

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Комарова Светлана Юриевна
Должность: Проректор по образовательной деятельности
Дата подписания: 20.07.2023 10:13:23
Уникальный программный ключ:
43ba42f5deae4116bbfcb9ac98e39108031227e81add2070ee4119120980b

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»**

Университетский колледж агробизнеса

ППССЗ по специальности 36.02.01 Ветеринария

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

**САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ
по дисциплине**

Физика

Специальность: 36.02.01 Ветеринария

Ведущий преподаватель (руководитель)
дисциплины

М.В. Иваницкая

Омск

Пояснительная записка

Методические рекомендации по учебной дисциплине **Физика** предназначены для выполнения самостоятельной работы обучающимися по специальности 36.02.01 Ветеринария.

Самостоятельная работа выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Целью самостоятельной работы является овладение обучающимся умениями работать с источниками, аргументации собственной точки зрения.

Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов содержат дидактические материалы, которые предназначены для организации самостоятельной работы студентов 1 курса по математике, а также для осуществления контроля над знаниями, умениями и навыками.

Основная задача обучения математике для среднего профессионального образования заключается в обеспечении прочного и сознательного овладения обучающимися системой математических знаний и умений, необходимых в повседневной жизни и трудовой деятельности, достаточных для изучения смежных дисциплин и продолжения образования, а также в профессиональной деятельности, требующей достаточной высокой математической культуры, а также закрепление, углубление и расширение знаний учебной дисциплины; приобретение студентами умений и навыков использования современных научно-технических средств, при решении конкретных практических задач.

При выполнении самостоятельной работы обучающийся самостоятельно осуществляет сбор, изучение, систематизацию и анализ информации, а затем оформляет информацию и представляет на оценку преподавателя или группы.

Предложенные в рекомендациях задания позволят успешно овладеть профессиональными знаниями, умениями и навыками, и направлены на формирование общих компетенций.

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности

ОК 03 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста

ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях

Виды самостоятельной работы

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Форма контроля	Максимальное кол-во баллов
1.	Работа с источниками	Устный ответ на занятии Составление аннотации	5
2.	Составление опорного конспекта (можно схему)	Опорный конспект	5
3.	Составление кроссворда	Письменные работы	5
4.	Решение практических задач	Письменные работы	5
5	Тестирование по индивидуальным тестам	Тестовые задания	5
6	Участие в научно-исследовательской деятельности	Выступление на конференции, конкурсах, олимпиадах	5
7	Итоговая проверка (в виде экзамена)	Промежуточная аттестация	5

Методические рекомендации по работе с источниками

Работа с источниками осуществляется с целью приобретения обучающимся навыков самостоятельного изучения учебного материала. Работа с источниками является важной составляющей при подготовке к занятиям.

Для подготовки к устному опросу необходимо прочитать текст источника, выделить главное, составить план ответа, повторить текст несколько раз. На учебном занятии полно, точно, доступно, правильно, взаимосвязано и логично изложить материал, иллюстрируя при необходимости примерами.

Работа с источником может быть предложена в форме аннотирования. Аннотация позволяет составить обобщенное представление об источнике. Для составления аннотации необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Фамилия автора, полное наименование работы, место и год издания.
2. Вид издания (статья, учебник, и пр.)
3. Цели и задачи издания.
4. Структура издания и краткий обзор содержания работы.
5. Основные проблемы, затронутые автором.
6. Выводы и предложения автора по решению выделенных проблем.

Источник аннотирования определяет преподаватель, он же оценивает аннотацию, сданную в письменной форме.

Методические рекомендации по выполнению тестовых заданий

Выполнение тестовых заданий по дисциплине проводятся с целью проверки знаний студентов. Тестирование позволяет путем поиска правильного ответа и разбора допущенных ошибок лучше усвоить тот или иной материал по предмету.

При выполнении тестовых заданий необходимо учитывать:

1. Тесты рассчитаны на самостоятельную работу без использования вспомогательных материалов.

2. Для выполнения тестового задания, прежде всего, следует внимательно прочитать поставленный вопрос.
3. После ознакомления с вопросом следует приступить к прочтению предлагаемых вариантов ответа.
4. Необходимо прочитать все варианты и в качестве правильного ответа выбрать один индекс (цифровое либо буквенное обозначение).
5. Если в тестовом задании правильных ответов несколько, то это должно указываться в задании.
6. Баллы начисляются за задание, выполненное в полном объеме: так, если в задании предусмотрено два правильных ответа, а отмечен только один, выполнение данного задания оценивается нулем баллов.
7. Заданий, где правильный вариант отсутствует, в тесте не предусмотрено.
8. На выполнение теста отводится ограниченное время. Оно может варьироваться в зависимости от уровня тестируемых, сложности и объема теста. Как правило, время выполнения тестового задания определяется из расчета 30-45 секунд на один вопрос.

Методические рекомендации по составлению опорного конспекта

Опорный конспект составляется с целью обобщения, систематизации и краткого изложения информации. Составление опорного конспекта способствует более быстрому запоминанию учебного материала.

Составление опорного конспекта включает следующие действия:

1. Изучение текста учебного материала.
2. Определение главного и второстепенного в анализируемом тексте.
3. Установление логической последовательности между элементами.
4. Составление характеристики элементов учебного материала в краткой форме.
5. Выбор опорных сигналов для расстановки акцентов.
6. Оформление опорного конспекта.

Опорный конспект может быть представлен в виде схемы с использованием стрелок для определения связи между элементами; системы геометрических фигур; логической лестницы и т.д.

Оценкой опорного конспекта может служить качество ответа, как самого студента, так и других студентов его использовавших. Преподаватель также может проверить опорные конспекты, сданные в письменной форме. Допускается проведение конкурса на самый лучший конспект по следующим критериям: краткость формы; логичность изложения; наглядность выполнения; универсальность содержания.

Методические рекомендации по составлению кроссворда.

Кроссворды составляются с целью отображения информации в графическом виде для развития эрудиции, расширения словарного запаса, тренировки памяти, внимания. При составлении кроссвордов необходимо придерживаться принципов наглядности и доступности.

1. Кроссворд должен состоять из 7- 20 слов по заданной теме.
2. Кроссворд должен быть "Классический"
3. Оформлен на листе формата А4, вместе с вопросами
4. К кроссворду должны быть ответы на другом листе формата А4
5. На листе с кроссвордом и листе с ответами должны быть указаны тема кроссворда, № группы и автор работы.
6. Не допускается наличие "плашек" (незаполненных клеток) в сетке кроссворда.
7. Не допускаются случайные буквосочетания и пересечения.

8. Загаданные слова должны быть именами существительными в именительном падеже единственного числа.
9. Двухбуквенные слова должны иметь два пересечения.
10. Не допускаются аббревиатуры (ПО ПК и т.д.), сокращения (ур-я и др.).
11. Не рекомендуется большое количество двухбуквенных слов.
12. Все тексты должны быть написаны разборчиво, желательно отпечатаны.

Готовая работа представляется на контроль в письменном виде.

Методические рекомендации по решению практических задач

Практические задачи решаются с целью закрепить изученный материал и сформировать определенные умения и навыки, выработать у студента способность самостоятельно решать поставленные задачи, лаконично и структурировано формулировать ответ.

При решении задач студентам можно рекомендовать такую основную схему:

- 1) вспомнить теоретическую часть по теме;
- 2) выполнить решение примеров (задач), согласно образцу.

Объем задания определяет преподаватель.

Методические рекомендации по подготовке обучающихся к экзамену

По дисциплине проводится устный экзамен. Экзамен проводится с использованием комплекта билетов. Количество билетов превышает количество учащихся в группе. Экзаменационные билеты содержат один теоретический вопрос и два практических задания.

1. В соответствии с утвержденными датой, временем и местом проведения обучающийся приходит на экзамен.

2. Для сдачи экзамена по данной дисциплине у обучающегося при себе должны быть только ручка и зачетная книжка. Зачетную книжку обучающийся сдает преподавателю.

3. Расположив на столе экзаменационные билеты в произвольном порядке, преподаватель приглашает к столу учащегося. Обучающийся произвольно выбирает неидентифицируемый внешне экзаменационный билет.

4. Обучающийся озвучивает преподавателю свои Ф.И.О. и номер билета, получает от преподавателя чистый лист для записей, занимает указанное место в аудитории. Одновременно в аудитории готовится к ответу не более 5 человек.

5. В течение установленного времени обучающийся готовится к устному ответу на экзаменационный билет. Время подготовки к ответу, в зависимости от сложности предмета 20-40 мин. Преподаватель визуальнo контролирует процесс подготовки.

6. По истечении установленного времени или при готовности ранее установленного времени обучающийся отвечает преподавателю на вопросы экзаменационного билета. После ответа преподаватель может задать дополнительные или уточняющие вопросы. По итогам ответов обучающегося преподаватель выставляет экзаменационную оценку, фиксируя ее в зачетке, экзаменационной ведомости, журнале учебной группы.

7. Учащиеся, нарушающие дисциплину (устраивающие переговоры, списывающие и т.д.) лишаются права сдавать экзамен.

Этапы по решению физических задач

1 этап. Изучите условия, сделайте краткую запись данных при помощи принятых обозначений. Изучить условие – значит, постараться представить себе явление или процесс, который описан в содержании задачи.

2 этап. Подробно всесторонне рассмотрите физические явления и процессы, о которых идет речь в задаче. Выявите и рассмотрите начальное и конечное состояние процесса и параметры, их характеризующие. Это поможет вам уточнить условие, поставить соответствующие индексы к буквенным обозначениям.

3 этап. Найти (извлечь из памяти) ту закономерность - закон, формулу, правило - которая описывает данное явление или процесс.

4 этап. Сделайте проверку, соответствует ли число полученных уравнений числу неизвестных; все ли величины, входящие в расчетную формулу, определены. Проверьте соответствие размерности искомой величины по расчетной формуле.

5 этап. Вычислите значение искомой величины, дайте анализ полученного ответа.

Итак, физические задачи являются важной составной частью процесса обучения физике. В последнее время именно по умению решать физические задачи оценивается знание студентами курса физики. Умение решать задачи – лучшая оценка уровня усвоения программного материала.

Задания для самостоятельной работы

Физические основы механики.

1.1. Основы кинематики.

Теоретические сведения.

В случае *прямолинейного равномерного движения* путь S , пройденный телом за время t , и скорость тела v связаны отношением: $S = vt$

При *равнопеременном прямолинейном движении* скорость v и путь S , соответствующие отрезку времени t , связаны следующими соотношениями:

$$v = v_0 + at ; \quad S = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad v^2 - v_0^2 = 2aS ,$$

где v_0 – начальная скорость, а – ускорение тела.

Для равномерного движения тела по окружности:

$$v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi v R;$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = 4\pi^2 v^2 R$$

где ω – угловая скорость движения, R – расстояние данной точки от оси вращения, T – период вращения, v – число полных оборотов в единицу времени. В случае равномерного вращательного

движения угловая скорость $\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi v$.

Угловая скорость ω связана с линейной скоростью v соотношением: $v = \omega R$.

Примеры решения задач.

Задача №1. Первую половину времени своего движения автомобиль двигался со скоростью 80 км/ч, а вторую – со скоростью 40 км/ч. Какова средняя скорость движения автомобиля?

Дано:	Решение:
$v_1 = 80 \text{ км/ч}$ $v_2 = 40 \text{ км/ч}$ $v_{cp} = ?$	Средняя скорость движения автомобиля $v_{cp} = \frac{S}{t}$, где $S = S_1 + S_2$. По условию $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$. Таким образом $v_{cp} = \frac{\frac{v_1 t}{2} + \frac{v_2 t}{2}}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2} = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Ответ: $v_{cp} = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Задача №2. Электропоезд движется со скоростью 36 км/ч. Если выключить ток, то поезд, двигаясь равнозамедленно, остановится через 20 с. Найти: ускорение электропоезда; на каком расстоянии до остановки надо выключить ток?

Дано:	СИ:	Решение:

$v_0 = 36 \text{ км/ч}$	$= 10 \text{ м/с}$	При равнопеременном движении $v = v_0 + at$, $S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$; По
$t = 20 \text{ с}$		условию $v = 0$, тогда $a = -\frac{v_0}{t} = \frac{10 \text{ м/с}}{20 \text{ с}} = -0,5 \text{ м/с}^2$.
$a - ?$		$S = \frac{v_0 t}{2} = \frac{10 \text{ м/с} \cdot 20 \text{ с}}{2} = 100 \text{ м}$.
$S - ?$		Ответ: $a = -0,5 \text{ м/с}^2$; $S = 100 \text{ м}$

Задача №3. Колесо радиусом 10 см вращается с постоянным угловым ускорением $3,14 \text{ рад/с}^2$. Найти для точек на ободе колеса к концу первой секунды после начала движения: угловую скорость, линейную скорость, тангенциальное и нормальное ускорение, полное ускорение.

Дано:	СИ:	Решение:
$R = 10 \text{ см} =$	$0,1 \text{ м}$	При равнопеременном вращательном движении угловая скорость
$\varepsilon =$		$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$. По условию $\omega_0 = 0$, тогда $\omega = \varepsilon t$. И значит к концу первой
$3,14 \text{ рад/с}$		секунды $\omega = \varepsilon t = 3,14 \cdot 1 = 3,14 \text{ рад/с}$. Так как
$\omega - ?$		$v = \omega R = 3,14 \text{ рад/с} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,314 \text{ м/с}$. Тангенциальное ускорение
$v - ?$		$a_T = \varepsilon R = 0,314 \text{ м/с}^2$. Нормальное ускорение
$a_T - ?$		$a_n = \omega^2 R = 0,986 \text{ м/с}^2$. Полное ускорение $a = \sqrt{a_T^2 + a_n^2} = 1,03 \text{ м/с}^2$.
$a_n - ?$		Ответ: $\omega = 3,14 \text{ рад/с}$, $v = 0,314 \text{ м/с}$, $a_T = 0,314 \text{ м/с}^2$, $a_n = 0,986 \text{ м/с}^2$,
$a - ?$		$a = 1,03 \text{ м/с}^2$.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Тело переместилось из точки А с координатами $x_1 = -1$, $y_1 = 2$ в точку В с координатами $x_2 = 5$, $y_2 = 3$. Сделайте чертёж, найдите перемещение тела и его проекции на оси координат.

2. Движение грузового автомобиля описывается уравнением $x = -270 + 12t$. Опишите характер движения автомобиля. Найдите начальную координату, модуль и направление вектора скорости, координату и перемещение автомобиля за 20 с.
3. Движение велосипедиста описывается уравнением $x = 150 - 10t$. Опишите характер движения велосипедиста, найдите начальную координату, модуль и направление вектора скорости. В какой момент времени велосипедист проедет мимо автостанции, если её координата равна $x = 100$ м?
4. По прямолинейной автостраде движутся равномерно навстречу друг другу автобус и мотоциклист. В начальный момент времени координаты автобуса и мотоциклиста соответственно равны 500 м и -300 м, а скорости движения 20 м/с и 10 м/с. Напишите уравнения движения автобуса и мотоциклиста, найдите положение этих тел через 5 с. В какой момент времени и где произойдёт их встреча? Каким будет расстояние между ними через 1,5 мин после начала наблюдения?
5. Движение двух велосипедистов заданы уравнениями $x_1 = 12t$ и $x_2 = 120 - 10t$. Опишите характер движения каждого велосипедиста, найдите модуль и направление их скоростей, постройте графики движения, графики скорости и определите графически и аналитически время и место встречи этих велосипедистов.
6. Скорость велосипедиста 10 м/с, а скорость встречного ветра 6 м/с. Определите скорость ветра относительно велосипедиста.
7. Парашютист опускается вертикально вниз со скоростью 4 м/с в безветренную погоду. С какой скоростью он будет двигаться при горизонтальном ветре, скорость которого относительно земли равна 3 м/с?
8. Автомобиль проехал первую половину пути со скоростью 20 м/с, а вторую половину – со скоростью 30 м/с. Найдите среднюю скорость автомобиля на всём пути.
9. Мотоциклист, подъезжая к уклону, имеет скорость 10 м/с и начинает двигаться с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. Какую скорость приобретёт мотоциклист через 20 с?
10. Сколько времени длится разгон автомобиля, если он увеличивает свою скорость от 15 до 30 м/с, двигаясь с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$?
11. Проекция скорости материальной точки изменяется по закону $v_x = 10 + 2t$. Найдите: модуль и направление начальной скорости, ускорение точки и её скорость через 5 с и 10 с от начала движения.
12. За какое время автомобиль, двигаясь из состояния покоя с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$, пройдёт путь 100 м?
13. Какую скорость приобретёт автомобиль за 10 с, если, двигаясь из состояния покоя равноускоренно, он за 5 с проходит расстояние 25 м?
14. Трамвай, двигаясь равномерно со скоростью 15 м/с, начинает торможение. Чему равен тормозной путь трамвая, если он остановился через 10 с?
15. Скорость поезда, движущегося под уклон, возросла с 15 до 19 м/с. Поезд прошёл при этом путь 340 м. С каким ускорением двигался поезд, и сколько времени продолжалось движение под уклон?
16. В конце уклона лыжник развил скорость 8 м/с. Найдите начальную скорость лыжника и ускорение, с которым он двигался, если длину уклона 100 м он прошёл за 20.
17. Зависимость проекции скорости от времени движения тела имеет вид $v_x = -10 + 3t$. Напишите уравнение зависимости координаты от времени и найдите её координату через 15 с от начала движения. Каково перемещение тела за это время?
18. Уравнение координаты материальной точки имеет вид $x = 20 + 5t + t^2$. Найдите начальную координату, модуль и направление начальной скорости, модуль и направление ускорения. Напишите уравнение зависимости проекции скорости от времени движения. Напишите

- уравнение зависимости проекции ускорения от времени. Найдите координату тела через 3 с после начала движения. Какой путь пройдёт тело за 3 с?
19. Уравнение координаты материальной точки имеет вид $x = 15 - 3t + 0,5t^2$. Найдите начальную координату, модуль и направление начальной скорости, модуль и направление ускорения. Напишите уравнение зависимости проекции скорости от времени движения. Напишите уравнение зависимости проекции ускорения от времени. Найдите координату тела через 3 с после начала движения. Какой путь пройдёт тело за 6 с?
20. Уравнения движения двух тел имеют вид $x_1 = 10t + 0,4t^2$ и $x_2 = -6t + 2t^2$. Опишите характер движения каждого тела. Найдите место и время их встречи. Каким будет расстояние между ними через 5 с от начала движения?
21. Движение двух автомобилей описывается уравнениями $x_1 = 2t + 0,2t^2$ и $x_2 = 80 - 4t$. Опишите характер движения каждого автомобиля, постройте графики зависимости их скоростей от времени. Когда и где произойдёт встреча автомобилей? Найдите расстояние между ними через 10 с после начала движения. Какое перемещение совершит каждый автомобиль за это время?
22. Камень свободно падает с высоты 80 м. Какова скорость камня в момент падения на землю? Сколько времени продолжалось падение?
23. Тело свободно падает с некоторой высоты и у поверхности земли достигает скорости 100 м/с. С какой высоты падало тело? Сколько времени продолжалось его падение?
24. При свободном падении тело достигает поверхности земли через 5 с. Какова скорость тела в конце падения и с какой высоты оно падало, если начальная скорость тела равна нулю?
25. Тело свободно падает с высоты 80 м. Каково его перемещение в первую и последнюю секунду падения?
26. Тело падает с некоторой высоты и проходит последние 196 м пути за 4 с. С какой высоты и сколько времени падало тело?
27. Свободно падающее тело в последнюю секунду своего движения проходит половину пути. Определите время и высоту падения.
28. Мяч брошен вертикально вверх со скоростью 24 м/с. На какую высоту он поднимется?
29. Стрела, выпущенная из лука вертикально вверх, упала через 8 с. Какова высота подъёма и начальная скорость стрелы? Сопротивлением воздуха пренебречь.
30. Период вращения колеса ветродвигателя 0,5 с, а якоря электродвигателя 0,04 с. Какова частота их вращения?
31. Секундная стрелка часов делает один полный оборот за 1 мин. Радиус стрелки равен 10 см. Какова угловая скорость острия стрелки, его линейная скорость, частота вращения и центростремительное ускорение?
32. Длина минутной стрелки башенных часов Московского университета равна 4,5 м. С какой линейной скоростью перемещается конец стрелки? Какова угловая скорость движения стрелки?
33. 4. Найдите частоту вращения барабана лебёдки диаметром 16 см при подъёме груза со скоростью 0,4 м/с.
34. По данным таблицы составьте задачи и решите их:

№ п/п	R, м	T, с	ω , рад/с	N, Гц	v , м/с	a , м/с ²
1	0,5	2	?	?	?	?
2	0,1	?	?	?	10	?

3	?	?	10	?	5	?
4	2	?	?	0,25	?	?
5	?	0,02	?	?	30	?

1.2. Основы динамики.

Теоретические сведения.

Основной закон динамики (*второй закон Ньютона*) выражается формулой: $F = ma$, где a – ускорение, приобретаемое телом массой m под действием силы F .

Сила, вызывающая упругую деформацию x , пропорциональна деформации: $F = -kx$, где k – коэффициент упругости.

Сила трения скольжения: $F = \mu N = \mu mg$, где μ – коэффициент трения скольжения, g – ускорение свободного падения (в задачах принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$).

Центростремительная сила $F = m\omega^2 R = \frac{mv^2}{R}$, где R – радиус окружности.

Сила притяжения двух точечных тел или однородных шаров массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии R , определяется по закону всемирного тяготения: $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$,

где G – гравитационная постоянная. $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Примеры решения задач.

Задача №1. После удара футболиста неподвижный мяч массой 500 г получает скорость 10 м/с. Определите среднюю силу удара, если он длился в течение 0,5 с.

Дано:	СИ:	Решение:
$m = 500 \text{ г}$	$0,5 \text{ кг}$	Среднюю силу удара можно найти, используя 2 закон Ньютона $F = ma$, а ускорение тела $a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v}{t}$. Тогда второй закон

$v = 10 \text{ м/с}$ $v_0 = 0$ $t = 0,5 \text{ с}$ $F = ?$	можно записать в виде: $F = \frac{mv}{t} = \frac{0,5 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}}{0,5 \text{ с}} = 10 \text{ Н}$ Ответ: $F = 10 \text{ Н}$
---	--

Задача № 2. Найти проекцию силы, действующей на тело массой 500 кг, если оно движется прямолинейно и его координата изменяется по закону: $x = 20 - 10t + t^2$.

Дано:	Решение:
$m = 500 \text{ кг}$ $x = 20 - 10t + t^2$ $F = ?$	Уравнение прямолинейного равноускоренного движения имеет вид: $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ Из уравнения данного движения $x = 20 - 10t + t^2$ следует, что ускорение тела равно 2 м/с^2. Тогда согласно 2 закона Ньютона $F = ma = 500 \text{ кг} \cdot 2 \text{ м/с}^2 = 1000 \text{ Н} = 1 \text{ кН}.$ Ответ: $F = 1 \text{ кН}$.

Задача №3. Автомобиль массой 1,5 т начинает двигаться горизонтально с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. Сила сопротивления движению составляет 500 Н. Определите силу тяги, развиваемую двигателем.

Дано:	СИ:	Решение:
$m = 1,5 \text{ т}$ $a = 0,5 \text{ м/с}^2$ $F_C = 0,5 \text{ кН}$ $F_{\text{тяги}} - ?$	1500 кг 500 Н	Согласно второго закона Ньютона $\vec{F}_C + \vec{F}_{\text{тяги}} = m\vec{a}$. Так как направление силы тяги и ускорения совпадают, а сила сопротивления движению направлена в сторону, противоположную движению, то проекция вектора силы сопротивления отрицательна, $-F_C + F_{\text{тяги}} = ma, \text{ откуда, выразив величину силы тяги, получим:}$ $F_{\text{тяги}} = ma + F_C = 1500 \text{ кг} \cdot 0,5 \text{ м/с}^2 + 500 \text{ Н} = 1250 \text{ Н}.$ Ответ: $F_{\text{тяги}} = 1250 \text{ Н}$.

Задача №4. Самолёт делает «мёртвую петлю» радиусом 800 м и движется по ней со скоростью 200 м/с. С какой силой тело лётчика массой 70 кг давит на сиденье самолёта в верхней и нижней точках петли?

Дано:	Решение:
$R = 800 \text{ м}$ $v = 200 \text{ м/с}$ $m = 70 \text{ кг}$ $N_1 - ?$ $N_2 - ?$	В верхней точке сила тяжести mg и сила реакции сиденья N_1 действуют вертикально вниз и сообщают лётчику центростремительное ускорение $\frac{v^2}{R}$. Поэтому уравнение движения $N_1 + mg = \frac{mv^2}{R}, \text{ откуда } N_1 = \frac{mv^2}{R} - mg = m\left(\frac{v^2}{R} - g\right) = 2814 \text{ Н}.$ Поскольку в нижней точке сила реакции сиденья направлена вертикально вверх, то уравнение движения в нижней точке: $mg - N_2 = -\frac{mv^2}{R}, \text{ откуда } N_2 = m\left(\frac{v^2}{R} + g\right) = 4186 \text{ Н}.$ Ответ: $N_1 = 2814 \text{ Н}$, $N_2 = 4186 \text{ Н}$.

Задача № 5. Максимальное удаление от поверхности Земли первого ИСЗ составило 947 км. Какую скорость должен иметь спутник на этой высоте, чтобы удержаться на круговой орбите? Радиус Земли 6370 км.

Дано:	СИ:	Решение:
$R_3 = 6370 \text{ км}$ $h = 947 \text{ км}$ $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ $v - ?$	$= 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$ $= 9,47 \cdot 10^5 \text{ м}$	Сила притяжения спутника к Земле сообщает ему центростремительное ускорение $\frac{v^2}{R_3 + h}$. После преобразования получим: $\frac{mv^2}{R} = G \frac{mM}{R^2}$; $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$. Так как $mg = \frac{GmM}{r^2}$, то $GM = gr^2$, тогда $v = R_3 \sqrt{\frac{g}{R}} \approx 7300 \text{ м/с}$ Ответ: $v \approx 7300 \text{ м/с}$.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Сила 50 Н сообщает телу ускорение $0,1 \text{ м/с}^2$. Какая сила сообщает этому телу ускорение $0,01 \text{ м/с}^2$?
2. Тело массой 2 кг приобретает под действием некоторой силы ускорение 2 м/с^2 . Какое ускорение приобретёт под действием этой силы тело массой 5 кг?
3. Сила 15 Н действует на тело массой 500 г. Какая сила сообщит такое же ускорение телу массой 2 кг?
4. Тело, движущееся под действием постоянной силы, прошло в первую секунду путь 25 см. Определите силу, если масса тела 25 г.
5. Снаряд массой 2 кг вылетает из ствола орудия горизонтально со скоростью 1000 м/с. Определите силу давления пороховых газов, считая её постоянной, если длина ствола равна 3,5 м.
6. Скорость автомобиля изменяется по закону: $x = 10 + 0,5t$. Найдите результирующую силу, действующую на него, если масса автомобиля равна 1,5 т.
7. Скорость материальной точки изменяется по закону: $v = 5 - 3t$ под действием постоянной силы 6 Н. Какова масса точки?
8. Напишите уравнение скорости движения реактивного самолёта, начинающего разбег по взлётной полосе аэродрома, если результирующая сила тяги двигателя равна 90 кН, а масса его равна 60 т.
9. Под действием постоянной силы 150 Н тело движется так, что его координата изменяется по закону: $x = 100 + 5t + 0,5t^2$. Какова масса тела?

10. Найдите проекцию силы, действующей на тело массой 500 кг, если его координата изменяется по закону: $x = 20 - 10t + t^2$.
11. После удара футболиста неподвижный мяч массой 500 г получил скорость 10 м/с. Определить среднюю силу удара, если он длился 0,5 с.
12. Тело массой 400 г, двигаясь прямолинейно с некоторой начальной скоростью, за 5 с под действием силы 0,6 Н приобрело скорость 10 м/с. Найти начальную скорость тела.
13. Вес человека в неподвижном лифте равен 600 Н. Когда его измерили в движущемся лифте, он оказался равным 540 Н. Определите ускорение, с которым двигался лифт.
14. Вес тела, движущегося с ускорением, направленным: а) вверх и равным 5 м/с^2 ; б) вниз и равным 5 м/с^2 , оказался равным 100 Н. Какова масса этого тела?
15. Груз массой 150 кг лежит на дне кабины спускающегося лифта и давит на него с силой 1800 Н. Определите модуль и направление ускорения лифта.
16. Ракета на старте с поверхности Земли движется вертикально вверх с ускорением 20 м/с^2 . Каков вес космонавта массой 80 кг? Какую перегрузку он испытывает?
17. Барабан центрифуги бытовой стиральной машины имеет радиус 10 см и вращается вокруг вертикальной оси с частотой 2780 об/мин. Каков вес белья массой 1 кг, заложенного в барабан?
18. Автомобиль проходит середину выпуклого моста радиусом 50 м со скоростью 20 м/с. Найдите вес автомобиля в этой точке, если его масса 5 т.
19. Автомобиль массой 2 т, проходящий по выпуклому мосту радиусом 40 м, имеет вес 15 кН. С какой скоростью движется автомобиль?
20. Танк ХМ – 1 массой 52 т, имея скорость 18 м/с, въезжает на плоский мост. В результате мост прогибается и образует дугу радиусом 40 м. Какова сила давления танка на мост в его центральной части? Почему не выгодно строить плоские мосты?
21. Лётчик массой 70 кг описывает на самолёте, летящем со скоростью 180 км/ч, «мёртвую петлю» радиусом 100 м. С какой силой прижимается лётчик к сиденью в верхней и нижней точках петли?
22. Автобус, масса которого равна 15 т, движется так, что его проекция скорости на направление движения изменяется по закону: $v_x = 0,7t$. Найдите силу тяги, если коэффициент сопротивления равен 0,03.
23. По какому закону изменяется скорость электровоза, который при трогании с места железнодорожного состава развивает максимальную силу тяги 650 кН? Масса состава равна 3250 тонн, а коэффициент трения равен 0,005.
24. Троллейбус массой 10 т, трогаясь с места, приобрёл на пути 50 м скорость 10 м/с. Найти коэффициент трения, если сила тяги равна 14 кН.
25. Какой массы состав может везти тепловоз, если уравнение его движения должно иметь вид: $x = 0,05t^2$ и он развивает силу тяги 300 кН при коэффициенте трения 0,005?
26. Какую силу надо приложить для подъёма вагонетки массой 600 кг по эстакаде с углом наклона 20° , если коэффициент трения равен 0,05?
27. Автомобиль массой 4 т движется в гору с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Найдите силу тяги, если уклон равен 0,02 и коэффициент сопротивления 0,04.
28. Вычислите силу притяжения человека массой 80 кг к Солнцу и сравните её с силой тяжести, если масса Солнца равна $1,99 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, а расстояние от Земли до Солнца 150 000 000 км.
29. Тело массой 1 кг притягивается к Луне с силой 1,7 Н. Считая, что средняя плотность Луны равна

$3,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, определите радиус Луны.

30. Найдите ускорение свободного падения на поверхности Венеры, если её масса $4,9 \cdot 10^{24} \text{ кг}$, а радиус 6100 км .
31. Найдите среднюю плотность Солнца, если его масса равна $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, а ускорение свободного падения вблизи его поверхности приблизительно равно 1508 м/с^2 .
32. 33. Пользуясь законом всемирного тяготения, найдите ускорение свободного падения на высоте, равной радиусу Земли; на высоте, равной двум радиусам Земли.
33. Из всего добытого на Земле золота можно было бы сделать шар, диаметр которого всего 22 м . Плотность золота равна $19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. С какой силой притягивал бы вас этот шар, если бы вы подошли к нему вплотную?
34. Вычислите первую космическую скорость для Луны, если её радиус равен $1,7 \cdot 10^6 \text{ м}$. Ускорение свободного падения на Луне равно $1,7 \text{ м/с}^2$.
35. Ускорение свободного падения на Венере составляет $0,9$ земного, а радиус Венеры равен $0,95R_{\text{З}}$. Найдите первую космическую скорость у поверхности Венеры.
36. Рассчитайте первую космическую скорость у поверхности Солнца, если его масса равна $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, а диаметр Солнца составляет $1,4 \cdot 10^9 \text{ м}$.
37. Какую скорость должен иметь искусственный спутник, чтобы обращаться по круговой орбите на высоте 600 км над поверхностью Земли? Каков период его обращения?
38. Найдите период обращения спутника Земли, если он движется по круговой орбите на высоте, равной радиусу Земли.
39. На какой высоте должен находиться искусственный спутник Земли, чтобы период его обращения был равен 24 ч ?

1.3. Законы сохранения в механике

Теоретические сведения

Работа силы при перемещении может быть выражена следующей формулой: $A = FS \cos \alpha$.

$$\text{Мощность } N = \frac{A}{t} = \frac{FS \cos \alpha}{t} = Fv \cos \alpha.$$

Кинетическая энергия тела массой m , движущегося со скоростью v : $E_k = \frac{mv^2}{2}$.

Формулы для потенциальной энергии имеют разный вид в зависимости от характера действующих сил.

$$\text{Потенциальная энергия упругих тел: } E_n = \frac{kx^2}{2}.$$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек массами

$$m_1 \text{ и } m_2, \text{ находящихся на расстоянии } r \text{ друг от друга: } E_n = -G \frac{m_1 m_2}{r}.$$

Потенциальная энергия тела, поднятого над Землёй на высоту h : $E_n = mgh$.

Импульсом тела называют произведение массы тела на его скорость: $p = mv$.

Закон сохранения импульса имеет вид: $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$.

Примеры решения задач.

Задача №1. Тело массой 10 кг свободно падает с высоты 20 м из состояния покоя. Чему равна кинетическая энергия тела в момент удара о Землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:	Решение:
$m = 10 \text{ кг}$ $v_0 = 0$ $h_0 = 20 \text{ м}$ $h_1 = 0$ $E_{K2} = 3E_{P2}$ $E_{K1} - ?$	Согласно закону сохранения энергии $E_{P0} + E_{K0} = E_{P1} + E_{K1}$. Примем за тело отсчёта Землю, тогда, учитывая, что $v_0 = 0$ и $h_1 = 0$, получим $E_{K1} = mgh_0 = 10 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 20 \text{ м} = 2000 \text{ Дж} = 2 \text{ кДж}$. Ответ: $E_{K1} = 2 \text{ кДж}$.

Задача №2. Импульс тела равен 8 кг·м/с, а кинетическая энергия 16 Дж. Найти массу и скорость тела.

Дано:	Решение:
$p = 8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ $E_k = 16 \text{ Дж}$	Из формулы импульса тела $p = mv$ и формулы кинетической энергии

$m - ?$ $v - ?$	$E_k = \frac{mv^2}{2}$ можно, решая совместно эти равенства, найти скорость тела: $v = \frac{2E_k}{p} = \frac{2 \cdot 16 \text{ Дж}}{8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}} = 4 \text{ м/с}$. Тогда масса тела $m = \frac{p}{v} = \frac{8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}}{4 \text{ м/с}} = 2 \text{ кг}$. Ответ: $v = 4 \text{ м/с}$; $m = 2 \text{ кг}$.
------------------------	--

Задача №3. На неподвижную тележку массой 100 кг прыгает человек массой 50 кг со скоростью 6 м/с. С какой скоростью начнёт двигаться тележка с человеком?

Дано: $m_1 = 100 \text{ кг}$ $m_2 = 50 \text{ кг}$ $v_1 = 0$ $v_2 = 6 \text{ м/с}$ $v - ?$	Решение: По закону сохранения импульса в замкнутой системе «тележка-человек» имеем: $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}$. Так как тележка вначале покоилась, то $m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}$. Очевидно, что направления скоростей человека и тележки с человеком совпадают, поэтому $m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$. Отсюда найдём скорость тележки с человеком: $v = \frac{m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{50 \text{ кг} \cdot 6 \text{ м/с}}{100 \text{ кг} + 50 \text{ кг}} = 2 \text{ м/с}.$ Ответ: $v = 2 \text{ м/с}$
---	---

Задачи для самостоятельного решения:

1. Сани тянут на пути 100 м с силой 80 Н за верёвку, составляющую угол 30° к горизонту. Какая работа совершается при этом?
2. Тело массой 100 кг поднимают с ускорением 2 м/с^2 на высоту 25 м. Какая работа совершается при подъёме тела?
3. В воде с глубины 5 м поднимают до поверхности камень объёмом $0,6 \text{ м}^3$. Плотность камня 2500 кг/м^3 . Найдите работу по подъёму камня.
4. Какую работу совершает двигатель автомобиля «Жигули» массой 1,3 т при трогании с места на первых 75 м пути, если расстояние автомобиль проходит за 10 с, а коэффициент сопротивления движению равен 0,05?
5. При вертикальном подъёме тела массой 2 кг на высоту 10 м совершена работа 240 Дж. С каким ускорением двигалось тело?

6. Тело движется вдоль оси ОХ, направленной горизонтально. Проекция скорости этого тела на ось изменяется со временем по закону $v_x = 10 + 2t$. Какую работу совершает сила, действующая на это тело, в течение 10 с, если она составляет угол 60° с направлением движения тела?
7. Равнодействующая сил, действующих на тело, равна 20 Н и направлена горизонтально. Тело движется так, что его координата изменяется по закону $x = 10 + 2t + t^2$. Какую работу совершает сила за 5 с?
8. Равнодействующая сил, действующих на тело, равна 50 Н и направлена горизонтально. Тело движется так, что его координата изменяется по закону $x = 24 + 10t - t^2$. Какую работу совершает сила за 5 с? за 10 с? Как объяснить полученный результат?
9. Груз массой 50 кг свободно падает из состояния покоя в течение 10 с. Какую работу совершает сила тяжести за этот промежуток времени?
10. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы передвинуть по шероховатой поверхности груз массой 20 кг на расстояние 1 м с помощью невесомого резинового шнура жёсткостью 10 Н/м? Шнур тянут горизонтально, в начальный момент времени шнур не растянут. Коэффициент трения о поверхность равен 0,1.
11. Подъёмный кран поднимает груз массой 5 т на высоту 15 м. За какое время поднимется этот груз, если мощность крана 10 кВт и КПД равен 80%?
12. Камень шлифовального станка имеет на рабочей поверхности скорость 30 м/с. Обрабатываемая деталь прижимается к камню с силой 100 Н, коэффициент трения 0,2. Какова механическая мощность двигателя станка? Потери в механизме привода не учитывать.
13. Трактор типа Т-150 имеет тяговую мощность 72 кВт. С какой скоростью может тянуть этот трактор прицеп массой 5 т на подъём 0,2 при коэффициенте трения 0,4?
14. Насос, двигатель которого развивает мощность 25 кВт, поднимает 100 м^3 нефти на высоту 6 м за 8 мин. Найдите КПД установки.
15. Камень массой 2 кг бросают вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с.. Какова начальная кинетическая энергия камня? Какова потенциальная энергия камня на максимальной высоте? Каково значение максимальной высоты подъёма?
16. Камень брошен вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какой высоте кинетическая энергия камня равна его потенциальной энергии?
17. Стрела вылетает из арбалета вертикально вверх со скоростью 60 м/с. На какую высоту поднимется стрела, если её масса 200 г? Потерями энергии пренебречь.
18. При подготовке игрушечного пистолета к выстрелу пружину жёсткостью 8 Н/м сжали на 5 см. Какую скорость приобретёт пуля массой 20 г при выстреле в горизонтальном направлении?
19. Хоккейная шайба массой 160 г, летящая со скоростью 20 м/с, влетела в ворота и ударила в сетку, которая при этом прогнулась на 6, 4 см. Какова максимальная сила, с которой шайба действовала на сетку? Считать, что сила упругости сетки изменяется в зависимости от её прогиба по закону Гука.
20. Неупругие шары массами 1 кг и 2 кг движутся навстречу друг другу со скоростями соответственно равными 1 м/с и 2 м/с. Найдите изменение кинетической энергии системы после удара.
21. Троллейбус массой 15 т трогается с места с ускорением $1,4 \text{ м/с}^2$. Найдите работу силы тяги и работу силы сопротивления на первых 10 м пути, если коэффициент сопротивления равен 0,02. Какую кинетическую энергию приобрёл троллейбус?
22. Автомобиль массой 2 т затормозил и остановился, пройдя путь 50 м. Найдите работу силы трения и изменение кинетической энергии автомобиля, если дорога горизонтальна, а коэффициент трения равен 0,4.
23. Пуля, вылетевшая из винтовки со скоростью 1000 м/с, упала на землю со скоростью 500 м/с. Какая работа была совершена силой сопротивления воздуха, если масса пули 10 г?

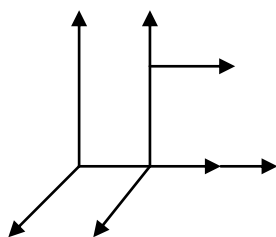
24. Тело с начальной скоростью 14 м/с падает с высоты 240 м и углубляется в песок на 20 см. Определите среднюю силу сопротивления песка. Сопротивление воздуха не учитывать.
25. От удара копра массой 500 кг, свободно падающего с некоторой высоты, свая погружается в грунт на 1 см. Определите силу сопротивления грунта, считая её постоянной, если скорость копра перед ударом равна 10 м/с. Массой сваи пренебречь.
26. Сваю массой 100 кг забивают в грунт копром, масса которого 400 кг. Копёр свободно падает с высоты 5 м и при каждом ударе свая опускается на глубину 5 см. Определите среднюю силу сопротивления грунта.
27. Шарик массой 100 г свободно падает на горизонтальную площадку, имея в момент удара скорость 10 м/с. Найдите изменение импульса при абсолютно упругом и абсолютно неупругом ударах. Вычислите среднюю силу, действующую на шарик во время удара, если неупругий удар длился 0,05 с, а упругий – 0,01 с.
28. Движение материальной точки описывается уравнением $x = 20 + 2t - t^2$. Приняв её массу равной 2 кг, найдите импульс через 2 и 5 с после начала движения. Найдите модуль и направления силы, вызвавшей это изменение.
29. Движение материальной точки описывается уравнением $x = 25 - 10t + 2t^2$. Считая её массу равной 3 кг, найдите изменение импульса за первые 8 с её движения. Найдите импульс силы, вызвавшей это изменение.
30. Пловец, масса которого 100 кг, способен оттолкнуться от края бассейна с силой 2,5 кН. Какую скорость можно приобрести при таком толчке за 0,1 с?
31. Белка массой 500 г сидит на абсолютно гладкой, обледенелой, горизонтальной, плоской крыше. Человек бросает белке камень массой 100 г. Камень летит горизонтально со скоростью 6 м/с. Белка хватается камень и удерживает его. Вычислите скорость белки, поймавшей камень.
32. Мальчик массой 22 кг, бегущий со скоростью 2,5 м/с, вскакивает на платформу массой 12 кг. Чему равна скорость платформы с мальчиком?
33. Вагон массой 30 т, движущийся по горизонтальному пути со скоростью 1,5 м/с, автоматически на ходу сцепляется с неподвижным вагоном массой 20 т. С какой скоростью движется сцепка?
34. Два неупругих шара массами 6 кг и 4 кг движутся со скоростями 8 м/с и 3 м/с соответственно, направленными вдоль одной прямой. С какой скоростью они будут двигаться после абсолютно неупругого соударения, если первый догоняет второй? Двигутся навстречу друг другу?
35. Тележка с песком катится со скоростью 1 м/с по горизонтальному пути. Навстречу тележке летит шар массой 2 кг с горизонтальной скоростью 7 м/с. Шар после попадания в песок застревает в нём. В какую сторону и с какой скоростью покатится тележка после столкновения с шаром? Масса тележки 10 кг.
36. На тележку массой 100 кг, движущуюся равномерно по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью 3 м/с, вертикально падает груз массой 50 кг. С какой скоростью будет двигаться тележка, если груз не соскальзывает с неё?
37. Допустим, что вы катитесь на велосипеде по инерции со скоростью 5 м/с. Ваша масса вместе с велосипедом равна 70 кг. Вы наклоняетесь и подхватываете лежащий на земле рюкзак массой 15 кг. Какой станет ваша скорость, если вы подхватываете его в течение 0,1 с? Какую среднюю силу развивает ваша рука?
38. Предположим, что вы катитесь на велосипеде по инерции со скоростью 5 м/с и держите в руках рюкзак массой 15 кг. Ваша масса вместе с велосипедом и рюкзаком 85 кг. Если теперь вы уроните рюкзак, который ударится о землю и будет на ней лежать, какой станет ваша скорость?
39. Охотник стреляет с лёгкой надувной лодки. Какую скорость приобретает лодка в момент выстрела, если масса охотника вместе с лодкой равна 70 кг, масса дроби 35 г и средняя

начальная скорость дроби 320 м/с? Ствол ружья во время выстрела образует угол 60° к горизонту.

40. Стоящий на льду человек массой 60 кг ловит мяч массой 500 г, который летит горизонтально со скоростью 20 м/с. На какое расстояние откатится человек с мячом по горизонтальной поверхности льда, если коэффициент трения равен 0,05?

1.4. Основы специальной теории относительности.

Теоретические сведения.



Если τ_0 - промежуток времени между двумя событиями, происходящими в подвижной системе координат K' , то время между этими событиями в системе K , относительно которой система K' движется с постоянной скоростью v , составит:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ где } c - \text{ скорость света в вакууме.} \quad (1)$$

Длина стержня, измеренная в системе K :

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (2)$$

где l_0 - длина стержня, измеренная в системе K' .

Если v_0 - скорость тела относительно системы K' , а v_1 - скорость этого же тела относительно неподвижной системы K , то согласно *релятивистскому закону сложения скоростей*:

$$v_1 = \frac{v_0 + v}{\sqrt{1 + \frac{v_0 v}{c^2}}}. \quad (3)$$

В отличие от классической механики Ньютона *масса тела зависит от скорости движения этого тела*:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (4)$$

где m_0 - масса покоя.

Закон взаимосвязи массы и энергии выглядит следующим образом:

$$E = mc^2;$$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (5)$$

Примеры решения задач.

Задача №1. Космическая частица движется со скоростью $0,95c$ относительно системы К. Какой промежуток времени τ соответствует 1 мкс «собственного» времени частицы?

Дано:	Решение:
$v = 0,95c$	Применив формулу $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1 \text{ мкс}}{\sqrt{1 - (\frac{0,95c}{c})^2}} = 3,2 \text{ мкс}$ Ответ: $\tau = 3,2 \text{ мкс}$.
$\tau_0 = 1 \text{ мкс}$	
$\tau = ?$	

Задача №2. Длина линейки, неподвижной относительно земного наблюдателя, равна 1 м. Какова её длина l для того же наблюдателя, если линейка движется относительно него со скоростью $0,6c$?

Дано:	Решение:
$v = 0,6c$	Применяя формулу $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, получим: $l = 1 \sqrt{1 - (\frac{0,6c}{c})^2} = 0,8 \text{ м}$
$l_0 = 1 \text{ м}$	

$l - ?$	Ответ: $l = 0,8м.$
---------	--------------------

Задача №3. Система K' движется относительно системы K со скоростью $v = \frac{2}{3}c$. Частица движется относительно системы K' со скоростью $v_0 = \frac{2}{3}c$. Определить скорость v_1 частицы в системе K .

Дано:	Решение:
$v = \frac{2}{3}c$	Согласно релятивистскому закону сложения скоростей
$v_0 = \frac{2}{3}c$	$v_1 = \frac{v_0 + v}{\sqrt{1 + \frac{v_0 v}{c^2}}} = \frac{\frac{2}{3}c + \frac{2}{3}c}{\sqrt{1 + \frac{\frac{2}{3}c \cdot \frac{2}{3}c}{c^2}}} = \frac{4c}{3(1 + \frac{4}{9})} = \frac{12}{13}c.$
$v_1 - ?$	Ответ: $v_1 = \frac{12}{13}c$

Задача №4. Частица, масса покоя которой $m_0 = 1г$, движется со скоростью $0,9c$ относительно наблюдателя. Определить массу m частицы в системе, связанной с наблюдателем.

Дано:	Решение:
$m_0 = 1г$	Согласно формуле $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1г}{\sqrt{1 - (\frac{0,9c}{c})^2}} = 2,2г.$
$v = 0,9c$	
$m - ?$	Ответ: $m = 2,2г.$

Задачи для самостоятельного решения:

1. Какое время пройдёт на Земле, если в космическом корабле, движущемся со скоростью $v = 0,8c$ относительно Земли, пройдёт 21 год?
2. Собственная длина космического корабля 15 м. Определите его длину для наблюдателя, находящегося на корабле, и наблюдателя, относительно которого корабль движется со скоростью $1,8 \cdot 10^8$ м/с.
3. С какой скоростью должно двигаться тело, чтобы его собственная длина по направлению движения уменьшилась в 5 раз?
4. При какой скорости кинетическая энергия частицы равна её энергии покоя?
5. Каким импульсом обладает электрон, масса покоя которого $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, а скорость $2,4 \cdot 10^8$ м/с?
6. Какова масса протона в системе отсчёта, относительно которой он движется со скоростью $v = 0,8c$?
7. До какой скорости нужно разогнать электрон, чтобы его масса была в 2 раза больше массы покоя? Масса покоя электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
8. Определить кинетическую энергию электрона, движущегося со скоростью 0,6 с.
9. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 10%?
10. Для наблюдателя, находящегося на Земле, линейные размеры космического корабля по направлению его движения сократились в 4 раза. Во сколько раз медленнее идут часы на корабле относительно хода часов наблюдателя?
11. Частица движется со скоростью $v = 0,8c$. Во сколько раз масса движущейся частицы больше её массы покоя?
12. Релятивистская масса электрона в пять раз больше его массы покоя. Определить кинетическую энергию электрона и его импульс. Масса покоя электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
13. Космическая ракета движется с большой скоростью относительно Земли. Релятивистское сокращение длины при этом составило 36%. Определить, какой скорости достигла ракета.
14. Во сколько раз масса движущегося нейтрона больше массы движущегося электрона, если их скорости их соответственно равны 0,85с и 0,95с. Чему равны их кинетические энергии?
15. Электрон движется со скоростью, равной 0,97с. Навстречу ему со скоростью 0,5с движется протон. Определить скорость их относительного движения. Во сколько раз отличаются их кинетические энергии?

Глава 2.

Основы молекулярной физики и термодинамики.

2.1. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества.

Теоретические сведения

Относительная молекулярная масса вещества

$$M_r = \frac{m_0}{1/12 m_C},$$

где m_0 - масса молекулы данного вещества. m_C – масса атома углерода.

Масса отдельной молекулы

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

где M – молярная масса вещества, N_A – постоянная Авогадро, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹, показывающая, сколько молекул содержится в одном моле любого вещества.

Моль – это единица количества вещества.

Количество вещества

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M},$$

где N - число молекул в данном объёме, m - масса вещества.

Основное уравнение МКТ идеального газа

$$P = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 \quad \text{или} \\ P = \frac{2}{3} n \bar{E}^2,$$

где P – давление газа на стенки сосуда, n – концентрация молекул (число молекул в единице объёма).

Средняя кинетическая энергия движения молекул

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT,$$

где T – абсолютная температура газа, k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Средняя квадратичная скорость движения молекул

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Состояние идеального газа характеризуют давлением P , объёмом V , температурой T и массой m .
Параметры связаны между собой уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

Если масса газа постоянна, то различные процессы, происходящие в газе, можно описать законами, следующими из уравнения состояния:

1) изотермический процесс – *законом Бойля-Мариотта*: при постоянной температуре и неизменной массе газа произведение давления газа на его объём есть величина постоянная: $PV = const$ или $P_1V_1 = P_2V_2$;

2) изобарический процесс – *законом Гей-Люссака*: при постоянном давлении и неизменной массе газа отношение объёма газа к его температуре есть величина постоянная: $\frac{V}{T} = const$ или $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$;

3) изохорический процесс – *законом Шарля*: при постоянном объёме и неизменной массе отношение давления газа к его температуре не меняется: $\frac{P}{T} = const$ или $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$.

Примеры решения задач.

Задача №1. Определить массу одной молекулы водорода.

Дано:	Решение:
$M(H_2) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ $m_0 - ?$	Масса одной молекулы определяется формулой: $m_0 = \frac{M}{N_A}$, Тогда $m_0 = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг} = 3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ Ответ: $m_0 = 3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Задача №2. Найти число молекул в 2 кг углекислого газа.

Дано:	Решение:
$M(CO_2) = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ $N - ?$	Масса одной молекулы углекислого газа $m_0 = \frac{M}{N_A}$. Число молекул равно отношению массы всего газа к массе одной молекулы: $N = \frac{m}{m_0} = \frac{m N_A}{M} = \frac{2 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{44 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль}} = 2,7 \cdot 10^{25}$. Ответ: $N = 2,7 \cdot 10^{25}$.

Задача №3. Определить среднюю квадратичную скорость и среднюю кинетическую энергию молекул азота при температуре 300 К.

Дано:	Решение:
$T = 300\text{K}$ $M = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ $\bar{v} - ?$ $\bar{E}_k - ?$	Воспользуемся формулой: $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$; Сначала найдем массу одной молекулы азота: $m_0 = \frac{M}{N_A} = \frac{28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 4,7 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. Тогда средняя квадратичная скорость $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300\text{K}}{4,7 \cdot 10^{-26} \text{ кг}}} = 520 \text{ м/с} .$ Средняя кинетическая энергия $\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300\text{K} = 6,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} .$ Ответ: $\bar{v} = 520 \text{ м/с}$; $\bar{E}_k = 6,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$.

Задача №4. Какое количество вещества газа находится в баллоне вместимостью 10 м^3 при давлении $1,028 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 17°C ?

Дано:	СИ:	Решение:
$V = 10 \text{ м}^3$ $P = 1,028 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $t = 17^\circ\text{C}$; $\nu - ?$	$T = 300 \text{ К}$	Состояние идеального газа описывается уравнением Менделеева-Клапейрона: $PV = \frac{m}{M} RT \rightarrow PV = \nu RT$, отсюда $\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{1,028 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 10 \text{ м}^3}{8,31 \text{ Дж/мольК} \cdot 300\text{K}} = 0,4 \text{ кмоль}$ Ответ: $\nu = 0,4 \text{ кмоль}$

Задачи для самостоятельного решения:

1. Вычислите массу одной молекулы углекислого газа.
2. Определите число молекул, находящихся в 1 кг азота.
3. Найдите массу атома хлора.
4. Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы, если число молекул в единице объёма $3 \cdot 10^{26} \text{ 1/м}^3$, давление газа 200 кПа.
5. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул метана при температуре 0°C .
6. Найдите среднюю кинетическую энергию хаотического движения молекул газа при температуре 127°C .
7. Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул водорода 1840 м/с. Определите температуру данного газа.
8. Определить плотность гелия, необходимого для сварки в инертных газах, если средняя квадратичная скорость движения его молекул равна 1 км/с, а давление составляет $1,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$.
9. Каково давление сжатого воздуха, находящегося в баллоне вместимостью 20 л при 12°C , если масса этого воздуха 2 кг? Молярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.
10. Добыто 480 г водорода при 25°C и давлении $9 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Каков его объём?
11. Имеется 12 л углекислого газа под давлением $9 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 14°C . Найдите массу газа.
12. При какой температуре 1 л воздуха имеет массу 1 г? Давление принять равным 10^5 Па . Молярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.
13. В сосуде вместимостью 500 см³ содержится 0,89 г газа при температуре 17°C и давлении 2,2 МПа. Какой это газ? Найдите его молярную массу.
14. Какова плотность гелия при температуре 127°C и давлении 0,83 МПа?
15. Какое количество вещества содержится в газе, если при давлении 200 кПа и температуре 240 К его объём равен 40 л?
16. Баллон какой вместимости нужен для содержания в нём газа, взятого в количестве 50 моль, если при максимальной температуре 360 К давление не должно превышать 6 МПа?
17. Воздух объёмом 1,45 м³, находящийся при температуре 20°C и давлении 100 кПа, превратили в жидкое состояние. Какой объём займёт жидкий воздух, если его плотность 861 кг/м³?
18. В одинаковых баллонах при одинаковой температуре находятся водород H_2 и углекислый газ CO_2 . Массы газов одинаковы. Какой из газов и во сколько раз производит большее давление на стенки баллона?
19. Газ в сосуде находится под давлением 0,2 МПа при температуре 127°C , Определить давление газа после того, как половина массы газа была выпущена из сосуда, а температура понижена на 50°C .
20. В баллоне находится газ при температуре 15°C . Во сколько раз уменьшится давление газа, если 40 % его выйдет из баллона, а температура при этом понизится на 8°C ?
21. В начальном состоянии давление кислорода массой 320 г было 83 кПа. При увеличении температуры на 100К объём кислорода возрос на 50 л и давление стало 99,6 кПа. Найдите начальный объём и температуру кислорода.
22. При давлении 780 мм.рт.ст. объём воздуха равен 5 л. Найдите объём воздуха при давлении 750 мм.рт.ст.
23. Газ медленно сжат от первоначального объёма 6 л до объёма 4 л. При этом давление газа увеличилось на 200 кПа. Каково первоначальное давление газа?
24. В цилиндре под поршнем изобарически охлаждается 10 л газа от 323 К до 273 К. Каков объём охлаждённого газа?
25. Газы, выходящие из топки в трубу, охлаждают от 1150°C до 200°C . Во сколько раз при этом уменьшается их объём?
26. Давление воздуха в шинах велосипеда при температуре 12°C равно 150 кПа. Каким станет давление при 42°C ?
27. При какой температуре находился газ в закрытом сосуде, если при нагревании его на 140 К давление возросло в 1,5 раза?

28. Сосуд, содержащий 5 л воздуха при нормальном давлении, соединяют с пустым сосудом вместимостью 4,5 л, не содержащим воздуха. Найти давление воздуха, установившееся в сосудах.
29. Воздушный шар объёмом 1000 м^3 наполнен водородом при 293 К. Сколько водорода выйдет из шара, если при неизменном давлении температура повысится до 313 К?
30. При уменьшении объёма в 2 раза давление повысилось на 120 кПа, а абсолютная температура возросла на 10%. Каким было первоначальное давление газа?

2.2. Основы термодинамики.

Теоретические сведения.

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{3m}{2M} RT,$$

где R - универсальная газовая постоянная, $R=8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$.

Количество теплоты

$$Q = Cm(T_2 - T_1),$$

где C – удельная теплоёмкость, m - масса данного вещества, $T_2 - T_1$ – изменение температуры.

Работу, связанную с изменением объёма газа, определяют по формуле:

$$A = P(V_2 - V_1) = P\Delta V,$$

где P – давление газа, $\Delta V = V_2 - V_1$ - изменение объёма газа.

Количество теплоты и работу нужно считать мерой изменения внутренней энергии системы ΔU .

Внутренняя энергия в термодинамике зависит от значения термодинамических параметров T и V (температуры и объёма). Эта связь выражена *первым началом термодинамики*:

$$Q = \Delta U + P\Delta V \quad \text{или} \\ \Delta U = Q - A = U_2 - U_1,$$

где Q – подведенное к системе или отданное системой количество теплоты, ΔU - изменение внутренней энергии, A – работа внешних сил. Если система принимает теплоту, то Q берут со знаком плюс, если отдаёт, то со знаком минус.

Периодические процессы, при которых работа совершается благодаря передаче теплоты, осуществляется в тепловых двигателях. *Работу, совершаемую машиной за один цикл*, можно рассчитать по формуле:

$$A = Q_1 - Q_2,$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное машиной от нагревателя;

Q_2 – количество теплоты, переданное холодильнику.

Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%,$$

где T_1 и T_2 – температуры нагревателя и холодильника.

Примеры решения задач.

Задача №1. Какова внутренняя энергия идеального газа, занимающего при температуре 300 К объём 10 м^3 , если концентрация молекул $5 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$?

Дано:	Решение:
$T = 300 \text{ K}$ $V = 10 \text{ м}^3$ $n = 5 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$ $U = ?$	Внутренняя энергия газа определяется формулой: $U = \frac{3m}{2M} RT$. Так как концентрация молекул $n = \frac{N}{V} \rightarrow N = nV$. С учётом формулы количества вещества $\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}, \text{ получаем}$ $U = \frac{3nV}{2N_A} RT = \frac{3 \cdot 5 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3} \cdot 10 \text{ м}^3}{2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ K} = 31,05 \text{ мДж}$ Ответ: $U = 31,05 \text{ мДж}$

Задача №2. При нагревании газа его объём увеличился от $0,06$ до $0,1 \text{ м}^3$. Какую работу совершил газ при расширении, если давление не изменилось? Давление газа принять равным $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Дано:	Решение:
$P = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $V_1 = 0,06 \text{ м}^3$ $V_2 = 0,1 \text{ м}^3$ $A - ?$	Так как сам газ совершил работу, воспользуемся формулой: $A = P(V_2 - V_1) = P\Delta V$. Подставим данные: $A = 4 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot (0,1 - 0,06) \text{ м}^3 = 1,6 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 16 \text{ кДж}$. Ответ: $A = 16 \text{ кДж}$.

Задача №3. При резком сжатии газа его температура повысилась, а внутренняя энергия изменилась на 20 кДж. Какую работу совершил газ, если теплообмен со стенками цилиндра отсутствует?

Дано:	Решение:
$\Delta U = 20 \text{ кДж}$ $Q = 0$ $A - ?$	Воспользуемся формулой первого закона термодинамики: $\Delta U = Q - A = -A \rightarrow \Delta U = -20 \text{ кДж}$. Ответ: $\Delta U = -20 \text{ кДж}$.

Задача №4. Температура пара в нагревателе паровой турбины 300°C . в холодильнике 100°C .
Определить КПД паровой турбины.

Дано:	СИ:	Решение:
$t_1 = 300^\circ\text{C};$ $t_2 = 100^\circ\text{C};$ $\eta - ?$	$T_1 = 573\text{K}$ $T_2 = 373\text{K}$	Воспользуемся формулой КПД тепловой машины: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% = \frac{573 - 373}{573} \cdot 100\% = 35\%$ Ответ: $\eta = 35\%$

Задачи для самостоятельного решения:

1. Найдите удельную теплоёмкость вещества, если на нагревание некоторого его количества массой 200 г от температуры 12 до 16,4⁰С потребовалось 300 Дж теплоты.
2. При охлаждении газа его объём уменьшился от 16 до 12 л. Какую работу совершили внешние силы, если давление газа оставалось равным 10⁵ Па?
3. Внутренняя энергия газа, заключенного в баллоне при температуре 0⁰С, равна 7400 Дж. После нагревания газа до комнатной температуры его энергия стала равной 13400 Дж. На сколько увеличилась внутренняя энергия газа?
4. В цилиндре, площадь основания которого 0,06 м², находится воздух при температуре 17⁰С под давлением 500 кПа. Поршень расположен на высоте 0,5 м над основанием цилиндра. Какая работа будет совершена при изобарическом нагревании воздуха на 58⁰С?
5. Давление газа под поршнем цилиндра 490 кПа, его начальный объём равен 0,01 м³. Какую работу совершит газ, если будет расширяться при постоянном давлении, одновременно нагреваясь до температуры, вдвое больше первоначальной?
6. Какой высоты должен быть водопад, чтобы падающая вода нагрелась на 1 К?
7. Один моль идеального газа расширяется в цилиндре с поршнем при постоянной температуре и при этом к нему подводится 500 Дж теплоты. Определить работу расширения газа.
8. В цилиндре с нетеплопроводными стенками происходит быстрое расширение идеального газа. Определите изменение внутренней энергии газа, если он совершил работу 350 кДж.
9. На сколько изменился объём газа, который, расширяясь, совершил работу 57 кДж при постоянном давлении 0,98 МПа?
10. Воздух нагрели на 30 К при постоянном давлении 10⁵ Па. Объём его при этом изменился от 1,5 до 1,67 м³. Определить работу, совершённую воздухом при расширении, и изменение его внутренней энергии.
11. Водород массой 400 г нагрели при постоянном давлении на 20 К. Вычислить работу против внешних сил; количество теплоты, полученное газом; изменение его внутренней энергии.
12. Паровой молот массой 81054 т куёт железную болванку, масса которой 300 кг. Скорость молота при ударе 4 м/с. На сколько градусов нагреется болванка от одного удара молота? На нагревание болванки идёт 50% теплоты, полученной при ударе.
13. Температура в нагревателе паровой турбины 565⁰С, в холодильнике 30⁰С. Определить максимальное значение КПД паровой турбины.
14. В идеальной тепловой машине за счёт каждого килоджоуля теплоты, получаемого от нагревателя, совершается работа 300 Дж. Определить КПД и температуру нагревателя, если температура холодильника 280 К.
15. Тепловая машина получает от нагревателя 800 кДж теплоты. Вычислите количество теплоты, отдаваемое холодильнику, если температура нагревателя 127⁰С, а холодильника 27⁰С.
16. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 117⁰С, а холодильника 27⁰С. Количество теплоты, полученное машиной от нагревателя за 1 с, равно 60 кДж. Вычислить КПД и мощность машины.
17. Автомобиль «Волга» расходует 13 л бензина на 100 км пути. Определить развиваемую автомобилем мощность, если скорость его 90 км/ч, а КПД двигателя 24%.
18. Определить КПД двигателя, если при расходе бензина 2 л/ч двигатель развивает мощность 5 кВт.

2.3. Свойства газов, паров, жидкостей и твёрдых тел.

Теоретические сведения.

Процесс превращения жидкости в пар называют *парообразованием*. На превращение в пар жидкости требуется затратить некоторое количество теплоты: $Q = \gamma m$, где γ - удельная теплота парообразования.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называют *насыщенным паром*. Температуру t_p , при которой пар становится насыщенным, называют *точкой росы*. Давление, которое производил бы водяной пар, если бы другие газы отсутствовали, называют его *парциальным давлением*. Отношение парциального давления P водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению P_H насыщенного пара при той же температуре, выраженное в процентах, называют *относительной влажностью воздуха*:

$$\phi = \frac{P}{P_H} \cdot 100\%$$

Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называют *плавлением*, а обратный процесс – *кристаллизацией*. Количество поглощаемой или выделяющейся теплоты при этих процессах: $Q = \lambda m$, где λ - удельная теплота парообразования.

Под действием внешних сил в твёрдых телах возможны *деформации*, которые приводят к искажению кристаллических решёток. Деформации характеризуются:

- *абсолютным удлинением* - величиной, равной разности длин образца до растяжения (сжатия) и после него: $\Delta l = l - l_0$;

- *относительным удлинением* – отношением абсолютного удлинения к первоначальной длине образца: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%$;

- *механическим напряжением*: $\sigma = \frac{F}{S}$, где F – сила, приложенная к образцу; площадь поперечного сечения образца;

- модулем Юнга (упругости): $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$;

- запасом прочности: $n = \frac{\sigma_{нч}}{\sigma_{доп}}$, где $\sigma_{нч}$ - предел прочности – максимальное механическое

напряжение, которое выдерживает материал перед его разрушением; $\sigma_{доп}$ - допустимое (рабочее) напряжение, оказываемое на материал в процессе работы.

Примеры решения задач.

Задача №1. Какую энергию необходимо затратить для превращения 5 кг воды, взятой с температурой 10°C, в пар с температурой 100°C?

Дано:	СИ:	Решение:
$m = 5 \text{ кг}$ $t_1 = 10^\circ\text{C}$ $t_2 = 100^\circ\text{C}$ $C = 4200 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$ $r = 2,3 \text{ МДж/кг}$ $Q - ?$	$2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$	При нагревании воды до кипения затрачено теплоты $Q_1 = Cm(T_2 - T_1)$; для превращения воды в пар потребовалось затратить теплоты $Q_2 = rm$. По закону сохранения энергии $Q = Q_1 + Q_2 = Cm(t_2 - t_1) + rm = 4200 \cdot 5 \cdot 90 + 5 \cdot 2,3 \cdot 10^6 = 13,4 \text{ МДж}$ Ответ: $Q = 13,4 \text{ МДж}$.

Задача №2. Найти относительную влажность воздуха в комнате при температуре 18°C, если точка росы 10°C.

Дано:	Решение:
$t_p = 10^\circ\text{C}$ $t = 18^\circ\text{C}$ $\phi - ?$	По точке росы, используя таблицу, находим давление $P = 1,22 \text{ кПа}$. Для заданной температуры по той же таблице находим $P_H = 2,06 \text{ кПа}$. Тогда по формуле относительной влажности определим

	$\phi = \frac{P}{P_H} \cdot 100\% = \frac{1,22 \text{ кПа}}{2,06 \text{ кПа}} \cdot 100\% = 59\%$ Ответ: $\phi = 59\%$
--	--

Задача №3. Какой запас прочности обеспечен на тепловозе в прицепном приспособлении, если его сечение 100 см^2 , предел прочности 500 Н/мм^2 , а сила тяги тепловоза 75 кН ?

Дано:	СИ:	Решение:
$S = 100 \text{ см}^2$ $\sigma_{нч} = 500 \text{ Н/мм}^2$ $F = 75 \text{ кН}$ $n - ?$	$100 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ $500 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ $75 \cdot 10^3 \text{ Н}$	Запас прочности: $n = \frac{\sigma_{нч}}{\sigma_{дон}}$, где $\sigma_{дон} = \frac{F}{S} = \frac{75 \cdot 10^3 \text{ Н}}{100 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} =$ $= 0,75 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ Тогда запас прочности равен:

Задачи для самостоятельного решения:

- В 5 м^3 воздуха содержится 80 г водяного пара. Определите абсолютную влажность воздуха.
- Объём помещения кабинета физики равен ... (оцените приблизительно). Сколько килограммов воды содержится в воздухе в виде пара при данной температуре, если пар насыщенный? Используйте данные таблицы:

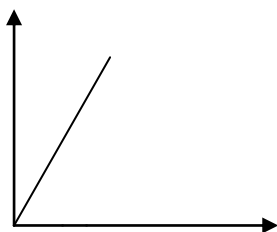
Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление насыщенного водяного пара (мм.рт.ст.)	Плотность, кг/м^3
18	15,5	14,4
19	16,5	16,3
20	17,5	17,3

21	18,7	18,3
22	19,8	19,4
23	21,1	20,6
24	22,4	21,8
25	23,8	23,0
26	25,2	24,4
27	26,7	25,4
28	28,4	27,2
29	30,0	28,7
30	31,8	30,3
100	760	600

3. Температура воздуха 16°C , точка росы 6°C . Какова абсолютная и относительная влажность воздуха?
4. При температуре 30°C относительная влажность воздуха составляет 60%. Какова абсолютная влажность воздуха?
5. Вечером при температуре воздуха 29°C относительная влажность воздуха составляет 60%. Выпадет ли ночью роса, если температура понизится до 15°C ? до 20°C ?
6. Вечером при температуре воздуха 2°C относительная влажность 60%. Выпадет ли ночью иней, если температура снизится до -3°C ? до -4°C ?
7. Груз весом 5 кН висит на тросе с диаметром поперечного сечения 28 мм. Определить механическое напряжение в тросе.
8. К закреплённой одним концом проволоке диаметром 2 мм подвешен груз массой 10 кг. Найти механическое напряжение в проволоке.
9. Балка длиной 5 м и площадью поперечного сечения 100 см^2 под действием сил по 10 кН, приложенных к её концам, сжалась на 1 см. Найти относительной сжатие и механическое напряжение.
10. При растяжении алюминиевой проволоки длиной 2 м в ней возникло механическое напряжение 35 МПа. Найти абсолютное и относительное удлинение. Модуль упругости алюминия равен 70 ГПа.
11. Найти напряжение, возникающее в стальном тросе при его относительном удлинении 0,001. Модуль упругости стали равен 200 ГПа.

12. К концам стальной проволоки длиной 3 м и сечением 1 мм^2 приложены растягивающие силы по 200 Н каждая. Найти абсолютное и относительное удлинения.

13. На рисунке дан график зависимости упругого напряжения, возникающего в бетонной свае, от её относительного сжатия. Найти модуль упругости бетона.



14. Какие силы надо приложить к концам стальной проволоки длиной 4 м и сечением $0,5 \text{ мм}^2$ для её удлинения на 2 мм?

15. Во сколько раз удлинение рыболовной лесы диаметром 0,2 мм больше, чем лесы диаметром 4 мм, если к концам лес приложены одинаковые силы?

16. Диаметр капроновой рыболовной лесы 0,12 мм, а разрывная нагрузка 7,5 Н. Найти предел прочности на разрыв данного сорта капрона.

17. Груз массой 30 кг нужно подвесить на проволоке сечением не более 5 мм^2 . Из какого материала следует взять проволоку, если необходимо обеспечить пятикратный запас прочности?

18. Какой груз может быть подвешен на стальном тросе диаметром 3 см при запасе прочности, равном 10, если предел прочности стали 70 кН/см^2 ?

19. Какого диаметра должен быть стальной стержень для крюка подъёмного крана с грузоподъёмностью 80 кН при восьмикратном запасе прочности? Разрушающее напряжение для материала стержня 600 Н/мм^2 .

20. Какой высоты можно построить кирпичную стену при запасе прочности 6, если предел прочности кирпича 6 Н/мм^2 ? Плотность кирпича $2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Глава 3.

Основы электродинамики.

3.1. Электрическое поле.

Теоретические сведения.

Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме определяется *законом Кулона*:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$

где r - расстояние между телами, k – постоянный коэффициент, $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$, q_1 и q_2 – величины зарядов.

Если заряды находятся в какой-либо среде, закон Кулона записывается:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}, \text{ где } \varepsilon - \text{диэлектрическая проницаемость среды.}$$

Взаимодействие между электрическими зарядами осуществляется посредством электрического поля, созданного самими зарядами. Силовой характеристикой этого поля является его *напряжённость* в данной точке: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, где F – сила, действующая на электрический заряд, помещённый в данную точку поля. Модуль напряжённости электрического поля, созданного точечным зарядом на расстоянии r от заряда, вычисляется по формуле: $E = \frac{k|q|}{r^2}$.

Разность потенциалов (напряжение) и напряжённость однородного электрического поля связаны соотношением:

$$E = \frac{\phi_1 - \phi_2}{l}.$$

Тогда *работа*, совершаемая силами поля по перемещению заряда из точки 1 в точку 2:

$$A = q(\phi_1 - \phi_2) = q\Delta\phi.$$

Энергию электрического поля, локализованного между обкладками плоского конденсатора, определяют по одной из трёх следующих формул:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

$$\text{Ёмкость проводника } C = \frac{q}{\phi}. \text{ Ёмкость конденсатора } C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2}.$$

$$\text{Ёмкость плоского конденсатора: } C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

где ε_0 - электрическая постоянная, равная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$; S - площадь пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами.

Ёмкость батареи конденсаторов, соединённых параллельно: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_n$

При последовательном соединении конденсаторов их общая ёмкость определяется:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \frac{1}{C_n}.$$

Примеры решения задач.

Задача №1. С какой силой взаимодействуют два маленьких шарика в вакууме, если один из них имеет заряд 6 нКл, а второй – 3 нКл? Расстояние между шариками 5 см.

Дано:	СИ:	Решение:
$q_1 = 6 \text{ нКл}$	$= 6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$	Силу взаимодействия между шариками определяем по формуле закона Кулона для вакуума: $F = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2 \cdot 6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}}{(0,05 \text{ м})^2} = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$ Ответ: $F = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$.
$q_2 = - 3 \text{ нКл}$	$= - 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$	
$r = 5 \text{ см}$	$= 0,05 \text{ м}$	
$F = ?$		

Задача №2. Конденсатор ёмкостью C_1 соединяют параллельно с конденсатором ёмкостью $C_2 = 2C_1$. До соединения напряжение на первом конденсаторе составляло U_1 , а на втором $U_2 = 0,5U_1$. какова разность потенциалов на зажимах полученной батареи?

Дано:	Решение:
	До соединения заряд первого конденсатора $q_1 = C_1 U_1$; После

$C_2 = 2C_1$ $U_2 = 0,5U_1$ U_1 $U - ?$	соединения $q_1' = C_1U$. Соответственно для второго конденсатора $q_2 = C_2U_2$ - до соединения; $q_2' = C_2U$ - после соединения. По закону сохранения энергии $q_1 + q_2 = q_1' + q_2'$. Отсюда $U = \frac{C_1U_1 + C_2U_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1U_1 + 2C_1 \cdot 0,5U_1}{C + 2C_1} = \frac{2C_1U_1}{3C_1} = \frac{2}{3}U_1.$ Ответ: $U = \frac{2}{3}U_1$.
--	---

Задача №3. Чему равна величина заряда, создающего электрическое поле в керосине, если на расстоянии 0,5 м от него напряжённость электрического поля равна 45кН/Кл?

Дано:	СИ:	Решение:
$\varepsilon = 2,1$ $r = 0,5\text{ м}$ $E = 45\text{ кН} / \text{Кл}$ $q - ?$	$45 \cdot 10^3 \text{ Н/Кл}$	Модуль напряжённости электрического поля, созданного точечным зарядом на расстоянии r от заряда, вычисляется по формуле: $E = \frac{k q }{\varepsilon \cdot r^2}$. Отсюда выразив величину заряда, найдём: $ q = \frac{Er^2 \cdot \varepsilon}{k} = \frac{45 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{Кл} \cdot 0,25\text{ м}^2 \cdot 2,1}{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2} = 25\text{ нКл}.$ Ответ: $q = 25\text{ нКл}$.

Задачи для самостоятельного решения:

- С какой силой взаимодействуют два точечных заряда $6,6 \cdot 10^{-8}$ Кл и $1,1 \cdot 10^{-5}$ Кл в воде (диэлектрическая проницаемость воды равна 81) на расстоянии 3,3 см друг от друга?
- На каком расстоянии находятся в керосине два точечных заряда 4 мКл и 20 мКл, если они взаимодействуют с силой 4 Н?
- Два заряда, находящиеся в вакууме на расстоянии 10 см друг от друга, взаимодействуют с силой 1,8 мН. Определите величину второго заряда, если величина первого равна 5 нКл.
- Два одинаковых точечных заряда находятся в керосине на расстоянии 10 мм друг от друга и взаимодействуют с силой 15 мН. Найдите величины этих зарядов.
- С какой силой взаимодействуют два одинаковых маленьких шариков в вакууме, если один из них имеет заряд +6 нКл, а второй – 3 нКл? Расстояние между шариками 5 см. С какой силой будут взаимодействовать эти шарики, если их привести в соприкосновение, а затем удалить на прежнее расстояние?
- На заряд $2 \cdot 10^{-7}$ Кл, находящийся в некоторой точке электрического поля, действует сила 15 мН. Определите напряжённость поля в этой точке.

7. Определите напряжённость электрического поля, созданного в воздухе точечным зарядом 8 мкКл, в точке, удалённой от него на расстояние 30 см.
8. Чему равна величина заряда, создающего электрическое поле в керосине, если на расстоянии 50 см от заряда напряжённость поля равна 4500 Н/Кл?
9. В какой среде точечный электрический заряд $4,5 \cdot 10^{-7}$ Кл создаёт на расстоянии 5 см от себя электрическое поле напряжённостью $2 \cdot 10^4$ Н/Кл?
10. В однородном электрическом поле в вакууме находится пылинка массой $4 \cdot 10^{-10}$ кг, имеющая заряд $1,6 \cdot 10^{-11}$ Кл, Какой должна быть напряжённость этого поля, чтобы пылинка оставалась в покое?
11. Два точечных заряда $2 \cdot 10^{-8}$ Кл и $1,6 \cdot 10^{-7}$ Кл помещены на расстоянии 5 см друг от друга. Определите напряжённость поля в точке, находящейся в середине отрезка, соединяющего эти заряды.
12. Между двумя наэлектризованными пластинами образовано однородное электрическое поле напряжённостью $2,5 \cdot 10^4$ В/м. Какое напряжение приложено к пластинам, если расстояние между ними 4 см? С какой силой поле действует на помещённый в него заряд величиной 6 мкКл?
13. Какую ёмкость должен иметь конденсатор, чтобы при включении его в цепь постоянного тока с напряжением 220 В получить на обкладках заряды, по модулю равные 2,2 мКл?
14. Какое количество электричества надо сообщить проводнику ёмкостью $1 \cdot 10^{-8}$ Ф, чтобы зарядить его до потенциала 30 В?
15. Определите ёмкость конденсатора, образованного двумя пластинами площадью 0,02 м² каждая, между которыми находится слой слюды толщиной 1мм. Диэлектрическая проницаемость слюды равна 6.
16. Определите толщину диэлектрика конденсатора, ёмкость которого равна 1400 пФ, если площадь его пластин $1,4 \cdot 10^{-2}$ м², а диэлектриком является слюда с диэлектрической проницаемостью, равной 6.
17. Плоский воздушный конденсатор, образованный двумя пластинами площадью $1 \cdot 10^{-2}$ м² каждая, заряжен до разности потенциалов 60 В. Расстояние между пластинами 2 см. Определите энергию конденсатора.
18. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора $1 \cdot 10^{-2}$ м², расстояние между ними 5 мм, До какого напряжения был заряжен конденсатор, если при его разрядке выделилось 4,2 мДж энергии?

3.2. Законы постоянного тока.

Теоретические сведения.

Сила тока I – отношение количества электричества Δq , проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$.

Сила тока в проводнике определяется законом Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R},$$

где R – сопротивление участка (проводника).

Сопротивление проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ - удельное сопротивление материала проводника, l - длина проводника, S - его поперечное сечение.

Закон Ома для замкнутой цепи имеет вид: $I = \frac{E}{R + r}$,

где E – электродвижущая сила источника, R – сопротивление внешней цепи, r - внутреннее сопротивление источника тока.

Общее сопротивление последовательно соединённых проводников равно сумме сопротивлений: $R = R_1 + R_2 + \dots R_n$.

Общее сопротивление параллельно соединённых сопротивлений $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \frac{1}{R_n}$.

Мощность в цепи постоянного тока:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Количество теплоты, выделяющейся на участке цепи, по которому течёт ток в течение времени, определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t.$$

Работа электрического тока:

$$A = P \cdot t$$

Примеры решения задач.

Задача №1. Номинальная мощность лампы, рассчитанной на напряжение 120В, составляет 25 Вт. Какую мощность будет потреблять эта лампа, если её включить в сеть напряжением 220В? Изменение сопротивления лампы не учитывать.

Дано:	Решение:
-------	----------

$P_1 = 25 \text{ Вт}$ $U_1 = 120 \text{ В}$ $U_2 = 220 \text{ В}$ $P_2 = ?$	Из формулы $P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ следует $P_1 = \frac{U_1^2}{R}$. Тогда $P_2 = \frac{U_2^2}{R} = \frac{U_2^2 P_1}{U_1^2} = \frac{220^2 \cdot 25}{120^2} = 84 \text{ Вт}.$ Ответ: $P_2 = 84 \text{ Вт}$
--	--

Задача №2. Два сопротивления $R_1 = 8 \text{ Ом}$ и $R_2 = 24 \text{ Ом}$ включены параллельно. Сила тока, текущего через сопротивление R_2 , равна 25 мА . Найдите силу тока, текущего через сопротивление R_1 .

Дано:	СИ:	Решение:
$R_1 = 8 \text{ Ом}$ $R_2 = 24 \text{ Ом}$ $I_2 = 25 \text{ мА}$ $I_1 = ?$	$= 0,024 \text{ А}$	Определим напряжение, приложенное к сопротивлениям: $U_2 = I_2 \cdot R_2 = 0,025 \text{ А} \cdot 24 \text{ Ом} = 0,6 \text{ В}$. Так как при параллельном соединении напряжение одинаково, то $U_1 = U_2 = 0,6 \text{ В}$. Теперь можно определить силу тока, текущего через первое сопротивление: $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{0,6 \text{ В}}{8 \text{ Ом}} = 0,075 \text{ А} = 75 \text{ мА}$. Ответ: $I_1 = 75 \text{ мА}$.

Задача №3. Источником тока в цепи служит батарейка с ЭДС $= 30 \text{ В}$. Напряжение на зажимах батареи 18 В , а сила тока в цепи 3 А . Определите внешнее и внутренне сопротивление цепи.

Дано:	Решение:
$E = 30 \text{ В}$ $U = 18 \text{ В}$ $I = 3 \text{ А}$ $R = ?$ $r = ?$	Сила тока в замкнутой цепи определяется по закону Ома для полной цепи: $I = \frac{E}{R + r}$. Отсюда $E = I(R + r) = IR + Ir = U + Ir$. Тогда $r = \frac{E - U}{I} = \frac{30 - 18}{3} = 4 \text{ Ом}$. Внешнее сопротивление цепи $R = \frac{E}{I} - r = \frac{30}{3} - 4 = 6 \text{ Ом}.$ Ответ: $r = 4 \text{ Ом}$; $R = 6 \text{ Ом}$.

Задача №4. Определите мощность, потребляемую электрическим чайником, если в нём за 40 минут нагревается 3 л воды от 20⁰С до кипения при КПД = 60%.

Дано:	СИ:	Решение:
$t = 40 \text{ мин}$ $V = 3 \text{ л}$ $t_1 = 20^0\text{C}$ $t_2 = 100^0\text{C}$ $\eta = 60\%$ $P = ?$	2400 с	КПД электрического чайника $\eta = \frac{Q}{A} \cdot 100\%$. Найдём затраченную работу: $A = \frac{Q}{\eta} \cdot 100\% = \frac{mC(t_2 - t_1)}{\eta} \cdot 100\% = 168 \cdot 10^4 \text{ Дж}$. Так как работа $A = Pt$, тогда мощность $P = \frac{A}{t} = \frac{168 \cdot 10^4 \text{ Дж}}{2400 \text{ с}} = 700 \text{ Вт}$. Ответ: $P = 700 \text{ Вт}$.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Какое сопротивление имеет тело человека от ладони одной руки до ладони другой руки, если при напряжении 12 В сила тока равна 3 мА?
2. Чему равно сопротивление нихромовой проволоки длиной 10 м площадью сечения 2,2 мм², если удельное сопротивление нихрома равно 1,1 Ом · мм²/м.
3. Рассчитайте силу тока, проходящего по вольфрамовому проводнику длиной 5 м площадью сечения 1 мм² при напряжении на нём 10 В. Удельное сопротивление вольфрама равно 5,5 · 10⁻² Ом · мм²/м.
4. Определите напряжение на концах стального проводника длиной 200 см и площадью сечения 2 мм², сила тока в котором 2 А. Удельное сопротивление стали равно 0,12 Ом · мм²/м.
5. В спирали электронагревателя из никелиновой проволоки сечением 4 мм² при напряжении 220 В сила тока составляет 10 А. Какова длина проволоки, если удельное сопротивление никелина равно 0,42 Ом · мм²/м.
6. Из какого материала изготовлен провод длиной 1 км и сечением 10 мм², если по нему идёт ток 3 А, а напряжение на концах провода 120 В?
7. Масса 1 км контактного провода на пригородных электрифицированных железных дорогах составляет 890 кг. Каково сопротивление этого провода, если плотность железа равна 8900 кг/м³, а удельное сопротивление железа 0,017 Ом · мм²/м.
8. Два проводника сопротивлениями 4 Ом и 2 Ом, соединены последовательно. Сила тока в цепи равна 1,5 А. Найдите напряжение на каждом проводнике и общее напряжение цепи.
9. Общее сопротивление трёх последовательно соединённых проводников равно 10 Ом. Сопротивление первого 2 Ом, второго – 5 Ом. Общее напряжение цепи 5 В. Определите сопротивление третьего проводника и силу тока в цепи.
10. Два проводника сопротивлениями 4 Ом и 3 Ом соединены параллельно. Напряжение на них равно 6 В. Чему равна сила тока в каждом проводнике?

11. Участок электрической цепи состоит из трёх параллельно соединённых сопротивлений: 2 Ом, 4 Ом и 5 Ом. Амперметр, включённый в цепь первого проводника, показывает силу тока 20 А. Определите силу тока в остальных резисторах и напряжение в цепи.
12. Определите силу тока в замкнутой цепи, если ЭДС источника равна 128 В, его внутреннее сопротивление равно 0,02 Ом, а внешнее сопротивление 12 Ом.
13. Гальванический элемент с ЭДС 5 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом замкнут на внешнее сопротивление 40 Ом. Чему равно напряжение на внешнем сопротивлении?
14. Источник тока с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 0,8 Ом замкнут никелиновой проволокой длиной 2,1 м и сечением 0,21 мм². Удельное сопротивление никелина равно 0,42 Ом · мм²/м. Определите напряжение на зажимах источника тока.
15. Ток в цепи батареи, ЭДС которой равна 30 В, равен 3 А. Напряжение на зажимах батареи 18 В. Найдите внешнее и внутреннее сопротивление батареи.
16. После включения внешней цепи разность потенциалов на зажимах батареи оказалась равной 18 В. Чему равно внутреннее сопротивление батареи, если ЭДС равна 30 В, а внешнее сопротивление 6 Ом?
17. Определите силу тока при коротком замыкании батареи с ЭДС 9 В, если при замыкании её на внешнее сопротивление 3 Ом ток в цепи равен 2 А.
18. Напряжение на зажимах генератора 36 В, а сопротивление цепи в 9 раз больше внутреннего сопротивления. Какова ЭДС генератора?
19. Электрическая схема составлена из двух параллельно соединённых резисторов сопротивлениями 40 Ом и 10 Ом, подключённых к зажимам аккумулятора, ЭДС которого равна 10 В. Сила тока в общей цепи равна 1 А. Найдите внутреннее сопротивление аккумулятора и силу тока короткого замыкания.
20. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление гальванического элемента, если при сопротивлении внешней цепи 2 Ом сила тока равна 0,6 А, а при сопротивлении 1 Ом сила тока равна 1 А.
21. Батарея гальванических элементов с ЭДС 15 В и внутренним сопротивлением 5 Ом замкнута проводником сопротивлением 10 Ом. К зажимам батареи подключён конденсатор ёмкостью 1 мкФ. Определить заряд конденсатора.
22. Батарея накала электронной лампы имеет ЭДС 6 В. Для накала лампы необходимо напряжение 4 В при силе тока 80 мА. Внутреннее сопротивление батареи 0,2 Ом. Чему должно быть равно сопротивление резистора, который необходимо включить последовательно с нитью лампы во избежание её перегрева?
23. По сопротивлению, к концам которого приложено напряжение 220 В, течёт ток силой 4 А. Определите мощность электрического тока и работу, совершаемую током за 10 с.
24. Расход энергии в электрической лампе при силе тока 0,5 А в течение 8 ч составляет 1728 кДж. Чему равно сопротивление лампы?
25. Определите стоимость электроэнергии, потребляемой телевизором в течение 2 ч, если стоимость 1 кВт · ч равна 1 руб, а потребляемая телевизором мощность от сети – 150 Вт.
26. Определите количество теплоты, выделяющейся за каждые 10 мин в электрической печи, включённой в сеть напряжением 220 В, если сила тока в обмотке печи составляет 2 А.
27. Проволочная спираль, сопротивление которой в нагретом состоянии равно 55 Ом, включена в сеть напряжением 110 В. Какое количество теплоты выделит эта спираль за 1 мин?
28. Какую массу воды можно нагреть от 10⁰С до 100⁰С за счёт энергии, получаемой за 15 мин электрическим чайником, включённым в сеть напряжением 220 В, при силе тока 2 А? Удельная теплоёмкость воды равна 4200 Дж/ кг ⁰С.

3.3. Электрический ток в различных средах.

Теоретические сведения.

Электрический ток в *металлах* характеризуется *плотностью тока* $\delta = \frac{I}{S}$ - как отношение величины тока к площади поперечного сечения проводника.

Электрический ток в электролитах возникает вследствие перемещения ионов обоих знаков в противоположных направлениях под действием электрического поля. Прохождение тока через электролит сопровождается *электролизом*. В ходе электролиза на электродах выделяется вещество, масса которого может быть рассчитана по *первому закону Фарадея*:

$$m = kIt = kq ,$$

где k – электрохимический эквивалент вещества, q - количество электричества, прошедшего через электролит. В соответствии со *вторым законом электролиза* электрохимический эквивалент вещества пропорционален его химическому эквиваленту: $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$, где $F = 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль – постоянная Фарадея, n – валентность иона.

Примеры решения задач.

Задача №1. Определить массу серебра, выделившегося на катоде при электролизе азотнокислого серебра за 220 с, если к ванне приложено напряжение 2 В, сопротивление ванны 5 Ом, а электрохимический эквивалент серебра равен $1,118 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

Дано:	Решение:
$t = 220$ с	В соответствии с формулой $m = kIt$. По закону Ома определим силу
$U = 2$ В	тока $I = \frac{U}{R} = \frac{2B}{5Om} = 0,4A$. Тогда масса серебра

$R = 5 \text{ Ом}$ $k = 1,118 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл.}$ $m - ?$	$m = kIt = 1,118 \cdot 10^{-6} \text{ кг} / \text{Кл} \cdot 0,4 \text{ А} \cdot 220 \text{ с} = 98,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ Ответ: $m = 98,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$
---	--

Задача №2. Определите массу серебра, выделившегося на катоде при электролизе азотнокислого серебра за 2 часа, если к ванне приложено напряжение 1,2 В, а сопротивление ванны 5 Ом.

Дано:	СИ:	Решение:
$t = 2 \text{ ч}$ $U = 1,2 \text{ В}$ $R = 5 \text{ Ом}$ $k = 1,118 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$ $m - ?$	7200 с	Масса серебра может быть рассчитана по первому закону Фарадея: $m = kIt$, сила тока может быть найдена по закону Ома для участка цепи: $I = \frac{U}{R} = \frac{1,2 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 0,24 \text{ А}$. $m = 1,118 \cdot 10^{-6} \text{ кг} / \text{Кл} \cdot 0,24 \text{ А} \cdot 7200 \text{ с} = 1,9 \text{ г}$. Ответ: $m = 1,9 \text{ г}$.

Задача №3. Найти массу выделившейся меди, если для её получения электрическим способом затрачено 5 кВт·ч электроэнергии. Электролиз проводится при напряжении 10 В. КПД установки 75%.

Дано:	СИ:	Решение:
$k = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ $W = 5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ $U = 10 \text{ В}$ $\eta = 75\%$ $m - ?$	$5 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$	КПД установки $\eta = \frac{P}{W} \cdot 100\% \rightarrow P = \frac{\eta \cdot W}{100\%} = 3,75 \cdot 10^3 \text{ Вт}$. Из формулы мощности найдем силу тока: $P = IU \rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{3,75 \cdot 10^3 \text{ Вт}}{10 \text{ В}} = 375 \text{ А}$. Тогда масса может быть найдена из закона электролиза: $m = kIt = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг} / \text{Кл} \cdot 375 \text{ А} \cdot 3600 \text{ с} = 0,445 \text{ кг}$. Ответ: $m = 0,445 \text{ кг}$.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Определить плотность тока в стальном проводе длиной 20 м, если провод находится под напряжением 12 В.
2. Определить напряжённость электрического поля в медном проводе, если плотность тока в нём $5,0 \text{ А/мм}^2$.
3. Какова сила тока и плотность тока в алюминиевом проводе сечением 2 мм^2 , если напряжённость электрического поля в нём равна 1 В/м .
4. Какое количество серебра выделяется при электролизе в течение 0,5 ч, если сопротивление электролитической ванны 2 Ом, а напряжение на её зажимах 3 В? Электрохимический эквивалент серебра равен $1,118 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$.
5. При электролизе раствора сернокислого цинка в течение 1 ч выделилось 2,45 г цинка. Найдите величину сопротивления, если вольтметр показывает 6 В.
6. Сколько трёхвалентного алюминия можно получить в электролитической ванне в течение 10 ч, если сила тока в ванне равна 1000 А? Атомная масса алюминия равна 0,027 кг/моль.
7. В электролитической медной ванне за 30 мин выделилось 1,65 г меди. Определите ЭДС батареи, необходимую для питания током ванны, если сопротивление раствора 1,5 Ом, а внутреннее сопротивление батареи 0,5 Ом. Электрохимический эквивалент меди равен $0,33 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$.
8. Сколько алюминия выделится при затрате 3,6 МДж электрической энергии, если электролиз ведётся при напряжении 5 В, а КПД всей установки 80 %?
9. Никелирование детали производится при плотности тока 50 А/м^2 . Каким слоем никеля покроется деталь в течение часа? Электрохимический эквивалент никеля равен $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$.
10. Сколько хлора ежечасно вырабатывает завод, если мощность тока, протекающего через ванны 0,1 МВт при напряжении 120 В? Выход по току 90%.
11. При силе тока 2,5 А за 20 мин в электролитической ванне выделилось 1017 мг двухвалентного металла. Какова его молярная масса?
12. Через ванну в течение 10 мин протекал ток 1 А. Сколько атомов и киломолей металла отложилось на катоде, если металл двухвалентный?
13. Максимальный анодный ток в ламповом диоде равен 50 мА. Сколько электронов вылетает из катода каждую секунду?
14. В диоде электроны ускоряются до энергии 100 эВ. Какова их минимальная скорость у анода лампы?

3.4. Электромагнетизм.

Теоретические сведения.

Вокруг любого проводника с током возникает магнитное поле, характеристикой которого является *магнитная индукция*:

$$B = \frac{F}{Il \sin \alpha}.$$

На проводник с током со стороны магнитного поля действует *сила Ампера*:

$$F_A = Il \sin \alpha,$$

где l - длина проводника, α - угол между вектором магнитной индукции и направлением тока. Магнитное поле действует на движущиеся заряженные частицы с силой, которая называется *силой Лоренца*: $F = |q|Bv \sin \alpha$, где v - скорость частицы, q – её заряд.

Энергию магнитного поля контура с током определяют по формуле:

$$W = \frac{LI^2}{2}, \text{ где } L - \text{индуктивность контура.}$$

Электродвижущая сила индукции E_i в замкнутом контуре, пронизанном потоком магнитной индукции, пропорциональна скорости изменения потока магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром:

$$E_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

где $\Delta \Phi$ - изменение магнитного потока, происходящее за время Δt . Если проводник движется в магнитном поле с какой-то скоростью, то на его концах возникает ЭДС индукции: $E_i = Blv \sin \alpha$.

Если магнитный поток, пронизывающий контур, меняется благодаря изменению тока в самом контуре, то возникающая *ЭДС самоиндукции*

$$E_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где ΔI - изменение силы тока, происходящее за время Δt .

Примеры решения задач.

Задача №1. На прямолинейный проводник длиной 20 см, расположенный перпендикулярно направлению магнитного поля, действует сила 8 Н. Определите магнитную индукцию, если ток в проводнике равен 40А.

Дано:	СИ:	Решение:			
		Магнитная	индукция	магнитного	поля

$l = 20\text{см}$ $F = 8\text{Н}$ $I = 40\text{А}$ $\alpha = 90^\circ$ $B = ?$	$= 0,2\text{ м}$	$B = \frac{F}{Il \sin \alpha} = \frac{8\text{Н}}{40\text{А} \cdot 0,2\text{см} \cdot 1} = 1\text{ Тл}$ Ответ: $B = 1\text{ Тл}$.
--	------------------	--

Задача №2. В однородном магнитном поле, индукция которого 0,6 Тл, равномерно движется проводник длиной 0.2 м. По проводнику проходит ток силой 4 А. Проводник со скоростью 0,2 м/с движется перпендикулярно направлению магнитного поля. Вычислите работу перемещения проводника за 10 с движения.

Дано: $B = 0,6\text{ Тл}$ $l = 0,2\text{м}$ $I = 4\text{А}$ $v = 0,2\text{м/с}$ $t = 10\text{с}$ $A = ?$	Решение: Работа по перемещению проводника $A = F_A \cdot S$. Перемещение проводника при равномерном движении $S = v \cdot t$. Сила Ампера равна $F_A = IBl \sin \alpha$. Тогда работа будет $A = IBl \sin \alpha \cdot vt = 4\text{А} \cdot 0,6\text{Тл} \cdot 0,2\text{м} \cdot 0,2\text{м/с} \cdot 10\text{с} = 0,96\text{Дж}$ Ответ: $A = 0,96\text{Дж}$.
--	--

Задача №3. При какой скорости изменения тока в обмотке электромагнита с индуктивностью 2 Гн среднее значение ЭДС самоиндукции равно 20В?

Дано: $L = 2\text{ Гн}$ $E_s = 20\text{ В}$ $\frac{\Delta I}{\Delta t} = ?$	Решение: ЭДС самоиндукции $E_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, откуда скорость изменения тока $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \left \frac{E_s}{L} \right = \frac{20\text{В}}{2\text{Гн}} = 10\text{А/с}$ Ответ: $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 10\text{А/с}$.
--	--

Задачи для самостоятельного решения:

1. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 1,26 мТл, помещён проводник длиной 20 см. Определите силу, действующую на проводник, если по нему течет ток 50 А, а угол между направлениями тока и поля 30° .
2. На провод обмотки якоря электродвигателя при силе тока 20 А действует сила 1 Н. Определите магнитную индукцию в месте расположения провода в данный момент, если длина провода 20 см, а проводник расположен перпендикулярно магнитному полю.
3. Какова сила тока в проводнике, находящемся в магнитном поле с индукцией 2 Тл, если длина его 40 см, а сила, действующая на проводник, равна 0,75 Н. угол между направлением линии магнитной индукции и током 45° .
4. В однородном магнитном поле с индукцией 0,8 Тл на проводник с током в 30 А, длина которого 10 см, действует сила 1,5 Н. Под каким углом к магнитному полю расположен проводник?
5. Проводник длиной 15 см, сила тока в котором 8 А, расположен в однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл перпендикулярно его линиям магнитной индукции. Найдите работу магнитного поля, которая была совершена при перемещении проводника на расстояние 2,5 см перпендикулярно линиям индукции магнитного поля.
6. Какая сила действует на электрон, летящий в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $3 \cdot 10^6$ м/с. Заряд электрона равен $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
7. Ядро атома гелия, имеющее массу $6,64 \cdot 10^{-27}$ кг и заряд $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, влетает в однородное магнитное поле с индукцией 10 мТл и начинает двигаться по окружности радиусом 1м. Определите скорость этой частицы.
8. Электрон описывает в магнитном поле окружность радиусом 4 мм. Скорость движения электрона равна 3,5 Мм/с. Найдите индукцию магнитного поля.
9. Чему равен радиус орбиты протона с кинетической энергией $1,6 \cdot 10^{-17}$ Дж, перемещающегося в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл. Масса протона равна $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.
10. Определите магнитный поток, проходящий через прямоугольную площадку со сторонами 20 см и 40 см, если она помещена в однородное магнитное поле с индукцией 50 мТл под углом 60° к линиям индукции поля.
11. Определите ЭДС индукции, возбуждаемую в контуре, если в нём за 0,01 с магнитный поток равномерно уменьшается от 0,5 до 0,4 Вб.
12. Определите промежуток времени, в течение которого магнитный поток, пронизывающий контур, должен увеличиться от 0,01 до 0,2 Вб, чтобы в контуре возбуждалась ЭДС индукции 3,8 В.
13. Какой магнитный поток пронизывает контур, если при равномерном исчезновении магнитного поля в течение 0,2 с в катушке индуцируется ЭДС, равная 0,02 В. Катушка содержит 200 витков.
14. Определите ЭДС индукции на концах крыльев самолёта, имеющих длину 18 м, если скорость его при горизонтальном полёте 250 м/с, а вертикальная составляющая магнитной индукции земного магнетизма $5 \cdot 10^{-5}$ Тл.
15. В проводнике длиной 50 см, движущемся со скоростью 3 м/с перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, возникает ЭДС 60 мВ. Определите индукцию магнитного поля.
16. Чему равна индуктивность катушки, если протекающий по ней ток силой 0,15 А создаёт поток магнитной индукции 7,5 мВб?
17. Чему равна ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке с индуктивностью 20 мГн, в которой ток силой $7,5 \cdot 10^{-2}$ А исчезает за 20 мс. Катушка содержит 400 витков.
18. За какой промежуток времени в контуре индуктивностью $2 \cdot 10^{-2}$ Гн при изменении тока на 0,5 А возникает ЭДС самоиндукции 10В?

19. Чему равна индуктивность проводника, в котором при возрастании тока от 1,5 А до 1,8 А за 0,02 с возбуждается ЭДС самоиндукции 0,9 В?
20. Магнитное поле катушки с индуктивностью 0,1 Гн обладает энергией 0,8 Дж. Чему равна сила тока в катушке?
21. Определите индуктивность катушки, если при силе тока 3 А магнитное поле в ней обладает энергией $6 \cdot 10^{-2}$ Дж.
22. Определите энергию магнитного поля катушки, в которой при силе тока 6,8 А магнитный поток равен 2,5 мВб.
23. На катушке сопротивлением 6 Ом и индуктивностью 0,2 Гн поддерживается постоянное напряжение 12 В. Сколько энергии выделится при размыкании цепи катушки? Какая средняя ЭДС самоиндукции появится при этом в катушке, если энергия будет выделяться в течение 0,01 с?
24. Определите индуктивность катушки сопротивлением 3,5 Ом, содержащей 1000 витков, на которой поддерживается постоянное напряжение 7В, а при размыкании цепи катушки выделяется энергия 15 мДж.
25. Чему равно напряжение на концах катушки сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 0,2 Гн, если при её отключении выделяется 0,8 Дж энергии?

Глава 4.

Колебания и волны.

4.1. Механические колебания.

Теоретические сведения.

Основными параметрами колебательного движения являются *период T и частота ν* , которые связаны между собой соотношением: $T = \frac{1}{\nu}$.

Общий вид уравнения гармонического колебательного движения:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \phi_0), \text{ где}$$

x - смещение тела в момент времени от положения равновесия;

A – амплитуда; $\omega_0 t + \phi_0$ - фаза колебаний; ϕ_0 - начальная фаза; ω_0 - циклическая частота колебаний.

Циклическая частота связана с частотой и периодом колебаний соотношением:

$$\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

Период собственных колебаний математического маятника определяет выражение:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l - длина маятника; g – ускорение свободного падения. Период собственных колебаний пружинного маятника определяется соотношением:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m – масса груза; k – жёсткость пружины.

Примеры решения задач.

Задача №1. Частота колебаний струны 196 Гц. Вычислите период колебаний.

Дано:	Решение:
$\nu = 196 \text{ Гц}$	На основании формулы $T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{196 \text{ Гц}} = 0,005 \text{ с}$
$T - ?$	Ответ: $T = 0,005 \text{ с}$

Задача №2. Колебательное движение описывается уравнением $x = 0,06 \sin(12,56t + 0,6)$. Определите амплитуду и период колебаний.

Дано:	Решение:
$x = 0,06 \sin(12,56t + 0,6)$	Сопоставим данное уравнение с уравнением гармонических колебаний, записанном в общем виде:
$A - ?$	$x = A \sin(\omega_0 t + \phi_0)$
$T - ?$	$x = 0,06 \sin(12,56t + 0,6)$
	Из сопоставления следует, что $A = 0,06 \text{ м}$; $\omega_0 = 12,56 \text{ с}^{-1}$. Тогда из выражения $\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2 \cdot 3,14}{12,56} = 0,5 \text{ с}$
	Ответ: $A = 0,06 \text{ м}$; $T = 0,5 \text{ с}$

Задача №3. Математический маятник совершает колебания с частотой 4 Гц. Вычислите длину его подвеса.

Дано:	Решение:
$\nu = 4 \text{ Гц}$	Из соотношения $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ следует, что длина подвеса $l = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$. С
<u>$l - ?$</u>	учётом того, что период $T = \frac{1}{\nu}$, получим

	$l = \frac{g}{4\pi^2\nu^2} = \frac{9,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 4^2} = 0,015 \text{ м.}$ Ответ: $l = 0,015 \text{ м.}$
--	---

Задачи для самостоятельного решения:

1. Напишите уравнение гармонических колебаний, если амплитуда колебаний 5 см, период колебаний 2 с. Постройте график этих колебаний.
2. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону:
 $x = 0,02 \cos(4\pi t + \frac{\pi}{2})$. Определите амплитуду, период, частоту и начальную фазу колебаний.
3. Определите смещение от положения равновесия материальной точки, совершающей косинусоидальные гармонические колебания, по истечении 0,5 с от начала отсчёта времени.
Начальная фаза колебаний $\frac{\pi}{6}$, амплитуда колебаний 6 см, период колебаний 6 с.
4. По графику определите амплитуду, период и частоту колебаний. Напишите уравнение гармонических колебаний.
5. Определите период и частоту колебаний груза массой 200 г на пружине жёсткостью 1,8 Н/м.
6. Определить промежуток времени, в течение которого тело массой 3,6 кг совершит 20 колебаний на пружине жёсткостью 10 Н/м.
7. Груз массой 200 г, подвешенный к невесомой пружине, совершает 30 колебаний в минуту. Чему равна жёсткость пружины?
8. Груз на пружине с жёсткостью 9,9 Н/м делает 12 колебаний за 24 с. Определите массу груза.
9. Какова длина математического маятника, совершающего гармонические колебания с частотой 0,5 Гц на поверхности Луны? Ускорение свободного падения на поверхности Луны равно $1,6 \text{ м/с}^2$.
10. Определить ускорение свободного падения на поверхности планеты Марс при условии, что там математический маятник длиной 50 см совершал бы 20 колебаний за 40 с.

4.2. Электромагнитные колебания и волны.

Теоретические сведения.

В колебательном контуре *период электромагнитных колебаний* зависит от индуктивности L и ёмкости C и определяется по формуле: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Ток, периодически меняющий по величине и направлению, называется *переменным током*. Гармонические изменения основных физических величин описываются уравнениями:

$\Phi = BS \cos \omega_0 t$ – формула изменения потока магнитной индукции;

$e = BS\omega_0 \sin \omega_0 t$ – формула изменения ЭДС индукции;

$u = U_m \cos \omega_0 t$ – формула изменения напряжения;

$i = I_m \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ – формула изменения силы тока.

В цепи переменного тока с *активным сопротивлением* сила тока определяется законом Ома для участка цепи: $I = \frac{U}{R}$.

Если цепь переменного тока содержит индуктивность, то *индуктивное сопротивление* этой цепи будет определяться выражением:

$$X_L = \omega_0 L \quad \text{и тогда сила тока в такой цепи} \quad I = \frac{U}{X_L}.$$

Если цепь переменного тока содержит конденсатор ёмкости C , то ёмкостное сопротивление конденсатора:

$$X_C = \frac{1}{\omega_0 C} \quad \text{и сила тока в данной цепи может быть найдена как} \quad I = \frac{U}{X_C}.$$

Устройство, преобразующее переменный ток одного напряжения в переменный ток той же частоты, но другого напряжения называется *трансформатором*. Его *коэффициент трансформации* может быть найден как:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

где U_1, U_2 – напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора, N_1, N_2 – число витков первичной и вторичной обмоток.

КПД трансформатора определяется выражением:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%,$$

где P_1 и P_2 – мощности первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Волной называют процесс распространения колебаний в пространстве, поэтому имеет смысл ввести понятие скорости волны - $v = \frac{\lambda}{T}$, где λ - *длина волны* – расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковых фазах.

Электромагнитные волны используются в *радиолокации* для определения расстояний до объектов. В этом случае расстояние может быть найдено по формуле: $S = \frac{vt}{2}$, где $v = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость электромагнитных радиоволн.

Примеры решения задач.

Задача №1. Найти частоту свободных колебаний в колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью 3 мГн и конденсатора ёмкостью 3 мкФ.

Дано:	СИ:	Решение:
L = 3 мГн	$3 \cdot 10^{-3}$ Гн	На основании формулы связи периода и частоты $T = \frac{1}{\nu}$ найдем частоту колебаний: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{3 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}} = 2057 \text{ Гц}.$ Ответ: $\nu = 2057 \text{ Гц}$.
C = 3 мкФ	$3 \cdot 10^{-6}$ Ф	
$\nu - ?$		

Задача №2. Уравнение колебаний напряжения имеет вид: $u = 40 \sin 10\pi t$. Определите амплитудное и действующее значения напряжения, период и частоту колебаний.

Дано:	Решение:
$u = 40 \sin 10\pi t$	Сопоставим данное уравнение с уравнением электромагнитных колебаний напряжения, записанном в общем виде: $u = 40 \sin 10\pi t$ $u = U_m \sin \omega_0 t.$ Из сопоставления видно, что $U_m = 40 \text{ В}$, $\omega_0 = 10\pi \text{ с}^{-1}$. Так как
$U_m - ?$	
$U_d - ?$	
T - ?	

$\nu - ?$	$U_{\text{д}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{40}{1,4} = 28,3\text{В}.$ Период колебаний можно найти из формулы $\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{10\pi} = 0,2 \text{ с.}$ Тогда частота колебаний $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,2} = 5\text{Гц}.$ Ответ: $U_m = 40\text{В}, U_{\text{д}} = 28,3\text{В}, T=0,2 \text{ с}, \nu = 5\text{Гц}.$
-----------	---

Задача №3. Первичная обмотка трансформатора имеет 600 витков. Сколько витков во вторичной обмотке, если трансформатор предназначен для повышения напряжения со 120 до 350 В?:

Дано:	Решение:
$N_1 = 600$	Так как для трансформатора выполняется соотношение:
$U_1 = 120 \text{ В}$	$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$ Отсюда $N_2 = \frac{U_2 \cdot N_1}{U_1} = \frac{350\text{В} \cdot 600}{120\text{В}} = 1750.$
$U_2 = 350 \text{ В}$	Ответ: $N_2 = 1750.$
$N_2 - ?$	

Задача №4. При включении конденсатора в цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц (стандартная или промышленная частота) в ней установился ток 0,5 А. Какую ёмкость имеет конденсатор?

Дано:	Решение:
$U = 220 \text{ В}$	Так как сила тока в цепи переменного тока, содержащей конденсатор, определяется выражением: $I = \frac{U}{X_C},$ то ёмкостное
$I = 0,5 \text{ А}$	сопротивление может быть найдено $X_C = \frac{U}{I} = \frac{220\text{В}}{0,5\text{А}} = 440 \text{ Ом}.$
$\nu = 50\text{Гц}$	Ёмкость конденсатора можно найти из формулы:
$C - ?$	$X_C = \frac{1}{\omega_0 C} \rightarrow C = \frac{1}{X_C \cdot \omega_0} = \frac{1}{X_C \cdot 2\pi\nu} = \frac{1}{440\text{Ом} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50\text{Гц}} = 7,2\text{мкФ}$

	Ответ: $C = 7,2 \text{ мкФ}$.
--	--------------------------------

Задачи для самостоятельного решения:

1. Вычислите период колебаний в контуре с индуктивностью 2,5 мГн и ёмкостью 0,01 мкФ. Чему равна частота этих колебаний?
2. Частота свободных колебаний в колебательном контуре равна 1,55 кГц, индуктивность катушки 12 мГн. Определить ёмкость конденсатора.
3. Частота свободных колебаний колебательного контура равна 4 кГц, его электроёмкость 8 мкФ. Какова индуктивность контура?
4. За какой промежуток времени в колебательном контуре с индуктивностью 1,5 мГн и ёмкостью 6 нФ совершаются 10000 электромагнитных колебаний?
5. В цепь переменного тока включено активное сопротивление 5,5 Ом. Вольтметр показывает напряжение 220 В. Определить действующее и амплитудное значения силы тока в цепи.
6. Катушка с индуктивностью 0,2 Гн включена в цепь переменного тока промышленной частоты и напряжением 220 В. Определить силу тока в цепи. Активным сопротивлением катушки пренебречь.
7. Какова индуктивность проводника, если при его включении в цепь переменного тока стандартной частоты напряжением 120 в амплитудное значение силы тока равно 14 А.
8. Чему равен период колебаний переменного тока в цепи с индуктивностью 0,12 Гн, если индуктивное сопротивление цепи равно 12,6 Ом?
9. Конденсатор ёмкостью 8 мкФ включён в цепь переменного тока промышленной частоты. Определить силу тока в цепи, если напряжение равно 120 В.
10. Рассчитайте частоту переменного тока в цепи, содержащей конденсатор ёмкостью 1 мкФ, если он оказывает току сопротивление 1 кОм.
11. Конденсатор включён в цепь переменного тока с частотой 5 кГц и напряжением 20 В. Амплитудное значение силы тока в этой цепи равно 4,4 А. Определить ёмкость конденсатора.
12. В цепи переменного тока, содержащей только индуктивное сопротивление 62 Ом, напряжение изменяется по закону: $u = 310 \cos 100\pi t$. Вычислить мгновенное значение силы тока через 1/600 с от начала периода.
13. Первичная обмотка трансформатора имеет 600 витков. Сколько витков во вторичной обмотке, если трансформатор предназначен для повышения напряжения от 120 до 350 В?
14. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 10 включен в сеть переменного тока. Сила тока во вторичной обмотке трансформатора 5 А, число витков в ней 42. Определить силу тока в первичной обмотке и число витков в ней.
15. Напряжение в первичной обмотке сварочного трансформатора 220 В, сила тока во вторичной обмотке 280 А, число витков в ней равно 5, коэффициент трансформации 7. Определить силу тока в первичной обмотке, число витков в ней, а также напряжение на вторичной обмотке трансформатора.
16. Мощность трансформатора 132 Вт. Первичная обмотка содержит 60 витков, и на неё подано напряжение 12 В. Сколько витков у вторичной обмотки, если в ней протекает ток, действующее значение которого равно 0,6 А?
17. Действующее значение напряжения на концах первичной обмотки трансформатора 220 В, действующее значение силы тока во вторичной обмотке 2 А, мощность трансформатора 22 Вт. Определить коэффициент трансформации и число витков во вторичной обмотке, если в первичной обмотке имеется 880 витков.

18. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $2 \cdot 10^{-4}$ Гн и конденсатора ёмкостью 450 пФ. На какую длину волны рассчитан этот контур?
19. На каком расстоянии от радиолокатора находится цель, если отражённый от цели сигнал возвратился через $3,3 \cdot 10^{-4}$ с?
20. Определить промежуток времени, в течение которого радиосигнал, посылаемый радиолокатором в направлении объекта, находящегося на расстоянии 90 км от радиолокатора, отразился от объекта и возвратился обратно.

4.3. Электромагнитные волны оптического диапазона.

Теоретические сведения.

Длину электромагнитной волны в вакууме определяют так:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu},$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.

Скорость распространения световых электромагнитных волн в среде:

$$\nu = \frac{c}{n},$$

где n - показатель преломления среды относительно вакуума.

При переходе светового луча из одной среды с показателем преломления n_1 в другую среду с показателем преломления n_2 выполняется *закон преломления света*:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n,$$

где α - угол падения, β - угол преломления. Показатель преломления второй среды относительно первой $n = \frac{n_2}{n_1}$.

При явлении полного отражения света

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n},$$

где α_0 - предельный угол полного отражения света.

При прохождении светового луча через прозрачную плоскопараллельную пластину световой луч смещается на величину:

$$x = \frac{d \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}.$$

Интенсивность светового луча, прошедшего поляризатор и анализатор: $I = I_0 \cos^2 \phi$, где ϕ - угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора. I_0 - интенсивность света, прошедшего через поляризатор.

Существует такой угол падения, называемый углом Брюстера i , при котором отражённый свет оказывается полностью поляризованным (закон Брюстера): $\operatorname{tg} i = n_{21}$, где $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ - показатель преломления среды, в которой распространяется преломленный свет, относительно среды, в которой распространяется падающий свет.

Примеры решения задач.

Задача №1. Частота монохроматического излучения $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить длину волны данного излучения.

Дано: $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц $\lambda - ?$	Решение: Согласно формуле $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}} = 500 \text{ нм.}$ Ответ: $\lambda = 500 \text{ нм.}$
--	--

Задача №2. Длина волны красной линии водорода в вакууме равна 656,3 нм. Какова длина этой волны в стекле, если показатель преломления стекла равен 1,6?

Дано: $\lambda = 656,3 \text{ нм}$ $n = 1,6$ $\lambda_{cm} - ?$	СИ: $656,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	Решение: Используя формулы $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$ и $\nu = \frac{c}{n}$, найдём $\lambda_{cm} = \frac{\nu_{cm}}{\nu} = \frac{c}{n} = \frac{\lambda}{n} = \frac{656,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{1,6} = 410 \text{ нм.}$ Ответ: $\lambda_{cm} = 410 \text{ нм.}$
--	--	---

Задача №3. При переходе луча света из стекла (флинт) в глицерин угол преломления оказался равным 30° . Определить угол падения луча света на границе раздела двух сред.

Дано:	Решение:
$n_1 = 1,8$	Используя формулы: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ и $n = \frac{n_2}{n_1}$, найдем угол падения:
$n_2 = 1,47$	$\sin \alpha = \frac{\sin \beta \cdot n_2}{n_1} = \frac{\sin 30^\circ \cdot 1,47}{1,8} = 0,4083$. Используя таблицы Брадиса,
$\beta = 30^\circ$	найдем величину угла падения $\alpha = 24^\circ$
$\alpha = ?$	Ответ: $\alpha = 24^\circ$.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Тонкий пучок света переходит из воздуха в некоторую жидкость. Найдите показатель преломления жидкости, если угол падения 30° , а угол преломления 15° .
2. Солнечный свет падает на поверхность воды в сосуде. Каков угол преломления, если угол падения 25° ? Каков угол падения, если угол преломления 42° ? Каковы углы падения и преломления, если угол отражения 30° ?
3. При переходе луча света из стекла (флинт) в глицерин угол преломления оказался равным 35° . Определите угол падения луча света на границе раздела двух сред.
4. Определите показатель преломления стекла (флинт) относительно воды.
5. Найдите скорость света в скипидаре.
6. Определите скорость распространения света в стекле, если при переходе его из воздуха в стекло угол падения оказался равным 50° , а угол преломления 30° .
7. Выйдет ли световой луч из воды в воздух, если угол падения равен: 45° ; 50° ?
8. Вычислите предельный угол полного отражения для алмаза.
9. Предельный угол полного отражения для спирта равен 47° . Найдите показатель преломления спирта.
10. Найдите смещение луча при прохождении через плоскопараллельную пластинку из стекла (крон), если угол падения равен 45° , а толщина пластинки 5 см.
11. Луч падает под углом 60° на плоскопараллельную пластинку из стекла (крон). Какова толщина пластинки, если на выходе из неё луч смещается на 2 см?
12. Луч света падает на трёхгранную призму под углом 40° . Преломляющий угол призмы 30° , стекло – крон. Под каким углом луч выйдет из призмы?
13. Найдите оптическую силу и фокусное расстояние двояковыпуклой линзы, если действительное изображение предмета, помещённого в 15 см от линзы, получается на расстоянии 30 см от неё. Найдите увеличение линзы.
14. Предмет находится на расстоянии 12 см от двояковогнутой линзы с фокусным расстоянием – 10 см. На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета?
15. Свеча находится на расстоянии 12,5 см от собирающей линзы, оптическая сила которой равна 10 дптр. На каком расстоянии от линзы получится изображение и каким оно будет?

16. Изображение предмета, поставленного на расстоянии 40 см от двояковыпуклой линзы, получилось действительным и увеличенным в 1,5 раза. Каково фокусное расстояние линзы?
17. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием 12 см надо поставить предмет, чтобы его действительное изображение было втрое больше самого предмета?
18. Определить оптическую силу линзы, если известно, что предмет, помещённый перед ней на расстоянии 40 см, даёт мнимое изображение, уменьшенное в 4 раза.
19. На каком расстоянии от двояковыпуклой линзы, фокусное расстояние которой 40 см, надо поместить предмет, чтобы его действительное изображение получилось: а) в натуральную величину; б) увеличенным в 2 раза; в) уменьшенным в 2 раза?
20. Расстояние от предмета до экрана 90 см. Где надо поместить между ними линзу с фокусным расстоянием 20 см, чтобы получить на экране отчётливое изображение предмета?
21. Расстояние от предмета до экрана равно 3 м. Линзу какой оптической силы надо взять и где следует её поместить, чтобы получить изображение предмета, увеличенное в 5 раз?
22. Фокусное расстояние собирающей линзы равно F . На каком расстоянии от линзы нужно поместить предмет, чтобы увеличение было больше 2, но меньше 3?

Глава 5.

Квантовая и атомная физика.

5.1. Квантовые свойства света.

Теоретические сведения.

Одним из явлений, подтверждающих квантовую природу света, является *внешний фотоэффект*. Квант света с энергией $h\nu$, попадая, например, на металл, может выбить из него электрон. Энергия кванта при этом пойдёт на совершение работы выхода по вырыванию электронов из металла и сообщению электрону кинетической энергии.

Это утверждение называется *законом фотоэффекта* и записывается в виде *уравнения Эйнштейна для фотоэффекта*:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

Фотоэффект наступает при определённой частоте или длине волны падающего излучения, которые называются *красной границей фотоэффекта*:

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} \quad \text{или} \quad \lambda_{\max} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}.$$

С помощью квантовой теории удалось объяснить также такие явления, как давление света и люминесценцию.

Давление света при нормальном падении на поверхность

$$P = \frac{E}{c}(1 + \rho),$$

где E – энергия фотонов, падающих на 1 м^2 тела за 1 с ; c – скорость света; ρ – коэффициент отражения.

Энергия фотонов может быть найдена по формулам:

$$E = h\nu$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E = mc^2$$

Импульс фотонов:

$$p = mc; \quad p = \frac{h\nu}{c}; \quad p = \frac{h}{\lambda}.$$

Примеры решения задач.

Задача №1. Определить наибольшую длину волны света, при которой может происходить фотоэффект для пластины, работа выхода которой равна $8,5 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}$.

Дано:	Решение:
$A_{\text{вых}} = 8,5 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}$ $\lambda_{\text{max}} - ?$	Красная граница фотоэффекта: $\lambda_{\text{max}} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8\text{ м/с}}{8,5 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}} = 2,34 \cdot 10^{-7}\text{ м}.$ Ответ: $\lambda_{\text{max}} = 2,34 \cdot 10^{-7}\text{ м}.$

Задача №2. Определить наибольшую скорость электрона, вылетевшего из цезия, при освещении его светом с частотой $7,5 \cdot 10^{14}\text{ Гц}$.

Дано:	СИ:	Решение:
$\nu = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ $A_{\text{вых}} = 2 \text{ эВ} =$ $\nu - ?$	$3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$	Используя уравнений Эйнштейна, определим скорость электронов: $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2},$ $\nu = \sqrt{\frac{2(h\nu - A_{\text{вых}})}{m}} =$ $= \sqrt{\frac{2(6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 7,5 \cdot 10^{14} - 3,2 \cdot 10^{-19})}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 6,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ Ответ: $\nu = 6,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.

Задача №3. Определить энергию, массу и импульс фотонов видимого света с длиной волны 500 нм.

Дано:	СИ:	Решение:
$\lambda = 500 \text{ нм}$ $E - ?$ $m - ?$ $p - ?$	$5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Энергия фотона: $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$ Масса фотона: $m = \frac{E}{c^2} = \frac{4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{9 \cdot 10^{16} (\text{м/с})^2} = 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ кг}.$ Импульс фотона: $p = mc = 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 1,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$ Ответ: $E = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$; $m = 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$; $p = 1,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Какая частота колебаний соответствует красным лучам видимого света, длина волны которых $7,6 \cdot 10^{-7}$ м?
2. Длина волны жёлтого света в вакууме равна $5,9 \cdot 10^{-7}$ м. Какова частота колебаний в такой волне?
3. Определите длину волны красной границы фотоэффекта для серебра.
4. Красная граница фотоэффекта для калия равна 0,56 мкм. Чему равна работа выхода электронов с поверхности калия?
5. Какую максимальную кинетическую энергию имеют вырванные из лития электроны при облучении светом с частотой 10^{15} Гц?
6. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетающих из рубидия при освещении его ультрафиолетовыми лучами с длиной волны $3,17 \cdot 10^{-7}$ м, равна $2,84 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите работу выхода электронов из рубидия.
7. С какой длиной волны следует направить свет на поверхность цезия, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна 2000 км/с? Красная граница фотоэффекта для цезия равна 690 нм.
8. Какова максимальная скорость электронов, вырванных с поверхности платины при облучении её светом с длиной волны 100 нм?
9. Определить энергию фотонов, соответствующих наиболее длинным ($\lambda = 0,75$ мкм) и наиболее коротким ($\lambda = 0,4$ мкм) волнам видимой части спектра.
10. Энергия фотона равна $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите частоту колебаний для этого излучения и массу фотона.
11. Энергия фотона равна $2,76 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определить массу и импульс фотона.
12. Найдите массу, энергию и импульс фотона, соответствующего рентгеновскому излучению с длиной волны $1,5 \cdot 10^{-10}$ м.
13. Найти длину волны и частоту излучения, масса фотонов которого равна массе покоя электрона. Какого типа это излучение?
14. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона излучения с длиной волны $5,2 \cdot 10^{-7}$ м?
15. Какую энергию должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе покоя электрона?

5.2. Физика атома и атомного ядра.

Теоретические сведения.

Атом любого элемента состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого по различным орбитам вращаются электроны. При этом выполняются следующие условия:

1. суммарный заряд всех электронов, входящих в состав атома, равен заряду ядра;
2. в стационарном состоянии атом не излучает. Движение электрона вокруг ядра возможно только по определённым орбитам, радиусы которых удовлетворяют соотношению (*первый постулат Бора*):

$$m_e v_n r_n = \frac{nh}{2\pi},$$

где m_e - масса электрона; v_n - скорость электрона на n - орбите; $n = 1, 2, 3 \dots$ - порядковый номер

орбиты; h – постоянная Планка.

3. испускание (поглощение) света происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое. Энергия фотона равна разности энергий стационарных состояний (*второй постулат Бора*):

$$h\nu = E_1 - E_2 = \Delta E,$$

где ν - частота излучения; E_1 и E_2 – значения энергии электрона на соответствующих орбитах.

Энергия электрона на n – стационарной орбите в простейшем по своему строению атоме водорода:

$$E_n = \frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2};$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12} \text{Ф/м}$ – электрическая постоянная; $n = 1, 2, 3, \dots$ - номер орбиты (*главное квантовое число*).

Длина волны света λ , испускаемого атомом водорода при переходе с орбиты n_2 на орбиту n_1 , может быть определена по формуле:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга. Для видимого света $n_1=2$, $n_2 = 3, 4, 5, \dots$

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, называемых нуклонами. *Массовое число* A равно числу нуклонов в ядре. Оно представляет собой выраженную в атомных единицах массы массу атома элемента, округлённую до целого числа.

Зарядовое число Z равно числу протонов в ядре, оно совпадает с порядковым номером элемента в таблице Менделеева.

Число нейтронов в ядре $N = A - Z$.

Атомы одного и того же элемента могут иметь разное количество нейтронов в ядре. Такие атомы называются изотопами данного элемента. Например, у атома кислорода три изотопа: ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{17}_8\text{O}$, ${}^{18}_8\text{O}$ (сверху – массовое число, снизу – зарядовое число).

Масса ядра $M_{\text{я}}$ меньше массы нейтрального атома $M_{\text{а}}$ на массу электронов, входящих в состав электронной оболочки атома:

$$M_{\text{я}} = M_{\text{а}} - Zm_e$$

Дефектом массы ядра Δm называют разность между суммой масс протонов m_p и нейтронов m_n , составляющих ядро атома, и массой ядра $M_{\text{я}}$:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}$$

В таблицах масс изотопов указывают не массы ядер, а массы нейтральных атомов. Поэтому данную формулу можно преобразовать в виде:

$$\Delta m = Z(m_p + m_e) + Nm_n - M_a$$

Энергия связи ядра $\Delta E_{\text{св}}$ определяется работой, которую нужно совершить для разделения ядра на составляющие его протоны и нейтроны:

$$\Delta E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме. Энергия в данном случае выражена в джоулях. Определено, что энергия, поглощающаяся или выделяющаяся при изменении массы на 1 а.е.м. составляет 931 МэВ. Поэтому для случая, когда дефект массы выражен в атомных единицах массы, соотношение для энергии связи можно записать в виде:

$$\Delta E_{\text{св}} = 931 \Delta m.$$

Энергия связи в этом случае выражена в мегаэлектронвольтах: $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Изменение энергии при ядерных реакциях определяется соотношением:

$\Delta E = (\sum m_i - \sum m_k) c^2$, где $\sum m_i$ и $\sum m_k$ - суммы масс частиц до и после реакции. Если $\sum m_i > \sum m_k$, то энергия выделяется. Если $\sum m_i < \sum m_k$, то энергия поглощается.

При радиоактивном распаде число радиоактивных (нераспавшихся) атомов убывает со временем по закону:

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

где N_0 – число радиоактивных атомов в начальный момент времени, λ - постоянная радиоактивного распада, t – время распада.

Можно этот же закон радиоактивного распада записать в виде:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}, \text{ где } T - \text{период полураспада радиоактивного изотопа.}$$

Период полураспада и постоянная радиоактивного распада связаны между собой соотношением:

$$\frac{1}{\lambda} = 1,44 T$$

В результате радиоактивного распада в исходном элементе с течением времени число нераспавшихся ядер уменьшается, но растёт число ядер продуктов распада. Число ядер ΔN ,

распавшихся за время Δt , пропорционально числу N_0 нераспавшихся в начальный момент времени ядер и интервалу времени:

$$\Delta N = -\lambda N_0 \Delta t$$

Примеры решения задач.

Задача №1. Каково строение ядра изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$?

<u>Дано:</u>	<u>Решение:</u>
$^{12}_6\text{C}$	Из символической записи изотопа $^{12}_6\text{C}$ следует, что ядро изотопа углерода состоит из 12 нуклонов ($A=12$), шести протонов ($Z=6$) и шести нейтронов ($N = A - Z=12-6=6$).
$Z - ?$	Ответ: $Z=6$; $N =6$.
$N - ?$	

Задача №1. Определить длину волны, соответствующую четвёртой спектральной линии в видимой области спектра атома водорода.

<u>Дано:</u>	<u>Решение:</u>
$n_1 = 2$ $n_2 = 6$	Длину волны света, излучаемого атомом водорода при переходе с одной орбиты на другую. Определим по формуле: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$. По условию
$\lambda - ?$	задачи четвёртая спектральная линия в видимой области света появляется тогда, когда электрон переходит с шестой орбиты ($n_2 = 6$) на вторую ($n_1 = 2$) (серия Бальмера).
	Тогда $\lambda = \frac{1}{R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)} = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2} \right)} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 410 \text{ нм}$
	Ответ: $\lambda = 410 \text{ нм}$.

Задача №2. Найти энергию связи ядра изотопа гелия ${}^3_2\text{He}$, если масса этого изотопа $m_a = 3,01605$ а.е.м., масса протона равна $1,00783$ а.е.м.; масса нейтрона $1,00867$ а.е.м.; масса электрона $0,00055$ а.е.м.

Дано:	Решение:
${}^3_2\text{He}$ $m_p = 1,00783$ а.е.м. $m_n = 1,00867$ а.е.м. $m_e = 0,00055$ а.е.м. $m_a = 3,01605$ а.е.м. $\Delta E_{св}$ - ?	Энергия связи ядра определяется формулой: $\Delta E_{св} = \Delta m \cdot c^2$, где $\Delta m = Z(m_p + m_e) + Nm_n - M_a =$ $2(1,00783 + 0,00055) + 1 \cdot 1,00867 - 3,01605 = 0,00893 \text{ а.е.м.}$ Энергия связи $\Delta E_{св} = 931 \Delta m = 931 \cdot 0,00893 = 8,3 \text{ МэВ}$. Ответ: $\Delta E_{св} = 8,3 \text{ МэВ}$.

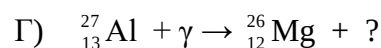
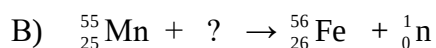
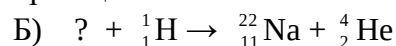
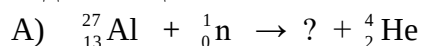
Задача №3. За какое время произойдёт распад 3 мг полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$, если в начальный момент его масса равна $0,3$ г? Период полураспада полония 138 суток.

Дано:	СИ:	Решение:
${}^{210}_{84}\text{Po}$ $m_1 = 3 \text{ мг}$ $m_2 = 0,3 \text{ г}$ $T = 138 \text{ сут.}$ $t = ?$	$3 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ $3 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$	Число атомов ${}^{210}_{84}\text{Po}$, распавшихся за время t, $\Delta N = N_0 - N$, где N_0 – число атомов, не распавшихся в начальный момент времени в $0,3$ г полония; N – число атомов, не распавшихся через время t. Так как $N = N_0 e^{-\lambda t}$ и $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$, получим $\Delta N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0(1 - 2^{-\frac{t}{T}})$. Число атомов, содержащихся в какой-либо массе вещества, определяется выражением $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$, где M – молярная масса полония, N_A – число Авогадро. Исходя из условий задачи, найдём $\Delta N = \frac{m_1}{M} \cdot N_A$; $N_0 = \frac{m_2}{M} \cdot N_A$. Тогда выражение для ΔN можно переписать в виде: $\frac{m_1}{M} \cdot N_A = \frac{m_2}{M} \cdot N_A (1 - 2^{-\frac{t}{T}})$. Отсюда следует, что

		$\frac{m_1}{m_2} = 1 - 2^{-\frac{t}{T}}, \text{ откуда } t = T \frac{\lg \left(\frac{1}{1 - \frac{m_1}{m_2}} \right)}{\lg 2} = 138 \frac{\lg \left(\frac{1}{1 - \frac{3 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-4}}} \right)}{\lg 2} = 2 \text{ сут.}$ Ответ: t = 2 суток.
--	--	---

Задачи для самостоятельного решения:

- Каков состав ядер натрия ${}_{11}^{23}\text{Na}$, фтора ${}_{9}^{19}\text{F}$, серебра ${}_{47}^{107}\text{Ag}$, кюрия ${}_{96}^{247}\text{Cm}$, менделевия ${}_{101}^{257}\text{Md}$?
- Каков состав изотопов неона ${}_{10}^{20}\text{Ne}$, неона ${}_{10}^{21}\text{Ne}$, неона ${}_{10}^{22}\text{Ne}$?
- Вычислите энергию связи ядра дейтерия ${}_1^2\text{H}$. Масса протона равна $1,67 \cdot 10^{-27}\text{кг}$, масса нейтрона равна $1,68 \cdot 10^{-27}\text{кг}$, масса электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}\text{кг}$.
- Найти энергию связи ядра алюминия ${}_{13}^{27}\text{Al}$. Масса протона равна $1,67 \cdot 10^{-27}\text{кг}$, масса нейтрона равна $1,68 \cdot 10^{-27}\text{кг}$, масса электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}\text{кг}$.
- Найти удельную энергию связи ядра дейтерия.
- Написать реакции распада α - урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ и β - распада свинца ${}_{82}^{209}\text{Pb}$.
- В результате какого радиоактивного распада натрий ${}_{11}^{22}\text{Na}$ превращается в магний ${}_{12}^{22}\text{Mg}$?
- В результате какого радиоактивного распада плутоний ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ превращается в уран ${}_{92}^{235}\text{U}$?
- Написать ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке алюминия ${}_{13}^{27}\text{Al}$ α -частицами и сопровождающуюся выбиванием протона.
- Написать ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке ${}_{5}^{11}\text{B}$ α -частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.
- При бомбардировке изотопа бора ${}_{5}^{10}\text{B}$ нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается α -частица. Написать реакцию.
- Элемент менделевий был получен при облучении эйнштейния ${}_{99}^{253}\text{Es}$ α -частицами с выделением нейтрона. Написать реакцию.
- Элемент курчатовий получили, облучая плутоний ${}_{94}^{242}\text{Pu}$ ядрами неона ${}_{10}^{22}\text{Ne}$. Написать реакцию, если известно, что в результате образуется ещё 4 нейтрона.
- Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях:



15. При облучении изотопа меди $^{63}_{29}\text{Cu}$ протонами реакция может идти несколькими путями: с выделением одного нейтрона, с выделением двух нейтронов, с выделением одного нейтрона и одного протона. Ядра каких элементов образуются в каждом случае?
16. Радиоактивный марганец $^{54}_{25}\text{Mn}$ получают двумя путями. Первый путь состоит в облучении изотопа железа $^{56}_{26}\text{Fe}$ дейтронами, второй – в облучении изотопа железа $^{54}_{26}\text{Fe}$ нейтронами. Написать ядерные реакции.
17. При бомбардировке азота $^{14}_7\text{N}$ нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается протон. Написать реакцию. Полученное ядро оказывается β - радиоактивным. Написать происходящую при этом реакцию.
18. Найти энергию, выделяющуюся при реакции: $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He}$.
19. Выделяется или поглощается энергия при реакции: $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^1_1\text{H} + ^{17}_8\text{O}$?
20. Сколько процентов радиоактивных ядер кобальта останется через месяц, если период полураспада равен 71 дню?
21. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 дней. Найти период полураспада.
22. Сколько атомов радона распадается за 1 сутки из 10^6 атомов?
23. Среди радиоактивных загрязнений, вызванных аварией на Чернобыльской АЭС, наиболее опасными являются долгоживущие продукты деления – стронций -90 и цезий-137. Сколько времени должно пройти к тому моменту, когда активность этих загрязнений уменьшится в 10 раз? Периоды полураспада стронция 28 лет, цезия – 30 лет.

Критерии оценки внеаудиторной (самостоятельной) работы

Процент результатив ности	Балл (оценка)	Критерии оценивания
90-100%	5	— глубокое изучение учебного материала, литературы и нормативных актов по вопросу; — правильность формулировок, точность определения понятий; — последовательность изложения материала; — обоснованность и аргументированность выводов; — правильность ответов на дополнительные вопросы; — своевременность выполнения задания.
70-89%	4	— полнота и правильность изложения материала; — незначительные нарушения последовательности изложения; — неточности в определении понятий; — обоснованность выводов приводимыми примерами; — правильность ответов на дополнительные вопросы; — своевременность выполнения задания.
50-69%	3	— знание и понимание основных положений учебного материала; — наличие ошибок при изложении материала; — непоследовательность изложения материала; — наличие ошибок в определении понятий, искажающих их смысл; — несвоевременность выполнения задания.
0-49%	2	— незнание, невыполнение или неправильное выполнение большей части учебного материала; — ошибки в формулировке определений, искажающие их смысл; — беспорядочное и неуверенное изложение материала; — отсутствие ответов на дополнительные вопросы; — отсутствие выводов и неспособность их сформулировать; — невыполнение задания.