секунду. Принять, что каждый ион несёт на себе элементарный заряд. Расстояние между пластинами камеры $d = 2$ см.

78. Объём газ, заключенного между электродами ионизационной камеры, $V = 6{,}5$ л. Газ ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока насыщения $I_{нас} = 4 \cdot 10^{-9}$ А. Сколько пар ионов образуется за 1 с в 1см^3 газа? Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

79. Воздух ионизируется рентгеновскими лучами. Определить удельную проводимость σ воздуха, если в объёме $V = 1$ см^3 газа находится в условиях равновесия $n = 10^8$ пар ионов.

80. К электродам разрядной трубки, содержащей водород, приложена разность потенциалов $U = 10$ В. Расстояние между электродами $d = 25$ см. Иониза-

тор создает в объёме $V = 1$ см^3 водорода $n = 10^7$ пар ионов в секунду. Найти плотность тока j в трубке.

81. По прямому проводнику длиной $l = 1$ м течёт ток $I = 100$ А. Определить индукцию B магнитного поля в точке, равноудалённой от концов проводника и находящейся на расстоянии $a = 0{,}5$ м от него.

82. Из проволоки длиной $l = 2$ м сделана квадратная рамка. По рамке пропускают ток $I = 5$ А. Определить индукцию B магнитного поля в центре рамки.

83. Из проводника длиной $l = 3{,}14$ м сделано полукольцо. Определить индукцию B магнитного поля в точке, лежащей в центре диаметра полукольца, если разность потенциалов на концах проводника $U = 100$ В, сопротивление проводника $r = 5$ Ом.

84. Индукция B магнитного поля в точке, лежащей на оси проводящего кольца на расстоянии $b = 0{,}6$ м от плоскости кольца, равна 5 мкТл. Определить силу I тока в кольце. Диаметр кольца $D = 0{,}8$ м.

85. Определить магнитную индукцию B_A на оси тонкого проводящего кольца радиусом $R = 10$ см, в точке A, расположенной на расстоянии $b = 30$ см от центра кольца, если в центре кольца магнитная индукция $B = 100$ мкТл.

86. Два длинных прямых параллельных проводника с одинаково направленными токами $I_1 = 2$ А и $I_2 = 4$ А расположены на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Определить магнитную индукцию B в точке, лежащей в середине отрезка прямой, соединяющего проводники.

87. По двум длинным прямым параллельным проводникам текут в противоположных направлениях токи $I_1 = 1$ А и $I_2 = 5$ А. Определить магнитную индукцию B в точке, лежащей на продолжении прямой, соединяющей проводники, на расстоянии $b = 5$ см от второго проводника. Расстояние между проводниками $d = 15$ см. Прямая, соединяющая проводники, перпендикулярна им.

88. Протон, пройдя в электрическом поле ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi = 100$ кВ, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 5$ Тл перпендикулярно линиям индукции и начал двигаться по окружности. Определить частоту ν вращения протона.

89. Электрон влетел в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60°$ к направлению линий магнитной индукции и движется по спирали радиуса $R = 2$ см. Индукция магнитного поля $B = 10$ мТл. Определить шаг спирали, по которой движется электрон.

90. Определите плотность электронов n_e в проводнике при эффекте Холла, если холловская разность потенциалов $\Delta\varphi_H = 50$ мкВ. Индукция магнитного поля $B = 5$ Тл. Ширина проводника $b = 2$ см. Сила тока в проводнике $I = 3$ А.

91. Кольцо радиусом $r = 20$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}4$ Тл. Плоскость кольца составляет с линиями индукции угол $\alpha = 60°$. Вычислить магнитный поток Ф, пронизывающий кольцо.

92. Прямой провод длиной $l = 0{,}3$ м, по которому течёт ток силой

I = 20 А, помещен в однородное магнитное поле под углом α = 30° к линиям индукции. Магнитная индукция B = 1,5 Тл. Какую работу A совершат силы, действующие на провод со стороны поля, перемещая его на расстояние s = 20 см перпендикулярно линиям поля?

93. Квадратная проволочная рамка со стороной a = 10 см помещена в однородное магнитное поле с индукцией B = 1 Тл. Сила тока в рамке I= 50 А. Определить потенциальную (механическую) энергию рамки в магнитном поле, если на рамку действует механический момент M = 0,25 Н м.

94. Тонкое проводящее кольцо радиусом R = 20 см подвешено свободно в однородном магнитном поле с напряженностью H = 10^5 А/м. Сила тока в кольце I = 2 А. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть кольцо на угол φ = 60° вокруг оси, лежащей в плоскости кольца и проходящей через его центр?

95. Проволочная рамка, содержащая N= 40 витков, вращается в однородном магнитном поле относительно оси, лежащей в плоскости рамки перпендикулярно линиям индукции. Индукция магнитного поля B= 0,2 Тл, площадь контура рамки S = 100 см^2. Амплитудное значение ЭДС индукции, возникающей в рамке, ε = 5 В. Определить частоту вращения n рамки.

96. Плоский проводящий контур с площадью S= 50 см^2 помещён в однородное магнитное поле, индукция которого B = 4 Тл. Сопротивление контура R = 1 Ом. Плоскость контура составляет угол α = 30° с линиями магнитной индукции. Определить величину заряда q, который пройдет по контуру при выключении магнитного поля.

97. По соленоиду, содержащему N=600 витков, течет ток силой I= 5 А. Длина соленоида l= 40 см, площадь его сечения S = 10 см^2, сердечник немагнитный. Определить среднее значение ЭДС $\langle\varepsilon\rangle$ самоиндукции, которая возникает в соленоиде, если сила тока уменьшится практически до нуля за время Δt = 0,4 мс после отключения соленоида от источника тока.

98. Источник тока замкнули на катушку с индуктивностью L= 0,4 Гн, Определить сопротивление R катушки, если сила тока I в катушке достигает 20% её максимального значения за время Δt= 0,1 с после замыкания цепи.

99. На картонный каркас намотан в один слой провод диаметром d= 0,5 мм так, что витки плотно прилегают друг другу. Определить объёмную плотность энергии магнитного поля такого соленоида при токе I = 2 А.

100. Последовательно соединённые конденсатор ёмкостью C = 5 мкФ, катушка с индуктивностью L = 2 мГн и омическим сопротивлением R = 20 Ом включены в цепь переменного тока. Определить амплитудное значение силы тока, если максимум напряжения на этом участке U_m = 100 В, а частота его изменения ν = 50 Гц. Определить также сдвиг фаз между током и напряжением.

101. В опыте с бипризмой Френеля расстояние между мнимыми источниками света d = 0,6 мм, длина волны монохроматического света, падающего на бипризму, λ = 560 нм. Расстояние между интерференционными максимумами на экране Δx = 1,5 мм. Определить расстояние L от мнимых источников до эк-

рана.

102. На стеклянную пластину положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза с радиусом кривизны R = 6 м. Расстояние между пятым и десятым светлыми кольцами Ньютона в отраженном свет $r_{10} - r_5$ = 1,8 мм. Определить длину волны λ монохроматического света, падающего нормально на установку.

103. На мыльную плёнку толщиной d = 0,6 мкм падает монохроматический свет с длиной волны λ = 0,56 мкм. Показатель преломления плёнки n = 1,33. При каком наименьшем угле падения лучей отражённый свет максимально усилен?

104. На пластину со щелью падает нормально монохроматический свет с длиной волны λ = 400 нм. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном на расстоянии L= 1,5 м от пластины. Найти ширину щели, если второй дифракционный максимум смещен от центрального на расстояние l = 3 см.

105. На дифракционную решетку, содержащую N= 250 штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет, а затем проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Расстояние от линзы до экрана L= 1,2 м. Границы видимого спектра: $\lambda_{кр}$ = 0,780 мкм и $\lambda_{ф}$ = 0,400 мкм. Определить ширину спектра первого порядка на экране.

106. Угол преломления луча в жидкости i_2 = 41°. Определить показатель преломления n жидкости, если отраженный луч максимально поляризован.

107. Предельный угол полного внутреннего отражения в бензоле A = 42°. Определить угол максимальной поляризации $i_Б$ света при отражении от этого вещества.

108. Пучок естественного света, последовательно проходя через два николя, ослабляется в 6 раз. Принимая, что коэффициент поглощения каждого николя k = 0,1, найти угол φ между плоскостями пропускания николей.

109. Два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол φ = 45°, ослабляет проходящий через них пучок естественного света в n = 10 раз. Определить коэффициент k поглощения света в николях (потерей света при отражении пренебречь).

110. При прохождении поляризованного света через слой 5%-го сахарного раствора толщиной l_1 = 10 см плоскость поляризации повернулась на угол φ_1=3°. Найти концентрацию C_2 другого раствора сахара толщиной l_2=15 см, если плоскость поляризации повернулась при этом на угол φ_2 =5,4°.

111. Плоская монохроматическая световая волна распространяется в некоторой среде. Коэффициент поглощения среды для данной волны α = 1,2 м$^{-1}$. Определить, на сколько процентов уменьшилась интенсивность света при прохождении данной волной пути x = 0,5 м в этом веществе.

112. Источник монохроматического света с длиной волны λ_0 = 0,6 мкм движется по направлению к наблюдателю со скоростью 0,1 c (c – скорость света в вакууме). Определить доплеровское смещение $\Delta\lambda$ длины волны, регистрируемое приёмником наблюдателя.

113. Вычислить энергию W, излучаемую с поверхности $S = 1$ см^2 абсолютно чёрного тела за время $t = 10$ мин, если известно, что максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны $\lambda_{max} = 460$ нм.

114. Температура поверхности Земли $t = 25°C$, Определить среднюю энергетическую светимость Земли $R_т$, если степень черноты поверхности Земли $\alpha_т = 0{,}25$.

115. При изменении температуры раскаленной вольфрамовой нити радиационный пирометр показывает температуру $T_р = 2000$ К. Считая, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна $\alpha_т = 0{,}35$, определить истинную температуру T вольфрамовой нити.

116. При нагревании абсолютно чёрного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости переместился с $\lambda_{m1} = 650$ нм на $\lambda_{m2} = 560$ нм. Во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела?

117. Определить, пользуясь формулой Планка, максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости $u_{\lambda,T}$, абсолютно чёрного тела при температуре $T = 1500$ К.

118. Определить красную границу λ_0 фотоэффекта для цинка, если работа выхода электронов из цинка равна $A_{вых} = 4$ эВ.

119. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 250$ нм. Определить максимальную скорость υ_{max} фотоэлектронов, вылетающих с поверхности металла, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 310$ нм.

120. На катод из лития падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 420$ нм. Определить работу выхода электронов из лития, если задерживающая разность потенциалов $U_{min} = 625$ мВ.

121. На серебряную пластинку падает монохроматический свет. Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов $U_{min} = 0{,}75$ В. Определить длину волны λ падающего излучения, если работа выхода электронов из серебра $A_{вых} = 4{,}7$ эВ.

122. Под действием ультрафиолетового излучения ($\lambda = 200$ нм) электроны вылетают с поверхности металла с максимальной скоростью $\upsilon_{max} = 1{,}2\ 10^6$ м/с. Определить максимальную длину волны λ_0, при которой возможен фотоэффект.

123. На зачерненную поверхность падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 650$ нм. Определить давление света на поверхность, если концентрация фотонов в потоке излучения (число фотонов в единице объёма пространства) $n = 5\cdot10^{13}$ м$^{-3}$.

124. Свет падает нормально на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии $r = 0{,}2$ м от точечного монохроматического источника мощностью

$P = 220$ Вт. Определить давление, оказываемое светом на зеркальную поверхность. Считать, что вся мощность источника расходуется на излучение.

125. Какую силу давления испытывает поверхность, если на неё падает нормально поток излучения $\Phi_e = 0{,}2$ Вт? Коэффициент отражения поверхности считать равным $\rho = 0{,}5$.

126. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм, падая нормально на серую поверхность ($\rho = 0{,}7$), оказывает давление $p = 10$ мПа. Определить плотность потока фотона (число фотонов, падающих на единицу площади в единицу времени), падающих на эту поверхность.

127. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если при падении нормально на поверхность монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0{,}7$ мкм он оказывает давление p = 15 мПа при плотности потока фотонов $N' = 10^{25}$ м$^{-2}$с$^{-1}$.

128. Определить длину волны λ, массу m и импульс p фотона с энергией $\varepsilon = 1$ МэВ.

129. Фотон с длиной волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-10}$ м рассеялся на свободном электроне на угол $\theta = 30°$. Определить длину волны фотона λ' после рассеяния и кинетическую энергию электрона отдачи.

130. Фотон с энергией $\varepsilon_ф = 2 \cdot 10^{-16}$ Дж в результате соударения со свободным электроном рассеялся на угол $\theta = 150°$. Определить импульс p_e электрона и импульс $p_ф$ фотона после соударения.

131. В результате комптоновского рассеяния первоначальная частота фотона $\nu = 1{,}5 \cdot 10^{20}$ Гц уменьшилась в 1,2 раза. Определить угол θ рассеяния фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.

132. При каком угле θ комптоновского рассеяния отношение $\varepsilon / \varepsilon'$ энергий фотона до рассеяния и после рассеяния на свободном электроне будет максимальным? Определить в рассматриваемом случае кинетическую энергию электрона отдачи $W_к$, если частота фотона до столкновения $\nu = 2 \cdot 10^{21}$ Гц.

133. Определить длину волны де Бройля λ_e электрона отдачи при комптоновском рассеянии, если угол рассеяния $\theta = 120°$, а длина волны фотона до столкновения $\lambda = 3 \cdot 10^{-12}$ м.

134. При какой скорости длина волны де Бройля для электрона равна его комптоновской длине волны.

135. В электронном микроскопе используются электроны с кинетической энергией $W_к = 40{,}0$ кэВ. Определить максимальною разрешающую способность микроскопа, считая, что она равна длине волны де Бройля λ, соответствующей этим электронам.

136. Вычислить длину волны де Бройля λ для протона, движущегося со скоростью $\upsilon = 0{,}6 \cdot c$ (c – скорость света в вакууме). Учесть зависимость массы m протона от его скорости υ.

137. Определить кинетическую энергию электронов, при отражении которых от кристалла с расстоянием между атомными плоскостями d =$9{,}1\cdot10^{-11}$ м, наблюдается второй дифракционный максимум под углом $\theta = 60°$.

138. Определить относительную неопределенность $\Delta p/p$ импульса движущейся частицы, если допустить, что неопределенность её координаты равна длине волны де Бройля λ .

139. Электронный пучок ускоряется в электроннолучевой трубке разностью потенциалов U = 1 кВ. Известно, что неопределённость скорости составляет 0,1% от её численного значения. Определить неопределённость координаты электрона. Являются ли электроны в данных условиях квантовыми или классическими частицами?

140. Используя соотношение неопределённостей, оценить размытость энергетических уровней в атоме водорода для основного и для возбуждённого состояний. Время жизни возбуждённого состояния $\Delta t = 10^{-8}$ с.

141. Какова частота электромагнитной волны, излучаемой атомом водорода при переходе с четвертого энергетического уровня на третий?

142. Вычислить по теории Бора радиес r_2 второй стационарной орбиты и скорость υ_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

143. Вычислить по теории Бора период T обращения электрона на орбите в атоме водорода, находящемся в возбужденном состоянии, определяемом главным квантовым числом n = 2.

144. Вычислить энергию ε_i ионизации атома водорода, находящегося в основном состоянии.

145. Определить частоты спектральных линий, излучаемых атомом водорода, возбуждённым на n = 3 энергетический уровень.

146. Активность A некоторого изотопа за время t = 10 сут. уменьшилась на 20%. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

147. Период полураспада $T_{1/2}$ иода ${}^{131}_{53}I$ равен 8 сут. Определить его время жизни τ и постоянную распада λ .

148. Счетчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал $|\Delta N_1|$= 1400 частиц в минуту, а через время t = 4 ч только $|\Delta N_2|$= 400. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

149. Определить массу m изотопа фосфора ${}^{32}_{15}P$, имеющего активность A = 37 ГБк. Период полураспада $T_{1/2}$ изотопа ${}^{32}_{15}P$ равен 14,3 сут.

150. Определить количество теплоты Q, выделяющейся за время t = 1 мин при распаде, радона активностью, $A = 3{,}7\cdot10^{10}$ Бк. Кинетическая энергия $W_к$ вылетающей из радона α -частицы равна 5,5 МэВ. Период полураспада $T_{1/2}$ радона ${}^{222}_{86}Rn$ равен 3,8 сут.

151. Сколько энергии освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро?

152. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра изотопа гелия ${}_{2}^{3}He$.

153. Определить энергию, необходимую для того, чтобы ядро ${}_{3}^{7}Li$ разделить на нуклоны.

154. Определить удельную энергию связи ядра атома углерода ${}_{6}^{12}C$.

155. Вычислить энергию термоядерной реакции

$${}_{1}^{2}H + {}_{1}^{2}H \rightarrow {}_{2}^{3}He + n_{0}^{1}.$$

156. Дописать реакцию

$${}_{7}^{14}N + {}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{6}^{14}C + ?$$

и определить её энергетический эффект. Выделяется или поглощается энергия в этой ядерной реакции?

157. При соударении α-частицы с ядром бора ${}_{5}^{10}B$ произошла ядерная реакция, в результате которой образовалось два новых ядра. Одним из этих ядер было ядро атома водорода ${}_{1}^{1}H$. Дать символьную запись ядерной реакции с указанием второго продукта ядерной реакции и определить её энергетический эффект.

158. Ядро изотопа висмута ${}_{83}^{210}Bi$ выбросило отрицательно заряженную β-частицу. В какое ядро превратилось ядро висмута? Написать реакцию распада висмута и вычислить энергию связи нового ядра.

159. В процессе осуществления реакции $\gamma \rightarrow {}_{-1}^{0}e + {}_{+1}^{0}e$ энергия ε_{γ} фотона составляет 2,02 МэВ. Определить кинетическую энергию электрона и позитрона в момент их возникновения.

160. При столкновении электрона и позитрона происходит их аннигиляция, в процессе которой электронно-позитронная пара превращается в два γ – кванта, а энергия пары превращается в энергию фотонов. Определить энергию каждого из возникших фотонов, считая, кинетическую энергию электрона и позитрона до столкновения пренебрежимо малой.

3.5. Примеры решения задач

Пример 1. Движение материальной точки задано уравнениями $x = A_1 t^2$ и $y = A_2 + B_2 t^3$. Определить скорость и ускорение точки к концу 2-й секунды движения и его среднюю скорость за первые 2 с движения. Принять A_1 = 1,5 м/с^2, A_2 = 2,5 м, B_2 = 0,5 м/с^3.

Решение. Движение материальной точки происходит по кривой линии в плоскости, определяемой осями X и Y. Проекции вектора на оси X и Y равны первой производной по времени от соответствующей координаты:

$$\upsilon_x = \mathrm{d}x / \mathrm{d}t = \mathrm{d}\left(A_1 t^2\right) / \mathrm{d}t = 2A_1 t;$$

$$\upsilon_y = \mathrm{d}y / \mathrm{d}t = \mathrm{d}\left(A_2 + B_2 t^3\right) / \mathrm{d}t = 3B_2 t^2.$$

Величина (модуль) мгновенной скорости

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2} = \sqrt{4A_1^2 t^2 + 9B_2^2 t^4} = t\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2} .$$

Мгновенное ускорение равно первой производной от скорости по времени:

$$a = \mathrm{d}\upsilon / \mathrm{d}t = \mathrm{d}\left(t\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2}\right) / \mathrm{d}t = \left(\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2} + 9B_2^2 t^2 / \sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 t^2}\right).$$

Средняя путевая скорость за некоторый промежуток времени t равна отношению пути s, пройденного за данный промежуток времени, к величине этого промежутка:

$$\langle \upsilon \rangle = s / t .$$

Путь, пройденный материальной точкой за время t,

$$s = \int_0^t \upsilon \mathrm{d}\tau = \int_0^t \tau\sqrt{4A_1^2 + 9B_2^2 \tau^2}\, d\tau = \left(4A_1^2 + 9B_2^2 t^2\right)^{3/2} / \left(27B_2^2\right).$$

Таким образом, средняя путевая скорость

$$\langle \upsilon \rangle = s / t = \left(4A_1^2 + 9B_2^2 t^2\right)^{3/2} / \left(27B_2^2 t\right).$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

$A_1 = 1{,}5$ м/с^2, $A_2 = 2{,}5$ м, $B_2 = 0{,}5$ м/с^2, $t = 2$ с.

Проверим правильность расчётных формул анализом единиц измерения. Для этого в расчётные формулы подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единиц определяемой величины:

$$\text{м/с} = \text{с}\sqrt{\left(\text{м/с}^2\right)^2 + \left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2} = \text{с}\sqrt{\text{м}^2/\text{с}^4 + \text{м}^2/\text{с}^4} = \text{с}\sqrt{\text{м}^2/\text{с}^4} = \text{с}\cdot\text{м/с}^2 = \text{м/с};$$

$$\text{м/с}^2 = \sqrt{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)^2 + \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^3}\right)^2 \text{с}^2} + \frac{\left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2}{\sqrt{\left(\text{м/с}^2\right)^2 + \left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{\left(\text{м/с}^2\right)^2}{\text{м/с}^2} = \text{м/с}^2;$$

$$\text{м/с} = \frac{\left[\left(\text{м/с}^2\right)^2 + \left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}^2\right]^{3/2}}{\left(\text{м/с}^3\right)^2 \text{с}} = \frac{\left[\left(\text{м/с}^2\right)^2\right]^{3/2}}{\text{м}^2/\text{с}^5} = \frac{\text{м}^3/\text{с}^6}{\text{м}^2/\text{с}^5} = \text{м/с}.$$

Расчётные формулы верны, так как единицы левой и правой частей расчётных формул одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётные формулы и произведём вычисления:

$$\upsilon = 2\sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2 \cdot 2^2}\ \text{м/с} = 8{,}5\ \text{м/с};$$

$$a = \left(\sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2 \cdot 2^2} + 9\cdot 0{,}5^2 \cdot 2^2 / \sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2 \cdot 2^2}\right) \text{м/с}^2 = 6{,}4\ \text{м/с}^2;$$

$$\langle \upsilon \rangle = \left(\sqrt{4\cdot 1{,}5^2 + 9\cdot 0{,}5^2 \cdot 2^2}\right)^3 / \left(27\cdot 0{,}5^2 \cdot 2\right) \text{м/с} = 5{,}7\ \text{м/с}.$$

Пример 2. Навстречу шару массой $m_1 = 500$ г, движущемуся со скоростью $\upsilon_1 = 10$ м/с, летит шар массой $m_2 = 200$ г со скоростью $\upsilon_2 = 25$ м/с. При столкновении шары испытывают прямой, центральный, абсолютно упругий удар. Определить скорости u_1 и u_2 шаров после столкновения.

Решение. Систему взаимодействующих шаров будем рассматривать как замкнутую систему. Для такой системы при абсолютно упругом ударе справедливы законы сохранения импульса и кинетической энергии.

Закон сохранения импульса для системы двух взаимодействующих шаров выражается соотношением

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2,$$

где m_1 и m_2 – массы шаров; $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ – векторы скоростей шаров до столкновения; $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ – векторы скоростей шаров после столкновения; $m_1\vec{\upsilon}_1$ и $m_1\vec{u}_1$ – импульсы первого шара до и после столкновения; $m_2\vec{\upsilon}_2$ и $m_2\vec{u}_2$ – импульсы второго шара до и после столкновения.

Спроектируем это уравнение на ось, совпадающую с направлением движения первого шара:

$$m_1\upsilon_1 - m_2\upsilon_2 = m_1u_1 + m_2u_2. \tag{1}$$

Закон сохранения кинетической энергии для рассматриваемой системы:

$$\frac{m_1\upsilon_1^2}{2} + \frac{m_2\upsilon_2^2}{2} = \frac{m_1u_1^2}{2} + \frac{m_2u_2^2}{2}. \tag{2}$$

Решим совместно уравнения (1) и (2) для этого каждое слагаемое второго уравнения умножим на 2, а затем в первом и первом втором уравнениях перенесём в левую часть уравнения характеристики, касающиеся первого шара, характеристики же, касающиеся второго шара, перенесём в правую часть:

$$m_1\upsilon_1 - m_1u_1 = m_2u_2 + m_2\upsilon_2; \tag{3}$$

$$m_1\upsilon_1^2 - m_1u_1^2 = m_2u_2^2 - m_2\upsilon_2^2. \tag{4}$$

Разделим уравнение (4) на уравнение (3):

$$\frac{m_1\left(\upsilon_1^2 - u_1^2\right)}{m_1\left(\upsilon_1 - u_1\right)} = \frac{m_2\left(u_2^2 - \upsilon_2^2\right)}{m_2\left(u_2 + \upsilon_2\right)}.$$

После преобразования получим:

$$\frac{(\upsilon_1 - u_1)(\upsilon_1 + u_1)}{(\upsilon_1 - u_1)} = \frac{(u_2 - \upsilon_2)(u_2 + \upsilon_2)}{(u_2 + \upsilon_2)}; \quad \text{или} \quad \upsilon_1 + u_1 = u_2 - \upsilon_2.$$

Отсюда $u_2 = \upsilon_1 + \upsilon_2 + u_1$.

Подставим полученное для скорости u_2 выражение в уравнение (3):

$$m_1\upsilon_1 - m_1u_1 = m_2\left(\upsilon_1 + \upsilon_2 + u_1\right) + m_2\upsilon_2.$$

Решим последнее уравнение относительно u_1:

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_1 - 2m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2}.$$

Скорость второго шара после столкновения

$$u_2 = \upsilon_1 + \upsilon_2 + \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_1 - 2m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2} = \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_2 + 2m_1\upsilon_1}{m_1 + m_2}.$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:

$m_1 = 500$ г $= 0{,}5$ кг; $m_2 = 200$ г $= 0{,}2$ кг; $\upsilon_1 = 10$ м/с; $\upsilon_2 = 25$ м/с.

Проверим правильность расчётных формул анализом единиц измерения. Для этого в расчётные формулы подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единиц определяемой величины:

$$\text{м/с} = \frac{(\text{кк} - \text{кг}) \cdot \text{м/с} \pm \text{кг} \cdot \text{м/с}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м/с}}{\text{кг}} = \text{м/с}.$$

Расчётные формулы верны, так как единицы левой и правой частей расчётных формул одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётные формулы и произведём вычисления скоростей шаров после соударения:

$$u_1 = \frac{(0{,}5 - 0{,}2) \cdot 10 - 2 \cdot 0{,}2 \cdot 25}{0{,}5 + 0{,}2} \text{ м/с} = -10 \text{ м/с};$$

$$u_2 = \frac{(0{,}5 - 0{,}2) \cdot 25 + 2 \cdot 0{,}5 \cdot 10}{0{,}5 + 0{,}2} \text{ м/с} = 25 \text{ м/с}.$$

Результат показывает, что оба шара, не изменив величин скоростей, изменили направление движения на противоположное.

Пример 3. На блок намотана невесомая и нерастяжимая нить, к свободному концу которой подвешен груз массой $m_1 = 0{,}5$ кг. Блок представляет собой сплошной диск массой $m_2 = 20$ кг и радиусом $R = 15$ см. Груз отпускают. Определить угловое ускорение и кинетическую энергию блока, а также полное ускорение точек на ободе блока через $t = 2$ с после начала падения груза. Сколько оборотов выполнит блок к указанному моменту времени?

Решение. На груз действуют две силы: сила тяжести $m_1 \vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити $\vec{T}$, направленная вертикально вверх (рис. 6).

Если принять направление вниз за положительное, то согласно второму закону Ньютона можно написать динамическое уравнение движения груза в виде:

$$m_1 g - T = m_1 a_1,$$

где m_1 – масса груза; g – ускорение свободного падения; a_1 – ускорение движения груза.

Отсюда $T = m_1(g - a_1)$.

С такой же силой, но направленной вниз, нить действует на блок. Эта сила создает вращающий момент

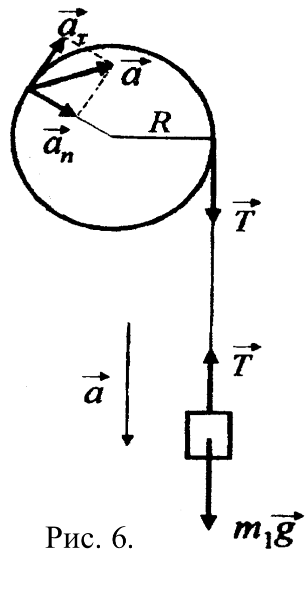


Рис. 6.

С такой же силой, но направленной вниз, нить действует на блок. Эта сила создает вращающий момент

$$M = T \cdot R = m_1(g - a_1)R, \qquad (1)$$

где R – радиус блока.

Из основного уравнения динамики вращательного движения вращающий момент

$$M = J\varepsilon, \tag{2}$$

где J – момент инерции блока, ε – его угловое ускорение.

Момент инерции сплошного диска

$$J = m_2R^2/2,$$

где m_2 – масса блока.

Угловое ускорение блока

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

где a_τ – тангенциальное ускорение точек на ободе блока.

Подставив выражения для J и ε в формулу (2), получим

$$M = \frac{1}{2} m_2R^2\, a_\tau / R = \frac{1}{2}\, m_2Ra_\tau\,. \tag{3}$$

Так как нить нерастяжима, то ускорение движения груза и тангенциальное ускорение точек на ободе блока одинаковы: $a_1 = a_\tau$.

Приравняем выражения (1) и (3) для вращающего момента:

$$m_1(g - a_\tau)R = \frac{1}{2} m_2R\, a_\tau\,.$$

Из последнего выражения получаем:

$$a_\tau = \frac{2m_1}{2m_1 + m_2} \cdot g\,.$$

Угловое ускорение блока

$$\varepsilon = \frac{2m_1}{2m_1 + m_2} \cdot \frac{g}{R}\,. \tag{4}$$

Угловая скорость блока в момент времени t

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon\, t,$$

где ω_0 – начальная угловая скорость блока ($\omega_0 = 0$ по условию задачи).

Кинетическая энергия блока в этот момент

$$W_к = \frac{J\omega^2}{2} = \frac{m_2R^2\varepsilon^2t^2}{4} = \frac{m_2(R\varepsilon t)^2}{4}\,. \tag{5}$$

Нормальное ускорение точек на ободе блока

$$a_n = \omega^2R = \varepsilon^2t^2R\,.$$

Полное линейное ускорение точек на ободе блока

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{(\varepsilon^2t^2R)^2 + (\varepsilon R)^2} = \varepsilon R\sqrt{(\varepsilon t^2)^2 + 1}\,. \tag{6}$$

Количество оборотов, выполненных блоком к моменту времени t,

$$N = \varphi/(2\pi),$$

где φ – угол поворота блока за время t; 2π радиан – угол, соответствующий одному обороту блока.

В случае равноускоренного вращения

$$\varphi = \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2 \ .$$

При $\omega_0 = 0$

$$\varphi = \varepsilon t^2 / 2 \ , \quad \text{а} \quad N = \varepsilon t^2 / (4\pi) .$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

m_1 = 0,5 кг; m_2 = 20 кг; R = 15 см = 0,15 м; t = 2 с.

Проверим правильность расчётных формул (4), (5) и (6) анализом единиц измерения. Для этого в расчётные формулы подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единиц определяемой величины:

$$\text{с}^{-2} = \frac{\text{кг}}{\text{кг} + \text{кг}} \cdot \frac{\text{м/с}^2}{\text{м}} = \text{с}^{-2}.$$

$$\text{Дж} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-4} \cdot \text{с}^2 = \text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = \text{Дж};$$

$$\text{м/с}^2 = \text{с}^{-2} \cdot \text{м} \sqrt{\left(\text{с}^{-2} \cdot \text{с}^2\right)^2} = \text{м/с}^2 .$$

Расчётные формулы верны, так как единицы левой и правой частей расчетных формул одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётные формулы и произведём вычисления:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 0{,}5}{2 \cdot 0{,}5 + 20} \cdot \frac{9{,}8}{0{,}15} \ \text{с}^{-2} = 3{,}1 \ \text{с}^{-2};$$

$$W_\text{к} = \frac{20 \cdot \left(0{,}15 \cdot 3{,}1 \cdot 2\right)^2}{4} \ \text{Дж} = 4{,}3 \ \text{Дж};$$

$$a = 3{,}1 \cdot 0{,}15 \sqrt{\left(3{,}1 \cdot 2^2\right)^2 + 1} \ \text{м/с}^2 = 5{,}8 \ \text{м/с}^2 ;$$

$$N = \frac{3{,}1 \cdot 2^2}{4 \cdot 3{,}14} = 0{,}99 .$$

Пример 4. Какую работу надо совершить, чтобы растянуть пружину от Δx_1 = 1 см до Δx_2 = 3 см, если под действием силы F = 50 Н пружина растягивается на Δx = 2 см?

Решение. В соответствии с законом сохранения и превращения механической энергии работа внешней деформирующей силы равна приращению потенциальной энергии пружины:

$$A = W_{\text{п}2} - W_{\text{п}1} ,$$

где $W_{\text{п}1}$ – потенциальная энергия пружины, растянутой на Δx_1;

$W_{\text{п}2}$ – потенциальная энергия пружины, растянутой на Δx_2 .

Потенциальная энергия упруго деформированной пружины

$$W_\text{п} = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2} ,$$

где k – жесткость пружины.

Поэтому $$W_{п1} = \frac{k \cdot \Delta x_1^2}{2} \quad \text{и} \quad W_{п2} = \frac{k \cdot \Delta x_2^2}{2},$$

а $$A = \frac{k \cdot \Delta x_2^2}{2} - \frac{k \cdot \Delta x_1^2}{2} = \frac{k}{2}\left(\Delta x_2^2 - \Delta x_1^2\right).$$

По закону Гука сила упругости, возникающая в упруго деформированном теле,

$$F_у = -k \cdot \Delta x.$$

В соответствии с третьим законом Ньютона сила упругости $F_у$ равна по величине внешней силе F, вызывающей деформацию, и противоположно ей направлена: $F_у = -F$. Поэтому $F = k \cdot \Delta x$.

Отсюда $$k = F / \Delta x.$$

С учетом последнего выражения

$$A = \frac{F}{2 \cdot \Delta x}\left(x_2^2 - x_1^2\right).$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

F=50 Н; Δx=2 см=0,02 м; x_1=1 см=0,01 м; Δx_2=3 см=0,03 м.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения. Для этого в расчётную формулу подставим единицы измерения величин и преобразуем их до получения единицы измерения определяемой величины:

$$\text{Дж} = \frac{\text{Н}}{\text{м}}\left(\text{м}^2 - \text{м}^2\right) = \frac{\text{Н}}{\text{м}}\text{м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Расчётная формула верна, так как единицы её левой и правой частей одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётную формулу и произведём вычисления:

$$A = \frac{50}{2 \cdot 0{,}02}(0{,}03^2 - 0{,}01^2) \text{ Дж} = 1 \text{ Дж}.$$

Пример 5. На скамье Жуковского стоит человек и держит над головой стержень длиной l = 1,5 м и массой m = 6 кг, расположенный вертикально по оси вращения скамьи, которая вращается с частотой n = 48 об/мин. С какой частотой n' будет вращаться скамья с человеком, если он повернёт стержень в горизонтальное положение, держа его за середину? Суммарный момент инерции человека и скамьи равен J = 6,5 кг·м^2.

Решение. В соответствии с законом сохранения момента импульса момент импульса $J'\vec{\omega}'$ вращающейся системы скамья-человек-стержень при горизонтальном положении стержня равен моменту импульса системы $J\vec{\omega}$ при начальном вертикальном положении стержня :

$$J'\vec{\omega}' = J\vec{\omega},$$

где J' – момент инерции системы при горизонтальном положении стержня;

$\vec{\omega}'$ – вектор угловой скорости системы при горизонтальном положении стержня;

J – момент инерции системы при вертикальном положении стержня;

$\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости системы при вертикальном положении стержня.

Так как направления векторов угловых скоростей $\vec{\omega}$ и $\vec{\omega}'$ в рассматриваемом случае совпадают, то в проекции на ось вращения закон сохранения момента импульса запишется в виде:

$$J'\omega' = J\omega .$$

Момент инерции стержня при его расположении вертикально вдоль оси вращения скамьи равен нулю, а при его горизонтальном положении, когда ось вращения проходит через середину стержня, –

$$J_{\text{ст}} = ml^2/12 ,$$

где m – масса стержня; l – его длина.

Момент инерции системы при горизонтальном положении стержня

$$J' = J + J_{\text{ст}} = J + ml^2/12.$$

Угловые скорости скамьи при вертикальном и горизонтальном положениях стержня соответственно равны:

$$\omega = 2\pi n \quad \text{и} \quad \omega' = 2\pi n' ,$$

где n и n' – частоты вращения скамьи при вертикальном и горизонтальном положениях стержня.

С учётом всего сказанного закон сохранения момента импульса для рассматриваемой системы запишется в виде:

$$\left(J + ml^2/12\right)2\pi n' = J \cdot 2\pi n .$$

Отсюда $$n' = \frac{Jn}{J + ml^2/12} .$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

l = 1,5 м; m = 6 кг; n = 48 об/мин = 8 об/с; J = 6,5 кг·м^2.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{об/с} = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{об/с}}{\text{кг}\cdot\text{м}^2 + \text{кг}\cdot\text{м}^2} = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{об/с}}{\text{кг}\cdot\text{м}^2} = \text{об/с} .$$

Расчётная формула верна, так как единицы её левой и правой частей одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётную формулу и произведём вычисления:

$$n' = \frac{6{,}5\cdot 8}{6{,}5 + \frac{1}{12}\cdot 6\cdot 1{,}5^2} \text{ об/с} = 6{,}8 \text{ об/с}.$$

Пример 6. Точка массой m = 0,1 кг совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0{,}1\sin \pi t$. Определить скорость, ускорение, потенциальную и кинетическую энергию точки через 1/6 с от начала колебаний. Определить также возвращающую силу, действующую на точку в этот момент времени.

Решение. Уравнение гармонических колебаний в общем виде:

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

где x – смещение точки от положения равновесия в момент времени t,

A – амплитуда колебаний, ω – круговая частота.

Сравнивая это уравнение с уравнением колебаний, заданных в условии задачи, находим, что A = 0,1 м, а $\omega = \pi$ с$^{-1}$.

По определению мгновенная скорость есть первая производная от смещения по времени, т. е.

$$\upsilon = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}(A\sin\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\cdot\frac{\mathrm{d}(\sin\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\cos\omega t\cdot\frac{\mathrm{d}(\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\omega\cos\omega t\ . \quad (1)$$

Мгновенное ускорение есть первая производная от скорости по времени, т.е.

$$a = \frac{\mathrm{d}\upsilon}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}(A\omega\cos\omega t)}{\mathrm{d}t} = A\omega\frac{\mathrm{d}(\cos\omega t)}{\mathrm{d}t} =$$

$$= -A\omega\sin\omega t\frac{\mathrm{d}(\omega t)}{\mathrm{d}t} = -A\omega^2\sin\omega t\ . \quad (2)$$

Кинетическая энергия колеблющейся точки

$$W_{\text{к}} = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2}\cos^2\omega t\,.$$

Полная механическая энергия точки равна максимальному значению её кинетической энергии:

$$W = W_{\text{к}\max} = mA^2\omega^2/2\,.$$

Потенциальная энергия точки

$$W_{\text{п}} = W - W_{\text{к}} = \frac{mA^2\omega^2}{2} - \frac{mA^2\omega^2}{2}\cos^2\omega t =$$

$$= \frac{mA^2\omega^2}{2}\left(1-\cos^2\omega t\right) = \frac{mA^2\omega^2}{2}\sin^2\omega t\,.$$

Возвращающая сила, действующая на колеблющуюся материальную точку в момент времени t,

$$F = ma = -m\omega^2A\sin\omega t\,.$$

Выразим величины в единицах СИ:

m = 0,1 кг; из уравнения колебаний видно, что A=0,1 м; $\omega = \pi$ с$^{-1}$; t =1/6 с.

Проверим правильность расчётных формул (1) и (2) анализом единиц измерения:

$$\text{м/с} = \text{м}\cdot\text{с}^{-1} = \text{м/с}; \qquad \text{м/с}^2 = \text{м}\cdot(\text{с}^{-1})^2 = \text{м/с}^2\ ;$$

$$\text{Дж} = \text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2} = \text{Дж}; \qquad \text{Н} = \text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{м} = \text{Н}.$$

Расчётные формулы верны, т. к. единицы измерения левой и правой частей формул одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\upsilon = 0{,}1\cdot\pi\cdot\cos(\pi\cdot 1/6)\ \text{м/с} = 0{,}1\cdot 3{,}14\cdot\cos(\pi/6)\ \text{м/с} = 0{,}272\ \text{м/с};$$

$$a = -0{,}1\cdot\pi^2\cdot\sin(\pi\cdot 1/6)\ \text{м/с}^2 = -0{,}1\cdot 3{,}14^2\cdot\sin(\pi/6)\ \text{м/с}^2 = -0{,}492\ \text{м/с}^2\ .$$

$$W_\text{к} = \frac{0{,}1\cdot 0{,}272^2}{2}\ \text{Дж} = 0{,}0037\ \text{Дж} = 3{,}7\ \text{мДж};$$

$$W_\text{п} = \frac{0{,}1\cdot 0{,}1^2\cdot 3{,}14^2}{2}\sin^2(\pi\cdot 1/6)\ \text{Дж} = 0{,}0012\ \text{Дж} = 1{,}2\ \text{мДж};$$

$$F = 0{,}1\cdot(-0{,}492)\ \text{Н} = 0{,}049\ \text{Н} = 49\ \text{мН}.$$

Пример 7. Определить плотность смеси газов: ν_1 = 5 моль азота и ν_2 = 10 моль кислорода, содержащихся в баллоне при температуре t=17°С и давлении p=2,5 МПа.

Решение. По определению плотность смеси газов

$$\rho_\text{см} = \left(m_1 + m_2\right)/V\ ,$$

где m_1 и m_2 – массы азота и кислорода соответственно; V – объём баллона.

Причем:

$$m_1 = \nu_1\cdot M_1 \quad \text{и} \quad m_2 = \nu_2\cdot M_2\ ,$$

где ν_1 и ν_2 – количество молей азота и кислорода соответственно;
M_1 и M_2 – их молярные массы.

Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для каждого газа в отдельности:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M_1} RT \qquad \text{и} \qquad p_2 V = \frac{m_2}{M_2} RT\ ,$$

где p_1 и p_2 – парциальные давления азота и кислорода соответственно;
R – универсальная газовая постоянная;
T – абсолютная (термодинамическая) температура.

Суммируя правые и левые части этих равенств, получим

$$\left(p_1 + p_2\right)V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)RT\ .$$

Согласно закону Дальтона давление смеси газов

$$p_\text{см} = p_1 + p_2\ .$$

Поэтому $$p_\text{см}V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)RT = \left(\nu_1 + \nu_2\right)RT\ .$$

Отсюда объём газа в баллоне

$$V = (\nu_1 + \nu_2)RT / p_\text{см}\ .$$

Подставив выражения для m_1, m_2 и V в исходную формулу, получим:

$$\rho_\text{см} = \frac{(\nu_1 M_1 + \nu_2 M_2)\,p_\text{см}}{(\nu_1 + \nu_2)RT}\ .$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:

ν_1= 5 моль; ν_2= 10 моль; M_1= $28\cdot10^{-3}$ кг/моль; M_2= $32\cdot10^{-3}$ кг/моль; R= 8,31 Дж/(К·моль); T= 290 К; $p_{см}$ = $2{,}5\cdot10^{6}$ Па.

Проверим размерность левой и правой частей расчётной формулы:

$$\frac{кг}{м^3}=\frac{моль\cdot кг/моль\cdot Па}{моль\cdot Дж/(К\cdot моль)\cdot К}=\frac{кг\cdot Па}{Дж}=\frac{кг\cdot Н}{м^2\cdot Н\cdot м}=\frac{кг}{м^3}\ .$$

Расчётная формула верна, так как единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\rho_{см}=\frac{(5\cdot 28\cdot 10^{-3}+10\cdot 32\cdot 10^{-3})\cdot 2{,}5\cdot 10^{-6}}{(5+10)\cdot 8{,}31\cdot 290}\ \frac{кг}{м^3}=31{,}8\ кг/м^3\ .$$

Пример 8. Определить массу углекислого газа, продиффундировавшего за t = 1 час через S = 1 м^2 почвы, прогретой до температуры $t_п$ = 27°С. Коэффициент диффузии D через почву принять равным 0,05 см^2/с. Плотность газа на глубине h = 0,5 м составляет ρ_1= $1{,}2\cdot10^{-6}$ г/см^3, а у поверхности почвы – ρ_2 = $1{,}0\cdot10^{-6}$ г/см^3. Определить, во сколько раз почва ослабляет диффузию.

Решение. Масса продиффундировавшего вещества выражается уравнением диффузии (законом Фика):

$$m=-D\frac{\Delta\rho}{\Delta x}St\,, \qquad (1)$$

где D – коэффициент диффузии; $\Delta\rho/\Delta x$ – градиент плотности; S – площадь поверхности, через которую рассчитывается диффузия; t – продолжительность диффузии.

При вертикальном направлении диффузионного потока углекислого газа из почвы градиент плотности

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta x}=\frac{\rho_2-\rho_1}{h},$$

где h – расстояние между слоями почвы, разность плотностей газа $\Delta\rho$ в которых требуется определить; ρ_1 – плотность углекислого газа в почве на глубине h; ρ_2 – плотность углекислого газа в почве вблизи ее поверхности.

Следовательно, масса продиффундировавшего из почвы углекислого газа

$$m=-D\frac{\rho_2-\rho_1}{h}St\,. \qquad (2)$$

Влияние среды на интенсивность диффузии определяется отношением коэффициентов диффузии, т. к. отношение диффундирующих масс при одинаковых численных значениях $\Delta\rho/\Delta x$, S и t равно отношению коэффициентов диффузии. Поэтому ослабление диффузии почвой по сравнению с диффузией в газовой среде равно отношению $D_г/D$, где $D_г$ – коэффициент диффузии углекислого газа через газовую среду (воздух).

Коэффициент диффузии вещества в газовой среде

$$D_г = \frac{1}{3}\langle l\rangle\langle \upsilon\rangle, \qquad (3)$$

где $\langle l\rangle$ – средняя длина свободного пробега молекулы в газовой среде (воздухе);
$\langle \upsilon\rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул углекислого газа.

При диффузии углекислого газа через воздух при температуре, равной средней температуре почвы

$$\langle l\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} \quad \text{и} \quad \langle \upsilon\rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}, \qquad (4)$$

где d – эффективный диаметр молекулы диффундирующего газа; n – концентрация молекул газа, являющегося средой диффузии; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная (термодинамическая) температура газа; M – молярная масса углекислого газа.

Подставив эти выражения для $\langle l\rangle$ и $\langle \upsilon\rangle$ в формулу (3), получим:

$$D_г = \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}\cdot\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \frac{2}{3d^2 n}\sqrt{\frac{RT}{\pi^3 M}}. \qquad (5)$$

Концентрация молекул воздуха

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_А}{V}, \qquad (6)$$

где ν – количество вещества; $N_А$ – постоянная Авогадро; V – объем газа.

Из уравнения Менделеева–Клапейрона

$$pV = \nu RT,$$

где p – давление воздуха, имеем

$$\nu = \frac{pV}{RT}. \qquad (7)$$

Подставив (7) в (6), а затем полученное выражение в (5), получим:

$$D_г = \frac{2}{3d^2 pN_А}\sqrt{\frac{1}{M}\cdot\left(\frac{RT}{\pi}\right)^3}.$$

Ослабление диффузии почвой

$$\frac{D_г}{D} = \frac{2}{3Dd^2 pN_А}\sqrt{\frac{1}{M}\cdot\left(\frac{RT}{\pi}\right)^3}. \qquad (8)$$

Выразим величины, входящие в формулу (8) в СИ:
$p = 10^5$ Па (атмосферное давление); $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К); $t = 1$ ч= 3600 с;
$N_А = 6{,}02\cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$; $d = 3{,}5\cdot 10^{-10}$ м; $M = 0{,}044$ кг/моль; $t_п = 27$°С (температура почвы); $T = 273 + t_п = (273 + 27)$ К $= 300$ К; $h = 0{,}5$ м; $S = 1$ м^2;
$D = 0{,}05$ см^2/с = = $5\cdot 10^{-6}$ м^2/с; $\rho_1 = 1{,}2\cdot 10^{-5}$ г/см^3 = 0,012 кг/м^3;
$\rho_2 = 1{,}0\cdot 10^{-5}$ г/см^3 = 0,010 кг/м^3.

Проверим правильность формулы (8) анализом единиц измерения:

$$1=\frac{1}{\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{м}^2\cdot\text{Па}\cdot\text{моль}^{-1}}\cdot\sqrt{\frac{1}{\text{кг/моль}}\cdot\left[\text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}\cdot\text{К}\right]^3}=$$

$$=\frac{\text{с}\cdot\text{моль}}{\text{м}^4\cdot\text{Н/м}^2}\cdot\sqrt{\frac{\text{моль}}{\text{кг}}\cdot\left(\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{моль}}\right)^3}=\frac{\text{с}\cdot\text{моль}}{\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{м/с}^2\cdot\text{моль}}\cdot\sqrt{\frac{\text{кг}^3\cdot\text{м}^3/\text{с}^6\cdot\text{м}^3}{\text{кг}}}=$$

$$=\frac{\text{с}^3}{\text{м}^3\cdot\text{кг}}\cdot\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^3}{\text{с}^3}=1.$$

Подставим численные значения величин в формулы (2) и (8) и произведем вычисления:

$$m=-5\cdot10^{-6}\cdot\frac{0{,}0010-0{,}0012}{0{,}5}\cdot1\cdot3600\ \text{кг}=7{,}2\cdot10^{-6}\ \text{кг}=7{,}2\ \text{мг};$$

$$\frac{D_\text{г}}{D}=\frac{2}{3\cdot5\cdot10^{-6}\cdot3{,}5^2\cdot10^{-20}\cdot10^5\cdot6{,}02\cdot10^{23}}\cdot\sqrt{\frac{1}{0{,}044}\cdot\left(\frac{8{,}31\cdot300}{3{,}14}\right)^3}=1{,}93.$$

Пример 9. Считая водяной пар массой m=180 г, находящийся при температуре t=123°C, идеальным газом, определить: 1) внутреннюю энергию пара; 2) среднюю энергию вращательного движения одной молекулы этого пара.

Решение. Внутренняя энергия идеального газа выражается формулой:

$$U=\frac{i}{2}\frac{m}{M}RT\ ,$$

где i – число степеней свободы молекулы газа; m – масса газа; M – его молярная масса; R – универсальная газовая постоянная; T – термодинамическая температура.

Выразим величины, входящие в формулу, в единицах СИ:
m = 0,18 кг; M = 18·10^{-3} кг/моль; T = 400 К; R = 8,31 Дж/(К·моль); i = 6 (т.к. молекула водяного пара трехатомная).

Проверим правильность расчётной формулы сравнением единиц измерения её левой и правой частей:

$$\text{Дж}=\frac{\text{кг}\cdot\text{Дж/(К}\cdot\text{моль)}\cdot\text{К}}{\text{кг/моль}}=\text{Дж}\ .$$

Расчётная формула верна, так как единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$U=\frac{6\cdot0{,}18\cdot8{,}31\cdot400}{2\cdot18\cdot10^{-3}}\text{Дж}=9{,}98\cdot10^4\,\text{Дж}=99{,}8\ \text{кДж}.$$

Известно, что на каждую степень свободы молекулы газа приходится в среднем энергия

$$<w_0>=kT/2,$$

где k – постоянная Больцмана.

Вращательному движению каждой молекулы соответствует некоторое число степеней свободы $i_{вр}$. Это относится ко всем молекулам, кроме одноатомных, для которых $i_{вр}$= 0 и $w_{вр}$= 0. Таким образом, энергия вращательного движения молекулы:

$$w_{вр} = \frac{i_{вр}}{2} kT .$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:
k = 1,38·10^{-23} Дж/К; T = 400 К; $i_{вр}$ = 3, т.к. вращательному движению трехатомной молекулы соответствуют три степени свободы.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

Дж = (Дж/К)·К = Дж.

Произведём вычисления:

$$w_{вр} = \frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 400}{2} \text{ Дж} = 8{,}28 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Пример 10. Кислород массой m = 320 г изобарно расширяется под давлением p = 2·10^5 Па от начальной температуры t_1 = 20°C, поглощая в процессе расширения теплоту Q = 10 кДж. Определить работу расширения и приращение энтропии газа в этом процессе.

Решение. Работа, совершаемая газом при неизменном давлении, выражается формулой:

$$A=p(V_2 - V_1),$$

где p – давление газа; V_1 и V_2 – его начальный и конечный объемы соответственно.

Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для начального и конечного состояний газа:

$$pV_1 = \frac{m}{M} RT_1 \qquad \text{и} \qquad pV_2 = \frac{m}{M} RT_2 .$$

Вычитая из второго уравнения первое, получим

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) .$$

Откуда искомая работа расширения газа:

$$A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) ,$$

где m – масса кислорода; M – его молярная масса; R – универсальная газовая постоянная; T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры газа соответственно.

Так как теплота, необходимая для нагревания газа при изобарном процессе:

$$Q=c_p m(T_2 - T_1) , \qquad \text{то} \qquad T_2 - T_1 = \frac{Q}{mc_p} ,$$

где c_p – удельная теплоёмкость газа при постоянном давлении.

Поскольку $c_p = \frac{i+2}{2} \cdot \frac{R}{M}$, то окончательно получаем:

$$A = \frac{m}{M} \cdot R \cdot \frac{Q \cdot 2M}{m(i+2)R} = \frac{2Q}{i+2} .$$

Приращение энтропии в изотермическом процессе

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T},$$

где ΔQ – количество теплоты, сообщенное газу при температуре T.

Так как процесс не изотермический его следует разбить на такие бесконечно малые (элементарные) процессы, в пределах которых температуру можно считать постоянной. Приращение энтропии в таком процессе

$$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q}{T} .$$

Приращение энтропии газа за весь процесс

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\mathrm{d}Q}{T} .$$

Конечная температура газа

$$T_2 = T_1 + \frac{Q}{mc_p} = T_1 + \frac{2QM}{m(i+2)R} .$$

Теплота, сообщенная газу в элементарном процессе,

$$\mathrm{d}Q = mc_p \mathrm{d}T = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \mathrm{d}T ,$$

где $\mathrm{d}T$ – приращение температуры в этом элементарном процессе.

Следовательно, приращение энтропии в рассматриваемом изобарном процессе

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \frac{\mathrm{d}T}{T} = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \int_{T_1}^{T_2} \frac{\mathrm{d}T}{T} = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \ln \frac{T_2}{T_1} =$$

$$= \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \ln\left(1 + \frac{2QM}{m(i+2)RT_1}\right).$$

Запишем численные значения величин, входящих в расчётную формулу, в единицах СИ: Q=10^4 Дж; i=5 (т.к. молекула кислорода двухатомная); m = 320 г = 0,320 кг; M = $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; t_1 = 20°С; T_1 = 293 К.

Произведём проверку правильности расчётных формул, сравнив единицы измерения левой и правой частей формул:

$$\text{Дж} = \text{Дж};$$

$$\frac{\text{Дж}}{\text{К}} = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \ln\left(\frac{\text{Дж} \cdot \text{кг/моль}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \text{К}}\right) = \frac{\text{Дж}}{\text{К}} .$$

Расчётные формулы верны, так как единицы измерения левой и правой частей формул одинаковы.

Выполним вычисления:

$$A = \frac{2\cdot 10^4}{5+2}\,\text{Дж} = 2{,}86\cdot 10^3\,\text{Дж} = 2{,}86\ \text{кДж}.$$

$$\Delta S = \frac{5+2}{2}\cdot\frac{0{,}320}{0{,}032}\cdot 8{,}31\cdot\ln\left(1+\frac{2\cdot 10^4\cdot 0{,}032}{0{,}320\cdot(5+2)\cdot 8{,}31\cdot 293}\right)\frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 32{,}3\ \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Пример 11. Через S = 1 м^2 поверхности суглинистой почвы за τ = 1 час на глубину h = 0,5 м проникает Q =58,2 кДж теплоты. Какова температура t_1 поверхности почвы, если на глубине h температура почвы t_2 = 10°С. Во сколько раз процесс теплопроводности через почву интенсивнее, чем через воздух?

Решение. Количество теплоты Q, передаваемое через вещество в процессе теплопроводности, определяется законом Фурье:

через перпендикулярную направлению переноса теплоты площадку площадью S за время τ при градиенте температуры $\Delta T/\Delta x$, выразим, используя уравнение теплопроводности Фурье:

$$Q = -\lambda\frac{\Delta T}{\Delta x}S\tau\,, \qquad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности вещества, $\Delta T/\Delta x$ – градиент температуры в направлении передачи теплоты; S – площадь поверхности, через которую переносится теплота (точнее, её проекция на плоскость, перпендикулярную тепловому потоку); τ – продолжительность процесса теплопроводности.

По условию задачи передача теплоты происходит от поверхности почвы к слою, лежащему на глубине h, т. е. тепловой поток направлен вертикально вниз. В этом случае

$$\Delta T/\Delta x = \Delta T/h\,. \qquad (2)$$

Разность температур слоёв почвы

$$\Delta T = \Delta t = t_2 - t_1\,, \qquad (3)$$

где t_1 и t_2 – температуры слоёв почвы на поверхности и на глубине h.

Перепишем уравнение теплопроводности (1) с учётом (2) и (3):

$$Q = -\lambda\frac{t_2 - t_1}{h}S\tau\,.$$

Отсюда $$t_1 = t_2 + Qh/(\lambda S\tau)\,.$$

Выпишем численные значения величин и, подставив их в полученную формулу, вычислим температуру поверхности почвы:

t_2 = 10°С; Q =58,2 кДж = 58200 Дж; h = 0,5 м; τ = 1 час = 3600 с;

S = 1 м^2; λ = 1,01 Дж/(м·с·К) (справ. табл.);

$$t_1 = [10+58200\cdot 0{,}5/(1{,}01\cdot 1\cdot 3600)]\cdot{}^\circ\text{C} = 18^\circ\text{C}.$$

Влияние среды на интенсивность процесса теплопроводности определяется отношением коэффициентов теплопроводности, т. к. сравнение интенсивностей этого процесса допустимо при одинаковых численных значениях S, τ и $\Delta T / \Delta x$. Поэтому ответом на второй вопрос условия задачи будет числовое значение отношения $\lambda / \lambda_{\text{в}}$, где $\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Известно, что для газов (в том числе и для воздуха)

$$\lambda_{\text{г}} = \lambda_{\text{в}} = (1/3)\langle l \rangle \langle \upsilon \rangle \rho c_{\text{v}}, \qquad (4)$$

где $\langle l \rangle$ – средняя длина свободного пробега молекул воздуха; $\langle \upsilon \rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул воздуха; ρ – плотность воздуха; c_{v} – удельная теплоёмкость воздуха при постоянном объёме.

Средняя длина свободного пробега молекулы

$$\langle l \rangle = 1/\left(\sqrt{2}\pi d^2 n\right), \qquad (5)$$

где d – эффективный диаметр молекулы воздуха;

n – концентрация молекул воздуха.

Концентрация молекул

$$n = N / V, \qquad (6)$$

где N – количество молекул в объёме V.

Количество молекул

$$N = \nu N_A, \qquad (7)$$

ν – количество вещества; N_{A} – постоянная Авогадро.

Количество вещества ν определим, используя уравнение состояния воздуха (уравнение Клапейрона–Менделеева), считая его идеальным газом:

$$pV = \nu RT,$$

где p – атмосферное давление; R – универсальная газовая постоянная; T –абсолютная (термодинамическая) температура воздуха, которая равна температуре поверхности почвы.

Отсюда

$$\nu = pV/(RT). \qquad (8)$$

Подставив последовательно (8) в (7), а затем, в (6) и (5), получим

$$\langle l \rangle = \frac{RT}{\sqrt{2}\pi d^2 p N_{\text{A}}}. \qquad (9)$$

Средняя арифметическая скорость молекул воздуха

$$\langle \upsilon \rangle = \sqrt{8RT/(\pi M)}, \qquad (10)$$

где $M = 0{,}029$ кг/моль – молярная масса воздуха.

Удельная теплоемкость воздуха при постоянном объёме

$$c_{\text{v}} = iR/(2M) \qquad (11)$$

где i – число степеней свободы молекулы воздуха.

Подставив (9), (10) и (11) в (4), получим выражение для коэффициента теплопроводности воздуха:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{\rho i \sqrt{R^5 T^3}}{3d^2 p N_{\text{A}} \sqrt{\pi^3 M^3}}.$$

Отношение коэффициента теплопроводности почвы к коэффициенту теплопроводности воздуха

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\text{в}}} = \frac{3\lambda d^2 p N_{\text{A}}}{i\rho} \sqrt{\left(\frac{\pi M}{T}\right)^3 \frac{1}{R^5}}. \tag{12}$$

Уточним численные значения некоторых входящих в (12) величин, не использовавшихся ранее: $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К); $N_{\text{A}} = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ (справ. табл. 1); $T = 273 + t_1 = (273+18)$ К $= 291$ К; $p = 10^5$ Па (атмосферное давление); $d = 3 \cdot 10^{-10}$ м (справ, табл. 7, см. азот, т. к. он составляет 78% объёма воздуха); $\rho = 1{,}196$ кг/м^3 (справ, табл. 5, по t_1); $i = 5$ (т. к. большинство молекул, составляющих воздух, двухатомные).

Подставим численные значения величин в формулу (12) и вычислим искомое отношения коэффициентов теплопроводности:

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\text{в}}} = \frac{3 \cdot 1{,}01 \cdot (3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}}{5 \cdot 1{,}196} \sqrt{\left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}029}{291}\right)^3 \frac{1}{8{,}31^5}} = 76{,}3.$$

Пример 12. Электрическое поле создано в вакууме двумя точечными зарядами $Q_1 = 2$ нКл и $Q_2 = -3$ нКл. Расстояние между зарядами $d = 20$ см. Определить напряженность E и потенциал φ электрического поля в точке A, находящейся на расстоянии $r_1 = 15$ см от первого и $r_2 = 10$ см от второго заряда.

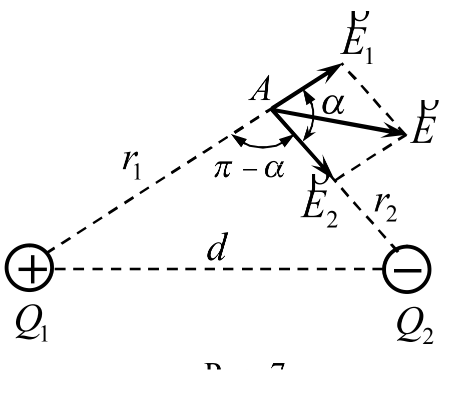
Решение. Согласно принципу суперпозиции электрических полей, каждый заряд создает собственное электрическое поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность $\vec{E}$ результирующего электрического поля в точке A будет равна геометрической сумме напряженностей $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Напряженности электрических полей, создаваемых в вакууме зарядами Q_1 и Q_2, равны соответственно:

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} \quad \text{и} \quad E_2 = \frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2},$$

где $|Q_1|$ и $|Q_2|$ – модули зарядов Q_1 и Q_2; r_1 и r_2 – расстояние от зарядов Q_1 и Q_2 до точки A соответственно.



Вектор $\vec{E}$ направлен по прямой, соединяющей заряд и точку A, от заряда Q_1, т.к. заряд Q_1 – положителен. Вектор $\vec{E}_2$ направлен по прямой, соединяющей заряд Q_2 и точку A, к заряду Q_2, так как этот заряд отрицателен (рис. 7) .

Модуль вектора $\vec{E}$ результирующего поля найдем по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha} \ ,$$

где α – угол между векторами $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$.

Из рисунка видно, что $d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos(\pi - \alpha)$.

Но $\cos(\pi - \alpha) = -\cos\alpha$, поэтому $\cos\alpha = \dfrac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}$,

где d – расстояние между зарядами.

Напряженность результирующего поля

$$E = \sqrt{\left(\frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}\right)^2 + \left(\frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}\right)^2 + 2\cdot\frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}\cdot\frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}\cdot\cos\alpha} =$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{\frac{Q_1^2}{r_1^4} + \frac{Q_2^2}{r_2^4} + \frac{2|Q_1|\cdot|Q_2|}{r_1^2\cdot r_2^2}\cdot\cos\alpha} \ .$$

Потенциал электрического поля в точке A определяется алгебраической суммой потенциалов полей, созданных зарядами Q_1 и Q_2:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 .$$

Поскольку потенциалы в точке A полей, созданных в вакууме точечными зарядами Q_1 и Q_2, соответственно равны:

$$\varphi_1 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1} \qquad \text{и} \qquad \varphi_2 = \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2} \ ,$$

то потенциал результирующего поля в точке A равен

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2}\right) .$$

Выпишем численные значения величин, выразив их в СИ:

$Q_1 = 2$ нКл $= 2\cdot10^{-9}$ Кл; $Q_2 = -3$ нКл $= -3\cdot10^{-9}$ Кл; $d = 20$ см $= 0{,}2$ м;

$r_1 = 15$ см $= 0{,}15$ м; $r_2 = 10$ см $= 0{,}1$ м; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м.

Вычислим значение $\cos\alpha$:

$$\cos\alpha = \frac{0{,}2^2 - 0{,}15^2 - 0{,}1^2}{2\cdot0{,}15\cdot0{,}1} = 0{,}25 \ .$$

Проверим правильность расчётных формул анализом единиц измерения:

$$\frac{\text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{Ф}}\sqrt{\frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^4} + \frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^4} + \frac{\text{Кл}\cdot\text{Кл}}{\text{м}^2\cdot\text{м}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{Ф}}\cdot\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Кл}}{\text{Ф}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\text{Кл}\cdot\text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{м}} \ ;$$

$$\text{В} = \frac{\text{м}}{\text{Ф}}\left(\frac{\text{Кл}}{\text{м}} + \frac{\text{Кл}}{\text{м}}\right) = \frac{\text{Кл}\cdot\text{м}}{\text{Ф}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\text{Кл}} = \text{В} \ .$$

Расчётные формулы верны, т. к. единицы левой и правой частей формул одинаковы.

Подставив числовые значения величин в расчётные формулы, произведём вычисления:

$$E = \frac{1}{4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}\sqrt{\frac{(2\cdot 10^{-9})^2}{0{,}15^4} + \frac{(3\cdot 10^{-9})^2}{0{,}1^4} + \frac{2\cdot 2\cdot 10^{-9}\cdot 3\cdot 10^{-9}}{0{,}15^2\cdot 0{,}1^2}\cdot 0{,}25}\,\frac{\text{В}}{\text{м}} =$$

$= 3{,}0\cdot 10^3$ В/м = 3,0 кВ/м;

$$\varphi = \frac{1}{4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}\left(\frac{2\cdot 10^{-9}}{0{,}15} - \frac{3\cdot 10^{-9}}{0{,}1}\right)\text{В} = -150 \text{ В}.$$

Пример 13. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого d_1=10 см, заряжен до разности потенциалов U_1=250 В и отключён от источника. Площадь пластин конденсатора S=100 см^2. Определить заряд конденсатора. Как изменяется ёмкость, разность потенциалов и энергия конденсатора, если в пространство между пластинами конденсатора поместить фарфоровою плитку толщиной d_2 =2 см и прижать к ней пластины?

Решение. По определению ёмкость конденсатора

$$C_1 = q / U_1 \ , \qquad (1)$$

где q – заряд конденсатора;

U_1 – разность потенциалов между пластинами.

Ёмкость конденсатора зависит от его размеров:

$$C_1 = \varepsilon_0\varepsilon_1 S / d_1 \ , \qquad (2)$$

где ε_0 – электрическая постоянная; ε_1 – диэлектрическая проницаемость пространства между пластинами; S – площадь пластины; d_1 – расстояние между пластинами конденсатора.

Отсюда $\quad q = C_1 U_1 = \varepsilon_0\varepsilon_1 S U_1 / d_1$.

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:

$\varepsilon_0 = 8{,}85\ 10^{-12}$ Ф/м; $\varepsilon_1 = 1$; $S = 10^{-2}$ м^2; $d_1 = 0{,}1$ м; $U_1 = 250$ В.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{Кл} = \frac{\text{Ф}\cdot\text{м}^2\cdot\text{В}}{\text{м}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\text{В}} = \text{Кл} \ .$$

Произведём вычисления:

$$q = \frac{8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 1\cdot 10^{-2}\cdot 250}{0{,}1}\ \text{Кл} = 222\cdot 10^{-12}\ \text{Кл} = 222\ \text{пКл} \ .$$

При изменении вида диэлектрика и расстояния между пластинами конденсатора происходит изменение его ёмкости:

$$C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 S / d_2 . \qquad (3)$$

Тогда $$C_1 / C_2 = \varepsilon_1 d_2 / (\varepsilon_2 d_1).$$

Выразим входящие в данную формулу величины в единицах СИ:
ε_1=l; ε_2=5; d_1=0,1 м; d_2=$2\cdot 10^{-2}$ м.

Произведём вычисления:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{1\cdot 2\cdot 10^{-2}}{5\cdot 0{,}1} = \frac{1}{25} = 0{,}04 \ .$$

Следовательно, ёмкость конденсатора увеличилась в 25 раз.

Так как конденсатор отключён от источника, заряд его не изменяется при замене диэлектрика и изменении расстояния между пластинами.

Разность потенциалов на обкладках первого конденсатора можно выразить из формулы (1):

$$U_1 = q / C_1 ,$$

и аналогично, записать формулу для разности потенциалов на пластинах второго конденсатора

$$U_2 = q / C_2 .$$

Отсюда

$$U_1 / U_2 = C_2 / C_1 \ . \qquad (4)$$

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

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon_2 d_1}{\varepsilon_1 d_2} \ . \qquad (5)$$

Произведём вычисления: $$\frac{U_1}{U_2} = \frac{5\cdot 0{,}1}{1\cdot 2\cdot 10^{-2}} = 25 \ .$$

Следовательно, напряжение на конденсаторе уменьшается в 25 раз.

Энергия электрического поля заряженного конденсатора в его начальном и конечном состояниях выражается формулами:

$$W_1 = qU_1 / 2 \qquad \text{и} \qquad W_2 = qU_2 / 2 .$$

Отсюда $$\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2} = 25 .$$

Следовательно, энергия конденсатора уменьшается в 25 раз.

Пример 14. Электрон, начальная скорость которого υ_0 = 2 Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью E = 10 кВ/м так, что вектор начальной скорости перпендикулярен его силовым линиям. Определить скорость электрона по истечении времени t = 1нс.

Решение. На электрон, находящийся в электрическом поле, действует сила

$$F = eE,$$

где e – заряд электрона; E – напряженность электрического поля.

Направление этой силы противоположно направлению силовых линий поля (рис. 8). В данном случае сила F направлена перпендикулярно скорости υ_0 и сообщает электрону ускорение

$$a = F/m,$$

где m – масса электрона.

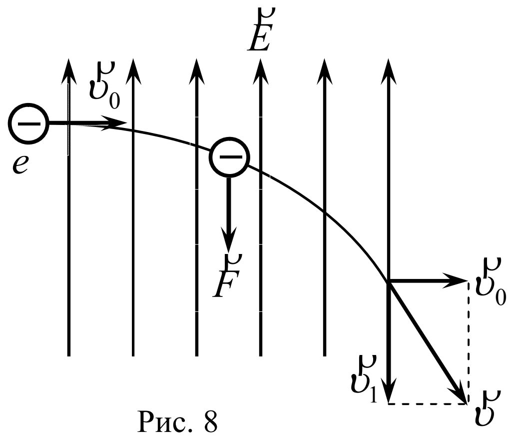


Рис. 8

Движение электрона в электрическом поле по условию задачи является сложным движением, состоящим из двух взаимно перпендикулярных движений: равномерного со скоростью $\vec{\upsilon}_0$ и равноускоренного в направлении действия силы $\vec{F}$.

Таким образом, в момент времени t скорость электрона

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{\upsilon}_1 ,$$

где $\vec{\upsilon}_1$ – скорость, приобретенная электроном под действием силы $\vec{F}$, причём

$$\upsilon_1 = at = Ft/m = eEt/m .$$

Так как направления векторов скоростей $\vec{\upsilon}_0$ и $\vec{\upsilon}_1$ взаимно перпендикулярны, то значение результирующей скорости

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + \upsilon_1^2} ,$$

откуда

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + (eEt/m)^2} .$$

Выпишем численные значения величин в единицах СИ:
$e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл; $m = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг; $t = 10^{-9}$ с; $\upsilon_0 = 2\cdot10^{6}$ м/с; $E = 10^{4}$ В/м.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{м/с} = \sqrt{(\text{м/с})^2 + \left(\frac{\text{Кл}\cdot\text{В}\cdot\text{с}}{\text{кг}\cdot\text{м}}\right)^2} = \sqrt{(\text{м/с})^2 + \left(\frac{\text{Дж}\cdot\text{с}}{\text{кг}\cdot\text{м}}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(\text{м/с})^2 + \left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}}{\text{с}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{м}}\right)^2} = \sqrt{(\text{м/с})^2 + (\text{м/с})^2} = \text{м/с} .$$

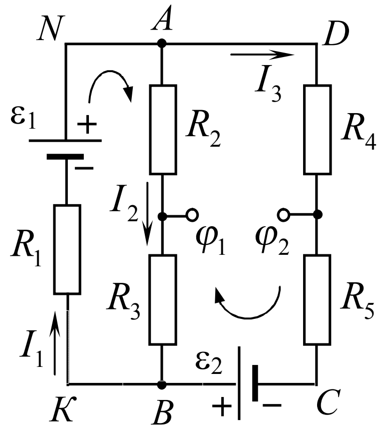
Расчётная формула верна, т, к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\upsilon = \sqrt{\left(2\cdot10^{2}\right)^2 + \left(\frac{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot10^{4}\cdot10^{-9}}{9{,}11\cdot10^{-31}}\right)^2} = 2{,}68\cdot10^{6}\ \text{м/с}$$

$$= 2{,}68\ \text{Мм/с}.$$

Пример 15. Определить разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между клеммами и токи в ветвях цепи, изображенной на рис. 9, если ε_1 = 10 В, ε_2 = 4 В, R_1 =2 Ом, $R_2 = R_5$ = 20 Ом и $R_3 = R_4$ = 10 Ом.



Решение. В случае сложной электрической цепи для решения задачи применяют законы Кирхгофа. С этой целью укажем стрелками на схеме предполагаемые направления токов I_1, I_2 и I_3 в ветвях цепи и направления обхода контуров.

Применим первое правило Кирхгофа к узлу A (токи, входящие в узел, считаем положительными, а выходящие – отрицательными):

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

Для записи ещё двух уравнений применим второе правило Кирхгофа для контуров. При записи уравнений учитывают два условия: 1) если направление ЭДС (от отрицательного полюса источника тока – к положительному) совпадает с направление обхода контура, то ЭДС считается положительной; 2) если направление тока в проводнике совпадает с направлением обхода контура, то падение напряжение на этом проводнике тоже считается положительным, в противном случае – отрицательным.

Имеем для контура ABKDA

$$I_2R_2 + I_2R_3 + I_1R_1 = \varepsilon_1 ,$$

для контура ADCBA

$$I_3R_3 + I_3R_5 - I_2R_3 - I_2R_2 = \varepsilon_2 .$$

Получаем систему уравнений с тремя неизвестными I_1, I_2 и I_3:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0, \\ I_1R_1 + I_2(R_2 + R_3) = \varepsilon_1 , \\ -I_2(R_2 + R_3) + I_3(R_3 + R_5) = \varepsilon_2 . \end{cases}$$

Решить эту систему уравнений можно двумя способами.

Первый способ решения заключается в выделении из уравнения неизвестного и подстановке его в другое уравнение:

$$I_1 = I_2 + I_3; \qquad (I_2 + I_3)R_1 + I_2(R_2 + R_3) = \varepsilon_1;$$

$$I_2(R_1 + R_2 + R_3) + I_3R_1 = \varepsilon_1; \qquad I_2 = (\varepsilon_1 - I_3R_1)/(R_1 + R_2 + R_3);$$

$$-(\varepsilon_1 - I_3R_1)(R_2 + R_3)/(R_1 + R_2 + R_3) + I_3(R_3 + R_5) = \varepsilon_2;$$

$$I_3 = [\varepsilon_1(R_2+R_3) + \varepsilon_2(R_1 + R_2 + R_3)]/[R_1(R_2+R_3) + (R_3 + R_5)(R_1 + R_2 + R_3)].$$

Выпишем численные значения величин:

$\varepsilon_1 = 10$ В; $\varepsilon_2 = 4$ В; $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = R_5 = 20$ Ом; $R_3 = R_4 = 10$ Ом.

Вычислим токи в ветвях цепи:

$$I_3 = \frac{10\cdot(20+10) + 4\cdot(2+20+10)}{2\cdot(20+10) + (10+20)(2+20+10)} \text{ А} = 0{,}42 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{10 - 0{,}42\cdot 2}{2 + 20 + 10} \text{ А} = 0{,}29 \text{ А};$$

$$I_1 = (0{,}29 + 0{,}42) \text{ А} = 0{,}71 \text{ А}.$$

Решим эту систему уравнений другим методом – методом определителей.

Запишем главный определитель системы – определитель из коэффициентов при неизвестных – и вычислим его:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ R_1 & R_2 + R_3 & 0 \\ 0 & -(R_2 + R_3) & R_3 + R_5 \end{vmatrix},$$

$$\Delta = (R_2 + R_3)(R_3 + R_5) + R_1(R_2 + R_3) + R_1(R_3 + R_5) =$$

$$= R_1(R_2 + R_3) + (R_3 + R_5)(R_1 + R_2 + R_3),$$

$$\Delta = 2\cdot(20+10)+(10+20)(2+20+10) = 1020.$$

Теперь запишем дополнительные определители, заменяя в главном определителе коэффициенты при каком-то из неизвестных свободными членами:

$$\Delta_{I_1} = \begin{vmatrix} 0 & -1 & -1 \\ \varepsilon_1 & R_2 + R_3 & 0 \\ \varepsilon_2 & -(R_2 + R_3) & R_3 + R_5 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{I_1} = \varepsilon_1(R_2+R_3) + \varepsilon_2(R_2+R_3) + \varepsilon_1(R_3+R_5) = \varepsilon_1(R_2+R_3 +R_3 \_R_5) + \varepsilon_2(R_2+R_3),$$

$$\Delta_{I_1} = 10\cdot(20 +10 +10 +20) + 4\cdot(20 +10) = 720;$$

$$\Delta_{I_2} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ R_1 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & R_3 + R_5 \end{vmatrix} = \varepsilon_1(R_3 +R_5) -\varepsilon_2 R_1,$$

$$\Delta_{I_2} = 10\cdot(10 + 20) - 4\cdot 2 = 292.$$

Сила тока равна отношению соответствующего данному тока дополнительного определителя к главному определителю:

$$I_1 = \Delta_{I_1} / \Delta, \qquad I_1 = 720/1020 \text{ А} = 0{,}71 \text{ А}$$

$$I_2 = \Delta_{I_2} / \Delta, \qquad I_2 = 292/1020 \text{ А} = 0{,}29 \text{ А};$$

Ток I_3 найдём из первого уравнения системы:

$$I_3 = I_1 - I_2 = (0{,}71-0{,}29) \text{ А} = 0{,}42 \text{ А}.$$

Разность потенциалов между клеммами

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (\varphi_A - \varphi_2) - (\varphi_A - \varphi_1) = I_3 R_4 - I_2 R_2,$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (0{,}42\cdot 10-0{,}29\cdot 20) \text{ В} = -1{,}6 \text{ В}.$$

Знак «минус» указывает на то, что потенциал φ_2 больше потенциала φ_1.

Пример 16. Два бесконечных прямых параллельных проводника с противоположно направленными токами $I_1 = 3$ А и $I_2 = 5$ А расположены на расстоянии $d = 5$ см. Определить индукцию B в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 3$ см от первого проводника и $r_2 = 4$ см от второго проводника.

Решение. Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, каждый электрический ток создаёт магнитное поле независимо от присутствия в пространстве других электрических токов и полей. Индукция $\vec{B}$ магнитного поля, созданного несколькими токами, равна векторной сумме индукций магнитных полей, созданных каждым током в отдельности. В случае двух параллельных токов индукция суммарного магнитного поля, созданного этими токами,

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2,$$

где $\vec{B}_1$ – вектор магнитной индукции поля, созданного первым током;

$\vec{B}_2$ – вектор магнитной индукции поля, созданного вторым током.

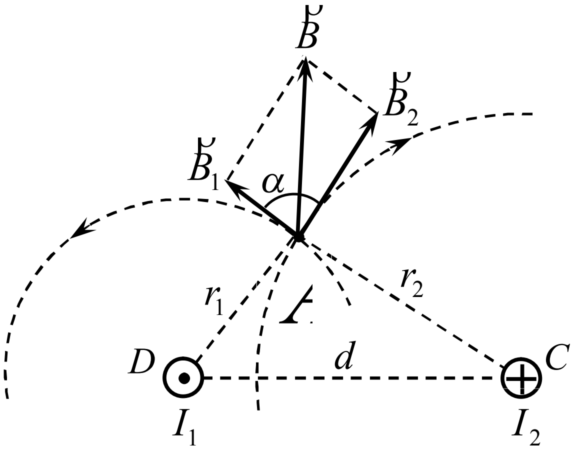


Рис. 10

Для определения величины магнитной индукции $\vec{B}$ суммарного поля необходимо знать направления векторов $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$. Покажем эти векторы на рисунке (см. рис. 10).

На рисунке проводники расположены перпендикулярно плоскости листа. Маленькими кружочками показаны сечения проводников. Точка в первом кружочке означает, что в первом проводнике ток течёт к нам, крестик во втором кружочке, – что во втором проводнике ток течёт от нас.

Силовые линии магнитного поля, созданного прямым током, представляют собой окружности с центром на оси проводника, по которому течёт ток.

Силовая линия магнитного поля первого тока в точке A представляет собой окружность радиуса $DA=r_1$ и, в соответствии с правилом буравчика, направлена против часовой стрелки.

Силовая линия магнитного поля второго тока – окружность радиуса $CA=r_2$, направленная по часовой стрелке.

Векторы магнитных индукций $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ направлены по касательной к соответствующей силовой линии в точке A.

Вектор магнитной индукции $\vec{B}$ является диагональю параллелограмма, построенного на векторах $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ как на сторонах.

Модуль вектора $\vec{B}$ может быть найден по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2\cos\alpha}\ ,$$

где α – угол между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$.

Так как проводники бесконечно длинные, то магнитные индукции

$$B_1 = \mu_0 \cdot \frac{I_1}{2\pi r_1} \qquad \text{и} \qquad B_2 = \mu_0 \cdot \frac{I_2}{2\pi r_2},$$

где μ_0 – магнитная постоянная;

μ – относительная магнитная проницаемость среды, в которой создается магнитное поле;

I_1 и I_2 – токи, создающие магнитное поле;

r_1 – расстояние от первого проводника до точки A, в которой определяется индукция;

r_2 – расстояние от второго проводника до точки A.

Угол α между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ численно равен углу A в треугольнике DAC (углы α и A – углы с взаимно перпендикулярными сторонами).

По теореме косинусов $d^2 = r_1 + r_2 - 2r_1r_2\cos A$.

Отсюда $\cos A = \left(r_1 + r_2 - d^2\right)/(2r_1r_2)$.

Так как r_1 = 3 см, r_2 = 4 см и d = 5 см, то $\cos A$=(3^2+4^2–5^2)/(2 3 4)=0, а значит и $\cos\alpha$ =0.

С учётом этого $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$.

Подставив в эту формулу выражения для B_1 и B_2, получим:

$$B = \sqrt{\left(\mu_0 \cdot \frac{I_1}{2\pi r_1}\right)^2 + \left(\mu_0 \cdot \frac{I_2}{2\pi r_2}\right)^2} = \frac{\mu_0}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{I_1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{r_2}\right)^2}.$$

Выпишем численные значения величин: $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м; μ = 1 (для вакуума); I_1 = 3 А; I_2 = 5 А; r_1 = 3 см = 0,03 м; r_2 = 4 см = 0,04 м.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерений:

$$\text{Тл} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\sqrt{\left(\frac{\text{А}}{\text{м}}\right)^2 + \left(\frac{\text{А}}{\text{м}}\right)^2} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\sqrt{\left(\frac{\text{А}}{\text{м}}\right)^2} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\cdot\frac{\text{А}}{\text{м}} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Расчётная формула верна, т.к. единицы левой и правой частей формулы одинаковы.

Подставим числовые значения величин в расчётную формулу и произведем вычисления:

$$B == \frac{4\pi\cdot10^{-7}}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{3}{0{,}03}\right)^2 + \left(\frac{5}{0{,}04}\right)^2}\ \text{Тл} = 3{,}2\cdot10^{-5}\ \text{Тл} = 32\ \text{мТл}.$$

Пример 17. По тонкому кольцу радиусом R = 20 см течет ток I = 40 А. Определить магнитную индукцию B на оси кольца в точке, удалённой от плоскости кольца на расстояние b = 16 см.

Решение. Выделим на кольце элемент dl и от него в точку A, в которой определяется магнитная индукция, проведём радиус-вектор $\vec{r}$ (рис. 11).

По закону Био-Савара-Лапласа магнитная индукция d$\vec{B}$ поля, создаваемого элементом тока $I\mathrm{d}\vec{l}$,

$$\mathrm{d}\vec{B} = \frac{\mu_0\mu I\left[\mathrm{d}\vec{l}\,\vec{r}\right]}{4\pi r^3},$$

где μ_0 – магнитная постоянная; μ – относительная магнитная постоянная среды, в которой создаётся магнитное поле; I – сила тока в кольце; r – модуль радиус-вектора $\vec{r}$ (расстояние от элемента проводника до точки A); $\left[\mathrm{d}\vec{l}\,\vec{r}\right]$ – векторное произведение вектора элемента длины проводника $\mathrm{d}\vec{l}$ на радиус-вектор (вектор $\mathrm{d}\vec{l}$ совпадает по направлению с током в элементе dl).

Вектор $\mathrm{d}\vec{B}$ перпендикулярен плоскости, в которой лежат векторы $\mathrm{d}\vec{l}$ и $\vec{r}$, и направлен в сторону перемещения правого винта при вращении его головки от вектора $\mathrm{d}\vec{l}$ к вектору $\vec{r}$.

Согласно принципу суперпозиции полей, магнитная индукция поля, создаваемого в точке A всем кольцом, определяется равенством

$$\vec{B} = \oint_l \mathrm{d}\vec{B},$$

причем интегрирование ведётся по всем элементам $\mathrm{d}\vec{l}$ кольца. Разложим вектор $\mathrm{d}\vec{B}$ на две составляющие: $\mathrm{d}\vec{B}_\perp$, перпендикулярную оси кольца, и $\mathrm{d}\vec{B}_\parallel$, параллельную оси кольца, т. е.

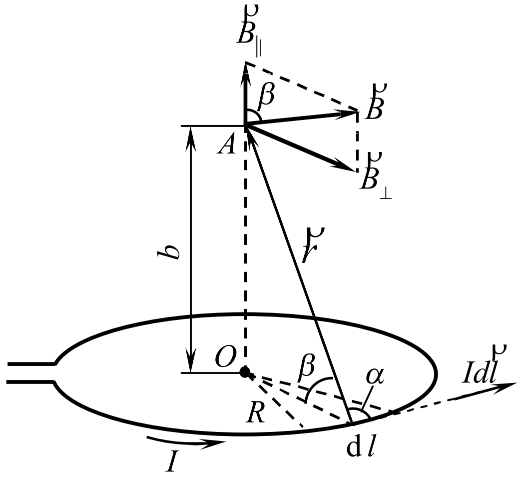


Рис. 11

$$\mathrm{d}\vec{B} = \mathrm{d}\vec{B}_\perp + \mathrm{d}\vec{B}_\parallel.$$

Тогда

$$\vec{B} = \oint_l \mathrm{d}\vec{B}_\perp + \oint_l \mathrm{d}\vec{B}_\parallel.$$

Каждому элементу тока $I\mathrm{d}\vec{l}$ в кольце соответствует симметричный с ним, равный по величине, но противоположно направленный элемент. Составляющие $\mathrm{d}\vec{B}_\perp$ полей, создаваемых симметричными элементами тока, противоположны. Поэтому

$$\oint_1 \mathrm{d}\vec{B}_\perp = 0,$$

и

$$\vec{B} = \oint_l \mathrm{d}\vec{B}_\parallel.$$

Векторы $\mathrm{d}\vec{B}_\parallel$ полей, созданных различными элементами $\mathrm{d}\vec{l}$, сонаправлены, поэтому векторное интегрирование можно заменять скалярным

$$B = \oint_l \mathrm{d}B_\parallel$$

Из рис. 11 видно, что $\mathrm{d}B_\parallel = \mathrm{d}B\cos\beta$, а $\cos\beta = R/r$, где β – угол между направлением положительной нормали к плоскости кольца и вектором $\mathrm{d}\vec{B}$ (он также равен углу между радиус-вектором $\vec{r}$ и плоскостью кольца),

R – радиус кольца.

Согласно закону Био-Савара-Лапласа

$$dB = \frac{\mu_0 \mu I \sin\alpha}{4\pi r^2} dl = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r^2} dl,$$

где α – угол между направлением тока в элементе длины кольца dl и направлением радиус-вектора $\vec{r}$ ($\alpha = 90°$, $\sin\alpha = 1$, т. к. векторы $d\vec{l}$ и $\vec{r}$ взаимно перпендикулярны).

Таким образом,

$$dB_{\parallel} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r^2} \cos\beta \, dl = \frac{\mu_0 \mu I R}{4\pi r^3} dl,$$

а

$$B = \frac{\mu_0 \mu I R}{4\pi r^3} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2r^3}$$

(интегрирование проведено по всей длине контура от нуля до $2\pi R$).

Модуль радиус-вектора $r = \sqrt{R^2 + b^2}$, где b – расстояние от плоскости контура до точки A, в которой определяется магнитная индукция.

Поэтому

$$B = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2\left(R^2 + b^2\right)\sqrt{R^2 + b^2}} = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2\left(R^2 + b^2\right)^{3/2}}.$$

Вектор .магнитной индукции $d\vec{B}$ поля на оси контура совпадает по направлению с положительной нормалью к контуру.

Выпишем числовые значения величин в СИ:

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\mu = 1,0$ (для вакуума); $I = 40$ А;

$R = 20$ см $= 0,20$ м; $b = 15$ см $= 0,15$ м.

Выполним проверку единиц измерения:

$$\text{Тл} = \frac{\text{Гн/м} \cdot \text{А} \cdot \text{м}^2}{\left(\text{м}^2 + \text{м}^2\right)^{3/2}} = \frac{\text{Гн} \cdot \text{А} \cdot \text{м}^2}{\text{м} \cdot \text{м}^3} = \frac{\text{Гн} \cdot \text{А}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Произведём вычисления:

$$B = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}0 \cdot 40 \cdot 0{,}20^2}{2 \cdot \left(0{,}20^2 + 0{,}15^2\right)^{3/2}} \text{ Тл} = 6{,}4 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} = 64 \text{ мкТл}.$$

Пример 18. α – частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 40$ кВ, влетела в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}2$ Тл под углом $\alpha = 60°$. Вычислить радиус и шаг спирали, описываемой α – частицей, а также период её обращения.

Решение. α – частица из состояния покоя в ускоряющем электрическом поле разгоняется до скорости υ. В соответствии с законом сохранения энергии, работа, совершённая полем при перемещении α – частицы, равна приращению кинетической энергии α – частицы, т. е.

$$A = \Delta W_{\text{к}}. \qquad (1)$$

Работа сил электрического поля при перемещении заряженной частицы

$$A = |q|U,$$

а приращение кинетической энергии частицы

$$\Delta W_к = m\upsilon^2/2 - m\upsilon_0^2/2 = m\upsilon^2/2,$$

так как начальная скорость α – частицы $\upsilon_0 = 0$.

С учётом этого равенство (1) примет вид:

$$|q|U = m\upsilon^2/2\ ,$$

откуда

$$\upsilon = \sqrt{2|q|U/m}\ . \qquad (2)$$

В формулах υ – скорость, полученная частицей при её ускорении в электрическом поле; $|q|$ – модуль заряда α – частицы; m – её масса; U – ускоряющая разность потенциалов электрического поля; $m\upsilon^2/2$ – кинетическая энергия ускоренной α – частицы.

Далее α – частица попадает в магнитное поле. На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле с индукцией B, действует сила Лоренца $F_л$ (рис. 12):

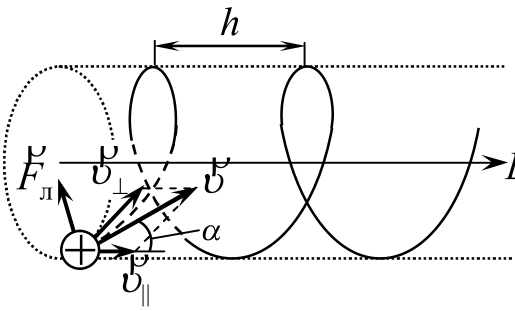


Рис. 12

$$F_л = |q|\upsilon B\sin\alpha,$$

где α – угол между направлением векторов скорости $\vec{\upsilon}$ и индукции $\vec{B}$.

Сила Лоренца всегда перпендикулярна плоскости, образованной векторами $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$. Так как сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости, то она, не изменяя величину скорости, изменяет только её, т. е. является центростремительной силой и искривляет траекторию движения частицы.

В результате частица участвует в двух движениях: в равномерном движении вдоль поля со скоростью $\upsilon_{\|} = \upsilon\cos\alpha$ и в равномерном движении со скоростью $\upsilon_{\perp} = \upsilon\sin\alpha$ по окружности в плоскости, перпендикулярной полю. Сложение этих двух движений даёт движение по спирали радиусом R, ось которой параллельна вектору магнитной индукции. Движение по окружности вызывается действием силы Лоренца, которая, как уже отмечалось, является центростремительной силой: $F_л = F_ц$. Сила Лоренца $F = |q|\upsilon B\sin\alpha = |q|\upsilon_{\perp}B$, центростремительная сила $F_ц = m\upsilon_{\perp}^2/R$. Приравняв выражения для силы Лоренца и центростремительной силы, получим:

$$|q|\upsilon_{\perp}B = m\upsilon_{\perp}^2/R.$$

Отсюда радиус кривизны траектории частицы с учётом (2):

$$R = \frac{m\upsilon_{\perp}}{|q|B} = \frac{m\upsilon}{|q|B}\sin\alpha = \sqrt{\frac{2mU}{|q|}}\cdot\frac{\sin\alpha}{B}. \qquad (3)$$

Период T обращения частицы (время, за которое она совершает один полный оборот, двигаясь по спирали)

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon_\perp} = \frac{2\pi}{\upsilon_\perp}\frac{m\upsilon_\perp}{|q|B} = \frac{2\pi m}{|q|B}. \qquad (4)$$

Шаг спирали, т.е. расстояние между соответствующими точками двух соседних витков спирали,

$$h = \upsilon_\parallel T = \frac{2\pi}{B}\sqrt{\frac{2mU}{|q|}}\cos\alpha. \qquad (5)$$

Выпишем численные значения величин, входящих в формулы (3), (4) и (5): $|q| = 3{,}2\cdot10^{-19}$ Кл (для α – частицы); $m = 6{,}6444\cdot10^{-27}$ кг; $B = 0{,}2$ Тл; $U = 40$ кВ $= 4\cdot10^4$ В; $\alpha = 60°$.

Проверим правильность расчётных формул (3), (4) и (5) анализом единиц измерения:

$$\text{м} = \sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{В}}{\text{Кл}}}\frac{1}{\text{Тл}} = \sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{Дж/Кл}}{\text{Кл}}}\frac{1}{\text{Н/(А}\cdot\text{м)}} = \frac{\sqrt{\text{кг}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2}}{\text{Кл}}\cdot\frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{Н}} =$$

$$= \frac{\sqrt{\text{Н}^2\text{с}^2}}{\text{А}\cdot\text{с}}\cdot\frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$\text{с} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}\cdot\text{Тл}} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}\cdot\text{Н/(А}\cdot\text{м)}} = \frac{\text{кг}\cdot\text{А}\cdot\text{м}}{\text{А}\cdot\text{с}\cdot\text{Н}} = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}\cdot\text{кг}\cdot\text{м/с}^2} = \text{с};$$

$$\text{м} = \frac{1}{\text{Тл}}\sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{В}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{Н}}\sqrt{\frac{\text{кг}\cdot\text{Дж/Кл}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{Кл}\cdot\text{м}}{\text{с}\cdot\text{Н}}\frac{\sqrt{\text{кг}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2}}{\text{Кл}} = \frac{\text{м}}{\text{с}\cdot\text{Н}}\text{Н}\cdot\text{с} = \text{м}.$$

Расчётные формулы верны, т. к. единицы их левых и правых частей одинаковы.

Произведём вычисления:

$$R = \sqrt{\frac{2\cdot6{,}6444\cdot10^{-27}\cdot4\cdot10^4}{3{,}2\cdot10^{-19}}}\cdot\frac{\sin60^0}{0{,}2}\ \text{м} = 0{,}18\ \text{м};$$

$$T = \frac{2\cdot3{,}14\cdot6{,}6444\cdot10^{-27}}{3{,}2\cdot10^{-19}\cdot0{,}2}\ \text{с} = 6{,}5\cdot10^{-7}\ \text{с} = 0{,}65\ \text{мкс};$$

$$h = \frac{2\cdot3{,}14}{0{,}2}\sqrt{\frac{2\cdot6{,}6444\cdot10^{-27}\cdot4\cdot10^4}{3{,}2\cdot10^{-19}}}\cos60^0\ \text{м} = 0{,}64\ \text{м}.$$

Пример 19. Цепь, содержащая активное сопротивление $R = 20$ Ом и индуктивность $L = 10$ 1мГн, подключена к источнику ЭДС. Определить время t, в течение которого сила тока уменьшится в e раз при размыкании цепи (e – основание натурального логарифма).

Решение. При размыкании цепи, содержащей активное сопротивление R, индуктивность L и источник с ЭДС ε сила тока изменяется по экспоненциальному закону

$$I = I_0 e^{-Rt/L}, \qquad (1)$$

где $I_0 = \varepsilon/R$ –установившийся ток в цепи до её размыкания.

Из формулы (1)

$$I_0 / I = e^{Rt/L}. \qquad (2)$$

Для того чтобы выделить время, надо выражение (2) прологарифмировать

$$\ln\frac{I_0}{I} = \frac{Rt}{L}\ln e = \frac{Rt}{L}.$$

Отсюда

$$t = \frac{L}{R}\ln\frac{I_0}{I}$$

Так как по условию $I_0 / I = e$, то $t = L/R$.

Промежуток времени, в течение которого сила тока уменьшается в e раз, называется временем релаксации и обозначается буквой τ – «тау», т. е.

$$\tau = L / R.$$

Выпишем числовые значения величин в СИ, произведем проверку единиц измерения и вычисления.

L = 10 мГн = 0,010 Гн; R =20 Ом.

Сделаем проверку единиц измерения:

$$\text{с} = \text{Гн/Ом} = (\text{В}\cdot\text{с})/(\text{А}\cdot\text{Ом}) = (\text{В}\cdot\text{с})/\text{В} = \text{с}.$$

Произведём вычисления:

$$\tau = 0{,}010/20 \text{ с} = 0{,}00050 \text{ с} = 0{,}50 \text{ мс}.$$

Пример 20. На каком расстоянии l друг от друга необходимо подвесить лампы в теплицах, чтобы освещённость E на поверхности грунта в точке, лежащей посередине между двумя соседними лампами, была не менее 200 лк? Высота теплицы h = 2 м. Сила света каждой лампы I = 800 кд.

Решение. Расстояние l между лампами (рис. 13) определим из формулы прямоугольного треугольника (теорема Пифагора):

$$l = 2a = 2\sqrt{r^2 - h^2}, \qquad (1)$$

где a – половина расстояния между лампами; r – расстояние от лампы до места с минимальной освещённостью; h – высота теплицы.

Будем считать лампу точечным источником света, поскольку её размеры малы по сравнению с расстоянием до точки A, в которой определяется освещенность.

Поэтому найти расстояние r от лампы до точки A можно из формулы освещённости:

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos\alpha ,$$

где I – сила света лампы;

α – угол падения лучей на грунт теплицы.

Из рис. 13 находим, что

$$\cos \alpha = h/r.$$

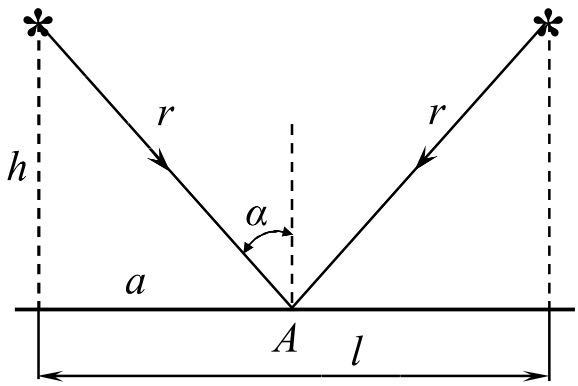


Рис. 13

Тогда $E = I \cdot h / r^3$,

откуда

$$r = \sqrt[3]{I \cdot h / E} \ . \tag{2}$$

Подставляя выражение (2) в (1), получим:

$$l = 2\sqrt{\left(\sqrt[3]{I \cdot h/E}\right)^2 - h^2} \ . \tag{3}$$

Выпишем численные значения величин:

E = 200 лк; I = 100 кд; h = 2 м .

Проверим правильность расчётной формулы, сравнив единицы измерения правой и левой частей формулы (3):

$$\text{м} = \sqrt{\left(\sqrt[3]{\frac{\text{кд} \cdot \text{м}}{\text{лк}}}\right)^2 - \text{м}^2} = \sqrt{\left(\sqrt[3]{\frac{\text{кд} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{лм}}}\right)^2 - \text{м}^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\sqrt[3]{\frac{\text{кд} \cdot \text{м}^3}{\text{кд} \cdot \text{ср}}}\right)^2 - \text{м}^2} = \sqrt{\text{м}^2 - \text{м}^2} = \text{м}.$$

Расчётная формула верна, т. к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Подставив числовые значения величин в (3), произведём вычисления:

$$l = \sqrt{\left(\sqrt[3]{800 \cdot 2/100}\right)^2 - 2^2} \ \text{м} = 2{,}32 \ \text{м}.$$

Пример 21. Плосковыпуклая стеклянная линза с фокусным расстоянием f = 1 м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете r_5 = 1,1 мм. Определить длину световой волны λ , падающей на линзу.

Решение. При освещении нормально падающим светом установки, состоящей из плосковыпуклой линзы, лежащей выпуклой стороной на стеклянной пластинке наблюдается интерференционная картина в виде кривых равной толщины. Места равной толщины прослойки, заключенной между линзой и стеклянной пластинкой, представляют собой окружности радиуса r с центром в точке O, в которой линза касается поверхности стеклянной пластинки (рис. 14).

Световые волны, отражённые от верхней (точка A) и нижней (точка B) границ прослойки, интерферируют между собой. При этом интерференционная картина представляет собой темное пятно (в точке соприкосновения линзы и пластинки), окружённое рядом концентрических темных, и светлых колец.

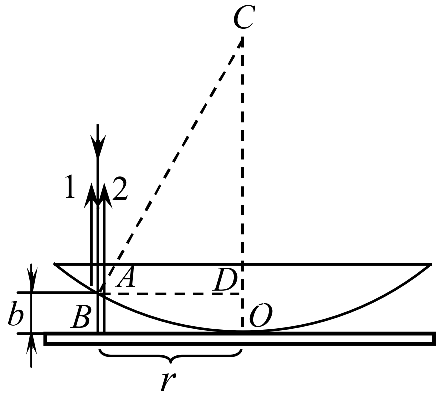


Рис. 14

Между отражёнными волнами 1 и 2 возникает оптическая разность хода

$$\Delta = 2bn + \frac{\lambda_0}{2}, \qquad (1)$$

если показатель преломления n вещества прослойки меньше показателя преломления $n_{\text{ст}}$ стекла. В этом случае луч 2 отражается от среды оптически более плотной ($n_{\text{ст}} > n$), поэтому фаза колебания световой волны в луче 2 изменяется на π, что соответствует добавлению половины длины волны $\left(\lambda_0/2\right)$ к оптической длине пути этого луча.

Если показатель преломления вещества прослойки больше показателя преломления стекла ($n > n_{\text{ст}}$), то от оптически более плотной среды отражается луч 1, и при этом фаза колебаний у него изменяется на π. Изменение фазы колебания на противоположную можно учесть, если к оптической длине пути луча 1 прибавить полволны $\left(\lambda_0/2\right)$. В этом случае оптическая разность хода лучей 1 и 2:

$$\Delta = 2bn - \frac{\lambda_0}{2},$$

где Δ – оптическая разность хода отраженных световых волн;

b – толщина прослойки между линзой и пластинкой в месте, где наблюдается кольцо;

n – показатель преломления этой прослойки;

λ – длина световой волны, падающей на установку.

Так как в условии задачи о веществе прослойки ничего не сказано,

предположим, что вещество прослойки – воздух (n = 1). Поэтому для рассматриваемого случая справедлива формула (1).

Условием образования темных интерференционных колец в отраженном свете (или светлых колец в проходящем свете) будет соотношение:

$$\Delta = 2bn + \frac{\lambda_0}{2} = (2л + 1)\frac{\lambda_0}{2}, \qquad (3)$$

где k – номер кольца (k = 1; 2; 3; ...).

Из рис. 14 имеем:

$$\text{OD} = \text{OC} - \text{DC}, \quad \text{т. е.} \quad b = R - \sqrt{R^2 - r_k^2}\,.$$

Отсюда $2bR - b \; = r_k^2$ или, приближенно,

$$b = r_k^2 /(2R) \qquad (4)$$

(здесь мы пренебрегаем значением b^2 вследствие малости, $r_k << R$),
где r_k – радиус k-го интерференционного кольца; R – радиус кривизны поверхности линзы.

Подставив выражение для b из (4) в формулу (3), получим:

$$2\frac{r_k^2}{2r}n + \frac{\lambda_0}{2} = (2k+1)\frac{\lambda_0}{2},$$

или

$$r_k^2 = kR\lambda_0 / n .$$

Отсюда

$$\lambda_0 = nr_k^2 /(kR). \qquad (5)$$

Радиус выпуклой поверхности линзы найдём из формулы тонкой линзы

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{ст}}}{n} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

где f – главное фокусное расстояние линзы; R_1 и R_2 – радиусы кривизны поверхностей линзы; $n_{\text{ст}}/n$ – относительный показатель преломления вещества линзы (стекла) относительно окружающей среды (воздуха).

У плосковыпуклой линзы $R_1 = R$, а $R_2 = \infty$ (радиус кривизны у плоской поверхности). Поэтому

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{ст}}}{n} - 1\right)\frac{1}{R},$$

откуда

$$R = \left(\frac{n_{\text{ст}}}{n} - 1\right)f .$$

Подставив полученное выражение для радиуса кривизны выпуклой поверхности линзы в формулу (5), получим:

$$\lambda_0 = \frac{nr_k^2}{k(n_{\text{ст}} / n - 1)f}. \qquad (6)$$

Выпишем численные значения величин в СИ и, подставив их в формулу (6), произведём вычисления:

$n = 1$; $n_{\text{ст}} = 1{,}5$; $r_k = 1{,}1$ мм $= 1{,}1 \cdot 10^{-3}$ м; $k = 5$; $f = 1$ м.

$$\lambda_0 = \frac{1 \cdot \left(1{,}1 \cdot 10^{-3}\right)^2}{5 \cdot (1{,}5.1 - 1) \cdot 1} \text{ м} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0{,}5 \text{ мкм}.$$

Пример 22. Определить число штрихов на 1 мм дифракционной решётки, если при нормальном падении света длиной волны $\lambda = 600$ нм решётка дает первый максимум на расстоянии $l = 3{,}3$ см от центрального. Расстояние от решётки до экрана $L = 110$ см.

Решение. Число штрихов N на 1 мм решётки определим по формуле

$$N=1/d,$$

где d – период решётки, который найдем из условия главных максимумов:

$$d\sin\varphi = k\lambda,$$

где φ – угол, под которым наблюдается k-й максимум;

k – номер (порядок) максимума;

λ – длина волны света.

Поскольку для максимума 1-го порядка угол φ мал, можно принять (см. рис. 15):

$$\sin\varphi \approx \mathrm{tg}\varphi = \frac{l}{L},$$

где L – расстояние от дифракционной решётки до экрана; l – расстояние от центрального до k-го максимума.

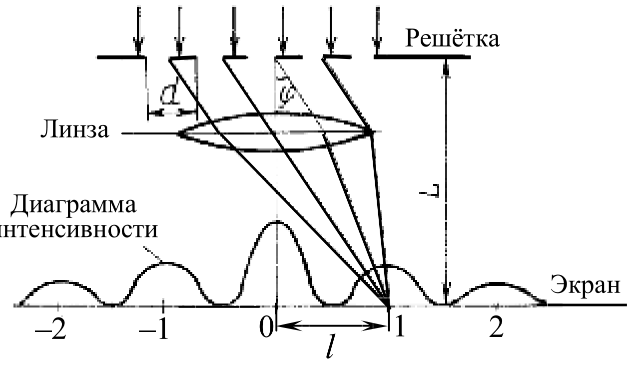


Рис. 15

Тогда постоянная решётки будет равна

$$d = k\lambda L/l$$

откуда $\quad N = \dfrac{l}{k\lambda L}.$

Выпишем численные значения величин, выразив их в СИ, и, подставив их в расчётную формулу, произведем вычисления:

l=3,3·10^{-2} м; L=1,1 м; k=1; λ=6·10^{-7} м;

$$N = \frac{3{,}3\cdot10^{-2}}{1\cdot6\cdot10^{-7}\cdot1{,}1}\ \frac{1}{\text{м}} = 50000\ \text{м}^{-1} = 50\ \text{мм}^{-1}.$$

Пример 23. Определить концентрацию C сахарного раствора, если при прохождении света через трубку с этим раствором длиной l=20 см плоскость поляризации света поворачивается на угол φ = 10°. Удельное вращение раствора сахара [α] = 0,6 град/(дм·проц).

Решение. Угол поворота плоскости поляризации при прохождении света через раствор оптически активного вещества

$$\varphi = [\alpha]\cdot C\cdot l\ .$$

Отсюда концентрация раствора

$$C = \frac{\varphi}{[\alpha]\cdot l}\ ,$$

где [α] – удельное вращение сахара в растворе;

l – толщина раствора (длина трубки).

Выпишем численные значения величин:

l=20 см =2 дм; φ=10°; [α]=0,6 град/(дм·проц) .

Проверим правильность расчетной формулы анализом единиц измерения:

$$\% = \frac{\text{град}}{\text{град/(дм}\cdot\text{проц)}\cdot\text{дм}} = \%.$$

Произведём вычисления:

$$C = \frac{10}{0{,}6\cdot 2}\% = 8{,}33\%.$$

Пример 24. Максимум энергии излучения абсолютно черного тела при некоторой температуре приходится на длину волны λ_m= 1мкм. Вычислить энергетическую светимость тела при этой температуре и энергию, излучаемую с площади S = 300 см^2 поверхности тела за время t = 1 мин.

Решение. Энергетическую светимость абсолютно черного тела определим из закона Стефана — Больцмана:

$$R_e = \sigma\cdot T^4\ ,$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана;

T – термодинамическая температура тела.

Из закона смещения Вина

$$\lambda_m = b/T$$

определим термодинамическую температуру:

$$T = b/\lambda_m,$$

где b – постоянная Вина; λ_m – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения при температуре T.

С учетом этого получаем:

$$R_e = \sigma\left(b/\lambda_m\right)^4.$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

σ = 5,67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4); b = 2,89·10^{-3} м·К; λ_m = 10^{-6} м.

Проверим правильность расчетной формулы анализом единиц измерения:

$$\text{Вт/м}^2 = \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К}^4)\cdot(\text{м}\cdot\text{К})/\text{м} = \text{Вт/м}^2.$$

Произведем вычисления:

$$R_e = 5{,}67\cdot 10^{-8}\cdot\left(\frac{2{,}89\cdot 10^{-3}}{10^{-6}}\right)^4\ \text{Вт/м}^2 = 3{,}95\cdot 10^6\ \text{Вт/м}^2 = 3{,}95\ \text{МВт/м}^2\ .$$

Энергия, излучаемая с площади S поверхности тела за время t:

$$W = R_e\cdot S\cdot t\ .$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

R_e = 3,95·10^6 Вт/м^2; S = 300 см^2 = 3·10^{-2} м^2; t = 1 мин = 60 с.

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$Дж = (Вт/м^2)\cdot м^2 \cdot с = Вт \cdot с = (Дж/с)\cdot с = Дж.$$

Произведём вычисления:

$$W=3{,}95\cdot 10^6\cdot 3\cdot 10^{-2}\cdot 60 \text{ Дж} = 7{,}1\cdot 10^6 \text{ Дж} = 7{,}1 \text{ МДж}.$$

Пример 25. Определить кинетическую энергию и скорость фотоэлектронов при облучении натрия лучами длиной волны $\lambda = 400$ нм, если красная граница фотоэффекта для натрия $\lambda_0 = 600$ нм.

Решение. Кинетическую энергию фотоэлектронов определим из уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}, \qquad (1)$$

где h – постоянная Планк; ν – частота света; A – работа выхода электрона из металла; $W_к = m\upsilon^2/2$ – кинетическая энергия фотоэлектронов; m – масса электрона; υ – его скорость.

Отсюда $$W_к = \frac{m\upsilon^2}{2} = h\nu - A.$$

Частота света $$\nu = c/\lambda,$$

где λ – длина волны падающего света; c – скорость света в вакууме.

Поэтому

$$W_к = \frac{hc}{\lambda} - A. \qquad (2)$$

Если поверхность металла освещать лучами частотой ν_0, соответствующей “красной границе” фотоэффекта, то кинетическая энергия фотоэлектронов равна нулю, и формула (1) примет вид:

$$h\nu_0 = A.$$

Отсюда работа выхода $A = h\nu_0$,

или же

$$A = hc/\lambda_0, \qquad (3)$$

где λ_0 – красная граница фотоэффекта, т. е. максимальная длина волны, при которой ещё возможен фотоэффект.

Подставим в (2) выражение (3) и получим:

$$W_к = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0} = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right). \qquad (4)$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

$h = 6{,}63\cdot 10^{-34}$ Дж·с; $c = 3\cdot 10^8$ м/с; $\lambda = 4\cdot 10^{-7}$ м; $\lambda_0 = 6\cdot 10^{-7}$ м.

Проверим единицы измерения правой и левой частей формулы (4):

$$Дж = Дж \cdot с \cdot м/с \cdot 1/м = Дж .$$

Расчётная формула верна, т. к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведём вычисления:

$$W_к = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{6 \cdot 10^{-7}}\right) \text{ Дж} = 1{,}67 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} .$$

Из формулы $W_к = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$ определяем скорость фотоэлектронов:

$$\upsilon = \sqrt{2W_к / m} .$$

Масса электрона $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Произведём вычисления:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-19}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} \text{ м/с} = 6{,}06 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 606 \text{ км/с}.$$

Пример 26. Определить энергию, массу и импульс фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона с третьего энергетического уровня на первый, а также длину электромагнитной волны, соответствующую этому фотону, и радиус третьей орбиты.

Решение. Переход электрона в атоме водорода с отдаленной орбиты на внутреннюю (из возбужденного состояния в менее возбужденное) связан с излучением фотона (кванта энергии):

$$\varepsilon = h\nu = hc/\lambda , \qquad (1)$$

где ε – энергия фотона; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; ν и λ – частота и длина волны, соответствующие фотону с энергией ε.

Длина волны излучаемого света связана с номерами орбит (с номерами энергетических состояний) соотношением:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2}\right),$$

где R – постоянная Ридберга;

n_i – номер энергетического уровня, на который переходит электрон;

n_k – номер энергетического уровня, с которого уходит электрон.

Согласно закону пропорциональности энергии и массы

$$\varepsilon = mc^2,$$

где m – масса фотона; c – скорость света в вакууме.

Масса фотона $\qquad m = \varepsilon/c^2. \qquad (2)$

Импульс фотона $\qquad p = mc .$

Из условия квантования электронных орбит по Бору (момент импульса электрона на орбите кратен отношению $h/(2\pi)$

$$m_e\upsilon r = nh/(2\pi)$$

выделим орбитальную скорость электрона

$$\upsilon = n\frac{h}{2\pi m_e r} \ ,$$

где n – номер электронной орбиты (главное квантовое число);

υ – скорость электрона на n-ой орбите; m_e – масса электрона;

r – радиус n-ой электронной орбиты в атоме водорода.

Сила электрического притяжения электрона к атомному ядру (к протону)

$$F = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

является центростремительной $F_ц = m_e\upsilon^2 / r$, то есть

$$F{=}F_ц \qquad \text{или} \qquad \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{m_e\upsilon^2}{r} \ ,$$

где ε_0 – электрическая постоянная; e – заряд электрона.

Подставим в последнюю формулу выражение для скорости υ электрона и преобразуем полученное выражение относительно радиуса орбиты r :

$$r = n^2\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} \ . \qquad (3)$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

$h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с; $R = 1{,}1\cdot10^{7}$ м$^{-1}$; $n_k = 3$; $n_i = 1$; $c = 3\cdot10^{8}$ м/с;
$n = 3$; $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг; $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м .

Проверим единицы измерения правой и левой частей расчётных формул (1), (2) и (3):

$$\text{Дж} = \frac{\text{Дж}\cdot\text{с}\cdot\text{м/с}}{\text{м}} = \text{Дж}\,,$$

$$\text{кг}{=}\text{Дж}/(\text{м/с})^2{=}\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2}{\text{м}^2/\text{с}^2}{=}\text{кг},$$

$$\text{м} = \frac{\text{Ф/м}\cdot\text{Дж}^2\cdot\text{с}^2}{\text{кг}\cdot\text{Кл}^2} = \frac{\text{Ф}\cdot\text{Дж}\cdot\text{Дж}\cdot\text{с}^2}{\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{Кл}^2} = \frac{\text{Кл/В}\cdot\text{Кл}\cdot\text{В}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2\cdot\text{с}^2}{\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{Кл}^2} = \text{м}\,.$$

Расчётные формулы верны, т. к. единицы измерения левой и правой частей формул одинаковы.

Произведём вычисления:

$$\frac{1}{\lambda} = 1{,}1\cdot10^7\cdot\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{3^2}\right)\ \text{м}^{-1}{=}\ 9{,}77\cdot10^6\ \text{м}^{-1};$$

$$\lambda = 1/(9{,}77\cdot10^6)\ \text{м}\ {=}1{,}02\cdot10^{-7}\ \text{м}{=}102\ \text{нм}.$$

Тогда энергия излучаемого фотона

$$\varepsilon = \frac{6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}}{1{,}02\cdot10^{-7}}\text{ Дж}=1{,}95\cdot10^{-18}\text{ Дж}=\frac{1{,}95\cdot10^{-18}}{1{,}6\cdot10^{-19}}\text{ эВ} = 12{,}2\text{ эВ};$$

масса фотона $m = \dfrac{1{,}95\cdot10^{-18}}{(3\cdot10^{8})^{2}}$ кг = $2{,}17\cdot10^{-35}$ кг;

его импульс $p = 2{,}17\cdot10^{-35}\cdot3\cdot10^{8}$ кг·м/с = $6{,}51\cdot10^{-27}$ кг·м/с.

Радиус третьей электронной орбиты в атоме водорода

$$r = 3^{2}\,\frac{8{,}85\cdot10^{-12}\cdot(6{,}63\cdot10^{-34})^{2}}{3{,}14\cdot9{,}1\cdot10^{-31}\cdot(1{,}6\cdot10^{-19})^{2}}\text{ м} = 4{,}8\cdot10^{-10}\text{ м}.$$

Пример 27. Параллельный пучок монохроматических лучей длиной волны $\lambda = 663$ нм падает на зачернённую поверхность и производит на неё давление $p = 0{,}3$ мкПа. Определить концентрацию фотонов в световом пучке.

Решение. Давление света на поверхность

$$p = \frac{E}{cSt}(1+\rho),$$

где E – световая энергия, падающая на поверхность S за время t;

c – скорость света в вакууме;

ρ – коэффициент отражения света поверхностью.

Энергия, переносимая световыми лучами, равна произведению энергии фотона ε и количества N фотонов, падающих на указанную поверхность за время t:

$$E=\varepsilon\cdot N.$$

Энергия фотона $\varepsilon = hc/\lambda$,

где h – постоянная Планка; λ – длина волны света.

Все N фотонов находятся в объёме пространства $V=cSt$. Поэтому концентрация фотонов в световом пучке $N' = N/V = N/(cSt)$.

С учётом изложенного, световое давление

$$p = \frac{hcN'}{\lambda}(1+\rho).$$

Концентрация фотонов в световом пучке

$$N' = \frac{p\lambda}{hc(1+\rho)}.$$

Выпишем численные значения величин в СИ:

P = 0,3 мкПа = $3\cdot10^{-7}$ Па; λ = 663 нм = $6{,}63\cdot10^{-7}$ м; $h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с; $c = 3\cdot10^{8}$ м/с; $\rho = 0$ (поверхность зачернённая).

Проверим правильность расчётной формулы анализом единиц измерения:

$$м^{-3} = \frac{Па \cdot м}{Дж \cdot с \cdot м/с} = \frac{Н}{м^2 \cdot Н \cdot м} = \frac{1}{м^3} = м^{-3}.$$

Расчётная формула верна, т. к. единицы измерения левой и правой частей формулы одинаковы.

Произведем вычисления:

$$N' = \frac{3 \cdot 10^{-7} \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-7}}{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8} \cdot (1+0)} \ м^{-3} = 10^{12} \ м^{-3}.$$

Пример 28. Определить активность радиоактивного препарата магния $^{27}_{12}Mg$ через 6 часов, если его начальная активность A_0=5,13·10^{12} Бк, а период полураспада $T_{1/2}$ =10 мин.

Решение. По закону радиоактивного распада в дифференциальной форме

$$dN = -\lambda N dt,$$

где dN – количество радиоактивных ядер, распавшихся за промежуток времени dt;

N – количество ядер в начале этого промежутка времени;

λ – постоянная радиоактивного распада данного радионуклида.

Активность радиоактивного препарата

$$A = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N.$$

Уменьшение с течением времени количества радиоактивных ядер вследствие распада происходит по закону

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

где N_0 – начальное количество радиоактивных ядер;

N – количество радиоактивных ядер, оставшихся по истечении времени t;

e – основание натуральных логарифмов.

Умножив правую и левую части равенства на λ, получим

$$A = A_0 e^{-\lambda t},$$

где $A_0 = \lambda N_0$ – начальная активность радиоактивного препарата,

$A = \lambda N$ – активность препарата в момент времени t.

Постоянная радиоактивного распада $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$,

где $T_{1/2}$ – период полураспада данного радионуклида.

Учитывая, что $e^{\ln 2} = 2$,

а
$$e^{-\lambda t} = e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} = e^{\ln 2 (-\frac{t}{T_{1/2}})} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = \frac{1}{2^{t/T_{1/2}}},$$

можно записать: $$A=\frac{A_0}{2^{t/T_{1/2}}}.$$

Выпишем численные значения величин:

$A_0 = 5{,}13\cdot10^{12}$ Бк; t = 6 час = 360 мин; $T_{1/2}$ = 10 мин.

Произведем вычисления:

$$A=5{,}13\cdot10^{12}/2^{360/10}\ \text{Бк} = 74{,}7\ \text{Бк}.$$

Пример 39. Дописать ядерную реакцию ${}^3_1\mathrm{H}+{}^1_1\mathrm{H}\to{}^3_2\mathrm{He}+?$. Найти энергию этой реакции. Выделяется или поглощается энергия?

Решение. При ядерных реакциях соблюдаются законы сохранения зарядовых и массовых чисел атомных ядер. В соответствии с этими законами сумма зарядовых (массовых) чисел частиц, вступивших в реакцию, равна сумме зарядовых (массовых) чисел продуктов ядерной реакции. Зарядовые и массовые числа, обычно, пишутся в виде индексов слева от символа химического элемента или частицы: зарядовое число – внизу, а массовое число – вверху. В данной ядерной реакции сумма зарядовых чисел частиц до реакции равна 2. Зарядовое число ядра атома гелия, образовавшегося в результате реакции тоже равно 2. Значит вторая частица, образовавшаяся в результате реакции, имеет заряд равный нулю (нейтральная частица, так как 1+1=2+0).

Сумма массовых чисел частиц до реакции равна 4. Массовое число ядра данного изотопа гелия равно 3. Значит массовое число неизвестной частицы равно единице (3+1=3+1).

Таким образом, второй частицей – продуктом ядерной реакции является частица с зарядовым числом, равным нулю, и массовым числом, равным единице. Это нейтрон. Заданная ядерная реакция должна быть записана следующим образом:

$${}^3_1\mathrm{H}+{}^1_1\mathrm{H}\to{}^3_2\mathrm{He}+{}^1_0\mathrm{n}\ .$$

Энергетический выход ядерной реакции определяется по закону пропорциональности массы и энергии:

$$\Delta E=931\cdot\Delta m\ , \qquad (1)$$

где Δm – изменение массы при ядерной реакции, то есть разность между суммой масс частиц, вступивших в реакцию, и суммой масс частиц, образовавшихся в результате реакции (в а.е.м.).

А именно,

$$\Delta m=(m_{{}^3_1\mathrm{H}}+m_{{}^1_1\mathrm{H}})-(m_{{}^3_2\mathrm{He}}+m_n)\,. \qquad (2)$$

где $m_{{}^3_1\mathrm{H}}$, $m_{{}^1_1\mathrm{H}}$, $m_{{}^3_2\mathrm{He}}$ и m_n – соответственно массы атомов трития, простого водорода, гелия и масса нейтрона соответственно.

Подставив выражение (2) в формулу (1) получим:

$$\Delta E=931\left[(m_{{}^3_1\mathrm{H}}+m_{{}^1_1\mathrm{H}})-(m_{{}^3_2\mathrm{He}}+m_n)\right].$$

Выпишем численные значения масс атомов и нейтрона, взяв их из таблиц 10 и 11:

$$m_{{}^3_1\mathrm{H}} = 3{,}01605 \text{ а.е.м.}; \qquad m_{{}^1_1\mathrm{H}} = 1{,}00783 \text{ а.е.м.};$$

$$m_{{}^3_2\mathrm{He}} = 3{,}01603 \text{ а.е.м.}; \qquad m_n = 1{,}00867 \text{ а.е.м.}$$

Подставив эти значения величин в формулу (1), получим:

$\Delta E = 931[(3{,}01605+1{,}00783) - (3{,}01603+1{,}00867)] = -\,0{,}847$ (МэВ).

Энергетический выход рассматриваемой ядерной реакции отрицательный. Это говорит о том, что суммарная энергия продуктов реакции больше, чем общая энергия частиц, вступивших в реакцию; а значит, ядерная энергия идет с поглощением энергии.

ТАБЛИЦЫ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

1. Основные физические величины (значения округленные)

Физическая величина	Обозначение	Численное значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с^2
Гравитационная постоянная	G	$6{,}67\cdot10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Постоянная Авогадро	N_A	$6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К
Заряд электрона, протона	e	$1{,}60\cdot10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9{,}11\cdot10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	m_p	$1{,}67\cdot10^{-27}$ кг
Постоянная Фарадея	F	$9{,}65\cdot10^{4}$ Кл/моль
Скорость света в вакууме	C	$3\cdot10^{8}$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4)
Постоянная Вина	b	$2{,}9\cdot10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1{,}1\cdot10^{7}$ м$^{-1}$
Электрическая постоянная	ε_0	$8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м

1. Некоторые астрономические величины

Наименование	Численное значение	Наименование	Численное значение
Масса Солнца	$1{,}98\cdot10^{30}$ кг	Среднее расстояние между центрами Солнца и Земли	$1{,}5\cdot10^{11}$ м
Масса Земли	$5{,}96\cdot10^{24}$ кг		
Масса Луны	$7{,}35\cdot10^{22}$ кг	Среднее расстояние между центрами Земли и Луны	$3{,}84\cdot10^{8}$ м
Период обращения Луны вокруг Земли	27 сут 7 ч 43 мин		

2. Молярная масса и относительная молекулярная масса газов

Газ	Молярная масса M, кг/моль	Относительная молекулярная масса M_r
Азот	$28\cdot10^{-3}$	28
Водород	$2\cdot10^{-3}$	2
Водяной пар	$18\cdot10^{-3}$	18
Воздух	$29\cdot10^{-3}$	29
Гелий	$4\cdot10^{-3}$	4
Кислород	$32\cdot10^{-3}$	32
Неон	$20\cdot10^{-3}$	20
Углекислый газ	$44\cdot10^{-3}$	44

3. Зависимость плотности сухого воздуха от температуры

Температура, °C	Плотность, кг/м^3	Температура, °C	Плотность, кг/м^3
−20	1,418	10	1,247
−20	1,342	20	1,208
0	1,293	30	1,165

4. Коэффициенты поверхностного натяжения жидкостей (КПН)

Жидкость	КПН, мН/м	Жидкость	КПН, мН/м
Вода	72	Ртуть	500
Мыльная пена	40	Спирт	22

6. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м	Газ	Диаметр, м
Азот	$3{,}0\cdot10^{-10}$	Гелий	$1{,}9\cdot10^{-10}$
Водород	$2{,}3\cdot10^{-10}$	Кислород	$2{,}7\cdot10^{-10}$
		Углекислый газ	$3{,}5\cdot10^{-10}$

7. Коэффициенты теплопроводности (Дж/(м·с·К)

Вещество	Коэффициент	Вещество	Коэффициент
Песок	0,671	Кирпич	0,71
Почва (суглинистая)	1,01	Бетон	0,817
		Лёд	2,10

8. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Парафин	2,0
Масло трансформаторное	2,2	Стекло	7,0

9. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Стекло	1,33	Стекло	1,50

10. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а. е. м.	Дж	МэВ
Электрон	$9{,}11\cdot10^{-31}$	0,00055	$8{,}16\cdot10^{-14}$	0,511
Протон	$1{,}672\cdot10^{-27}$	1,00728	$1{,}50\cdot10^{-10}$	938
Нейтрон	$1{,}675\cdot10^{-27}$	1,00867	$1{,}51\cdot10^{-10}$	939
Дейтрон	$3{,}35\cdot10^{-27}$	2,01355	$3{,}00\cdot10^{-10}$	1876
α -частица	$6{,}64\cdot10^{-27}$	4,00149	$5{,}96\cdot10^{-10}$	3733

11. Массы нейтральных атомов некоторых изотопов, а. е. м.

Водород $^{1}_{1}H$	1,00783	Бор $^{10}_{5}B$	10,01294
Водород $^{2}_{1}H$	2,01410	Углерод $^{12}_{6}C$	12,00000
Водород $^{3}_{1}H$	3,01605	Углерод $^{13}_{6}C$	13, 00335
Гелий $^{3}_{2}He$	3,01603	Углерод $^{14}_{6}C$	14,00324
Гелий $^{4}_{2}He$	4,00260	Азот $^{13}_{7}N$	13,00574
Литий $^{6}_{3}Li$	6,01513	Азот $^{14}_{7}N$	14,00307
Литий $^{7}_{3}Li$	7,01601	Полоний $^{210}_{84}Po$	209,88297

12. Основные, дополнительные и производные единицы Международной системы единиц (СИ)

Наименование величины	Наименование единицы	Обозначение единицы	Выражение через основные и дополнительные единицы
1	2	3	4
	Основные единицы		
Длина	метр	м	
Масса	килограмм	кг	
Время	секунда	с	
Сила электрического тока	ампер	А	
Термодинамическая температура	кельвин	К	
Количество вещества	моль	моль	
Сила света	кандела	кд	
	Дополнительные единицы		
Плоский угол	радиан	рад	
Телесный угол	стерадиан	ср	
	Производные единицы		
Частота	герц	Гц	$с^{-1}$
Частота вращения	ссекунда в минус первой степени	$с^{-1}$	$с^{-1}$
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	$с^{-1}\cdot$рад
Угловое ускорение	радиан в секунду в квадрате	рад/$с^2$	$с^{-2}\cdot$рад
Сила, вес	ньютон	Н	$м\cdot кг\cdot с^{-2}$

Продолжение таблицы

1	2	3	4
Момент инерции	килограмм-метр в квадрате	кг·м^2	м^2·кг
Импульс (количество движения)	килограмм-метр в секунду	кг·м/с	м·кг·с$^{-1}$
Момент импульса (момент количества движения)	килограмм-метр в квадрате на секунду	кг·м^2/с	м^2·кг·с$^{-1}$
Момент силы, момент пары сил	ньютон-метр	Н·м	м^2·кг·с$^{-2}$
Импульс силы	ньютон-секунда	Н·с	м·кг·с$^{-1}$
Давление, механическое напряжение	паскаль	Па	м$^{-1}$·кг^2·с$^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	м^2·кг·с$^{-2}$
Мощность, поток энергии	ватт	Вт	м^2·кг·с$^{-3}$
Удельная теплоёмкость	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	м^2·с$^{-2}$·К$^{-1}$
Вязкость (динамическая)	Паскаль-секунда	Па·с	м$^{-1}$·кг·с$^{-1}$
Количество электричества (электрический заряд)	кулон	Кл	с·А
Электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила	вольт	В	м^2·кг·с$^{-3}$·А$^{-1}$
Напряжённость электрического поля	вольт на метр	В/м	м·кг·с$^{-3}$·А$^{-1}$
Электрическая ёмкость	фарад	Ф	м$^{-2}$·кг$^{-1}$·с^4·А^2
Электрическое сопротивление	ом	Ом	м^2·кг·с$^{-3}$·А$^{-2}$
Удельное сопротивление	Ом-метр	Ом·м	м^3·кг·с$^{-3}$·А$^{-2}$
Удельная проводимость	сименс на метр	См/м	м$^{-3}$·кг$^{-1}$·с^3·А^2
Магнитная индукция	тесла	Тл	кг·с$^{-2}$·А$^{-1}$
Магнитный поток	вебер	Вб	м^2·кг·с$^{-2}$·А$^{-1}$
Напряжённость магнитного поля	ампер на метр	А/м	м$^{-1}$·А
Индуктивность	генри	Гн	м^2·кг·с$^{-2}$·А$^{-2}$
Магнитная постоянная	генри на метр	Гн/м	м·кг·с$^{-2}$·А$^{-2}$
Световой поток	люмен	лм	кд·ср
Освещённость	люкс	лк	м$^{-2}$·кд·ср
Энергетическая светимость (излучательность)	ватт на квадратный метр	Вт/м^2	кг·с$^{-3}$

Окончание таблицы

1	2	3	4
Спектральная плотность энергетической светимости (излучательности)	ватт на кубический метр	$Вт/м^3$	$м^{-1}\cdot кг\cdot с^{-3}$
Активность изотопа	беккерель	Бк	$с^{-1}$
Поглощенная доза излучения	грей	Гр	$м^2\cdot с^{-2}$

Примечания:
1. Кроме температуры Кельвина (обозначение T) допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением $t=T-T_0$, где T_0=273,15 К. Температура Кельвина выражается в Кельвинах, температура Цельсия – в градусах Цельсия (обозначение международное и русское °C). По размеру градус Цельсия равен Кельвину.
2. Интервал или разность температур Кельвина выражают в кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в Кельвинах, так и в градусах Цельсия.

13. Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка		Отношение к основной единице	Приставка		Отношение к основной единице
наименование	обозначение		наименование	обозначение	
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пета	П	10^{15}	санти	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^{9}	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^{6}	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^{3}	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^{2}	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^{1}	атто	а	10^{-18}

14. Греческий и латинский алфавиты

Алфавит греческий	Алфавит латинский
A, α – альфа	*A, a* – а
B, β – бета	*B, b* – бе
Γ, γ – гамма	*C, c* – це
Δ, δ – дельта	*D, d* –- де
E, ε – эпсилон	*E, e* – е
Z, ζ – дзета	*F, f* – эф
H, η – эта	*G, g* – же (ге)
$\Theta, \theta, \vartheta$ – тета	*H, h* – аш
I, ι – иота	*I, i* – и
K, ι – каппа	*J, j* – йот
Λ, λ – ламбда	*K, k* – ка
M, μ – ми (мю)	*L, l* – эль
N, ν – ни (ню)	*M, m* – эм
Ξ, ξ – кси	*N, n* – эн
O, o – омикрон	*O, o* – о
Π, π – пи	*P, p* – пэ
P, ρ – ро	*Q, q* – ку
$\Sigma, \sigma, \varsigma$ – сигма	*R, r* – эр
T, τ – тау	*S, s* – эс
Υ, υ – ипсилон	*T, t* – тэ
Φ, φ – пси	*U, u* – у
Ω, ω – омега	*V, v* – ве
	W, ϖ – дубль-ве
	X, x – икс
	Y, y – игрек
	Z, z – зет

Приложение 3

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

ФГОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет ____

Специальность ____

Курс __________ Шифр ____________

Студент ____
(фамилия, имя, отчество)

участвует в сессии с _____________________________________
(дата)

$\frac{\text{КОНТРОЛЬНАЯ}}{\text{КУРСОВАЯ}}$ РАБОТА № ___________

по ____
(наименование дисциплины)

кафедра ____

Дата регистрации работы:

кафедрой ____

Заполненный бланк обязательно наклеивается на лицевую сторону работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКА

Составители
Махмутов Мансур Магфурович
Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна