

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Оренбургский государственный университет"

Кафедра общей физики

А.А.ЧАКАК

ФИЗИКА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 9-11 КЛАССОВ
ЗАОЧНОЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ "ПОИСК"

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Оренбургский государственный университет".

Оренбург 2007

УДК 53 (076.5)
ББК 22.3я 73
Ч 16

Рецензент:
доктор физико-математических наук, профессор Н.А.Манаков

Чакак А.А.

Ч 16

Физика: учебное пособие по физике для учащихся 9-11 классов заочной физико-технической школы "ПОИСК" / А. А. Чакак. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 227 с.

Учебное пособие по физике предназначено для учащихся 9-11 классов заочной физико-технической школы "ПОИСК" при Оренбургском областном центре детского научно-технического творчества. Программа по физике для каждого класса состоит из 6 заданий, посвященных отдельным темам школьного курса физики. Каждое задание состоит из 25 задач, входящих в несколько разделов. Каждый раздел содержит задачи, близкие по своей тематике, но имеющие различный уровень сложности. В пособие включены: примерные варианты заданий ЕГЭ по физике, к которым даны ответы и решения; типовая программа по физике для поступающих в вузы; рекомендации по выполнению экзаменационных заданий; справочные материалы. Рассмотрены примеры решения задач повышенного уровня сложности. Пособие может оказаться полезным для учителей и учащихся профильных классов, как в текущей работе, так и при подготовке к ЕГЭ.

Учебное пособие рекомендовано к изданию кафедрой общей физики ОГУ. Составитель ЧАКАК А.А.

ББК 22.3я 73

Ч 1604010000

©Чакак А.А., 2007
©ГОУ ОГУ, 2007

Содержание

3 Задания для 9 класса.....	4
3.1 Задание 1. Кинематика I. Движение с постоянной скоростью.....	4
4 Задания для 10 класса.....	4
4.1 Задание 1.....	4
5 Задания для 11 класса.....	4
5.1 Задание 1. Кинематика.....	4
1 Введение.....	6
2 Рекомендации по выполнению заданий. Характерные ошибки.....	8
3 Задания для 9 класса.....	11
3.1 Задание 1. Кинематика I. Движение с постоянной скоростью.....	11
3.2 Задание 2. Кинематика II. Ускоренное прямолинейное движение	14
3.3 Задание 3. Кинематика III. Криволинейное движение.....	17
3.4 Задание 4. Динамика I. Силы в механике.....	20
3.5 Задание 5. Динамика II. Движение тел под действием сил. Статика.....	23
3.6 Задание 6. Динамика III. Законы сохранения. Работа	27
4 Задания для 10 класса.....	31
4.1 Задание 1.....	31
4.2 Задание 2.....	34
4.3 Задание 3.....	38
4.4 Задание 4.....	42
4.5 Задание 5.....	46
4.6 Задание 6.....	50
5 Задания для 11 класса.....	55
5.1 Задание 1. Кинематика.....	55
5.2 Задание 2. Динамика.....	58
5.3 Задание 3. Статика. Гидростатика. Молекулярная физика и термодинамика.....	62
5.4 Задание 4. Электростатика. Постоянный электрический ток.....	65
5.5 Задание 5. Магнетизм. Колебания. Волны.....	69
5.6 Задание 6. Оптика. Современная физика.....	73
6 Типовая программа по физике для поступающих в ВУЗы.....	76
6.1 Стандарт среднего (полного) общего образования по физике (утвержден приказом Минобробразования РФ от 05.03.2004 № 1089 «Об утверждении федерального компонента государственных образовательных стандартов начального общего, основного общего и среднего (полного) общего образования»).....	76
6.2 Обязательный минимум содержания основной образовательной программы по физике.....	77
6.3 Требования к уровню подготовки выпускников.....	79
7 Примерные варианты тестов ЕГЭ по физике с ответами и решениями.....	80
8 Таблица ответов для части 1.....	142
9 Примеры решения задач.....	143
10 Литература, рекомендуемая для изучения физики.....	193
Приложение А.....	194
Приложение Б.....	194
Приложение В.....	196
Приложение Г.....	196

1 Введение

Уважаемые учащиеся ЗФТШ ОГУ!

Вам предстоит выполнить задания по физике, и мы надеемся, что Вы успешно справитесь с этой нелегкой задачей. Перед началом работы Вам следует внимательно изучить изложенные ниже правила и руководствоваться ими при выполнении заданий.

Программа по физике для каждого класса состоит из 6 заданий, посвященных отдельным темам школьного курса физики. Каждое задание состоит из 25 задач, входящих в несколько разделов. Каждый раздел содержит задачи, близкие по своей тематике, но имеющие различный уровень сложности, который указан в скобках после номера задачи.

П р и м е р. Номер 2.11(3) задания для 9 класса имеет 11-я задача 2-го задания, 3-го уровня сложности.

Первый уровень сложности имеют наиболее простые задачи. С усложнением номер уровня повышается, но даже для задач максимального 5-го уровня сложности решение не требует знаний, выходящих за рамки школьного курса физики.

При выполнении задания Вы должны самостоятельно выбрать **ровно 10 задач**, решения которых будут Вами высланы в ЗФТШ.

Правила отбора задач проще всего понять на конкретном примере.

П р и м е р. Задание 1 для 9 класса.

Задание содержит 5 разделов:

Раздел А (1) – 4 задачи

Раздел В (2) – 5 задач

Раздел С (1) – 4 задачи

Раздел D (1) – 4 задачи

Раздел Е (2) – 8 задач

Цифра в скобках указывает на количество задач, которые Вы **обязательно** должны решить в этом разделе.

Номера нескольких задач подчеркнуты:

1.2 (2) – раздел А

1.5 (2) – раздел В

1.10 (1) – раздел С

1.14 (2) – раздел D

1.20 (2) – раздел Е

Эти задачи **желательно** решить. Если не удастся решить эти задачи, замените их другими задачами Задания.

Таким образом, учащимся 9 класса предлагается решить:

Из Раздела А задачу 1.2;

Из Раздела В задачу 1.5 и одну задачу по Вашему выбору;

Из Раздела С задачу 1.10;

Из Раздела D задачу 1.14;

Из Раздела Е задачу 1.20 и одну задачу по Вашему выбору.

Итак, Вы уже имеете список из 7 задач, оставшиеся 3 вакансии Вы можете заполнить задачами из любых разделов по своему желанию.

При выборе задач для решения мы советуем руководствоваться Вашим уровнем подготовки и целями, которые Вы ставите перед собой: научиться решать задачи, подготовиться к выпускным экзаменам в школе и к ЕГЭ, к вступительным экзаменам в вуз и т.п. Одним из условий успешного образования является непрерывное, но постепенное овладение новыми знаниями и методами решения задач. Поэтому не стоит выбирать для решения задачи, которые кажутся Вам либо очень легкими, либо очень сложными. По мере углубления Вашего понимания физики старайтесь увеличивать уровень сложности задач.

В н и м а н и е! *Оценка Вашей работы не зависит от уровня сложности задач.*

Обязательные требования:

1. Число высылаемых на проверку задач в задании не должно быть **меньше 10**. В противном случае нам будет трудно оценить Вашу работу, и в любом случае оценка будет снижена. Не бойтесь высылать решения, в которых Вы не уверены. Один из наилучших методов обучения – анализ собственных ошибок.

2. Число высылаемых на проверку задач в задании не должно быть **больше 10**. В Вашей работе будут проверены и оценены **только 10 задач**, которые в этом случае преподаватель выберет сам.

3. При оформлении решений не забывайте:

- нумеровать задачи и страницы листов с решениями;
- записывать полный ответ;
- условия задач приводить в краткой общепринятой форме;
- подробно пояснять введенные Вами обозначения физических величин в тексте решения и на рисунках.

Будем благодарны читателям за любые отзывы и замечания.

Желаем успехов!

2 Рекомендации по выполнению заданий. Характерные ошибки

Методы и приемы решения задач весьма разнообразны, однако при решении задач целесообразно руководствоваться следующими основными правилами:

- разобраться в условии задачи;
- если позволяет характер задачи, обязательно сделать чертеж или схематический рисунок;
- представить физическое явление или процесс, о котором говорится в условии. Выяснить, какие теоретические положения связаны с рассматриваемой задачей в целом и с ее отдельными элементами; какие физические законы и их следствия можно применять для решения; какие физические модели и идеализации использованы в условии, а какие могут быть применены при решении;
- отобрать законы, их следствия, соотношения, с помощью которых можно описать физическую ситуацию задачи. Выявить причинно-следственные связи между заданными и неизвестными величинами, установить математическую связь между ними;
- на основании отобранных законов и их следствий записать уравнение (систему уравнений), выражающее условие задачи. Векторные уравнения записать в проекциях на оси координат;
- преобразовать (решить) составленные уравнения так, чтобы искомая величина была выражена через заданные и табличные данные в аналитическом виде, т.е. получить расчетную формулу в общем виде (в буквенных обозначениях). Проводить промежуточные численные расчеты нецелесообразно. Эти расчеты, как правило, являются излишними, так как часто окончательное выражение для искомой физической величины имеет простой вид. Следует также иметь в виду, что при промежуточных расчетах увеличивается вероятность допустить ошибку;
- получив ответ в аналитическом виде, проверить полученное решение с помощью анализа размерностей. Неверная размерность однозначно указывает на допущенную при решении ошибку;
- подставить числовые значения в определенной системе единиц (предпочтительнее использовать Международную систему единиц - СИ) и провести вычисления. Получив численное значение искомой величины, обязательно указывайте ее размерность;
- оценить правдоподобность ответа, продумать, разумным ли получилось численное значение искомой величины (так, скорость тела не может быть больше скорости света в вакууме, дальность полета камня, брошенного человеком, не может быть порядка 1 км и т.д.).

Наш опыт работы с учащимися показывает, что наибольшие затруднения при решении задач вызывают следующие разделы школьного курса физики:

- графики зависимости кинематических величин от времени при равномерном и равнопеременном движении;
- нахождение всех сил, действующих на тело в конкретных условиях. Принцип суперпозиции сил;
- рациональный выбор системы координат, обеспечивающей наиболее простой вид системы уравнений, приводящей к решению задачи;
- насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха;
- закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца;
- вынужденные электрические колебания. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления. Резонанс в электрической цепи;
- закон радиоактивного распада.

Часто допускаемые ошибки:

- не учитывают влияние начальных условий на характер движения тел;
- при анализе движения в произвольном направлении не пользуются принципом независимого сложения движений, т.е. не рассматривают движение проекций исследуемого тела на взаимно ортогональные направления;
- при решении динамических задач не учитывают разное воздействие сил трения покоя и сил трения скольжения на характер движения тел;
- не учитывают векторный характер законов Ньютона;
- бывают затруднения при определении веса, состояния невесомости, потенциальной энергии;
- встречаются ошибки в определении направления полного ускорения и равнодействующей силы при равнопеременном движении тела по окружности;
- не учитывают, что применение законов сохранения в некоторых задачах по динамике упрощает ход решения;
- забывают основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа;
- встречаются затруднения при применении первого закона термодинамики к изопроцессам;
- при расчете цепей, содержащих электродвигатель, не учитывают ЭДС индукции, возникающую при вращении якоря электромотора;
- совершают ошибки при определении хода лучей в призмах и тонких линзах из-за неумелого применения, соответственно, законов преломления и формулы тонкой линзы;
- неспособность решать задачи, требующие комбинированного использования знаний по нескольким разделам;
- некоторые учащиеся путают формулы для нахождения сопротивления участка цепи постоянного тока при последовательном и параллельном соединении резисторов с формулами для определения емкости батареи конденсаторов при их параллельном и последовательном соединении.

В любом деле самое трудное – начало. Многие неудачи объясняются тем, что начинают решать наугад, на "авось". Следует потратить несколько минут

на тщательный анализ особенностей условия задачи и ее цели. Это поможет выбрать правильное направление поиска решения. Приняв же бездумно шаблонный путь, можно рисковать увеличить объем ненужной работы и шансы появления ошибок.

Хороший чертеж часто помогает в формировании идеи решения. Чертеж должен быть достаточно крупным, чтобы не было риска запутаться в наложении линий. Нужно избегать частных случаев, например, прямоугольный или равнобедренный треугольник и т.п., так как они могут направить мысль по ошибочному пути.

Изучив условие, не следует заострять внимание на искомой величине и пытаться сразу ее найти. Только план решения позволяет записать условие с помощью уравнений и свести, таким образом, задачу от физической к математической.

Довольно часто даже знание физических законов учащимися не позволяет им завершить решение заданий из-за незнания, например, таких понятий элементарной математики, как:

- решение квадратных уравнений;
- площади (объемы) простейших фигур (тел);
- таблица умножения;
- теорема синусов и косинусов;
- преобразование алгебраических выражений, в том числе арифметические операции с дробями и степенными функциями;
- операции с векторами;
- логарифмирование и потенцирование простейших арифметических выражений;
- десятичные приставки к названиям единиц;
- беспомощность при работе с электронными калькуляторами.

Некоторые замечания об особенностях изучения физики в 9-ом классе.

Весь курс посвящен механике – науке, изучающей движение тел. Механика – основной раздел физики и без ясного понимания ее законов и методов практически невозможно понимание других разделов физики, изучаемых в 10-м и 11-м классах.

Некоторые разделы механики уже изучались в 7-м классе, и теперь эти знания, безусловно, пригодятся Вам. Однако нет ничего страшного, если Вы что-то забыли – фактически в 9-ом классе механика изучается с самого начала. Однако такая благоприятная ситуация, к сожалению, для забывчивых учащихся больше не повторится. В старших классах повторно изучаются только механические колебания – тема, в которой основные формулы и соотношения не могут быть получены без помощи дифференциального исчисления. По этой же причине эта тема не представлена и в настоящем пособии.

Отметим также, что практически все задачи по механике, предлагаемые на вступительных экзаменах в вузы и ЕГЭ соответствуют программе обучения в 9-ом классе. Только для решения ограниченного круга задач требуется привлечение сложных математических методов.

3 Задания для 9 класса

3.1 Задание 1. Кинематика I. Движение с постоянной скоростью

Раздел А (1). Векторы

1.1(1). Тело переместилось из точки с координатами $x_1=100$ см, $y_1=51$ см в точку с координатами $x_2=98$ см, $y_2=49$ см. Определите величину вектора перемещения и угол, который составляет этот вектор с осью Ox .

1.2(2). Радиус-векторы $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$ составляют с осью Ox соответственно углы $\alpha=30^\circ$ и $\beta=135^\circ$ (рисунок 1.1). Величина первого вектора равна $|\vec{r}_1|=2$ м, второго – $|\vec{r}_2|=1$ м. Определите проекции на оси Ox и Oy вектора суммы $\vec{R}=\vec{r}_1+\vec{r}_2$.

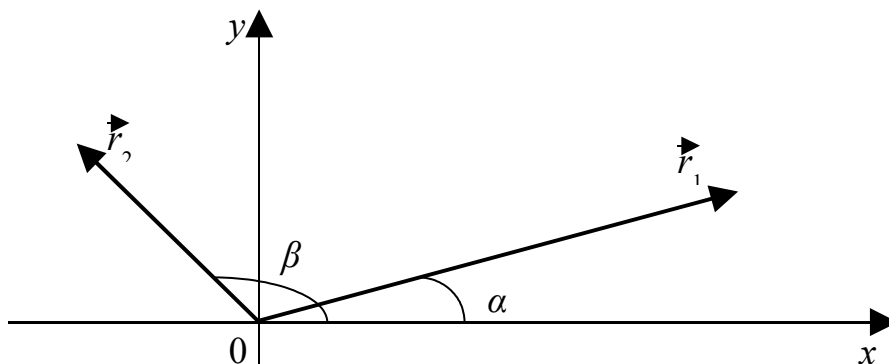


Рисунок 1.1

1.3(3). Вектор скорости $\vec{v}$ имеет следующие проекции на координатные оси $|\vec{v}_x|=3$ м/с и $|\vec{v}_y|=-4$ м/с. Величина вектора $\vec{v}_1$ в $n=2$ раза больше величины $\vec{v}$. Определите проекции вектора $\vec{v}_1$ на координатные оси для случая, когда величина вектора разности $\vec{u}=\vec{v}_1-\vec{v}$ принимает минимально возможное значение.

1.4(2). Лодка движется под углом $\alpha=60^\circ$ к берегу со скоростью $v_1=2,0$ м/с. Скорость течения реки $v_2=0,5$ м/с. Определите скорость движения лодки относительно воды.

Раздел В (2). Равномерное прямолинейное движение

1.5(2). Материальная точка движется равномерно и прямолинейно параллельно относительно оси Ox . Направления скорости и оси Ox противоположны. Величина скорости равна $v=2$ м/с. В момент времени $t=1$ с проекция радиус-вектора на ось Oy равна 2 м, в момент времени $t=2$ с проекция радиус-вектора на ось Ox равна 1 м. Составьте уравнения движения для проекций на оси Ox и Oy .

1.6(2). Два велосипедиста едут навстречу друг другу со скоростями $v_1=18$ км/ч и $v_2=27$ км/ч. В начальный момент времени расстояние между велосипедистами $L=500$ м. Выберем ось Ox так, чтобы ее направление совпадало с направлением вектора $\vec{v}_1$, а начало отсчета совпадало с положением второго велосипедиста при $t=0$. Составьте уравнение движения велосипедистов.

1.7(1). Поезд длиной $L=180$ м движется по мосту с постоянной скоростью $v=36$ км/ч. Определите время движения поезда по мосту, если длина моста $S=450$ м.

1.8(3). Человек, идущий с постоянной по величине и направлению скоростью $v=4$ км/ч, проходит под фонарем, висящим на высоте $H=5$ м над дорогой. Определите скорость перемещения по дороге края тени от головы человека, если его рост $h=1,8$ м.

1.9(4). Регулярно в определенное время за инженером приезжает заводская машина, которая доставляет его на место работы. Однажды инженер вышел из дома на 1 час раньше обычного и, не дожидаясь машины, пошел на работу пешком. По дороге он встретил автомашину и приехал на завод на 10 мин раньше обычного. Сколько времени шел инженер пешком до встречи с автомашиной? Решить задачу графически, предполагая, что дом инженера и завод находятся на прямолинейном участке шоссе.

Раздел С (1). Путь и перемещение

1.10(1). Мяч упал с высоты $H=2$ м, отскочил от пола и был пойман на высоте $h=1$ м. Определите отношение пути мяча к величине его перемещения.

1.11(3). Два автомобиля выехали одновременно из пунктов A и B навстречу друг другу с различными скоростями. Через время $t=1$ ч они встретились и, не останавливаясь, продолжили движение. Прибыв соответственно в пункты B и A автомобили сразу же повернули назад. Определите, через какое время после начала движения автомобили встретились вновь.

1.12(3). Грибник ходит по лесу, придерживаясь следующего плана. Первую четверть каждого часа он идет строго на север, вторую – на восток, третью – на юг и, наконец, четвертую – на запад. В начальный момент времени скорость грибника $v_0=4$ км/ч. Через каждые полчаса скорость уменьшается на $\Delta v=0,2$ км/ч, но в остальное время величина скорости остается постоянной. Определите путь грибника и величину вектора перемещения через $t=3$ ч после начала движения.

1.13(4). Около вертикальной стены стоят два мальчика на расстояниях L_1 и L_2 от нее и на расстоянии S друг от друга (рисунок 1.2). Один из мальчиков громко произносит слово. Определите время, за которое он должен произнести это слово, чтобы второй мальчик услышал его конец, совпадающий с началом эха. Скорость звука в воздухе равна v .

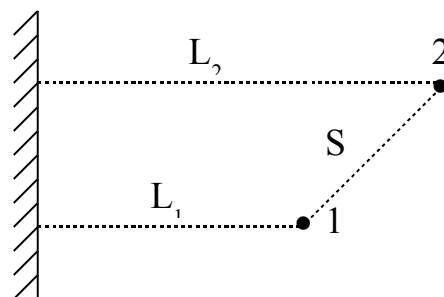


Рисунок 1.2

Раздел D (1). Средняя скорость

1.14(2). Автомобиль выехал из города A в город B , расстояние между которыми $S=100$ км. Автомобиль начал движение со скоростью $v_1=80$ км/ч, однако на середине пути заглох мотор. Ремонт занял время $t=15$ мин, после чего автомобиль продолжил движение со скоростью $v_2=100$ км/ч. Определите среднюю скорость автомобиля на всем пути.

1.15(1). Поезд проехал первую половину пути со скоростью $v=80$ км/ч, а вторую – в $n=2$ раза медленнее. Определите среднюю скорость поезда на всем участке.

1.16(2). Поезд первую половину пути шел со скоростью в $n=2$ раза большей, чем вторую половину. Средняя скорость движения на всем пути равна v . Определите скорости поезда на каждой половине пути.

1.17(2). Первую треть пути поезд прошел со скоростью 60 км/час. Средняя скорость на всем пути оказалась равной 40 км/час. С какой скоростью поезд прошел оставшуюся часть пути?

Раздел E (2). Относительное движение

1.18(1). У окна поезда, идущего со скоростью $v=90$ км/ч, сидит пассажир. В течение времени $t=10$ с он видит встречный поезд, длина которого $L=500$ м. Определите скорость встречного поезда.

1.19(2). При горизонтальном ветре, имеющем скорость $v_1=10$ м/с, капли дождя падают под углом $\alpha=30^\circ$ к вертикали. Определите величину горизонтальной скорости v_2 ветра, при которой капли будут падать под углом $\beta=45^\circ$ к вертикали.

1.20(3). Поселки A и B расположены на одном берегу по течению реки. Катер затрачивает на путь из A в B время $t_1=1$ ч, а плот – $t=5$ ч. Определите время t_2 , которое затратит катер на обратный путь из поселка B в поселок A .

1.21(3). Пловец переплывает реку шириной $L=50$ м по прямой, перпендикулярной берегу, за время $t=2$ мин. Определите скорость течения реки, если величина скорости пловца относительно воды в $n=2$ раза больше скорости течения.

1.22(2). Два катера с различными скоростями ($v_1 > v_2$) плыли по течению реки. Когда они поравнялись, с одного из них бросили в воду спасательный круг. Через некоторое время после этого оба катера одновременно повернули обратно. Определите, какой из катеров встретит круг раньше. Величины скоростей катеров относительно воды оставались постоянными все время движения.

1.23(3). Спортсмены бегут друг за другом с одинаковой скоростью $v=15$ км/ч. Длина колонны $L=15$ м. Навстречу спортсменам бежит тренер со скоростью $u=12$ км/ч. Каждый спортсмен, поравнявшись с тренером, поворачи-

вает и бежит назад с той же скоростью v . Определите длину колонны после разворота всех бегунов.

1.24(3). Две пересекающиеся под прямым углом прямые движутся поступательно со скоростями $v_1=3$ м/с и $v_2=4$ м/с. Скорости направлены по нормали (перпендикулярам) к соответствующим прямым. Определите скорость точки пересечения этих прямых.

1.25(4). Приборы, установленные на берегу, показывают, что ветер дует с юго-запада, а величина скорости ветра $v=5$ м/с. Что покажут аналогичные приборы, установленные на корабле, плывущем на запад со скоростью $u=36$ км/час?

3.2 Задание 2. Кинематика II. Ускоренное прямолинейное движение

Раздел А (2). Уравнение движения с постоянным ускорением

2.1(2). Зависимость скорости материальной точки от времени описывается формулой:

$$v_x = 5 - 2t,$$

v_x выражено в м/с; t – в секундах.

Найдите уравнение движения материальной точки, если в начальный момент времени ($t=0$) она имела координату $x_0=2$ м.

2.2(2). Движение двух материальных точек вдоль оси Ox описывается следующими уравнениями:

$$x_1 = 4 - 3t + 2t^2,$$

$$x_2 = 2 + 5t - t^2,$$

где x выражено в метрах; t – в секундах.

Определите скорость ($v_{2x}-v_{1x}$) и ускорение ($a_{2x}-a_{1x}$) относительного движения.

2.3(1). Два велосипедиста движутся навстречу друг другу. Величина скорости первого велосипедиста увеличивается, а второго – уменьшается. Различаются ли направления ускорений велосипедистов относительно дороги.

2.4(3). Ленту фильма пустили в обратном направлении – с конца к началу. Определите, как изменятся на экране скорости и ускорения движущихся объектов.

2.5(4). Два тела начинают одновременно двигаться по прямой навстречу друг другу с начальными скоростями, равными $v_{01}=8$ м/с и $v_{02}=10$ м/с, и с постоянными ускорениями $a_1=1$ м/с² и $a_2=0,5$ м/с² и направленными противоположно соответствующим начальным скоростям. Определите, при каком максимальном начальном расстоянии между телами они встретятся в процессе движения.

Раздел В (2). Прямолинейное равноускоренное движение

2.6(2). На некотором отрезке пути скорость тела увеличилась с 12 см/с до 13 см/с. Зная, что движение равноускоренное, определите, на сколько возрастет скорость тела после того, как будет пройден следующий участок такой же длины?

2.7(2). Тело начало двигаться равноускоренно из состояния покоя. Пройдя некоторый путь, тело приобрело скорость $v=10$ м/с. Определите скорость тела, когда оно пройдет вдвое больший путь (с начала движения).

2.8(3). Два спортсмена бегут одинаковое время. Один бежит первую половину времени с ускорением a , вторую – с ускорением вдвое большим – $2a$. Другой спортсмен первую половину времени бежит с ускорением $2a$, вторую – с ускорением a . Определить отношение расстояний пройденных спортсменами. Кто из них пробежит большее расстояние?

2.9(4). Тело, имея начальную скорость $v_0=5$ м/с, прошло за пятую секунду путь $S_1=4,5$ м. Определите ускорение a и путь S , пройденный телом за время $t=10$ с.

2.10(3). Когда опоздавший пассажир вбежал на платформу, мимо него за время t_1 прошел предпоследний вагон. Последний вагон прошел мимо пассажира за время t_2 . Определите время, на которое опоздал пассажир к отходу поезда, если он вбежал на платформу в месте стоянки начала поезда. Поезд движется равноускоренно, длина вагонов одинакова.

2.11(3). Пассажир первого вагона поезда длины L прогуливался по перрону. Когда он был рядом с последним вагоном, поезд начал двигаться с ускорением a . Пассажир сразу же побежал со скоростью v . Через какое время t он догонит свой вагон?

2.12(3). Тело начинает прямолинейно двигаться из состояния покоя с постоянным ускорением. Спустя время t_0 после начала движения направление ускорения меняется на противоположное, оставаясь неизменным по величине. Определите, через какое время после начала движения тело вернется в исходное положение.

Раздел С (1). Прямолинейное движение с ускорением свободного падения

2.13(1). Тело, брошенное вертикально вверх с поверхности земли, упало через время $t=5$ с. Определите начальную скорость тела.

2.14(3). Жонглер бросил вертикально вверх шарик. Когда шарик достиг верхней точки своего пути, был брошен второй шарик с той же начальной скоростью. На какой высоте встретятся шарики, если высота бросания их 4,9 м.

2.15(2). Свободно падая с некоторой высоты, тяжелый шарик на половине пути пробил стеклянную пластинку и потерял половину своей скорости. Во сколько раз уменьшится скорость падения?

2.16(4). С крыши дома высотой $h=20$ м через одинаковые промежутки времени падают капли воды. Первая капля ударяется о землю в тот момент, когда от края крыши отделяется шестая капля. Определите расстояние между третьей

и четвертой каплями в момент удара первой капли о землю. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Раздел D (2). Путь и средняя скорость при равноускоренном движении

2.17(2). Автомобиль начал движение с места, разгоняясь равноускоренно, и через некоторое время достиг скорости $v=72$ км/ч. После этого мотор был выключен и автомобиль двигался равнозамедленно до полной остановки. Определите среднюю скорость автомобиля на всем пройденном пути.

2.18(3). Автомобиль, двигаясь равноускоренно, прошел два смежных участка пути по 100 м каждый за 5 с и 3,5 с. Определить ускорение и среднюю скорость автомобиля на каждом участке пути и на двух участках вместе.

2.19(3). Кабина лифта поднимается в течение первых 4 с равноускоренно, достигая скорости 4 м/с. С этой скоростью кабина движется в течение 8 с, а последние 3 с она движется равнозамедленно. Определить перемещение кабины лифта. Построить графики скорости, перемещения и ускорения.

2.20(2). С балкона, находящегося на высоте $h=4$ м над поверхностью земли, бросили вертикально вверх мяч со скоростью $v_0=8$ м/с. Определите средние скорости мяча: 1) за время подъема до наивысшей точки траектории; 2) за время падения из этой точки на землю; 3) в течение всего времени полета.

2.21(3). Свободно падающее тело в последнюю секунду своего движения проходит $n=2/3$ часть всего пути. Определите время падения и высоту, с которой тело падало без начальной скорости.

Раздел E (0). Разные задачи

2.22(2). Камень брошен в ущелье без начальной скорости. Определите глубину ущелья, если удар камня о дно был слышен наверху через $t=12$ с после броска. Скорость звука равна $v=340$ м/с.

2.23(3). Прямо из-под Ваших ног стартовала летающая тарелка. Оpoznанный летающий объект движется прямолинейно с ускорением $a=10$ м/с². Определите время, в течение которого обитатели тарелки будут слышать Ваш крик. Скорость звука равна $v=340$ м/с.

2.24(5). Линейка длиной $L=30$ см висит на высоте h над горизонтально направленным лучом лазера (рис.2.1). В некоторый момент времени линейку отпускают. Определите величину h , если падающая линейка перекрыла луч лазера в течение промежутка времени $\tau=0,6$ с.

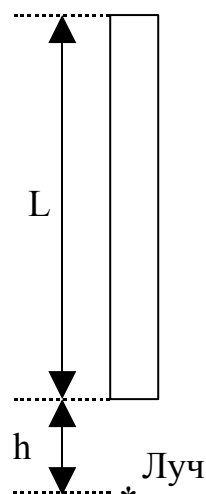


Рисунок 2.1

2.25(1). На корте к звезде тенниса подошел маленький мальчик и спросил, не может ли тот продемонстрировать удар, после которого мяч, пролетев некоторое расстояние, остановится и начнет двигаться в обратном направлении, при этом мяч не должен стукнуться о какое-либо препятствие. Несмотря на все свое

умение, теннисист был вынужден признать свое поражение, после чего мальчик показал, как решается задача. Попробуйте повторить этот ответ.

3.3 Задание 3. Кинематика III. Криволинейное движение

Раздел А (3). Криволинейное движение с ускорением свободного падения

3.1(2). С башни высотой $h=10$ м бросают горизонтально мяч со скоростью $v=10$ м/с. Определите величину вектора перемещения мяча в момент падения на землю.

3.2(1). Тело брошено под углом $\alpha=60^\circ$ к горизонту с начальной скоростью $v_0=20$ м/с. На какой высоте вертикальная проекция скорости равна горизонтальной?

3.3(2). Тело брошено под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту со скоростью $v=14,1$ м/с. Определите угол, который образует вектор скорости с горизонтом, через время $t=1,58$ с после начала движения. Значение ускорения свободного падения равно $g=10$ м/с².

3.4(3). Тело, брошенное с поверхности Земли под углом $\alpha=45^\circ$, побывало на высоте $h=10$ м дважды с промежутком времени $\tau=2$ с. Определите величину начальной скорости тела.

3.5(4). Из миномета ведут обстрел объекта, расположенного на склоне горы. На каком расстоянии L будут падать мины, если начальная скорость их v_0 , угол наклона горы α , угол стрельбы β по отношению к горизонту?

3.6(3). Футболист бьет по мячу, лежащему на поле, на расстоянии $L=11$ м от ворот. Начальная скорость мяча направлена под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту. Определите величину начальной скорости мяча, при которой он попадет в перекладину ворот, расположенную на высоте $h=2,7$ м. Линейными размерами мяча и перекладины можно пренебречь.

3.7(4). С вершины наклонной плоскости бросают горизонтально некоторое тело со скоростью $v_0=10$ м/с. Определите расстояние между точкой бросания и местом падения тела на плоскость, если она составляет с горизонтом угол $\alpha=45^\circ$.

Раздел В (1). Совместное движение тел

3.8(2). С вершины башни бросают одновременно два тела: первое – вертикально вверх со скоростью $v_0=10$ м/с, второе – горизонтально со скоростью $u_0=7,5$ м/с. Определите расстояние между телами через время $\tau=1,2$ с после броска.

3.9(2). Тело, падающее с вершины башни, пролетело расстояние $h=4$ м, когда второе тело начало падать из точки, расположенной на расстоянии

$L=12$ м ниже вершины башни. Определите высоту башни, если известно, что оба тела достигают поверхности земли одновременно.

3.10(4). С вершины башни высотой $h=24$ м брошено горизонтально тело со скоростью $v_0=12$ м/с. Одновременно второе тело брошено с поверхности земли вертикально вверх со скоростью $u_0=10$ м/с. Определите при каком расстоянии на поверхности Земли между местом броска второго тела и основанием башни, тела могут столкнуться.

3.11(4). Утка летела параллельно поверхности земли с постоянной скоростью $\vec{u}$. В нее бросил камень неопытный охотник, причем бросок был сделан без упреждения, т.е. в момент броска скорость камня $\vec{v}$ была направлена как раз на утку под углом α к горизонту (рисунок 3.1). На какой высоте h летела утка, если камень все же попал в нее? Сопротивлением воздуха, размерами утки и ростом охотника пренебречь. Траектории утки и камня лежат в одной плоскости.

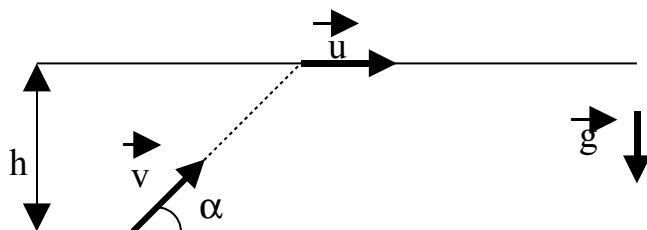


Рисунок 3.1

Раздел С (3). Равномерное движение по окружности

3.12(1). Стержень длиной $L=0,8$ м вращается с угловой скоростью $\omega=8$ рад/с вокруг оси, проходящей через стержень и перпендикулярной к нему. Один из концов стержня движется с линейной скоростью $v=2$ м/с. Определите линейную скорость другого конца стержня.

3.13(2). Материальная точка равномерно вращается по окружности со скоростью $v=20$ м/с. Определите величину изменения скорости материальной точки за три четверти периода вращения.

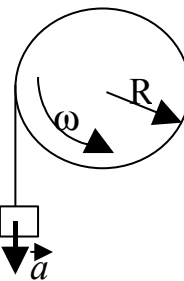


Рисунок 3.2

3.14(3). Горизонтально закрепленный цилиндр, радиус которого $R=0,25$ м, приводится во вращение грузом, подвешенным на нерастяжимой нити, постепенно сматывающейся с цилиндра (рисунок 3.2). В начальный момент времени груз был неподвижен, а затем стал опускаться с ускорением $a=2$ м/с². Определите угловую скорость цилиндра в момент времени, когда груз пройдет путь $S=1,2$ м. Проскальзывание нити относительно поверхности цилиндра отсутствует.

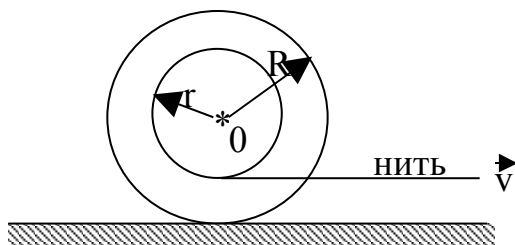


Рисунок 3.3

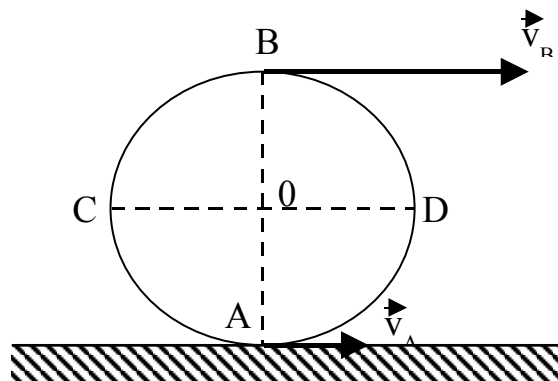


Рисунок 3.4

3.15(3). Катушка с намотанной на нее нерастяжимой нитью может катиться по горизонтальной поверхности без скольжения (рисунок 3.3). Нить начали тянуть в горизонтальном направлении со скоростью v . Определите скорость, с которой будет перемещаться ось катушки (точка O). Внешний радиус катушки – R , внутренний – r . Толщиной нити можно пренебречь.

3.16(4). Плоский диск движется по горизонтальной поверхности (рисунок 3.4). Скорости верхней (B) и нижней (A) точек диска равны, соответственно, v_B и v_A . Определите величины скоростей точек C и D , лежащих на диаметре CD , перпендикулярном диаметру BA .

3.17(2). Диаметр задних колес старинного автомобиля в $n=1,5$ раза больше диаметра передних. Определите отношение угловых скоростей вращения колес при равномерном движении автомобиля.

3.18(3). Часы отстают в течение суток на 5 минут. Определите отношение линейных скоростей концов стрелок, если длина минутной стрелки (от оси вращения) в $n=2$ раза больше длины часовой стрелки.

Раздел D (2). Тангенциальная и нормальная составляющие ускорения

3.19(2). Материальная точка равномерно вращается по окружности. Период вращения равен $T=4$ с. Определите значение отношения величин двух векторов $\frac{|\vec{a}_{12}|}{|\vec{a}_1|}$, где $\vec{a}_{12} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$; $\vec{a}_1$ – ускорение точки при $t_1=0$ с; $\vec{a}_2$ – ускорение точки при $t_2=5$ с.

3.20(2). Две материальные точки равномерно движутся по окружностям, отношение радиусов которых равно $n=3$. Определите отношение периодов обращения этих точек, если их ускорения равны по величине.

3.21(3). Автомобиль движется со скоростью $v=108$ км/ч. Определите нормальное (центростремительное) ускорение верхних точек колес, если их диаметр $d=0,8$ м. Скольжения автомобиля по дороге не происходит.

3.22(3). Поезд движется по закругленному участку пути со скоростью $v=108$ км/ч. Путь представляет собой дугу окружности радиусом $R=0,2$ км. У пассажира, находящегося в одном из вагонов, выпал из рук бутерброд. Определите ускорение бутерброда относительно вагона. Сопротивлением воздуха и отчаянием пассажира пренебречь.

3.23(4). Автомобиль, двигаясь со скоростью $v_0=100$ км/ч, выехал на участок трассы, представляющий собой окружность радиуса $R=1$ км. На этом участке скорость автомобиля равномерно уменьшалась до тех пор, пока он не остановился. Определите величину ускорения автомобиля на середине пути по окружности, если он сделал ровно один оборот по трассе.

3.24(2). В некоторый момент времени скорость тела, брошенного под некоторым углом к горизонту, образует угол $\alpha=-60^\circ$ с горизонтом. Определите величины тангенциального и нормального ускорения в этот момент.

3.25(3). Тело брошено под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту со скоростью $v_0=10$ м/с. Определите радиус кривизны траектории в наивысшей точке подъема.

3.4 Задание 4. Динамика I. Силы в механике

Раздел А (2). Векторная природа сил

4.1(1). На тело массой $m=0,4$ кг действуют только две силы, равные соответственно $F_1=3$ Н и $F_2=4$ Н. Силы направлены под углом $\alpha=90^\circ$ друг к другу. Определите величину ускорения тела.

4.2(3). Определите, может ли равнодействующая трех равных по величине сил, приложенных в одной точке, быть равной нулю. Если это, возможно, приведите пример.

4.3(2). Величины трех сил, приложенных к одной точке и лежащих в одной плоскости, равны соответственно $F_1=2$ Н, $F_2=3$ Н, $F_3=7$ Н. Определите минимальное значение, которое может принимать равнодействующая этих трех сил. Как в этом случае направлены векторы $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ относительно друг друга.

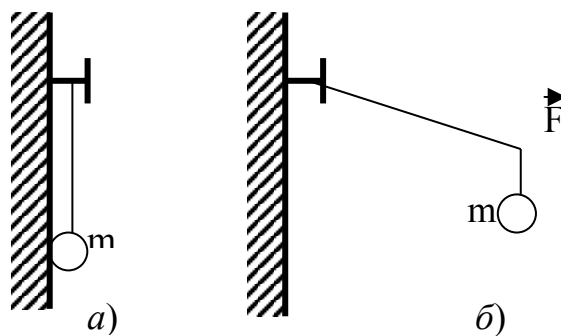


Рисунок 4.1

4.4(3). Тело массой $m=5$ кг привязано за веревку к гвоздю, вбитому в стену (рисунок 4.1, а). К середине веревки приложили горизонтально направленную силу $\vec{F}$, что привело к отклонению тела от стенки (рисунок 4.1, б). Определите величину силы, при которой натяжение нижней половины веревки вдвое меньше натяжения верхней. Массой и растяжением веревки можно пренебречь.

Раздел В (2). Силы упругости

4.5(1). Груз массой $m=800$ кг поднимают вертикально с помощью троса, прочность которого на разрыв равна $T=20\ 000$ Н. Определите максимальное ускорение, с которым можно поднимать этот груз.

4.6(2). Для подъема груза массой $m=10$ кг используются неподвижный блок и нерастяжимый трос (рисунок 4.2). Потянув за трос с некоторой силой можно поднять груз на высоту $H_1=3$ м за время $t=5$ с. На какую величину ΔF необходимо увеличить приложенную силу, чтобы за то же время поднять груз на высоту $H_2=5$ м? Массами блока и троса можно пренебречь.

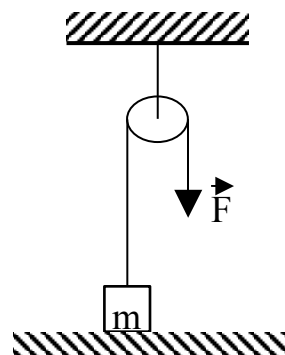


Рисунок 4.2

4.7(3). К одному концу веревки, перекинутой через неподвижный блок, подвешен груз массой $m=2$ кг. К другому концу в одном случае приложена направленная вниз сила $F=25$ Н, а в другом – подвешен второй груз. Определите массу второго груза, при которой ускорение

первого груза будет в обоих случаях одинаковым. Массой и растяжением веревки можно пренебречь.

4.8(3). Вертикально расположенная пружина соединяет два тела. Масса верхнего тела $m_1=1$ кг, нижнего – $m_2=2$ кг. Когда система подвешена за верхнее тело, длина пружины равна $L_1=10$ см. Если систему поставить на горизонтальную поверхность, длина пружины равна $L_2=5$ см. Определите длину недеформированной пружины.

4.9(3). Из $n=5$ проволок одинаковой длины $L=3,5$ м и жесткостью $k=1,2 \cdot 10^5$ Н/м сплели канат. От каната отрезали кусок $l=0,5$ м. Определите жесткость оставшейся части каната. Предположите, что свойства отдельных проволок при сплетении не изменились.

4.10(3). К тяжелому канату длиной L , лежащему на горизонтальной плоскости, приложили силу $\vec{F}$, направленную вдоль каната (рисунок 4.3). Определите натяжение каната на расстоянии x от того конца, к которому приложена сила. Трение между канатом и плоскостью отсутствует.

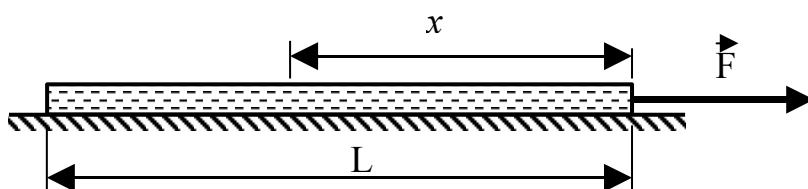


Рисунок 4.3

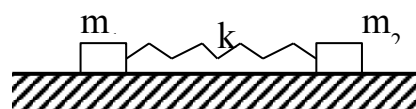


Рисунок 4.4

4.11.(3). На горизонтальной поверхности лежат два тела массами $m_1=2$ кг и $m_2=3$ кг, прикрепленные к концам пружины (рисунок 4.4). Коэффициент жесткости пружины $k=75$ Н/м. В недеформированном состоянии длина пружины равна $L=0,3$ м. Определите максимальное расстояние между телами, при котором они будут оставаться в покое. Коэффициент трения между телами и поверхностью равен $\mu=0,2$. Размерами тел по сравнению с длиной пружины можно пренебречь.

Раздел С (2). Силы трения

4.12(3). Ледяная горка представляет собой наклонную плоскость с углом α . Средняя треть длины горки посыпана песком. С вершины без начальной скорости съезжают санки. При движении санок по чистому льду трение отсутствует. Определите, при каких значениях коэффициента трения между средней частью горки и санками они смогут доехать до подножия горки.

4.13(2). Тело массы $m=2$ кг движется по горизонтальной поверхности под действием силы $F=6$ Н. Если эта сила приложена под углом $\alpha=60^\circ$ к горизонту, то тело движется равномерно. Определите ускорение, с которым будет двигаться тело, если сила будет приложена под углом $\beta=30^\circ$ к горизонту.

4.14(2). Ленточный подъемник образует угол α с горизонтом. Определите максимальное ускорение, с которым подъемник может поднимать ящик, если

коэффициент трения между ящиком и поверхностью ленты равен μ . Предположите, что лента под тяжестью ящика не прогибается.

4.15(3). Доска массой M лежит на горизонтальной плоскости (рисунок 4.5). На доске находится брусок массой m . Коэффициент трения между доской и плоскостью равен μ_1 , между доской и бруском μ_2 . Определите, при какой минимальной величине силы $\vec{F}$, приложенной к доске в горизонтальном направлении, брусок начинает скользить по доске.



Рисунок 4.5

4.16(4). На плоскости с углом наклона $\alpha=45^\circ$ находится доска массой $M=1,2$ кг и длиной $L=1,5$ м. На верхнем конце доски находится кубик массой $m=0,6$ кг (рисунок 4.6). В начальный момент времени доска и кубик удерживаются в состоянии покоя. Определите время соскальзывания кубика с доски после того, как оба тела опускают. Коэффициент трения доски о плоскость $\mu=0,7$. Трение между кубиком и доской отсутствует. Размерами кубика по сравнению с длиной доски можно пренебречь.

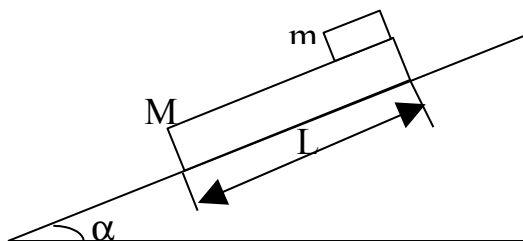


Рисунок 4.6

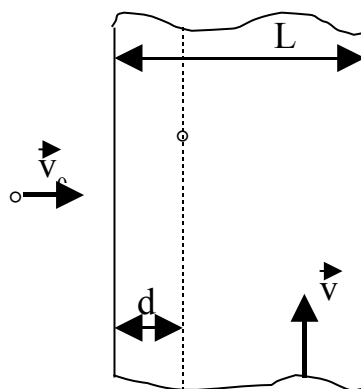


Рисунок 4.7

4.17(5). Небольшое тело, обладающее скоростью $v_0=1$ м/с, попадает на движущуюся шероховатую ленту транспортера, скорость которой $v=1,5$ м/с. Оба вектора скорости лежат в горизонтальной плоскости и взаимно перпендикулярны (рисунок 4.7). Тело останавливается на ленте транспортера на расстоянии $d=L/4$ от ближайшего края. Определите, при какой величине скорости транспортера тело остановится точно посередине ленты.

Раздел D (1). Гравитационные силы

4.18(1). Может ли спутник двигаться по орбите, плоскость которой не проходит через центр Земли? Влияние на движение спутника других космических объектов (Солнце, Луна и т.д.) пренебрежимо мало. Ответ обоснуйте, используя закон Всемирного тяготения.

4.19(2). Определите первую космическую скорость для планеты, масса которой в $k=2$ раза больше массы Земли. Радиус планеты в $n=1,5$ раза больше земного. Первая космическая скорость для Земли равна $v=7,91$ км/с.

4.20(3). Определите период обращения искусственного спутника Земли по круговой орбите, если он удален от поверхности Земли на расстояние, равное земному радиусу ($R_3=6\,370\text{ км}$).

4.21(3). Определите минимально возможный период обращения спутника вокруг планеты, плотность которой $\rho=2,8\text{ г/см}^3$. Гравитационная постоянная равна $G=6,67\cdot 10^{-11}\text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{кг}^2$.

4.22(3). Определите плотность вещества шарообразной планеты, если тела, находящиеся на ее экваторе, не имеют веса. Сутки на этой планете длятся $T=1\text{ ч }30\text{ мин}$. Гравитационная постоянная равна $G=6,67\cdot 10^{-11}\text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{кг}^2$.

Раздел Е (0). Разные задачи

4.23(3). К вертикально расположенной стальной плите прилип магнит. Для равномерного перемещения магнита вверх необходимо приложить силу $F_1=2,4\text{ Н}$, для такого же перемещения вниз – силу $F_2=1,2\text{ Н}$. Если плиту расположить горизонтально и положить сверху тот же магнит, то для равномерного перемещения необходимо приложить силу $F=2,0\text{ Н}$. Определите коэффициент трения скольжения магнита о плиту.

4.24(3). Длинный стержень массой M висит на пружине с коэффициентом жесткости k . По стержню скользит вниз шайба массой m (рисунок 4.8). Величина ускорения шайбы равна a . Определите величину растяжения пружины, если ее массой можно пренебречь.

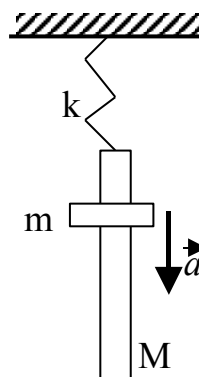


Рисунок 4.8

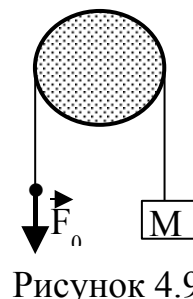


Рисунок 4.9

4.25(5). Через неподвижное горизонтально закрепленное бревно переброшена веревка. Минимальная сила, позволяющая удерживать груз массой $M=5\text{ кг}$, подвешенный на этой веревке (рисунок 4.9), равна $F_0=40\text{ Н}$. Определите величину минимальной силы F , с которой необходимо тянуть веревку, чтобы груз начал подниматься. Масса веревки пренебрежимо мала по сравнению с массой груза.

3.5 Задание 5. Динамика II. Движение тел под действием сил. Статика

Раздел А (1). Движение по наклонной плоскости

5.1(1). Определите во сколько раз сила давления тела на горизонтальную плоскость больше силы давления тела на наклонную плоскость, составляющую угол $\alpha=60^\circ$ с горизонтом.

5.2(2). Двум одинаковым телам сообщают одинаковые начальные скорости, направленные под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту. Одно тело движется свободно,

другое по гладкой наклонной плоскости (трение отсутствует, угол наклона плоскости $\alpha=45^\circ$). Определите отношение высот максимального подъема этих тел.

5.3(3). Наклонная плоскость составляет угол $\alpha=30^\circ$ с горизонтом. Некоторое тело, помещенное на плоскость, равномерно скользит вниз. Определите путь, который пройдет это тело до остановки, если ему сообщить начальную скорость $v=8$ м/с, направленную вверх вдоль плоскости.

5.4(3). Тело начинает двигаться по наклонной плоскости снизу вверх со скоростью $v=4$ м/с. Поднявшись на некоторую высоту, тело соскальзывает вниз. Определите скорость тела, когда оно вернется в исходную точку. Угол наклона плоскости к горизонтали равен $\alpha=30^\circ$. Коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0,3$.

Раздел В (2). Движение по окружности

5.5(2). Груз, висящий на невесомой нерастяжимой нити длиной $L=0,5$ м, движется по окружности в горизонтальной плоскости (рисунок 5.1). Шнур образует с вертикалью угол $\alpha=45^\circ$. Определите период вращения тела.

5.6(4). Тело массой $m=0,1$ кг вращается в вертикальной плоскости на нити длиной $L=0,5$ м. Ось вращения расположена над поверхностью земли на высоте $h=2$ м. При прохождении нижней точки траектории нить обрывается, и тело падает на землю. Расстояние между местом падения и точкой пересечения с поверхностью земли перпендикуляра, опущенного из оси вращения, равно $S=10$ м. Определите силу натяжения нити при обрыве.

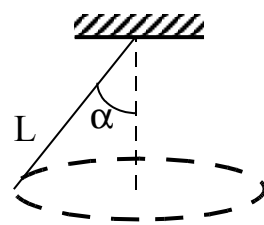


Рисунок 5.1

5.7(4). Тело массой m , прикрепленное к пружине, может без трения скользить по стержню, вращающемуся с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси (рисунок 5.2). Угол наклона стержня $\alpha=45^\circ$. Длина недеформированной пружины – L_0 , жесткость – k . Определите величину удлинения пружины при вращении системы.

5.8(3). В цирковом аттракционе мотоциклист едет по внутренней поверхности вертикального цилиндра радиуса $R=13$ м. Определите минимальную скорость, при которой мотоциклист не упадет вниз, если коэффициент трения между колесами мотоцикла и поверхностью цилиндра $\mu=0,5$. При решении рассматривайте систему "человек + мотоцикл", как материальную точку.

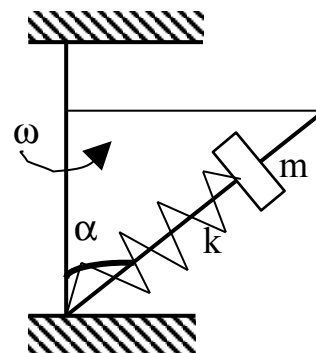


Рисунок 5.2

5.9(3). Вы ведете автомобиль, когда внезапно видите впереди на расстоянии L препятствие, которое невозможно объехать. Что в этой ситуации выгоднее: затормозить или повернуть, не меняя величины скорости. Силу трения в обоих случаях считайте одинаковой. При обосновании ответа пренебрегите размерами автомобиля.

Раздел С (2). Движение системы тел

5.10(2). На гладкой горизонтальной поверхности находятся два тела, соединенные невесомой нерастяжимой нитью. Масса левого тела $m=1$ кг, правого – $M=2$ кг. К системе прикладывают силу $F=3$ Н, направленную вдоль нити. В первом случае сила приложена к правому шару и тянет систему вправо, а во втором – к левому шару и тянет систему влево. Определите силы натяжения нити в обоих случаях.

5.11(2). Два тела массами $m_1=1,5$ кг и $m_2=2,5$ кг висят на невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый блок. Определите величину силы натяжения нити при движении грузов. Трение в блоке отсутствует.

5.12(3). Два груза с массами $m_1=m_2=0,5$ кг связаны между собой невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Грузы лежат на гладких плоскостях, расположенных под углами $\alpha=60^\circ$ и $\beta=30^\circ$ к горизонту (рисунок 5.3). Определите величины ускорений, с которыми движутся грузы.

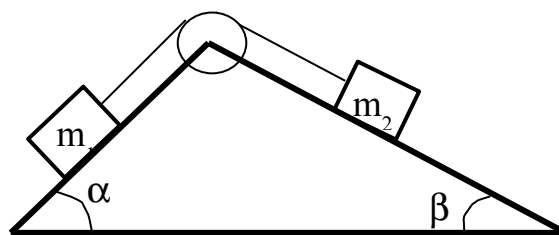


Рисунок 5.3

5.13(4). На горизонтальной поверхности выстроены в ряд слева направо $N=100$ одинаковых брусков с массами $m=0,1$ кг, связанные между собой невесомыми нерастяжимыми нитями. К крайнему правому бруску прикладывают силу величиной $F=200$ Н, направленную направо. Определите возникающую при движении силу натяжения нити между двумя крайними левыми брусками, если коэффициент трения между всеми брусками и поверхностью одинаков.

5.14(5). Стоя на льду и стараясь остаться неподвижным, человек пытается сдвинуть с места тяжелые сани за привязанную к ним веревку. Масса саней $M=200$ кг, человека $m=80$ кг. Коэффициент трения саней о лед $\mu_1=0,15$, человека – $\mu_2=0,3$. Определите минимальный угол наклона веревки к горизонту, при котором человек сможет решить свою задачу.

Раздел D (1). Разные задачи

5.15(2). Лифт разгоняется с постоянным ускорением до скорости $v=10$ м/с в течение $t=10$ с. Столько же времени занимает и остановка лифта. Определите отношение весов человека в поднимающемся лифте в начале и конце движения.

5.16(2). Самолет совершает мертвую петлю. Радиус петли $R=250$ м, масса летчика $m=80$ кг, скорость самолета $v=360$ км/ч. Определите вес летчика в верхней и нижней точках петли.

5.17(2). Два тела с разными массами ($m_1>m_2$) одновременно отпустили без начальной скорости с некоторой высоты. Сила сопротивления воздуха для обоих тел одинакова и постоянна. Определите, какое из тел упадет на землю первым. Ответ должен быть обоснован законами механики.

5.18(4). Пуля, обладающая некоторой начальной скоростью, направленной горизонтально, пробивает доску толщиной $d=3$ см и продолжает полет со скоростью в $n=0,75$ раз меньше начальной. Определите максимальную толщину доски, которую может пробить пуля, если сила сопротивления доски не зависит от скорости пули.

Раздел Е (2). Статика

5.19(2). Стержень состоит из двух соосных цилиндров, имеющих одинаковые площади поперечного сечения (рис. 5.4). Плотности материалов, из которых изготовлены цилиндры, равны соответственно ρ_1 и ρ_2 . Центр масс цилиндра находится в сечении соприкосновения (точка С). Определите отношение масс цилиндров.

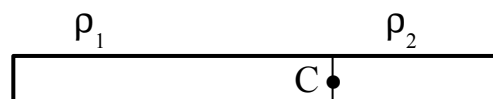


Рисунок 5.4

5.20(2). В двух вершинах равностороннего треугольника помещены шарики массой m каждый. В третьей вершине находится шарик массой $2m$. Определите положение центра масс этой системы.

5.21(3). Канат длиной L лежит на краю горизонтальной поверхности (рисунок 5.5, а). Через некоторое время канат стянули с поверхности на половину его длины (рисунок 5.5, б). Определите величину смещения центра масс каната. Толщиной каната можно пренебречь.

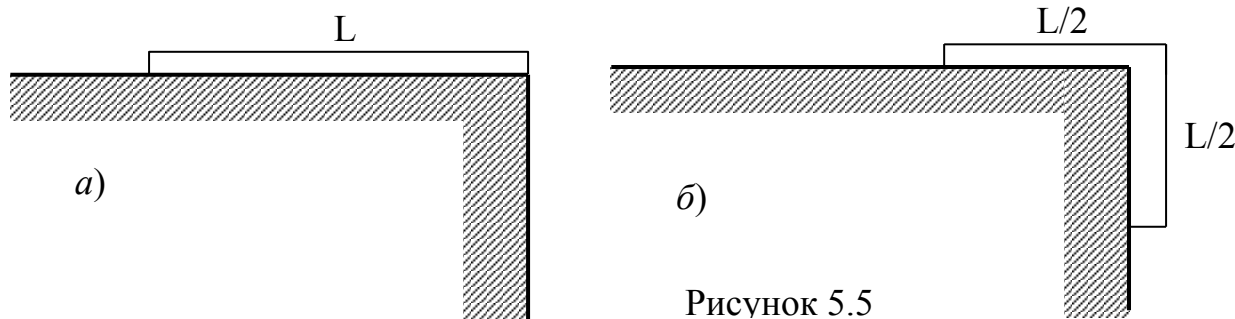


Рисунок 5.5

5.22 (4). Определите положение центра тяжести однородного диска радиуса R , в котором вырезано круглое отверстие (рисунок 5.6). Круг касается граничной окружности и имеет радиус $R/3$.

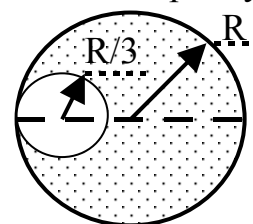


Рисунок 5.6

5.23(3). На горизонтально расположенный стержень действуют две параллельные силы, равные по величине $F_1=2$ Н и $F_2=6$ Н (рисунок 5.7). Первая сила приложена к левому концу стержня и направлена вертикально вверх, вторая - к середине и направлена вертикально вниз. Определите величину и направление силы, уравнивающей силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ а также точку приложения этой силы.

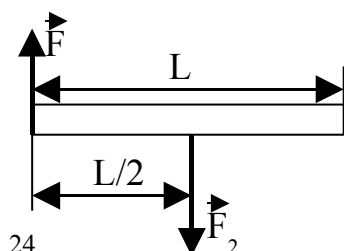


Рисунок 5.7

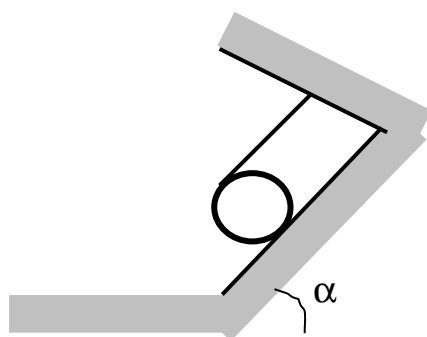


Рисунок 5.8

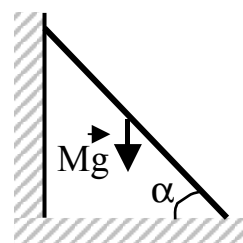


Рисунок 5.9

ком максимальном значении угла α цилиндр не будет скатываться с наклонной плоскости?

5.25(4). Лестница прислонена к стене (рисунок 5.9). При каком минимальном угле α она не упадет? Коэффициент трения между лестницей и полом - μ , трение между лестницей и стеной отсутствует. Центр тяжести лестницы находится посередине.

3.6 Задание 6. Динамика III. Законы сохранения. Работа

Раздел А (2). Закон сохранения импульса

6.1(2). Два тела, связанные между собой нитью, расположены на горизонтальной поверхности (рисунок 6.1). Между телами вставляют сжатую пружину. Нить пережигают, и тела начинают двигаться в противоположные стороны. Коэффициент трения между телами и поверхностью одинаков. Определите отношение путей, пройденных телами до остановки, если отношение масс тел равно $n = m_2/m_1 = 2,5$.

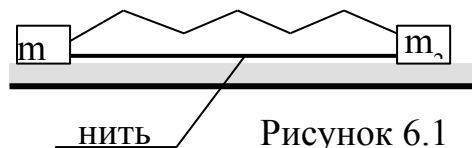


Рисунок 6.1

6.2(3). Мальчик, стоящий на льду на коньках, бросает в горизонтальном направлении камень массой $m=1$ кг со скоростью $v=20$ м/с. Определите расстояние, на которое откатится мальчик, если коэффициент трения полозьев о лед $\mu=0,02$. Масса мальчика $M=40$ кг.

6.3(3). Тело массой $M=0,2$ кг свободно падает без начальной скорости с высоты $H=5$ м (рисунок 6.2). На высоте $h=2$ м в него попадает другое тело массой $m=0,1$ кг, которое в момент столкновения имеет только горизонтальную составляющую скорости. В результате столкновения тела слипаются – абсолютно неупругий удар. Определите время, прошедшее с момента столкновения до падения тел на землю. Ускорение свободного падения $g=10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывается.

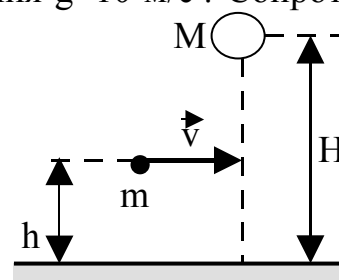


Рисунок 6.2

6.4(3). Мяч ударяется о вертикальную стенку, движущуюся со скоростью $u=1$ м/с. Скорость мяча перед ударом равна $v=5$ м/с. Направления скоростей мяча и стенки совпадают. Определите, какую часть кинетической энергии $\eta=\Delta E/E$ потеряет мяч, если столкновение является упругим.

6.5(4). Небольшой шарик находится на высоте h над поверхностью горизонтальной плиты. Шарик отпускают без начальной скорости, и одновременно плита начинает двигаться вертикально вверх с постоянной скоростью v . Определите, на какую максимальную высоту относительно своего начального положения поднимется шарик после первого соударения с плитой. Удар о плиту является абсолютно упругим, масса плиты много больше массы шарика.

Раздел В (2). Закон сохранения энергии

6.6(1). Под каким углом к горизонту надо бросить камень, чтобы его кинетическая энергия в точке максимального подъема была в $n=4$ раза меньше кинетической энергии в точке бросания.

6.7(2). Тело массой $m=0,5$ кг брошено с башни в горизонтальном направлении со скоростью $v_0=10$ м/с. Определите кинетическую энергию тела в момент падения на землю, если время полета оказалось равным $t=4$ с.

6.8(2). Тело массой $m=1$ кг брошено с поверхности земли с начальной скоростью $v_0=10$ м/с. Максимальная высота подъема тела оказалась равной $h=3$ м. Определите кинетическую энергию тела в этой точке траектории. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

6.9(4). Тело начинает скользить по гладкой поверхности со скоростью $v_0=10$ м/с. На пути тела встречается трамплин, верхняя часть которого горизонтальна (рисунок 6.3). Трение между телом и поверхностью трамплина отсутствует. Определите высоту трамплина h , при которой дальность полета тела L будет максимальной.

6.10(3). Веревка длиной $L=5$ м переброшена через гвоздь, вбитый в вертикальную стену на высоте $H=6$ м над уровнем пола. В начальный момент времени веревка висит симметрично и покоится. Затем в результате незначительного толчка веревка начинает скользить по гвоздю. Определите скорость веревки, когда после соскальзывания с гвоздя, нижний конец веревки коснется пола. Силами сопротивления и растяжением веревки можно пренебречь.

6.11(4). Пружина жесткостью k и длиной L стоит вертикально на горизонтальной поверхности. С высоты h над уровнем поверхности на пружину падает небольшой шарик массой m . Определите максимальную скорость, которую будет иметь шарик при своем движении вниз. Массой пружины можно пренебречь.

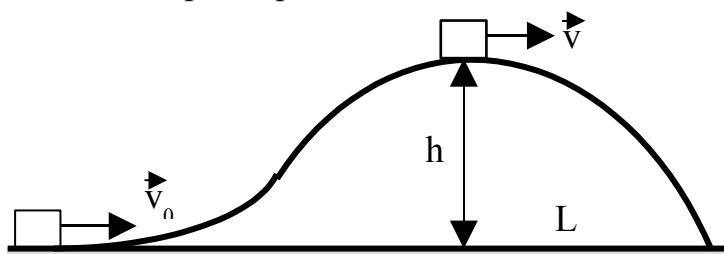


Рисунок 6.3

Раздел С (2). Механическая работа

6.12(1). Сила $\vec{F}$, направленная вертикально вверх, поднимает тело массой $m=2$ кг с ускорением $a=4$ м/с². Определите работу, которую совершает сила за время $t=10$ с подъема.

6.13(2). Груз массой $m=0,5$ кг подвешен на вертикально расположенной невысокой пружине и растягивает ее на $x=1$ см. Определите работу, которую необходимо совершить, чтобы поднять груз из начального положения на высоту $h=2,5$ см.

6.14(2). На горизонтальной поверхности лежит цепь длиной $L=1$ м и массой $m=4$ кг. Взяв цепь за один из концов, поднимают этот конец на высоту $h=2$ м над поверхностью. Определите работу, которую необходимо совершить при подъеме.

6.15(3). По гладкой горизонтальной поверхности движется со скоростью $v_0=10$ м/с тело массой $m=1$ кг. Начиная с некоторого момента времени, на тело

начинает действовать сила $\vec{F}$. Величина силы $F=10$ Н, а направление противоположно вектору $\vec{v}_0$. Определите работу, которую совершит эта сила за время $t=2$ с после ее включения.

6.16(4). Плоская льдина толщиной $h=0,2$ м и площадью поперечного сечения $S=2,0$ м² плавает в воде. Определите работу, которую необходимо совершить, чтобы полностью погрузить льдину в воду. Плотность льда $\rho=0,8$ г/см³, плотность воды $\rho_0=1$ г/см³.

Раздел D (1). Работа сил трения

6.17(2). Горизонтально летящая пуля попадает в деревянный брус, лежащий на гладкой горизонтальной плоскости и пробивает его. Определите, какая часть кинетической энергии пули перешла в тепло. Масса пули $m=10$ г, масса бруса $M=2$ кг. Начальная скорость пули $v_0=600$ м/с, скорость пули после прохождения бруса $v=400$ м/с.

6.18(3). Небольшой груз массой $m=2$ кг падающий с высоты $h=7$ м, проникает в мягкий грунт на глубину $L=10$ см. Определите среднюю силу сопротивления грунта. Сопротивлением воздуха и линейными размерами груза можно пренебречь.

6.19(3). Наклонная плоскость составляет угол $\alpha=30^\circ$ с горизонтом и имеет высоту $h=0,5$ м (рисунок 6.4). С вершины наклонной плоскости соскальзывает небольшое тело без начальной скорости. В нижней точке плоскости тело абсолютно упруго сталкивается со стенкой, расположенной перпендикулярно скорости тела. Определите высоту максимального подъема тела по плоскости, если коэффициент трения между телом и плоскостью равен $\mu=0,3$.

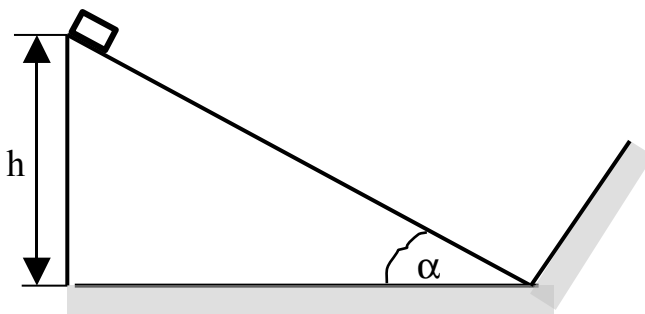


Рисунок 6.4

6.20(2). Девочка, вес которой $P=300$ Н, скатывается на санках без начальной скорости с вершины горки высотой $h=5$ м. После остановки на горизонтальном участке она решила прокатиться еще раз. Определите работу, которую девочка должна совершить для подъема санок на вершину по пути их скатывания. Масса санок $m=8$ кг.

Раздел E (1). Разные трудные задачи

6.21(4). Биллиардный шар налетает на точно такой же похожий шар. Определите, под каким углом могут разлетаться шары в результате абсолютно упругого соударения.

6.22(4). Два тела одинаковой массы находятся на концах невесомого стержня, согнутого под прямым углом в точке O (рисунок 6.5). Расстояния от грузов до точки O равны соответственно $L_1=30$ см и

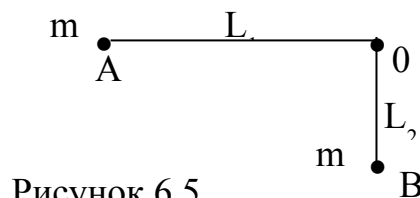


Рисунок 6.5

$L_2=20$ см. Точка O закреплена и является осью вращения. Груз A поднимают до тех пор, пока отрезок AO не будет расположен горизонтально, а затем стержень отпускают без начальной скорости. Определите угловую скорость системы в момент времени, когда отрезок OB будет расположен горизонтально.

6.23(4). На гладкой горизонтальной поверхности лежит тело массой $m=0,25$ кг, прикрепленное невесомой пружиной к вертикальной плоскости (рисунок 6.6). В начальный момент времени пружина не деформирована. На тело начинает действовать горизонтально направленная постоянная сила, величина которой равна $F=2,5$ Н. Определите: 1) максимальное смещение тела от начального положения; 2) максимальную скорость тела во время движения. Коэффициент жесткости пружины $k=100$ Н/м.

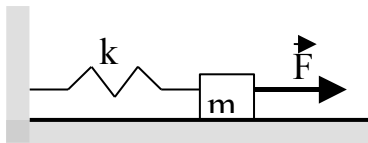


Рисунок 6.6

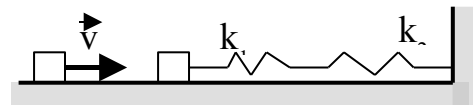


Рисунок 6.7

6.24(4). Тело массы m , двигаясь по гладкой горизонтальной поверхности, налетает на две последовательно соединенные пружины (рисунок 6.7). Коэффициенты упругости пружин (жесткости) равны соответственно k_1 и k_2 . Определите величину начальной скорости тела, если максимальная энергия деформации пружины 2 оказалась равной E .

6.25(5). Два вагона массами M_1 и M_2 , движутся навстречу друг другу. Скорости вагонов равны соответственно v_1 и v_2 . При столкновении происходит сжатие четырех одинаковых буферных пружин. Жесткость каждой из пружин равна k . Определите максимальную деформацию каждой пружины, если механическая энергия при столкновении вагонов сохраняется.

4 Задания для 10 класса

4.1 Задание 1

Раздел А (1). Масса и размеры молекул

1.1(2). За время $t=10$ суток из стакана воды испарилось $m=100$ г воды. Сколько в среднем в секунду вылетало молекул с поверхности воды? Молярная масса воды $\mu=18$ г/моль.

1.2(3). Оценить радиус r атома железа, предположив, что в железе атомы в виде твердых шаров расположены вплотную друг к другу. Плотность железа $\rho=7,8$ г/см³, молярная масса $\mu=0,056$ кг/моль.

1.3(1). Кусок алюминия и кусок железа содержат одинаковое количество вещества. Какова масса куска алюминия m_{Al} , если масса куска железа $m_{Fe}=2$ кг? Молярные массы алюминия $\mu_{Al}=27$ г/моль, железа $\mu_{Fe}=56$ г/моль.

1.4(2). Определить отношение объемов кусков алюминия и меди, содержащих одинаковое число атомов. Молярные массы алюминия $\mu_{Al}=27$ г/моль и меди $\mu_{Cu}=64$ г/моль, плотности алюминия $\rho_{Al}=2,8$ г/см³ и меди $\rho_{Cu}=8,96$ г/см³.

1.5(1). Определите массу молекулы серной кислоты (H_2SO_4). Сколько атомов кислорода содержится в 196 г серной кислоты?

Раздел В (1). Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов

1.6(2). В сосуде объемом $V=100$ л находится под давлением $P=10^5$ Па аргон в количестве $m=160$ г. Чему равна средняя кинетическая энергия $\langle E_k \rangle$ молекулы аргона? Молярная масса аргона $\mu=40$ г/моль.

1.7(2). Два разных идеальных газа в количестве $\nu_1=2$ моль и $\nu_2=8$ моль содержатся в одинаковых сосудах. Считая средние кинетические энергии их молекул одинаковыми, определить отношение давлений газов P_1/P_2 в сосудах.

1.8(2). Считая неон идеальным газом, определите его концентрацию в сосуде при давлении газа на стенки сосуда $P=2 \cdot 10^5$ Па и средней квадратичной скорости молекул $v=510$ м/с. Молярная масса неона $\mu=20$ г/моль.

Раздел С (1). Температура и кинетическая энергия

1.9(1). Вычислить концентрацию молекул идеального одноатомного газа при давлении $P=1,01 \cdot 10^5$ Па, если наиболее вероятная энергия молекулы этого газа $E=3,8 \cdot 10^{-21}$ Дж.

1.10(3). Два одинаковых сосуда наполнены идеальным газом при температуре T_1 , и соединены между собой трубкой, объемом которой можно пренебречь. Во сколько раз изменится давление газа в сосудах, если один из них на-

греть до температуры T_2 , а во втором поддерживать температуру T_1 ? Изменением объема нагретого сосуда пренебречь.

1.11(5). В горизонтальном герметически закрытом цилиндре длиной $2L$ и площадью сечения S находится невесомый, скользящий без трения тонкий поршень. Поршень соединен с левым торцом цилиндра пружиной жесткостью k и удерживается в середине цилиндра. В правой половине цилиндра находится идеальный одноатомный газ, давление и температура которого P_1 и T_1 , в левой половине цилиндра - вакуум (рисунок 1.1). Найти установившуюся температуру газа T_2 , после того, как поршень отпустили. Длина недеформированной пружины равна $2L$. Потерями энергии на нагрев цилиндра с поршнем пренебречь.

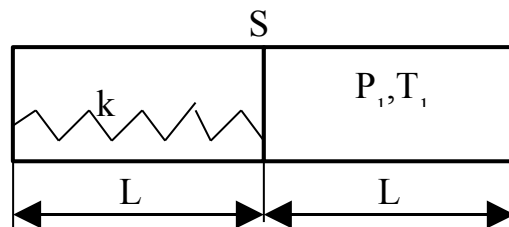


Рисунок 1.1

Раздел D (3). Уравнение состояния идеального газа

1.12(2). Горизонтальный цилиндр длины $L=85$ см разделен на две части тонким подвижным поршнем. Левая часть цилиндра заполнена кислородом, а правая - водородом. На каком расстоянии от левого торца цилиндра находится поршень, если давления, температуры и массы газов в обеих частях цилиндра одинаковы? Молярные массы кислорода и водорода равны соответственно $\mu_1=0,032$ кг/моль и $\mu_2=0,002$ кг/моль. Трением пренебречь.

1.13(2). В вертикальном открытом сверху цилиндрическом сосуде, имеющем площадь поперечного сечения S , на высоте h от дна находится поршень массы m , поддерживаемый снизу сжатым газом с молярной массой μ . Температура газа равна T , атмосферное давление P_0 . Определить массу газа в сосуде.

1.14(3). Сосуд объемом $V=20$ л содержит смесь из водорода ($\mu_1=2$ г/моль) и гелия ($\mu_2=4$ г/моль) при температуре $t=27$ °C и давлении $P=2 \cdot 10^5$ Па. Определить массу смеси m , если отношение массы водорода в сосуде к массе гелия равно $n=0,4$.

1.15(3). Через трубку переменного сечения продувают воздух. Входное отверстие имеет площадь поперечного сечения S_1 , выходное — S_2 (рисунок 1.2). На входе скорость воздуха постоянна и равна v_1 , температура T_1 , давление P_1 . На выходе из трубки температура воздуха T_2 , давление P_2 . Найти скорость воздуха v_2 в выходном сечении трубки.

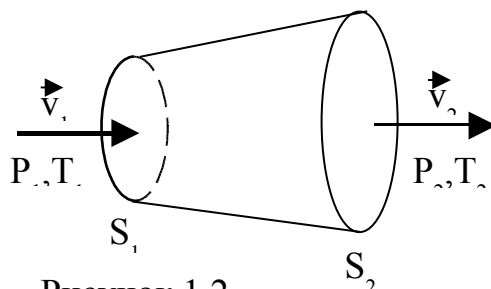


Рисунок 1.2

1.16(4). Посередине горизонтального закрытого цилиндра длиной $h=40$ см и площадью основания $S=80$ см² расположен тяжелый поршень массы $M=10$ кг. В одну половину цилиндра быстро вводят аргон, а в другую - гелий, причем в обеих половинах сосуда устанавливаются одинаковые давления газов, равные $P_0=2 \cdot 10^4$ Па. После того как поршень становится проницаемым для гелия, ци-

линдр переворачивают в вертикальное положение так, что гелий оказывается над поршнем, а аргон - под поршнем. Через некоторое время поршень занимает равновесное положение, смещаясь вверх. Найти смещение поршня. Температура газов одинаковая и все время поддерживается постоянной. Толщиной поршня и его трением о стенки цилиндра пренебречь.

1.17(2). В баллоне находилось некоторое количество идеального газа при атмосферном давлении P_0 . При открытом вентиле баллон был нагрет, после чего вентиль закрыли, и газ остыл до первоначальной температуры T_0 . При этом давление газа в баллоне упало до $P=0,5 P_0$. Определить изменение температуры ΔT баллона с газом при нагревании.

Раздел Е (3). Прямолинейное равномерное и равнопеременное движение

1.18(3). Автомобиль, имея некоторую начальную скорость v_0 , движется равноускоренно по прямолинейному участку дороги, преодолев за время $t=10$ с расстояние $S=200$ м. Найти ускорение a автомобиля, если его скорость за это время увеличилась в $n=3$ раза.

1.19(2). Стержень АВ длины L опирается концами о пол и стенку (рисунок 1.3). Найти зависимость координаты y_B конца стержня В от времени t при движении конца стержня А с постоянной скоростью v в направлении горизонтальной оси Ox , если первоначально конец А имеет координату x_0 .

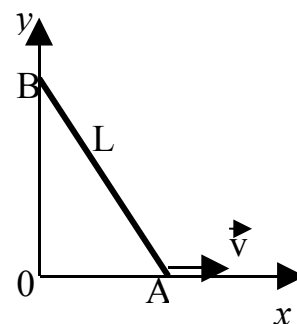


Рисунок 1.3

1.20(2). Пловец переплывает реку шириной h . Под каким углом α к направлению течения он должен плыть, чтобы переправиться на противоположный берег в кратчайшее время? На каком расстоянии S от точки старта он окажется, если скорость реки равна u , а скорость пловца относительно воды равна v ?

1.21(2). Звезда горнолыжного спорта идет по трассе скоростного спуска со скоростью $v=120$ км/ч. Скорость начинающего горнолыжника на этой же трассе в $n=5$ раз меньше. От подножия горы спортсмены добираются до места старта с помощью подъемника, движущегося со скоростью $v=2$ м/с. Определите отношение средних скоростей спортсменов между двумя последовательными стартами, если пути подъема и спуска равны, а временем на остановки можно пренебречь.

1.22(1). Из пункта А в пункт В, расстояние между которыми $L=120$ км, движется со скоростью $v_1=40$ км/ч товарный поезд. Одновременно с ним из пункта В в пункт А по параллельному пути движется со скоростью $v_2=60$ км/ч пассажирский поезд. Запишите уравнения движения поездов $x_1(t)$ и $x_2(t)$ в системе координат Ox , начало которой совпадает с пунктом А, а направление - с направлением движения товарного поезда. Определите через сколько времени t_0 и на каком расстоянии S_0 от пункта А поезда встретятся.

1.23(2). Электропоезд метрополитена подъезжает к платформе станции и спустя $t=20$ с останавливается. Считая движение электропоезда равнозамедленным, определите длину участка торможения L , если посередине этого участка он двигался со скоростью $v_c=7$ м/с.

1.24(3). Двигаясь равноускоренно под уклон, поезд в течение $t=40$ с увеличил скорость на $\Delta v=10$ м/с по сравнению со скоростью, которую он имел в начале спуска. Определить расстояние S , пройденное поездом за последние $\Delta t=4$ с спуска, если его средняя скорость на участке спуска оказалась равной $v=54$ км/ч.

1.25(2). Первую половину пути автомобиль шел со скоростью $v_1=40$ км/ч. Затем, двигаясь под углом $\alpha=60^\circ$ к своему начальному направлению движения, прошел вторую половину пути со скоростью $v_2=60$ км/ч. Во сколько раз путь автомобиля больше модуля его перемещения?

4.2 Задание 2

Раздел А (1). Изопроцессы в газах

2.1(3). В теплоизолированном цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального газа. Газ медленно сжимается поршнем и переводится из состояния 1 с давлением $0,5P_0$, объемом $2V_0$ и температурой T_0 в состояние 2 с давлением P_0 объемом V_0 . Какой наибольшей температуры достигает газ при этом процессе, если на P - V диаграмме процесс изображается прямолинейным отрезком (рисунок 2.1).

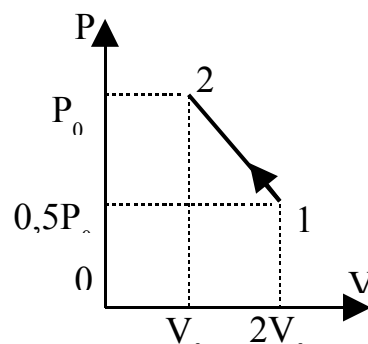


Рисунок 2.1

2.2(2). Два сосуда одинаковой емкости содержат аргон: один - при температуре T_1 и давлении P_1 , другой - при температуре T_2 и давлении P_2 . Сосуды соединяются, и после выравнивания давлений и температур газ оказывается нагретым до температуры T . Какое давление P устанавливается при этом в сосудах?

2.3(2). На дне вертикального герметически закрытого и откачанного цилиндра лежит тяжелый скользящий без трения поршень. Под поршень вводится такое количество идеального газа, имеющего температуру $T=300$ К, что поршень поднимается вверх и нижнее его основание оказывается на высоте $h=30$ см от дна цилиндра. Определить перемещение Δh поршня, если содержащийся под ним газ нагреть на $\Delta T=10$ К.

2.4(2). В открытую с двух сторон горизонтальную трубку сечения $S=10$ см² вставлены два невесомых поршня. В исходном состоянии поршни соединены нерастяжимой нитью и находятся на максимально возможном расстоянии друг от друга (рисунок 2.2). Давления и температуры газа между поршнями и снаружи одинаковы и равны

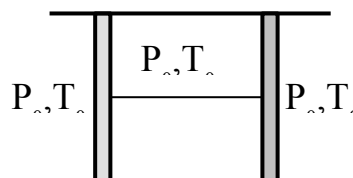


Рисунок 2.2

$P_0=10^5$ Па и $T_0=300$ К. До какой температуры T нужно нагреть газ между поршнями, чтобы нить, соединяющая поршни, порвалась? Нить выдерживает силу натяжения $F=30$ Н. Трением поршней о стенки трубки пренебречь.

2.5(4). В горизонтально закрепленной открытой с торцов трубе сечения $S=16$ см² находятся два поршня. В исходном состоянии левый поршень соединен недеформированной пружиной жесткостью $k=10^3$ Н/м со стенкой, давление газа во всей трубе равно атмосферному $P_0=10^5$ Па, расстояние между поршнями $L=5$ см, правый поршень находится на расстоянии $L=5$ см от правого края трубы (рисунок 2.3). Правый поршень медленно вытянули до края трубы. Какую силу F надо приложить к этому поршню, чтобы удерживать его в таком положении? Температуру газа считать постоянной. Трением пренебречь.

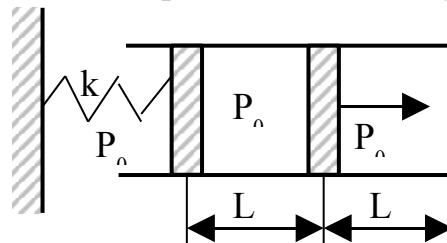


Рисунок 2.3

Раздел В (1). Разные задачи

2.6(3). Открытую стеклянную трубку длиной $L=1,0$ м наполовину погружают в сосуд с ртутью. Затем трубку сверху закрывают и плавно вынимают из сосуда. После того как ртуть перестала вытекать, трубку осторожно переворачивают открытым концом вверх. На каком расстоянии h от ее дна расположится столбик ртути. Атмосферное давление $P_0=750$ мм рт. ст. Плотность ртути $\rho=1,36 \cdot 10^4$ кг/м³.

2.7(2). На какой глубине диаметр пузырьков воздуха, поднимающихся со дна водоема, вдвое меньше, чем у поверхности воды? Давление воздуха у поверхности воды $P_0=10^5$ Па. Плотность воды $\rho=10^3$ кг/м³. Считать, что температура воздуха в пузырьке постоянна, то есть не зависит от глубины, на которой пузырек находится.

2.8(3). Воздушный шар с нерастяжимой оболочкой массой $m=0,3$ кг наполнен гелием при температуре $T_1=300$ К и давлении $P_1=1,2 \cdot 10^5$ Па. Объем шара $V=1$ м³. Определите высоту, на которой шар будет находиться во взвешенном состоянии (шар свободно плавает в воздухе), если при подъеме на каждые $L=100$ м высоты атмосферное давление падает на $\Delta P=1,33 \cdot 10^3$ Па, а температура понижается на $\Delta T=0,54$ К. Атмосферное давление и температура воздуха у поверхности Земли равны соответственно $P_0=1,01 \cdot 10^5$ Па и $T_0=300$ К, молярные массы воздуха $\mu_v=2,9 \cdot 10^{-2}$ кг/моль и гелия $\mu_r=4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

2.9(4). Перевернутый вверх дном стакан с воздухом нагрет до температуры $T_1=300$ К. Этот стакан медленно погружают в воду. На какую глубину h нужно погрузить стакан, чтобы он не всплывал и не тонул после того, как температура запертого в нем воздуха сравняется с температурой воды $T_2=290$ К? Масса стакана $m=100$ г, его объем $V=200$ мл, плотность воды $\rho=10^3$ кг/м³, атмосферное давление $P_0=10^5$ Па, ускорение свободного падения $g=10$ м/с². Массой воздуха в стакане пренебречь.

Раздел С (2). Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность

2.10(2). В комнате объема $V=60 \text{ м}^3$ при температуре $t=20 \text{ °C}$ относительная влажность $\phi_1=20 \text{ %}$. Какую массу воды следует в комнате испарить для увеличения относительной влажности воздуха до $\phi_2=50 \text{ %}$? Плотность насыщенного водяного пара при температуре $t=20 \text{ °C}$ равна $\rho_n=17,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

2.11(2). Влажный воздух объемом $V=1 \text{ м}^3$ при относительной влажности $\phi=60 \text{ %}$, температуре $T=293 \text{ К}$ и давлении $P=1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ имеет массу $m=1,2004 \text{ кг}$. Определите давление насыщенного водяного пара P_n при этой температуре. Молярная масса сухого воздуха $\mu_v=0,029 \text{ кг/моль}$, молярная масса паров воды $\mu_n=0,018 \text{ кг/моль}$.

2.12(3). Плотность влажного воздуха при температуре $T=300 \text{ К}$ и давлении $P=1,03 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна $\rho_0=1,19 \text{ кг/м}^3$. Найти абсолютную ρ и относительную ϕ влажность воздуха, если при температуре $T=300 \text{ К}$ плотность насыщенного пара $\rho_n=0,027 \text{ кг/м}^3$. Молярные массы сухого воздуха и воды $\mu_v=0,029 \text{ кг/моль}$ и $\mu_n=0,018 \text{ кг/моль}$, соответственно.

2.13(1). В запертом поршнем цилиндрическом сосуде объема $V=1 \text{ м}^3$ находится водяной пар при температуре $T=323 \text{ К}$ и давлении $P_1=7,75 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Определите массу m сконденсировавшейся в сосуде воды, если объем, занимаемый паром, изотермически уменьшить вдвое. Молярная масса воды $\mu=0,018 \text{ кг/моль}$, давление насыщенных паров воды при $T=323 \text{ К}$ равно $P_n=12,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

2.14(3). Посередине закрытой с торцов горизонтальной цилиндрической трубки расположен тяжелый подвижный поршень диаметром $d=7 \text{ см}$. Слева и справа от поршня находится водяной пар при давлении $P=1,67 \cdot 10^3 \text{ Па}$ и температуре $T=293 \text{ К}$. Трубку ставят вертикально. При этом объем, занимаемый паром под поршнем, уменьшается в $n=4$ раза. Найти массу поршня, если температура пара в обеих частях трубки все время поддерживается неизменной. Пар конденсируется при давлении $P_n=2P$. Трением поршня о стенки трубки пренебречь. Считать, что ускорение свободного падения $g=10 \text{ м/с}^2$.

2.15(2). В закрытом сосуде находится воздух, плотность которого $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$, температура $t_1=90 \text{ °C}$, влажность $\phi=80 \text{ %}$. Сосуд с воздухом охладили до температуры $t_2=20 \text{ °C}$. Определить установившееся в сосуде давление влажного воздуха. Давление насыщенного водяного пара при температуре 90 °C равно $P_{n1}=70 \text{ кПа}$, при температуре 20 °C – $P_{n2}=2,34 \text{ кПа}$. Молярная масса сухого воздуха $\mu_{cv}=0,029 \text{ кг/моль}$, водяного пара $\mu_n=0,018 \text{ кг/моль}$. Изменением объема сосуда при охлаждении пренебречь.

Раздел D (1). Поверхностные и капиллярные явления

2.16(2). Какое количество энергии E освобождается при слиянии мелких одинаковых капель радиусом $r=2 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ в одну каплю радиуса $R=2 \text{ мм}$? Коэф-

коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma=0,072$ Н/м. Изменением потенциальной энергии капле, связанной с силой тяжести, пренебречь.

2.17(1). Глицерин поднялся в капиллярной трубке на высоту $h_1=20$ мм. Поверхностное натяжение глицерина равно $\sigma_1=0,066$ Н/м, его плотность $\rho_1=1,26 \cdot 10^3$ кг/м³. На какую высоту в этой трубке поднялась бы вода? Плотность воды $\rho_2=10^3$ кг/м³, ее поверхностное натяжение $\sigma_2=0,072$ Н/м. Считать, что глицерин и вода полностью смачивают стенки капиллярной трубки.

2.18(1). Определить максимальную длину ребра L алюминиевого кубика, способного плавать на поверхности воды при нанесении на его поверхность не смачиваемой водой пленки парафина. Плотность алюминия $\rho=2,7$ г/см³. Поверхностное натяжение воды $\sigma=0,072$ Н/м.

2.19(2). Какой минимальный радиус r должна иметь капля воды, отрывающаяся от выходного отверстия пипетки диаметром $d=2$ мм? Поверхностное натяжение воды $\sigma=0,072$ Н/м, ее плотность $\rho=10^3$ кг/м³, ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

Раздел Е (3). Движение тел, брошенных вертикально вверх и вниз. Кинематика криволинейного движения

2.20(1). Аэростат поднимается вертикально вверх с постоянной скоростью $v_0=5$ м/с. К гондole аэростата привязан на веревке груз. На высоте $h=30$ м веревку перерезают. Напишите формулу зависимости вертикальной координаты груза от времени $y(t)$. Координатная ось Oy направлена вверх, а ее начало находится на поверхности Земли. Определите скорость груза в момент падения на Землю и время его движения до Земли. Ускорение свободного падения принять равным $g=10$ м/с².

2.21(2). Тело, брошенное вертикально вверх, проходит в первую секунду половину высоты подъема. Чему равна средняя скорость тела за все время его движения? Считать, что ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

2.22(3). Мяч, брошенный под некоторым углом к горизонту с начальной скоростью $v_0=10$ м/с, через время $\tau=0,5$ с имеет скорость $v=7$ м/с. Определите максимальную высоту подъема мяча.

2.23(1). Через блок радиуса $R=50$ мм, вращающийся без трения вокруг закрепленной горизонтальной оси, перекинута нерастяжимая нить, к которой привязаны два груза (рисунок 2.4). Грузы движутся с постоянной скоростью $v=20$ см/с относительно друг друга. Определить угловую скорость вращения блока.

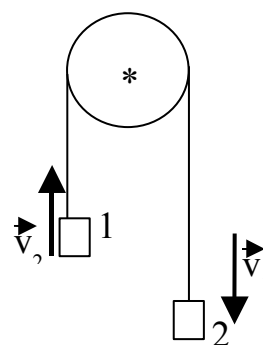


Рисунок 2.4

2.24(2). С башни высотой $H=20$ м одновременно брошены два шарика: один горизонтально, а другой - вверх под углом $\alpha=60^\circ$ к первому. Начальные скорости шариков равны. Определите расстояние между шариками через время

$\tau=1,5$ с, если брошенный горизонтально шарик упал на Землю на расстоянии $L=30$ м от основания башни. Ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

2.25(3). Человек раскручивает привязанный к веревке камень в горизонтальной плоскости, расположенной на высоте $h=1,8$ м от поверхности Земли. Камень, двигаясь по кругу радиуса $R=1$ м с постоянным тангенциальным ускорением a_t , к концу пятого оборота срывается с веревки и падает на Землю на расстоянии $L=10$ м от человека. Определить нормальное и тангенциальное ускорения камня в момент срыва с веревки.

4.3 Задание 3

Раздел А (1). Механические свойства твердых тел. Тепловое расширение твердых тел и жидкостей

3.1(1). Балка массы $m=100$ кг висит на трех вертикальных проволоках равной длины, расположенных симметрично (рисунок 3.1). Средняя проволока стальная, две крайние – медные. Площади поперечного сечения всех проволок одинаковы. Модуль упругости стали E_c в два раза больше модуля упругости меди E_m . Во сколько раз увеличится относительное удлинение ϵ проволок, если, убрав среднюю стальную проволоку, подвесить балку на двух симметрично расположенных медных проволоках? При какой площади поперечного сечения медных проволок их относительное удлинение не превысит значения $\epsilon=0,001$, если модуль упругости меди $E_m=10^{11}$ Па?

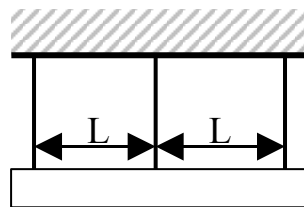


Рисунок 3.1

3.2(1). Какую силу F надо приложить к стальному стержню сечением $S=1$ см², чтобы растянуть его на столько же, на сколько он удлиняется при нагревании на $\Delta t=1$ °С? Для стали коэффициент линейного расширения равен $\alpha=1,2 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹, а модуль упругости $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Па.

3.3(2). При температуре $t_0=0$ °С длины алюминиевого и железного стержней $L_{a0}=50$ см и $L_{ж0}=50,05$ см. Сечения стержней одинаковы. При какой температуре t_1 длины стержней одинаковы? При какой температуре t_2 будут одинаковы их объемы? Коэффициенты линейного расширения алюминия и железа $\alpha_a=2,4 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹ и $\alpha_{ж}=1,2 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹.

3.4(3). Алюминиевый шарик массой $m=108$ г опущен на нерастяжимой нити в воду. На сколько изменится натяжение нити, если всю систему нагреть от $t_1=20$ °С до $t_2=50$ °С? Плотности алюминия и воды при 20 °С равны соответственно $\rho_a=2,7 \cdot 10^3$ кг/м³ и $\rho_v=10^3$ кг/м³. Температурные коэффициенты линейного расширения алюминия $\alpha=2,4 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹ и объемного расширения воды $\beta=1,8 \cdot 10^{-4}$ К⁻¹.

Раздел В (2). Внутренняя энергия газа. Первый закон термодинамики. Работа при изменении объема газа

3.5(1). Азот (химическая формула N_2) занимает объем $V_0=2,5$ л при давлении $P_0=10^5$ Па. На сколько изменится внутренняя энергия газа при его сжатии до объема $V=0,25$ л, если давление газа повысилось при этом в $n=20$ раз?

3.6(1). В герметично закрытом теплоизолированном сосуде содержится $\nu=2$ моль идеального двухатомного газа. Какое количество теплоты Q следует подвести к газу для того, чтобы увеличить его температуру на $\Delta T=1$ К? Потери тепла на нагрев стенок сосуда пренебречь.

3.7(3). В двух теплоизолированных цилиндрах с объемами $V_1=3$ л и $V_2=5$ л находятся одинаковые газы при давлениях $P_1=4 \cdot 10^5$ Па и $P_2=6 \cdot 10^5$ Па и температурах $t_1=27$ °С и $t_2=127$ °С. Цилиндры соединяются теплоизолированной трубкой. Какая температура T и какое давление P установятся в цилиндрах после смешивания газов?

3.8(2). В вертикальном открытом сверху цилиндре под тяжелым поршнем находится газ при температуре $T_1=300$ К. Найти работу расширения газа при нагревании его на $\Delta T=100$ К, если первоначально газ занимал объем $V_1=180$ см³. Масса поршня $M=100$ кг, его площадь сечения $S=50$ см². Атмосферное давление $P_0=10^5$ Па.

3.9(4). В открытом сверху вертикальном теплоизолированном цилиндрическом сосуде на высоте h от его дна висит на нити поршень массы m . Под поршнем находится $\nu=1$ моль идеального одноатомного газа, давление которого в начальный момент равно атмосферному P_0 , а температура равна T_0 . Какое количество теплоты нужно подвести к газу, чтобы занимаемый им объем увеличился вдвое? Трением поршня о стенки сосуда пренебречь. Теплообмен со стенками сосуда и поршнем не учитывать. Ускорение свободного падения равно g .

Раздел С (2). Теплоемкость. Применение первого закона термодинамики к различным процессам

3.10(2). В теплоизолированном цилиндре под легким подвижным поршнем находится идеальный газ, температуру которого повысили на одну и ту же величину ΔT один раз при постоянном давлении, затратив количество теплоты $Q_p=2,1 \cdot 10^4$ Дж, а второй раз - при постоянном объеме, сообщив газу количество теплоты $Q_v=1,5 \cdot 10^4$ Дж. Определить отношение изменений температур $(\Delta T)_v/(\Delta T)_p$ этого газа, если во время очередного цикла нагревания при постоянном объеме и постоянном давлении ему сообщают одинаковое количество теплоты. Трением поршня о стенки цилиндра и изменением объема цилиндра пренебречь.

3.11(3) Один моль идеального одноатомного газа участвует в процессе, изображенном на рисунке 3.2. Получить формулу для молярной теплоемкости C_μ при условии, что $V_2=2V_1$ и $P_2=2P_1$. По полученной формуле вычислить C_μ .

3.12(4). Один моль идеального газа сначала нагревают, а затем охлаждают так, что замкнутый цикл 1-2-3-1 на диаграмме (P-V) состоит из отрезков прямых 1-2 и 2-3, параллельных осям P и V соответственно, и отрезка 3-1, продолжение которого проходит через начало координат (рисунок 3.3). Известны температуры T_1 и T_3 . Найти работу A , совершенную газом в указанном цикле. Ответ выразить через T_1 и T_3 .

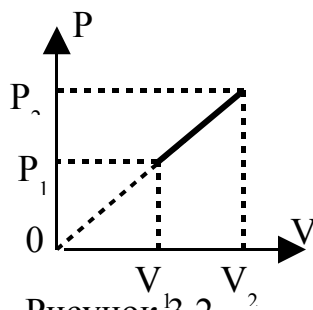


Рисунок 3.2

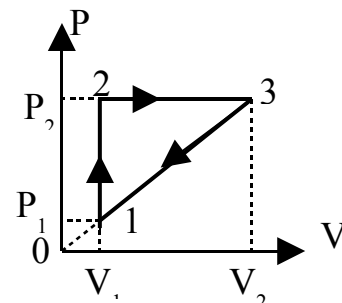


Рисунок 3.3

3.13(1). Какое количество теплоты необходимо для нагревания на $\Delta T=16$ К кислорода массой $m=7 \cdot 10^{-3}$ кг, находящегося под тяжелым поршнем в вертикальном открытом сверху цилиндре. Молярная теплоемкость кислорода при нагревании его при постоянном объеме равна $(C_\mu)_V=20,9$ Дж/(моль·К), молярная масса $\mu=32$ г/моль. Трение между поршнем и цилиндром не учитывать.

3.14(3). В теплоизолированном закрытом поршнем горизонтальном цилиндре содержится $\nu=1$ моль азота (N_2) при температуре $T_0=100$ К и давлении, в два раза меньшем атмосферного P_0 . Поршень может свободно двигаться, увеличивая вместимость цилиндра, и удерживается стопором от движения в противоположную сторону (рисунок 3.4). Какое количество теплоты Q следует подвести к газу, чтобы нагреть его на $\Delta T=200$ К? Трением, теплоемкостью сосуда и поршня пренебречь.

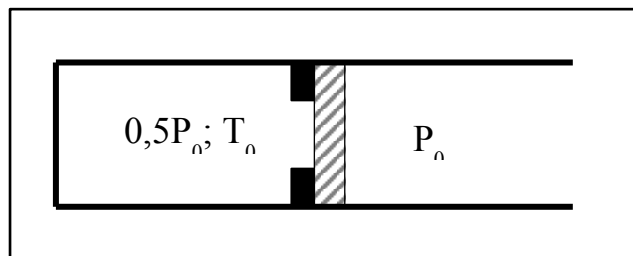


Рисунок 3.4

Раздел D (2). Уравнение теплового баланса. Тепловые двигатели

3.15(2). В открытом сосуде с теплоизолированными стенками находится некоторое количество воды при температуре $t=90$ °С. В воду бросают раскаленные платиновые опилки, масса которых равна массе воды. Найти начальную температуру опилок t_0 , если известно, что после прекращения кипения уровень воды в сосуде остался равным первоначальному. Удельная теплоемкость воды $c_1=4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды $L=2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг при температуре кипения $t_{\text{кип}}=100$ °С, плотность воды $\rho_1=10^3$ кг/м³, плотность платины $\rho_2=21,4 \cdot 10^3$ кг/м³, удельная теплоемкость платины $c_2=128$ Дж/(кг·К). Изменением плотности воды при нагреве, теплоемкостью сосуда и потерями тепла пренебречь.

3.16(1). Свинцовая гиря падает на Землю и ударяется о препятствие. Определить минимальную скорость гири в момент удара, если гиря полностью расплавилась. Считать, что вся теплота, выделяемая при ударе, поглощается гирей. Удельная теплота плавления $\lambda=2,3 \cdot 10^4$ Дж/кг, удельная теплоемкость $c=126$ Дж/(кг·К). Температура гири перед ударом $t_0=27$ °С. Температура плавления свинца $t_{пл}=327$ °С;

3.17(2). На электроплитке мощностью $N=1$ кВт растопили $m_{л}=800$ г льда с начальной температурой $t_0= -20$ °С. Полученную воду довели до кипения, причем 25 % ее превратилось в пар. Найти КПД электроплитки, если нагревание длилось 40 мин. Удельная теплоемкость льда $c_{л}=2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), воды $c_{в}=4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), удельная теплота плавления льда $\lambda=3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплота парообразования воды $L=2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг.

3.18(1). В идеальном тепловом двигателе газ, совершающий цикл Карно, отдает холодильнику $k=0,73$ часть количества теплоты, получаемого от нагревателя. Определите температуру нагревателя T_n , если температура холодильника равна $T_x=272$ К.

3.19(3). Идеальный тепловой насос (идеальная тепловая машина, работающая по обратному циклу Карно) забирает тепло от воды, имеющей температуру $t_0=0$ °С, и передает его кипятильнику с водой, имеющему температуру $t_{кип}=100$ °С. Сколько воды превращается в пар при образовании льда массой $m=1$ кг? Удельная теплота плавления льда $\lambda=3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплота парообразования воды $L=2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Раздел Е (2). Динамика. Законы Ньютона

3.20(2). На концах невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через блок, висят на одинаковой высоте две гири массой $M=96$ г каждая. Если на одну из них положить перегрузок, то вся система придет в движение и через $t=3$ с расстояние между гирями станет равным $h=1,8$ м (рисунок 3.5). Определите массу m перегрузка и силу давления N перегрузка на гирю во время движения. Массой блока пренебречь.

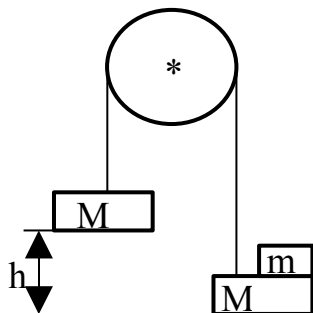


Рисунок 3.5

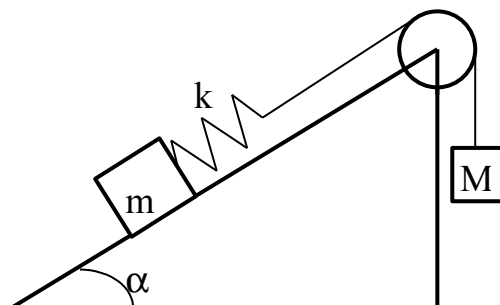


Рисунок 3.6

3.21(4). На наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha=30^\circ$, находится брусок массой $m=0,5$ кг (рисунок 3.6). К бруску прикреплен легкая пружина, другой конец которой соединен с невесомым нерастяжимым шнуром,

переброшенным через укрепленный на вершине наклонной плоскости блок. Жесткость пружины $k=100$ Н/м. К свободному концу шнура подвешена гиря массой $M=1$ кг. Предоставленная самой себе, система приходит в равноускоренное движение. Определите ускорение движения бруска и удлинение пружины при условии, что коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью равен $\mu=0,4$. Массу блока не учитывать, трением в блоке пренебречь.

3.22(3). Брусок массой $M=1$ кг и длиной $L_0=1$ м находится на гладкой горизонтальной поверхности, по которой он может скользить без трения. На бруске у левого его конца лежит небольшой кубик массой $m=0,2$ кг (рисунок 3.7). К кубику в горизонтальном направлении приложена некоторая сила F , под действием которой кубик, двигаясь равноускоренно, соскользнул с противоположного конца бруска в тот момент, когда брусок переместился на расстояние L , равное его учетверенной длине ($L=4L_0$). Определить коэффициент трения между кубиком и бруском, если в момент падения кубика скорость бруска $v=2$ м/с.

3.23(3). Ледяная горка составляет с горизонтом угол $\alpha=30^\circ$. По ней пускают снизу вверх плоский камень, который, поднявшись на некоторую высоту, затем соскальзывает по тому же пути вниз. Каков коэффициент трения μ , если время спуска в $n=2$ раза больше времени подъема?

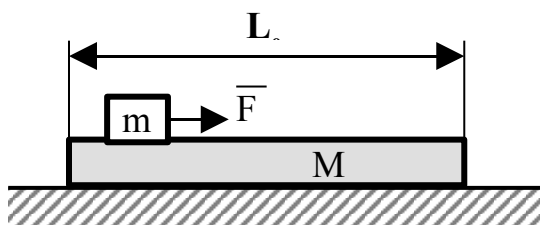


Рисунок 3.7

3.24(2). Два бруска с массами $m_1=1,5$ кг и $m_2=2,5$ кг, соединенные пружиной, тянут за нить, привязанную к бруску массой m_1 , натягивая ее параллельно гладкой горизонтальной поверхности, по которой бруски скользят без трения. Когда нить оказалась натянутой с силой $F=57$ Н, а бруски двигались с одинаковым ускорением, нить разорвалась. Найти ускорение a_1 бруска массой m_1 сразу после разрыва нити.

3.25(3). Тело массой $m=1$ кг тянут по горизонтальной поверхности с силой $F=4$ Н. Тело движется равномерно, если сила приложена к нему под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту. С каким ускорением a будет соскальзывать тело вниз по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha=30^\circ$, если коэффициенты трения тела о горизонтальную поверхность и наклонную плоскость равны? Считать, что ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

4.4 Задание 4

Раздел А (1). Закон Кулона

4.1(3). Три одинаковых одноименных заряда q расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд Q противоположного знака нужно поместить в центре этого треугольника, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд, была равна нулю?

4.2(2). Два одинаковых шарика подвешены на непроводящих нитях равной длины в одной точке. После того, как каждому шарiku был сообщен заряд $q=4 \cdot 10^{-7}$ Кл, они разошлись на угол $\alpha=60^\circ$. Найти массу шариков, если расстояние от центров шариков до точки подвеса $L=0,2$ м.

4.3(1). Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии $r_1=5$ см, взаимодействуют друг с другом с силой $F_1=1,2 \cdot 10^{-4}$ Н, а находясь в некоторой непроводящей жидкости на расстоянии $r_2=10$ см, – с силой $F_2=1,5 \cdot 10^{-5}$ Н. Какова диэлектрическая проницаемость жидкости?

Раздел В (2). Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции

4.4(1). Между зарядами $q_1=+q$ и $q_2=+9q$ расстояние равно $L=8$ см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля равна нулю?

4.5(3). Два маленьких шарика массой по $m=6,3$ мг каждый подвешены в точке 0 на непроводящих нитях длиной $L=0,2$ м каждая. После того, как шарикам сообщили одинаковые заряды, они разошлись на угол $\alpha=60^\circ$ (рисунок 4.1). Определить напряженность электрического поля, создаваемого зарядами в точке подвеса.

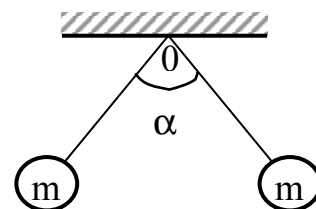


Рисунок 4.1

4.6(2). К бесконечной плоскости, расположенной вертикально и имеющей поверхностную плотность заряда σ , прикреплен на непроводящей и нерастяжимой нити одноименно заряженный шарик массы m и с зарядом q . Найти силу натяжения нити и угол отклонения нити от вертикали. Напряженность поля, создаваемого заряженной плоскостью, не зависит от расстояния до плоскости и равна $E=\sigma/2\epsilon_0$ (ϵ_0 – некоторая постоянная величина, называемая электрической постоянной), вектор напряженности $\vec{E}$ перпендикулярен плоскости.

4.7(3). Две частицы, массами m и M , имеющие заряды $-q$ и Q соответственно, движутся как одно целое вдоль силовой линии однородного поля напряженностью $\vec{E}$. При каком расположении частиц это возможно? Определите ускорение частиц и расстояние между ними. Силой тяжести, действующей на частицы, пренебречь.

4.8(2). Положительно заряженный шарик массой $m_{\text{ш}}=0,18$ г и плотностью $\rho_{\text{ш}}=1,8 \cdot 10^3$ кг/м³ находится во взвешенном состоянии в жидком диэлектрике плотностью $\rho_{\text{д}}=900$ кг/м³. В диэлектрике имеется однородное электрическое поле напряженностью $E=4,5 \cdot 10^4$ В/м, направленное вертикально вверх. Найти заряд шарика.

Раздел С (1). Равновесие зарядов в металлах. Электростатическая индукция. Теорема Гаусса

4.9(2). Две металлические параллельные пластинки расположены на небольшом по сравнению с их линейными размерами расстоянии друг от друга.

Первой пластинке сообщили заряд $Q_1=2 \cdot 10^{-3}$ Кл, а второй - заряд $Q_2=4 \cdot 10^{-3}$ Кл. Какие заряды находятся на правой и на левой стороне второй пластинки?

4.10(2). Металлическому сферическому слою и помещенному в его центр металлическому шару сообщили одинаковые положительные заряды $Q=2,0 \cdot 10^{-3}$ Кл. Какие заряды находятся на наружной и внутренней поверхностях сферического слоя?

4.11(3). Вдоль оси полой металлической трубки, длина которой много больше внутреннего R_1 и внешнего R_2 радиусов, проходит тонкий металлический провод. Провод зарядили равномерно так, что заряд, приходящийся на единицу его длины, равен λ . Определите поверхностные плотности зарядов σ_1 и σ_2 , индуцированные на внутренней и внешней поверхности трубки.

Раздел D (3). Потенциал. Работа электрических сил. Заземление проводников

4.12(3). Два разноименных заряда $q_1=10^{-8}$ Кл и $q_2=-10^{-9}$ Кл находятся на расстоянии $L=1,1$ м друг от друга. Найти напряженность созданного ими электростатического поля в точках на прямой, проходящей через заряды, в которых потенциал поля равен нулю.

4.13(2). При переносе точечного заряда $q_0=10^{-8}$ Кл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $r=20$ см от поверхности заряженного металлического шара, необходимо совершить работу $A=5 \cdot 10^{-7}$ Дж. Радиус шара $R=4$ см. Найти потенциал ϕ_0 на его поверхности.

4.14(1). Двум соединенным проводником металлическим шарам с радиусами $R_1=2$ см и $R_2=8$ см сообщили заряд $Q=10^{-8}$ Кл. Определить заряды шаров, если расстояние между ними велико по сравнению с их радиусами.

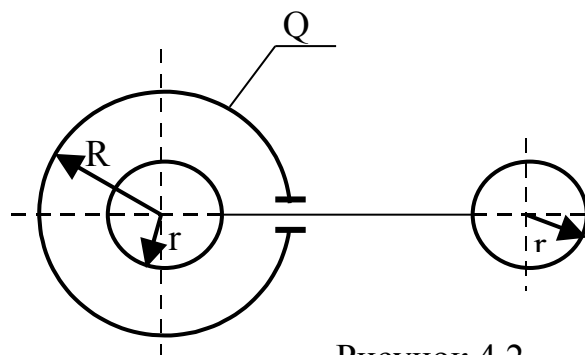


Рисунок 4.2

4.15(2). Один из двух одинаковых металлических шариков, радиусы которых равны r , находится в центре полой тонкостенной металлической сферы радиусом $R=3r$. Вторым шарик переносится на большое расстояние от первого, после чего их соединяют длинным проводником в изоляции, проходящим через небольшое отверстие в поверхности сферы (рисунок 4.2). Какие заряды индуцируются на шариках, если сфере сообщить заряд $Q=1,8 \cdot 10^{-8}$ Кл?

4.16(2). Внутри тонкой металлической сферы радиуса R , заряд которой равен q , находится заземленная проводящая сфера радиуса $r < R$. Центры сфер совпадают. Найти напряженность электрического поля вне большей сферы на расстоянии L от ее центра.

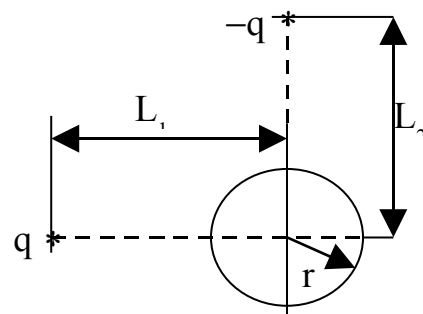


Рисунок 4.3

4.17(3). Разноименные точечные заряды q и $-q$ находятся на расстоянии L_1 и L_2 от заземленной металлической сферы малого радиуса r (рисунок 4.3). Найти силу, с которой заряды действуют на сферу. Угол с вершиной в центре сферы, образованный прямыми линиями, проведенными через заряды, равен 90° .

4.18(3). Два металлических шара с одинаковыми зарядами q расположены на расстоянии L друг от друга. Первый шар заземляют, а затем удаляют заземляющий проводник. Затем такую же процедуру совершают со вторым шаром. Каково отношение зарядов на шарах после их заземления? Радиусы шаров r много меньше L . Оба шара находятся на очень большом расстоянии от Земли.

Раздел Е (2). Динамика вращательного движения. Закон всемирного тяготения

4.19(4). Шарик массой $m=1$ кг, привязанный к резиновому шнуру, вращается в горизонтальной плоскости с частотой $\nu=30$ об/мин. Шнур образует с вертикалью, проведенной через точку подвеса, угол $\alpha=45^\circ$. Найти длину L_0 нерастянутого шнура, если известно, что для растяжения его до длины $L=1,2$ м требуется сила $F=10$ Н.

4.20(2). Автомобиль массой $m=1800$ кг движется со скоростью $v=240$ км/ч по шоссе вдоль экватора. На сколько отличаются силы давления автомобиля на полотно дороги при его движении с запада на восток и с востока на запад?

4.21(3). Полушар радиусом $R=2$ м равномерно вращается вокруг оси симметрии, делая $n=30$ об/мин. Внутри полушара находится шарик массой $m=0,2$ кг (рисунок 4.4). Найти высоту h , соответствующую положению равновесия шарика относительно полушара, и силу F , с которой он давит на поверхность полушара в этом положении.

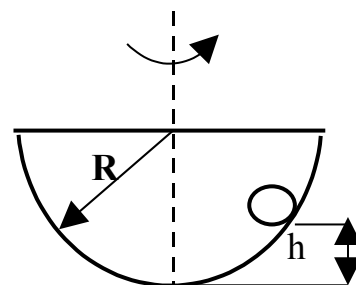


Рисунок 4.4

4.22(3). Спутник движется по круговой орбите, расположенной в плоскости экватора на высоте $h=1\ 600$ км над Землей. Радиус Земли $R=6\ 400$ км, ускорение свободного падения у ее поверхности $g=9,8$ м/с². Определить скорость движения v и период T обращения спутника вокруг Земли.

4.23(1). Среднее расстояние между центрами Земли и Луны равно $60 \cdot R_z$, где R_z —радиус Земли. Масса Земли M_z в 81 раз больше массы Луны M_l . На каком расстоянии от центра Земли находятся точки, в которых любое тело будет притягиваться этими планетами с одинаковой по модулю силой?

4.24(1). Наибольшее значение силы трения покоя между горизонтальным диском и расположенным на нем грузом массой $m=1,0$ кг равно $F_{\max}=3,14$ Н. Диск начинает вращаться с частотой $\nu=0,5$ об/с. Построить график зависимости силы трения груза о диск от расстояния до оси вращения $F_{\text{тр}}(R)$. На каком максимальном расстоянии $R_{\max}$ от оси вращения груз удерживается на диске?

4.25(1). На какой высоте h сила тяжести в $n=2$ раза меньше, чем на поверхности Земли? Радиус Земли $R=6\,400$ км.

4.5 Задание 5

Раздел А (1). Энергия электростатических систем

5.1(4). Два небольших плоских тела, связанных непроводящей нитью длины $L=4,5$ см лежат на горизонтальной плоскости. Заряд каждого тела равен $q=10^{-7}$ Кл, масса $m=2$ г. Нить пережигают, и тела начинают скользить по плоскости. Какую максимальную скорость $v_{\max}$ развивают тела, и на какое максимальное расстояние L друг от друга они удалятся, если коэффициент трения тел о плоскость равен $\mu=0,2$?

5.2(2). Четыре одинаковых точечных заряда $q_1=q_2=q_3=q_4=q=10^{-6}$ Кл расположены на расстоянии $a=10$ см друг от друга вдоль прямой. Какую работу A нужно совершить, чтобы медленно переместить заряды в вершины квадрата стороной a ?

5.3(2). На какое минимальное расстояние $r_{\min}$ может приблизиться позитрон к ядру атома бора, если позитрон летит в направлении на ядро и на бесконечности имеет скорость 1200 км/ч?

5.4(2). Пучок электронов, движущихся со скоростью $v=5 \cdot 10^6$ м/с, падает на первоначально незаряженный изолированный металлический шарик радиусом $r=1$ см. Какое максимальное количество электронов N может накопиться на шаре? Заряд электрона $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, его масса $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Раздел В (2). Электрическая емкость. Конденсаторы

5.5(2). Металлический шарик радиусом $r=2$ см зарядили до потенциала $\varphi_0=30$ В и соединили длинным проводом с изолированным незаряженным проводником неизвестной емкости C_x . Чему равна емкость C_x проводника, если после соединения с ним потенциал шара оказался равным $\varphi=10$ В? Емкостью соединительного провода и влиянием зарядов проводников друг на друга пренебречь.

5.6(2). Одну пластину плоского незаряженного конденсатора емкости $C=5 \cdot 10^{-12}$ Ф заземляют, а другую присоединяют тонким длинным проводом к удаленному от плоского конденсатора и других окружающих

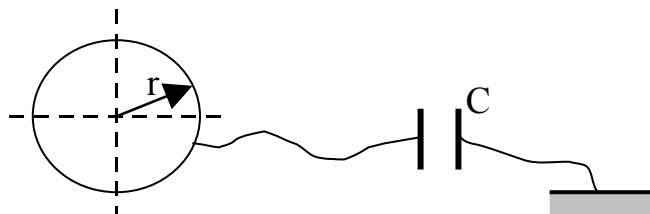


Рисунок 5.1

предметов проводящему шару радиуса $r=2$ см, имеющему заряд $q_0=6 \cdot 10^{-10}$ Кл (рисунок 5.1). Какой заряд останется на шаре?

5.7(1). Конденсатор емкостью $C_1=4$ мкФ, заряженный до напряжения $U_1=80$ В, соединяют параллельно с конденсатором емкостью $C_2=10$ мкФ, заряженным до напряжения $U_2=16$ В, первый раз обкладками, имеющими одинаковые заряды, а второй раз - обкладками с разноименными зарядами. В каком случае и во сколько раз напряжение на конденсаторах после их соединения будет больше?

5.8(3). Плоский конденсатор с обкладками площадью $S=10$ см² каждая и расстоянием $d=0,2$ см между ними подключили к источнику питания напряжением $U=10$ В. В конденсатор вдвигают пластинку из стекла, плотно прилегающую к его обкладкам так, что она заполняет ровно половину зазора между обкладками конденсатора (рисунок 5.2). Определить заряд q , прошедший при этом через источник питания. Диэлектрическая проницаемость стекла $\epsilon=7$.

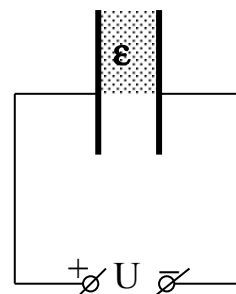


Рисунок 5.2

5.9(4). Найти количество теплоты Q , выделившееся в проводах при соединении верхних незаземленных обкладок конденсаторов с емкостями $C_1=2$ мкФ и $C_2=0,5$ мкФ (рисунок 5.3). Разности потенциалов между верхними и заземленными нижними обкладками равны $U_1=100$ В для первого конденсатора и $U_2= -50$ В для второго конденсатора.

Раздел С (2). Соединения конденсаторов

5.10(2). Два одинаковых конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения. Во сколько раз изменится напряжение на одном из конденсаторов, если другой погрузить в жидкий парафин с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=2$?

5.11(3). Определить разность потенциалов между точками А и В в схеме, приведенной на рисунке 5.4.

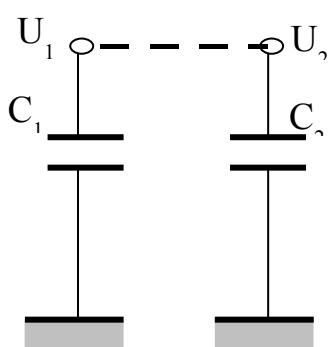


Рисунок 5.3

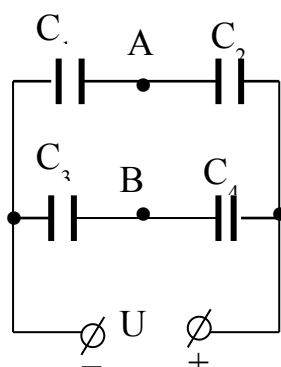


Рисунок 5.4

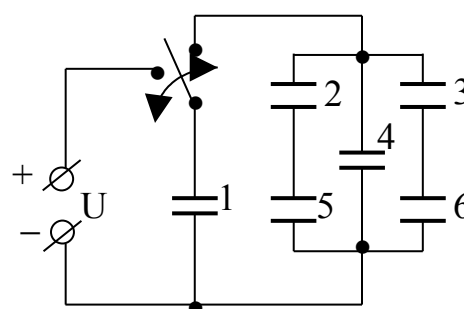


Рисунок 5.5

5.12(3). Конденсатор 1 емкости C , заряженный до разности потенциалов U , подсоединяют к батарее, составленной из пяти конденсаторов емкости C каждый (рисунок 5.5). Найти заряд на каждом конденсаторе.

5.13(4). Найти общую емкость изображенного на рисунке 5.6 соединения конденсаторов. Емкость каждого конденсатора равна C_0 .

5.14(2). У плоского воздушного конденсатора одна обкладка заземлена, а на другую подано напряжение $U=100$ В. Расстояние между обкладками $d=4$ см. В зазор на расстоянии $L=3$ см от заземленной обкладки вдвигается тонкая незаряженная металлическая пластинка (рисунок 5.7). Определите потенциал ϕ внутренней пластинки и напряженность электростатического поля по обе стороны от нее.

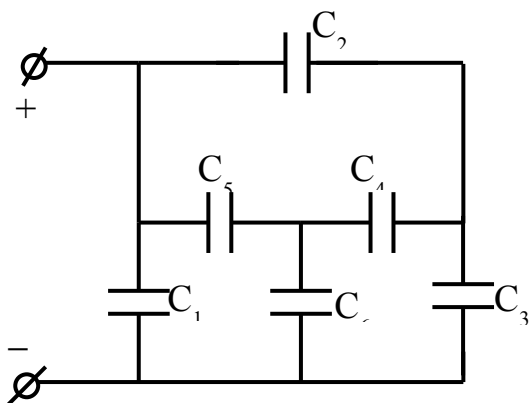


Рисунок 5.6

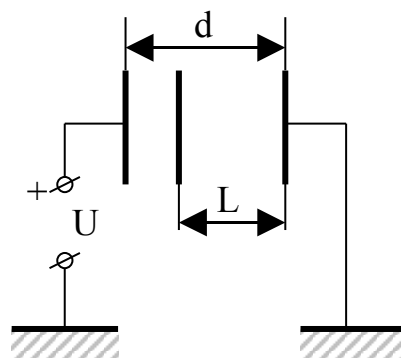


Рисунок 5.7

Раздел D (2). Постоянный ток. Закон Ома. Последовательное и параллельное соединение проводников

5.15(2). Сопротивление медного провода в два раза больше сопротивления алюминиевого провода. Определить, какой провод длиннее и во сколько раз,

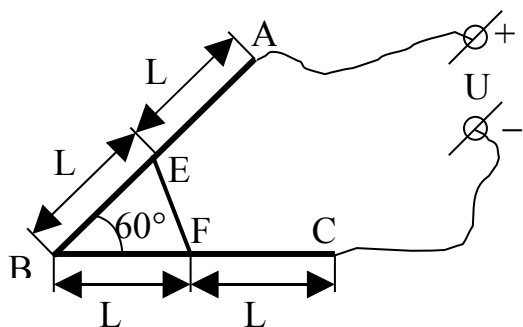


Рисунок 5.8

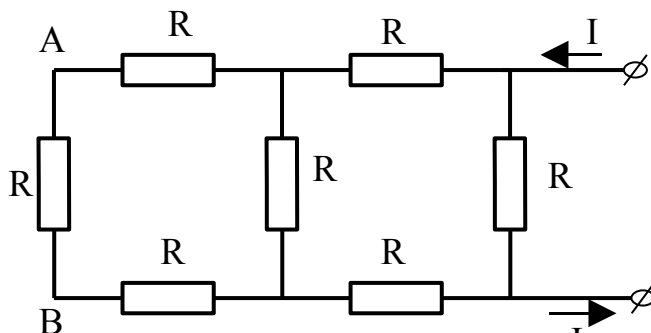


Рисунок 5.9

если масса медного провода в четыре раза меньше массы провода из алюминия. Плотность меди $\gamma_m=8,9 \cdot 10^3$ кг/м³, алюминия $\gamma_a=2,7 \cdot 10^3$ кг/м³, удельное сопротивление меди $\rho_m=0,01$ мкОм·м, алюминия $\rho_a=0,028$ мкОм·м. Площади поперечного сечения проводов различны.

5.16(3). Провод ABC изогнут так, что точки A, B, C находятся в вершинах правильного треугольника (рисунок 5.8). К серединам сторон AB и BC подключена перемычка EF, изготовленная из такого же материала, что и провод ABC, но вдвое меньшей площадью по-

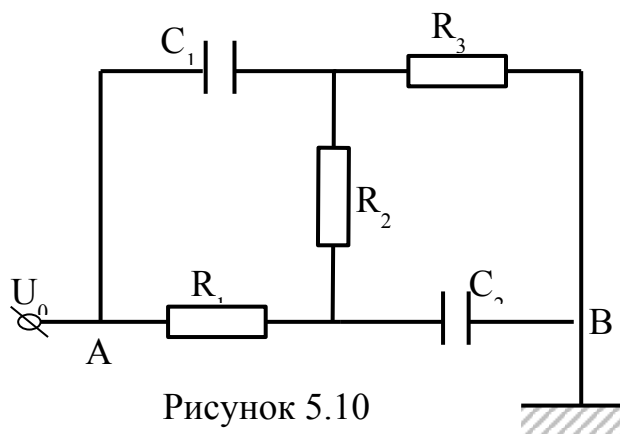


Рисунок 5.10

перечного сечения. К точкам А и С подано напряжение $U=3$ В. Найти падение напряжения на перемычке.

5.17(4). Найти общее сопротивление проводников $R_{\text{общ}}$ и напряжение U между точками А и В в схеме, изображенной на рисунок 5.9. Сопротивления проводников R и сила тока I известны.

5.18(2). Конденсаторы емкости C_1 и C_2 и проводники, сопротивления которых равны R_1 , R_2 , R_3 включены в электрическую цепь так, как показано на рисунок 5.10. На точку А подан постоянный потенциал U_0 , точка В схемы заземлена. Найти заряды конденсаторов.

5.19(2). В вакуумном диоде, анод и катод которого - параллельные пластины, зависимость тока электронов, вылетающих с катода, от напряжения U на аноде задается формулой $I=c \cdot U^{3/2}$, где c - некоторая постоянная величина. Во сколько раз увеличится сила давления электронов на анод, если напряжение U увеличить в два раза? Начальной скоростью электронов, вылетающих с катода, пренебречь.

Раздел Е (2). Работа, мощность, энергия. Закон сохранения энергии

5.20(2). Брусек массой $m=5$ кг медленно перемещают на расстояние $S=0,15$ м по горизонтальной плоскости с помощью резинового шнура, натянутого вдоль плоскости (рисунок 5.11). Коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu=0,4$, коэффициент упругости резинового шнура $k=200$ Н/м. Определить совершаемую при этом работу А.

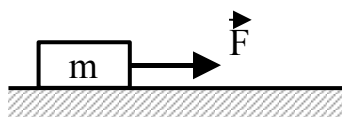


Рисунок 5.11

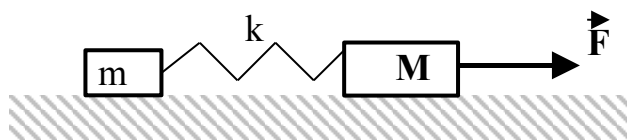


Рисунок 5.12

5.21(4). На горизонтальной плоскости лежат два бруска массы m и M , соединенные ненапряженной пружиной с жесткостью k . Коэффициент трения брусков о плоскость равен μ . Какую минимальную работу А нужно совершить, чтобы систему сдвинуть с места, прикладывая к бруску массой M направленную вдоль плоскости силу (рисунок 5.12)?

5.22(4). Доска массой $m=3$ кг и длиной $L=1$ м лежит у границы двух соприкасающихся полуплоскостей из разных материалов (рисунок 5.13). Какую работу надо совершить, чтобы медленно передвинуть доску с одной полуплоскости на вторую? Коэффициенты трения полуплоскостей с доской соответственно равны $\mu_1=0,3$ и $\mu_2=0,5$.

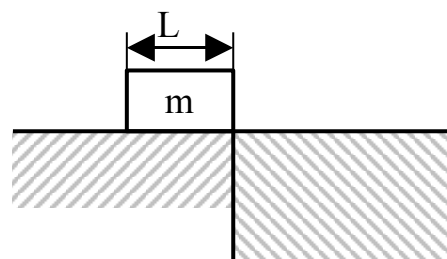


Рисунок 5.13

5.23(2). Уклон участка шоссе равен $\varphi=0,05$ (уклон - отношение высоты подъема h к длине пути L , т.е. $\varphi=h/L=\sin\alpha$, где α - угол наклона пути к горизонту). Спускаясь под уклон при выключенном двигателе, автомобиль массой $m=2$ т движется со скоростью $v=54$ км/ч. Какова должна быть мощность N двигателя автомобиля, чтобы он мог подниматься на такой же подъем с той же скоростью?

5.24(2). С хорошо укатанной горы высотой $h=2$ м и длиной основания $b=5$ м съезжают санки, которые останавливаются, пройдя горизонтально путь $L=35$ м от основания горы. Найти коэффициент трения.

5.25(4). Грузик, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити, отводят в сторону так, что нить принимает горизонтальное положение, и отпускают (рисунок 5.14). При движении грузика вертикальная составляющая его скорости v_v сперва возрастает, затем убывает. Какой угол α с вертикалью образует нить в тот момент, когда вертикальная составляющая скорости грузика наибольшая?

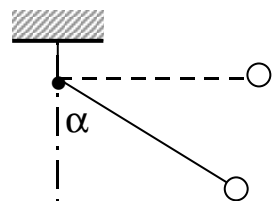


Рисунок 5.14

4.6 Задание 6

Раздел А (2). Закон Ома для полной цепи. Соединение источников тока в батарее

6.1(2). Гальванический элемент дает на внешнее сопротивление $R_1=4$ Ом ток $I_1=0,2$ А. Если же внешнее сопротивление $R_2=7$ Ом, то элемент дает ток $I_2=0,14$ А. Какой ток $I_{кз}$ он даст, если его замкнуть накоротко?

6.2(2). Определить напряжения U_1 и U_2 на конденсаторах C_1 и C_2 в схеме, изображенной на рисунке 6.1, если ЭДС источника $E=2$ В, его внутреннее сопротивление $r=2$ Ом, емкости $C=5$ мкФ, $C_1=2$ мкФ, $C_2=8$ мкФ, внешнее сопротивление $R=9$ Ом.

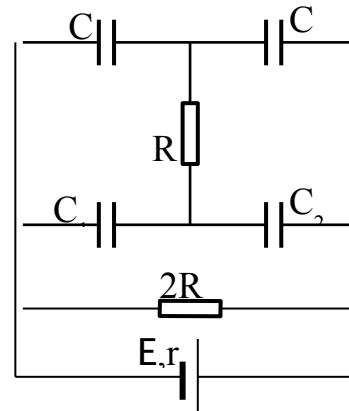


Рисунок 6.1

6.3(3). Два элемента с ЭДС $E_1=2$ В и $E_2=1$ В соединены по схеме, показанной на рисунке 6.2. Сопротивление $R=0,5$ Ом. Внутренние сопротивления элементов одинаковы: $r_1=r_2=1$ Ом. Определить силы токов I_1 , I_2 и I , протекающих через элементы и сопротивление R . При каком значении сопротивления R ток через гальванический элемент с ЭДС E_2 не пойдет?

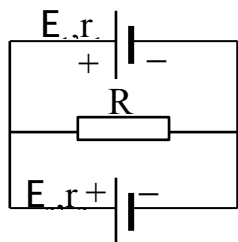


Рисунок 6.2

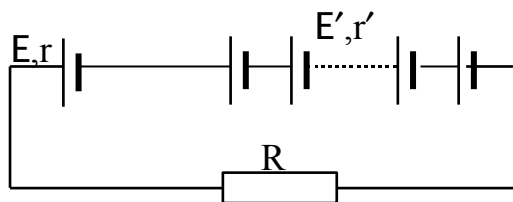


Рисунок 6.3

6.4(2). Батарея из n одинаковых элементов, соединенных в одном случае последовательно, а в другом - параллельно, замыкается на резистор с сопротивлением R . При каких условиях ток, текущий через резистор, в обоих случаях будет один и тот же? Внутреннее сопротивление каждого гальванического элемента равно r_0 . Сопротивлением подводящих проводов пренебречь.

6.5(4). К аккумулятору с ЭДС $E=12$ В последовательно присоединяют одинаковые гальванические элементы с ЭДС E' и внутренним сопротивлением r' и замыкают полученную таким образом батарею на внешнее сопротивление $R=4,5$ Ом (рисунок 6.3). При этом оказывается, что, сколько бы элементов не было присоединено, ток внешней цепи все время остается равным $I=2$ А. Найти внутренние сопротивления аккумулятора r и гальванического элемента r' , если при коротком замыкании аккумулятора и последовательно соединенного с ним одного гальванического элемента в цепи течет ток $I_{кз}=6,5$ А.

Раздел В (2). Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца. Явление электролиза

6.6(3). Как при параллельном, так и при последовательном соединении двух одинаковых аккумуляторов на внешнем сопротивлении выделяется мощность $P_1=80$ Вт. Какая мощность P_2 будет выделяться на этом сопротивлении, если замкнуть на него лишь один из аккумуляторов?

6.7(2). При подключении к батарее сначала сопротивления $R_1=3$ Ом, а затем последовательно с ним сопротивления $R_2=63$ Ом коэффициент полезного действия батареи возрос в $n=2$ раза. Каково внутреннее сопротивление r батареи?

6.8(2). Электромотор питается от источника с ЭДС $E=24$ В. При силе тока в цепи $I=8$ А механическая мощность электромотора $P_{\text{мех}}=96$ Вт. Чему будет равна сила тока в цепи, если затормозить якорь?

6.9(4). Под каким напряжением U_0 нужно передавать электрическую энергию постоянного тока на расстояние $L=5$ км, чтобы при плотности тока $j=2,5 \cdot 10^5$ А/м² в медных проводах двухпроводной линии электропередачи потери в линии составляли $\eta=0,01$ от мощности, отдаваемой генератором тока? Удельное сопротивление меди $\rho=1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

6.10(1). Нагреватель в электрическом чайнике, предназначенном для включения в сеть с напряжением $U=120$ В, имеет $n=3$ секции одинакового сопротивления $R=40$ Ом. Если все три секции соединены последовательно, то вода в чайнике закипит через время $t_0=90$ мин. Вычислите количество теплоты Q , необходимое для нагревания воды до кипения. Считать, что КПД чайника близок к 100%. Сопротивлением подводящих проводов пренебречь.

6.11(1). Найти массу выделившейся меди, если для ее получения электролитическим способом затрачено $W=5$ кВт·ч электроэнергии. Электролиз проводится при напряжении $U=10$ В, КПД установки $\eta=75\%$, электрохимический эквивалент меди $k=3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

Раздел С (1). Магнитное поле. Взаимодействие тока с магнитным полем. Магнитные силы

6.12(4). Горизонтально расположенное проводочное кольцо радиуса $R=1$ см, по которому течет ток $I=2$ А, помещено в вертикальное однородное магнитное поле с индукцией $B=1$ Тл (рисунок 6.4). Определить силу натяжения кольца.

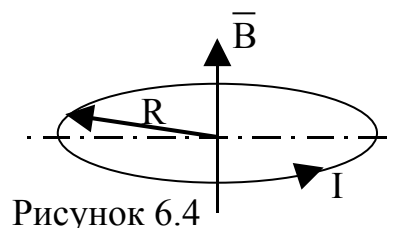


Рисунок 6.4

6.13(2). Электрон влетает в область однородного магнитного поля индукции $B=0,02$ Тл со скоростью $v=5 \cdot 10^6$ м/с так, что направление скорости перпендикулярно вектору магнитной индукции $\vec{B}$ и перпендикулярно границе области, занимаемой полем. На каком расстоянии L от места входа в область поля находится точка выхода электрона из поля обратно? Масса электрона $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, его заряд $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

6.14(3). В направленном вертикально вниз однородном магнитном поле индукции B движется по окружности подвешенный на тонкой нерастяжимой нити длины L шарик массы m с положительным зарядом q (рисунок 6.5). Найти угловую скорость движения шарика, если нить составляет угол α с вертикалью, и шарик вращается по часовой стрелке.

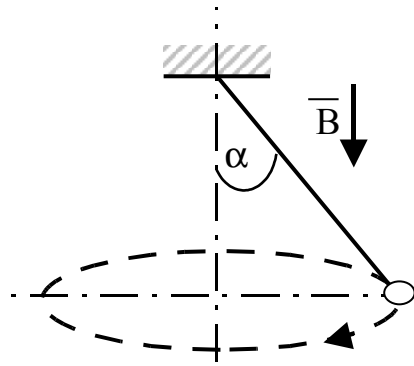


Рисунок 6.5

Раздел D (2). Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. Самоиндукция

6.15(2). В однородном магнитном поле расположен виток сопротивлением $R=9,5$ Ом и площадью $S=100$ см². Плоскость витка составляет угол $\alpha=60^\circ$ с вектором $\vec{B}$. За время $\tau=0,5$ с индукция поля увеличивается с постоянной скоростью от $B_1=0,1$ Тл до $B_2=0,6$ Тл. Найти количество тепла, которое выделилось в витке за это время.

6.16(3). Два параллельных, замкнутых на одном конце провода, расстояние между которыми $L=0,5$ м, находятся в однородном магнитном поле с индукцией $B=5 \cdot 10^{-3}$ Тл. Плоскость, в которой расположены провода, перпендикулярна линиям индукции поля. На провода положили металлическую перемычку, которая может скользить по проводам без трения. Перемычка под действием силы $F=10^{-4}$ Н движется с постоянной скоростью $v=10$ м/с. Найти сопротивление R перемычки. Сопротивлением проводов пренебречь.

6.17(2). Через соленоид, индуктивность которого $L=4 \cdot 10^{-4}$ Гн и площадь поперечного сечения $S=10 \text{ см}^2$, протекает ток $I=0,5$ А. Какова индукция B поля внутри соленоида, если он содержит $N=100$ витков? Поле считать однородным.

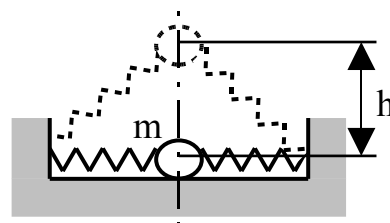
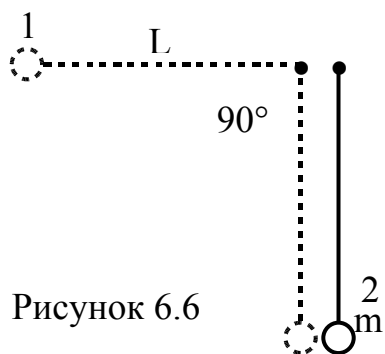
6.18(1). Найти энергию магнитного поля соленоида, в котором при силе тока $I=10$ А возникает магнитный поток $\Phi=0,5$ Вб.

6.19(2). Якорь электромотора постоянного тока с сопротивлением обмоток $R=0,5$ Ом при подключении к источнику постоянного напряжения $U=20$ В делает $n_0=100$ об/с, потребляя электрическую мощность $P=300$ Вт. Какую ЭДС создает электрическая машина, работая как генератор, если якорь вращать с частотой $n=200$ об/с?

Раздел Е (2). Импульс тела. Законы сохранения импульса и энергии

6.20(2). Снаряд, вылетевший из орудия под некоторым углом к горизонту, разрывается в верхней точке своей траектории на высоте $h=100$ м на две части $m_1=1$ кг и $m_2=1,5$ кг. Скорость снаряда в этой точке $v_0=100$ м/с, скорость большего осколка $v_2=250$ м/с и направлена так же, как и скорость снаряда перед разрывом, т.е. совпадает по направлению со скоростью v_0 . Определить расстояние S между точками падения обоих осколков.

6.21(4). Два упругих шарика подвешены на невесомых нерастяжимых нитях одинаковой длины так, что они могут вращаться в вертикальной плоскости без трения в точках подвеса. В положении равновесия нити вытянуты вдоль вертикальной линии, а шарики соприкасаются друг с другом (рисунок 6.6). Первый шарик отклоняют от положения равновесия так, что нить, на которой он висит, принимает горизонтальное положение, и отпускают. В результате упругого столкновения первый шарик мгновенно останавливается, а второй начинает двигаться с минимальной для вращения в вертикальной плоскости скоростью $v_{\min}$. Какова масса M первого шарика, если масса второго шарика $m=100$ г?



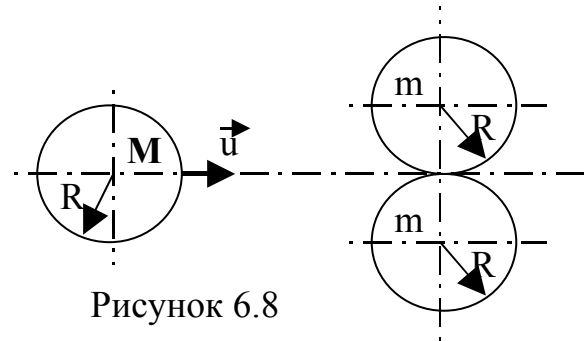
6.22(4). Шарик массой $m=100$ г закрепили на полу двумя одинаковыми невесомыми пружинами жесткостью $k=15$ Н/м каждая (рисунок 6.7). В исходном положении пружины не деформированы и имеют длину $L_0=40$ см. Шарик поднимают вертикально на высоту $h=30$ см и отпускают. Какой импульс передает шарик полу при абсолютно упругом ударе?

6.23(2). Два одинаковых шара массы $m=200$ г лежат неподвижно на горизонтальной поверхности, касаясь друг друга. Третий шар, двигаясь со скоро-

стью $u=5$ м/с по прямой, касающейся одновременно обоих шаров (рисунок 6.8), налетает на них. Найти массу M налетающего шара, если после удара он останавливается. С какой скоростью разлетаются после столкновения покоившиеся шары? Радиусы всех шаров одинаковы. Считать удар упругим. Трение отсутствует.

6.24(3). В шайбу массы $M=490$ г, лежащую на расстоянии $S=1,5$ м от края стола, попала горизонтально летящая со скоростью $v_0=400$ м/с пуля массы $m=10$ г. После этого шайба с застрявшей в ней пулей соскальзывает со стола и падает на расстоянии $L=2,2$ м от него. Высота стола $h=0,5$ м. Каков коэффициент трения μ между шайбой и поверхностью стола?

6.25(2). Пружинное ружье выстреливает шарик вертикально вверх на высоту $h_1=30$ см, если пружина сжата на $\Delta L_1=1$ см. На какую высоту поднимется шарик, если пружину сжать на $\Delta L_2=3$ см?



5 Задания для 11 класса

5.1 Задание 1. Кинематика

Раздел А (1)

1.1(2). Автомобиль проехал по маршруту из пункта A в пункт B и обратно. При движении из A в B первую половину пути автомобиль имел скорость $v_1=60$ км/ч, а вторую – $v_2=80$ км/ч. При возвращении скорость автомобиля была постоянной $v_3=70$ км/ч, но на маршруте была остановка в течение $t=30$ мин. Найдите среднюю скорость автомобиля на 1-м (AB) и 2-м (BA) этапах, а также на всем маршруте, если расстояние между пунктами A и B равно $S=100$ км.

1.2(2). Определите траекторию тела, движущегося в плоскости (xOy), если уравнение движения в проекциях на координатные оси имеет следующий вид:

$$x=x_0+asin(\omega t)$$

$$y=y_0+bcos(\omega t).$$

Раздел В (3). Относительное движение

1.3(1). Два автомобиля одновременно выходят из пункта A и движутся по дорогам, образующим треугольник с углом при вершине A , равным $\alpha=60^\circ$ (рисунок 1.1). Скорости, автомобилей $v_1 = 60$ км/ч и $v_2 = 80$ км/ч. Автомобили одновременно достигают пунктов B и C в момент времени $t=1$ час. Определите время встречи автомобилей в точке D с начала движения из точки A .

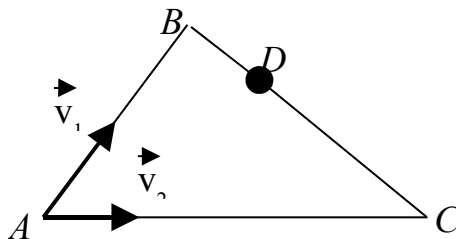


Рисунок 1.1

1.4(2). Сколько времени потребуется вертолету, чтобы облететь квадрат со стороной $a = 100$ км при ветре, дующем со скоростью $u=10$ м/с? Направление ветра совпадает с одной из сторон квадрата. Скорость вертолета при отсутствии ветра $v = 144$ км/ч.

1.5(3). Корабль движется на восток со скоростью v . Ветер дует с юго-востока (угол между скоростями 135°). Скорость ветра, измеренная на палубе корабля равна u . Определите скорость ветра, относительно Земли.

1.6(3). Мяч ударяется о вертикальную стенку, движущуюся со скоростью $u=2$ м/с. Скорость мяча перед ударом равна $v=5$ м/с и направлена перпендикулярно стенке. Определите скорости мяча сразу после упругого удара для двух случаев движения стенки – навстречу и от мяча. Ответ должен быть получен для исходной системы отсчета, в которой заданы начальные скорости мяча и стенки.

1.7(2). Самолет движется вдоль отвесной стены. Под каким углом к направлению движения самолета пилот слышит эхо, отраженное от этой стены?

Этот угол образован векторами скорости самолета и отраженной звуковой волны. Скорость звука $v=340$ м/с, скорость самолета $u=720$ км/ч.

1.8(3). С катера, двигавшегося вверх по реке, спустили спасательный круг в тот момент времени, когда он проплывал под мостом. Через время $\tau=1$ час после этого мотор катера заглох. Ремонт мотора продолжался $t=15$ мин., во время которого катер дрейфовал по течению. После ремонта катер повернул обратно и двигался с прежней относительно воды скоростью. Катер встретил спасательный круг на расстоянии $L=6$ км от моста. Определите скорость течения реки.

1.9(4). Два тела движутся с постоянными скоростями по взаимно перпендикулярным прямым. Скорость первого тела $v_1=3$ м/с, второго тела – $v_2=4$ м/с. В момент времени, когда расстояние между телами наименьшее, первое тело находится на расстоянии $S_1=60$ м от точки пересечения прямых. На каком расстоянии S_2 от точки пересечения прямых находится в этот момент второе тело?

Раздел С (3). Равноускоренное движение

1.10(2). Тело, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, прошло некоторый путь. Чему равно отношение средней скорости движения тела на второй половине пути к средней скорости на первой половине?

1.11(3). Первый вагон, тронувшегося с места поезда, прошел мимо неподвижного наблюдателя, стоявшего у начала этого вагона, за время t_1 , а последний вагон за время t_2 . Движение поезда можно считать равноускоренным, а длины вагонов одинаковыми. Найдите время движения мимо наблюдателя всего поезда и количество вагонов в поезде.

1.12(2). Из одной точки пространства одновременно вылетают две частицы с горизонтальными, противоположно направленными скоростями v_1 и v_2 . Величины скоростей v_1 и v_2 равны $v=15$ м/с. Ускорение свободного падения равно $g=10$ м/с². Через какой промежуток времени угол между направлениями скоростей этих частиц станет равным $\alpha=90^\circ$?

1.13(2). Свободно падающее тело в последнюю секунду своего движения проходит половину всего пути. Определите время падения и высоту, с которой тело падало без начальной скорости.

1.14(1). Под каким углом к горизонту нужно бросить тело, чтобы максимальная высота его подъема была в $n=2$ раза больше его дальности полета?

1.15(3). С поверхности Земли брошено вертикально вверх тело со скоростью $v_0=14,7$ м/с. Средняя скорость тела изменяется с течением времени движения. Определите, в какой момент времени ($t > 0$) величина мгновенной скорости совпадает со средней скоростью. Как в этот момент направлена мгновенная скорость?

1.16(3). Мальчик, находясь на расстоянии $L=12$ м перед забором высотой $H=6$ м, бросает камень с высоты $h=1,5$ м под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту. С какой минимальной скоростью надо бросить камень, чтобы он перелетел через забор?

1.17(4). Под каким углом к горизонту необходимо бросить камень с обрывистого берега реки, чтобы он упал в воду возможно дальше от берега? Высота обрыва $H=10$ м, начальная скорость камня $v_0=10$ м/с.

Раздел D (2). Криволинейное движение

1.18(1). Линейная скорость точек обода вращающегося диска $v_1=10$ м/с, а точек, находящихся на $L=20$ см ближе к оси вращения, $v_2=6$ м/с. Определите угловую скорость вращения и радиус диска.

1.19(3). Мальчик держит один конец доски длиной L , а другой ее конец лежит на цилиндре радиуса R (рисунок 1.2). Мальчик начинает двигаться вперед, в результате чего цилиндр катится без скольжения по горизонтальной плоскости. Скольжение доски по цилиндру также отсутствует. Какой путь должен пройти мальчик, чтобы достичь цилиндра? Размeрами цилиндра по сравнению с длиной доски можно пренебречь ($R \ll L$).

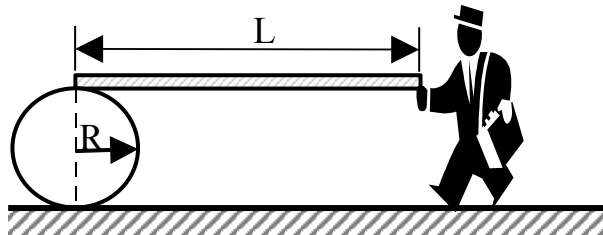


Рисунок 1.2

1.20(4). Шарик радиуса R катится со скоростью v_0 по двум рельсам, расположенным на расстоянии a друг от друга. Проскальзывание между шариком и рельсами отсутствует. Определите скорости точек A и B относительно рельсов (рисунок 1.3).

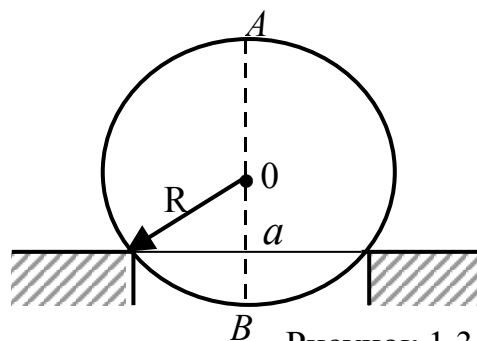


Рисунок 1.3

1.21(3). Точка движется по окружности со скоростью, величина которой меняется со временем t по закону $v=b \cdot t$, где $b=2$ м/с². Определите величину полного ускорения и угол между векторами скорости и полного ускорения в момент времени, когда точка совершит первый оборот после начала движения.

1.22(2). Тело брошено под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту. Найдите отношение радиусов кривизны траектории в момент броска и в момент достижения телом максимальной высоты подъема.

Раздел E (0)

1.23(4). Человек, стоящий на мосту, тянет с помощью каната находящуюся на воде лодку. Скорость, с которой человек выбирает канат, постоянна и равна $v=0,2$ м/с. Найдите скорость, которую будет иметь лодка в момент времени, когда угол между канатом и поверхностью воды равен $\alpha=30^\circ$.

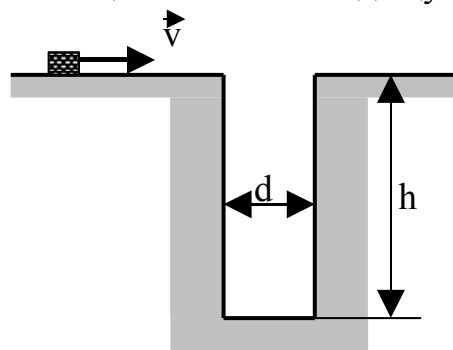


Рисунок 1.4

1.24(4). Небольшое тело скользит со скоростью $v=5$ м/с по гладкой горизонтальной поверхности, приближаясь к щели, образованной двумя отвесными вертикальными стенками, которые расположены на расстоянии $d=10$ см друг относительно друга (рисунок 1.4). Скорость тела перпендикулярна стенкам, глубина щели $h=1$ м. Сколько раз упруго столкнется тело со стенками до момента падения на дно щели? Размерами тела по сравнению с величиной d можно пренебречь.

1.25(5). На гладкую неподвижную плоскость с углом наклона α налетает стальной шарик под углом β к плоскости (рисунок 1.5). При каком значении β шарик сможет вернуться в точку его первого удара о плоскость, если между первым и последним ударом шарик еще n раз столкнется с плоскостью? Все соударения шарика с плоскостью считать упругими.

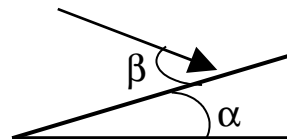


Рисунок 1.5

5.2 Задание 2. Динамика

Раздел А (2). Динамика прямолинейного движения

2.1(1). Три груза массой $m=0,5$ кг каждый соединены невесомыми пружинками и подвешены на нити (рисунок 2.1). Найдите ускорение каждого груза сразу после пережигания нити.

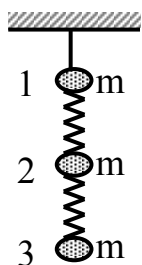


Рисунок 2.1

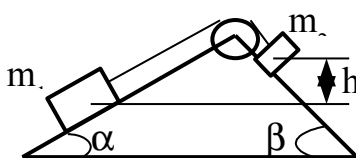


Рисунок 2.2

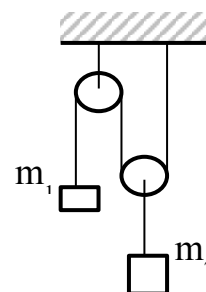


Рисунок 2.3

2.2(3). Два груза с массами $m_1=m_2=1$ кг связаны между собой нитью, перекинутой через блок. Грузы лежат на плоскостях, расположенных под углами $\alpha=30^\circ$ и $\beta=60^\circ$ к горизонту (рисунок 2.2). Правый груз находится выше левого на $h=0,5$ м. Определите через какой промежуток времени после начала движения грузы окажутся на одной высоте. Трение между грузами и плоскостями отсутствует. Нить нерастяжима.

2.3(3). Определите величины и направления ускорений грузов в системе, изображенной на рисунок 2.3. Массы грузов $m_1=1$ кг и $m_2=1,5$ кг. Массой блоков и нитей можно пренебречь, растяжение нитей и трение в блоках отсутствует.

2.4(2). Тело тянут за нить так, что оно движется по горизонтальной плоскости с постоянной скоростью ($v \neq 0$). Коэффициент трения между телом и плос-

костью $\mu=0,4$. Определите угол наклона нити к плоскости, при котором ее натяжение будет минимальным.

2.5(3). На плоскости, образующей угол $\alpha=15^\circ$ с горизонтом, лежит шайба массой $m = 100$ г (рисунок 2.4). Какую минимальную силу необходимо приложить к шайбе в горизонтальном направлении вдоль плоскости, чтобы сдвинуть шайбу? Коэффициент трения между шайбой и плоскостью $\mu=0,4$.

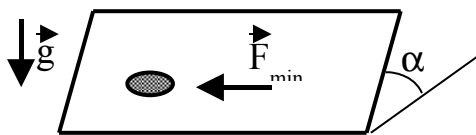


Рисунок 2.4

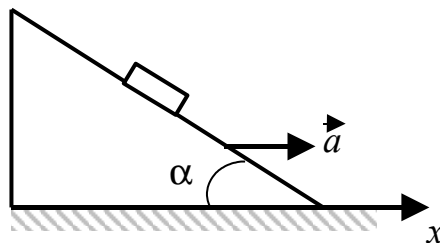


Рисунок 2.5

2.6(4). На грань призмы, образующей угол $\alpha=30^\circ$ с горизонтом, положили некоторое тело (рисунок 2.5). Коэффициент трения между телом и призмой $\mu=0,3$. Призму перемещают с постоянным ускорением, направленным вдоль оси Ox . Определите минимальное и максимальное значения ускорения, при котором тело не будет скользить относительно призмы ни вверх, ни вниз.

Раздел В (1). Динамика криволинейного движения

2.7(2). Груз, подвешенный на нити, отклоняют на угол α и отпускают без начальной скорости. В момент времени, когда нить расположена строго вертикально, ее натяжение в $n=2$ раза больше силы тяжести, действующей на груз. Определите значение угла α .

2.8(2). На диске, который вращается вокруг вертикальной оси, лежит маленькая шайба массой $m=100$ г. Шайба соединена с помощью горизонтальной пружины с осью диска. Если угловая скорость диска не превышает величины $\omega_1=10$ рад/с, пружина находится в недеформированном состоянии. При медленном увеличении угловой скорости до величины $\omega_2=30$ рад/с пружина удлиняется в $n=1,5$ раза. Определите коэффициент жесткости (k) пружины.

2.9(3). На нити длиной $L=0,5$ м подвешен груз. Определите минимальную горизонтальную скорость, которую необходимо сообщить грузу, чтобы он сделал полный оборот по окружности.

2.10(2). На полюсе некоторой планеты тело весит в $n=1,5$ раза больше, чем на экваторе. Период обращения планеты вокруг собственной оси равен $T=2$ часа. Определите плотность планеты, предполагая, что она имеет форму идеального шара. Численное значение гравитационной постоянной равно $G=6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг².

2.11(5). Тело, находящееся на вершине полусферы радиуса $R=1$ м, начинает соскальзывать по ней без трения. Начальная скорость тела равна нулю. Определите, на какой высоте тангенциальное ускорение скольжения совпадает по величине с нормальным ускорением.

Раздел С (2). Законы сохранения

2.12(1). Ракета, запущенная вертикально вверх, взрывается в высшей точке своего подъема на высоте $H=100$ м. При взрыве образуются 4 осколка, два из которых имеют начальные скорости, направленные вертикально, а два других имеют начальные скорости, направленные горизонтально (рисунок 2.6). Величины всех скоростей одинаковы $v_1=v_2=v_3=v_4=25$ м/с. Массы осколков 1 и 2 равны $m_1=m_2=2$ кг, а массы осколков 3 и 4 равны $m_3=m_4=3$ кг. Определите скорости всех осколков при падении на Землю. Сопротивлением воздуха следует пренебречь.

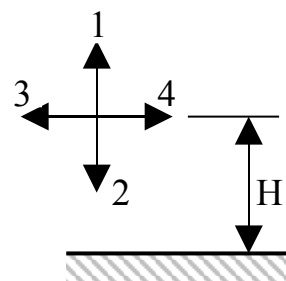


Рисунок 2.6

2.13(3). На озере находится лодка, обращенная кормой к ближайшему берегу. Человек в лодке переходит с кормы на нос. Как изменится при этом расстояние между человеком и берегом? Масса человека $m=75$ кг, масса лодки $M=150$ кг, ее длина $L=2,4$ м.

2.14(3). Тело массой $m=0,2$ кг налетает на покоящееся тело и после упругого столкновения отскакивает от него под прямым углом к первоначальному направлению движения со скоростью, в $n=2$ раза меньше начальной. Определите массу второго тела.

2.15(5). На высоте $h=1$ м над горизонтальной плитой находится большое количество маленьких шариков массой $m=1$ г. В случайные моменты времени их начинают отпускать без начальной скорости. Столкновения шариков с плитой являются упругими. Определите установившееся давление, которое испытывает плита, если средняя плотность шариков над ней $n=10$ м⁻³.

2.16(2). Сила $F=12$ Н, действовавшая на покоящееся в начальный момент тело в течение $t=2 \cdot 10^{-2}$ с, сообщила ему кинетическую энергию $E_1=4$ Дж. Определите кинетическую энергию второго такого же тела по прошествии того же времени, если начальная скорость тела $v_0=10$ м/с, а сила действует в направлении этой скорости.

2.17(2). Два одинаковых тела, движущиеся с одинаковыми по величине скоростями, сталкиваются абсолютно неупруго. Какой угол был между скоростями тел до удара, если в результате столкновения кинетическая энергия уменьшилась на $\eta=25\%$?

2.18(4). Пуля массой $m=5$ г, летящая вертикально вверх, пробивает лежавшую на подставках доску массой $M=0,25$ кг (рисунок 2.7), после чего поднимается на максимальную высоту $H=50$ м над уровнем подставок. Величина начальной скорости пули $v=200$ м/с. Определите высоту, на которую подпрыгнет доска. Толщиной доски можно пренебречь.

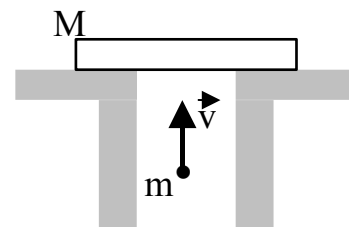


Рисунок 2.7

Раздел D (1). Работа сил трения

2.19(4). Брусок массой $m=0,1$ кг находится на левом конце доски, масса которой $M=1$ кг, а длина $L=0,5$ м (рисунок 2.8). Коэффициент трения между бруском и доской $\mu=0,5$. Доска находится на гладкой горизонтальной поверхности и может перемещаться по ней без трения. Летевшая горизонтально пуля попадает в брусок и застревает в ней. Масса пули $m_1=5$ г. Определите минимальную скорость пули, при которой брусок сможет соскользнуть с доски. Размерами бруска можно пренебречь.

2.20(3). На горизонтальной поверхности лежит тело массой $m=0,2$ кг, прикрепленное невесомой пружиной к вертикальной плоскости (рисунок 2.9). В начальный момент времени пружина не деформирована. На тело начинает действовать постоянная сила величиной $F=2$ Н. Определите максимальное смещение тела от начального положения, если коэффициент упругости пружины $k=50$ Н/м, а коэффициент трения между телом и поверхностью $\mu = 0,4$.

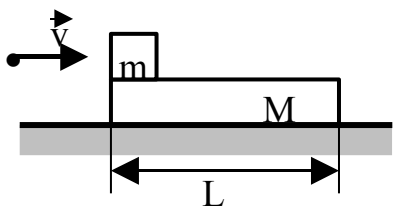


Рисунок 2.8

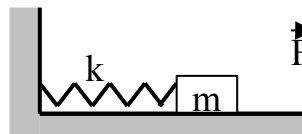


Рисунок 2.9

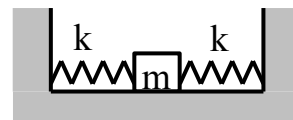


Рисунок 2.10

2.21(3). Тело массы $m=1,0$ кг прикреплено двумя одинаковыми пружинами к вертикальным стенкам и совершает колебания, двигаясь прямолинейно по горизонтальной поверхности (рисунок 2.10). Величины двух последовательных отклонений от положения равновесия вправо и влево равны соответственно $S_1=10$ см и $S_2=8$ см. Определите коэффициент трения μ тела о поверхность, если жесткость каждой пружины $k=100$ Н/м.

2.22(5). Канат, длина которого $L=1$ м, наполовину свешивается со стола, высота которого больше L . Коэффициент трения между канатом и столом $\mu=0,4$. Канат начинает соскальзывать без начальной скорости. Определите скорость каната в момент времени, когда его конец соскользнет со стола.

Раздел Е (1)

2.23(1). Определите во сколько раз вес человека в лифте, движущемся с ускорением вверх, больше веса в лифте, движущемся с ускорением вниз. В обоих случаях величина ускорения $a=3$ м/с².

2.24(3). Для растяжения каждой из двух пружин на $x=1$ см необходимо приложить соответственно силы $F_1=1$ Н и $F_2=2$ Н. Какую силу необходимо приложить к последовательно соединенным пружинам, чтобы их суммарное удлинение было таким же?

2.25(2). Брусок массой $m = 2$ кг и длиной $L = 0,5$ м лежит слева от прямой разделяющей две поверхности (рисунок 2.11). Определите минимальную работу, которую должна совершить горизонтально направленная сила F , чтобы перетащить брусок

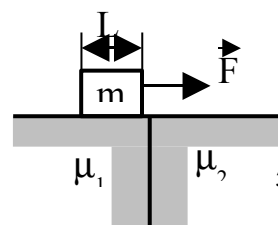


Рисунок 2.11

с левой поверхности на правую. Коэффициент трения между бруском и поверхностями $\mu_1 = 0,6$ и $\mu_2 = 0,3$.

5.3 Задание 3. Статика. Гидростатика. Молекулярная физика и термодинамика

Раздел А (1). Статика

3.1(3). Невесомый стержень, опирающийся на неподвижную призму, находится в равновесии, если к его левому концу прикреплен груз массой $M=3$ кг, а к правому - два груза с массами $m_1=2$ кг и $m_2=1$ кг соответственно. На какое расстояние, и в каком направлении необходимо сместить точку опоры, если грузы m_1 и m_2 будут подвешены на нерастяжимой нити к невесомому блоку, прикрепленному к правому концу (рисунок 3.1), и начнут двигаться? Длина стержня $L=0,5$ м.

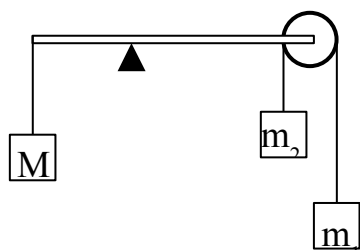


Рисунок 3.1

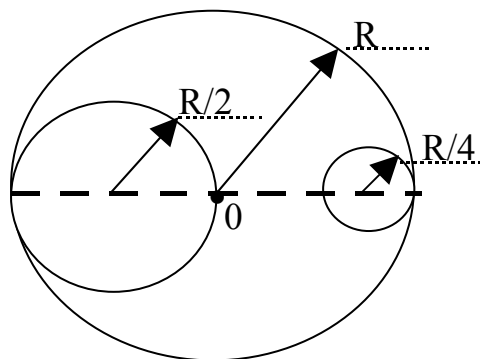


Рисунок 3.2

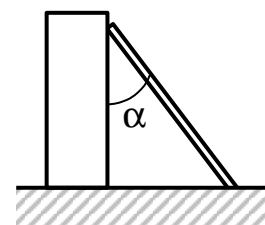


Рисунок 3.3

3.2(2). Определите положение центра тяжести однородного диска радиуса R с двумя вырезанными кругами (рисунок 3.2). Круги, лежащие на одном диаметре, касаются граничной окружности диска и имеют радиусы $R/2$ и $R/4$.

3.3(5). Тонкая доска прислонена к брусу, масса которого в n раз больше массы доски (рисунок 3.3). Коэффициенты трения между доской и поверхностью μ_1 , между бруском и поверхностью μ_2 . Трение между доской и бруском отсутствует. Определите, при каких значениях угла α система находится в равновесии. При решении предположите, что брус не может опрокинуться.

Раздел В (1). Гидростатика

3.4(1). В цилиндрический стакан с площадью сечения $S=20$ см², частично заполненный водой ($\rho=1$ г/см³), положили шарик радиуса $R=1$ см и плотностью $\rho_1=0,4$ г/см³. Определите, на сколько поднимется уровень воды в стакане.

3.5(3). Шарик, подвешенный на пружине жесткостью $k=50$ Н/м, погружен в воду ($\rho=1$ г/см³). Плотность шарика $\rho_1=2$ г/см³, его объем $V=10$ см³. С помощью невесомой нити шарик поднимают вверх настолько медленно, что силами сопротивления воды можно пренебречь. Определите работу, которую необхо-

димо совершить, чтобы поднять шарик до высоты, при которой пружина не будет деформирована. В конечном состоянии шарик остается полностью погруженным в воду.

3.6(5). Тонкостенный стакан переворачивают в воздухе (давление $P_0=10^5$ Па) вверх дном и начинают очень медленно погружать в воду. Определите, на какую глубину нужно погрузить стакан, чтобы он утонул. Глубина погружения отсчитывается от поверхности воды до дна стакана. Стакан имеет форму цилиндра, высотой $h=10$ см и площадью основания $S=25$ см². Масса стакана $m=100$ г. При решении объемом стекла можно пренебречь. Плотность воды $\rho=1$ г/см³.

Раздел С (3). Молекулярная физика. Законы идеального газа

3.7(1). Определите давление, которое создает один миллиард молекул идеального газа в объеме $V=1$ см³ при температуре $T=300$ К.

3.8(2). Идеальный газ массой $m=80$ г представляет собой некоторое соединение водорода и углерода. Газ находится в объеме $V=135$ л при давлении $P=10^5$ Па и температуре $T=325$ К. Определите химическую формулу соединения, если молярная масса молекулярного водорода (H_2) $\mu_1=2$ г/моль, а углерода (C) - $\mu_2=12$ г/моль.

3.9(3). Начиная с некоторого момента времени поверхность, ограничивающая объем газа, поглощает $\eta=20\%$ молекул, ударяющихся об нее. Определите, во сколько раз изменится давление газа. Уменьшением числа молекул в объеме газа можно пренебречь.

3.10(1). В баллоне находится некоторый идеальный газ. При выпускании из баллона части газа его температура уменьшилась в $n=2$ раза, а давление уменьшилось в $k=3$ раза. Какая часть газа была выпущена?

3.11(2). В идеальном газе ($m=\text{const}$) протекает круговой процесс $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$, график которого в координатах P - T изображен на рисунке 3.4. Постройте графики этого процесса в координатах P - V и V - T .

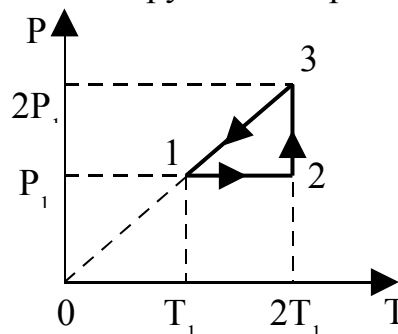


Рисунок 3.4

3.12(2). В вертикально стоящем цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального газа с молярной массой $\mu=4$ г/моль. Поршень, имеющий массу $M=2$ кг и площадь $S=0,01$ м², может свободно (без трения) перемещаться внутри цилиндра. Определите массу газа, если при его нагреве на $\Delta T=10$ °С его объем увеличился на $\Delta V=0,5$ л. Атмосферное давление постоянно и равно $P_0=10^5$ Па.

3.13(4). В закрытом с обоих торцов цилиндре находится идеальный газ при давлении $P=10^5$ Па, разделенный на два одинаковых объема тонким поршнем, который может свободно (без трения) перемещаться. Цилиндр начинает двигаться по горизонтальной плоскости с ускорением $a=5$ м/с², направленным по нормали к его торцам. Определите отношение объемов по обе стороны от

поршня. Температура газа постоянна. Площадь сечения цилиндра $S=10 \text{ см}^2$, масса поршня $m=0,1 \text{ кг}$.

3.14(3). Открытую стеклянную трубку длиной $L=0,5 \text{ м}$ вертикально погружают в воду наполовину. Затем верхний конец трубки закрывают и трубку поднимают. После того, как вся трубка окажется в воздухе, ее переворачивают в горизонтальное положение. Определите расстояние от открытого конца трубки до столбика воды. Температура воздуха в трубке не менялась. Атмосферное давление $P=10^5 \text{ Па}$. Плотность воды $\rho=1 \text{ г/см}^3$. Капиллярными эффектами можно пренебречь.

Раздел D (1). Насыщенный пар

3.15(3). Влажный воздух массой $m=1,16 \text{ кг}$ занимает объем $V=1 \text{ м}^3$ при температуре $T=298 \text{ К}$ и давлении $P=10^5 \text{ Па}$. Давление насыщенных паров при этой температуре $P_n=3,19 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Определите относительную влажность воздуха. Молярная масса сухого воздуха $\mu=29 \text{ г/моль}$, молярная масса паров воды $\mu_1=18 \text{ г/моль}$.

3.16(3). В баллоне объемом $V=10 \text{ л}$ находится $\nu_1=1 \text{ моль}$ водорода и $\nu_2=1 \text{ моль}$ кислорода при температуре $t_1=0 \text{ }^\circ\text{С}$. В результате взрыва весь водород, соединяясь с кислородом, образует молекулы воды. Установившаяся в баллоне температура $t_2=100 \text{ }^\circ\text{С}$. Определите, во сколько раз изменится давление в баллоне. Давление насыщенного пара при этой температуре $P_n=1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3.17(3). В закрытом с обоих торцов горизонтальном цилиндре свободно перемещается невесомый поршень. Объем цилиндра $V=1 \text{ л}$. Слева от поршня вводится $m_1=1 \text{ г}$ воды ($\mu_1=18 \text{ г/моль}$), а справа – $m_2=0,4 \text{ г}$ кислорода ($\mu_2=32 \text{ г/моль}$). Определите отношение объемов V_1/V_2 при температуре $t=100 \text{ }^\circ\text{С}$. Давление насыщенного пара при этой температуре $P_n=1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

3.18(5). В цилиндрической трубе на расстояниях L и $2L$ от закрытого торца находятся два поршня, которые могут перемещаться без трения (рисунок 3.5). В левом отсеке находится воздух при давлении P , а в правом пары воды при том же давлении. Давление насыщенных паров воды равно $2P$. Правый поршень медленно вдвинули на расстояние a , при этом температура воздуха и паров воды оставалась постоянной. Определите, насколько сдвинется левый поршень.

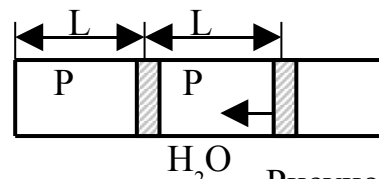


Рисунок 3.5

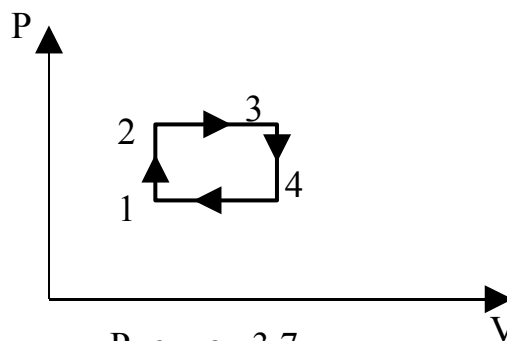
Раздел E(2). Термодинамика

3.19(1). Определите число степеней свободы молекул идеального газа, если молярная теплоемкость этого газа в изобарном процессе $C_p=9R/2$.

3.20(2). Идеальный атомарный газ, масса которого $m=12 \text{ г}$, расширяется без теплообмена с окружающей средой. В результате этого процесса температура газа уменьшилась на $\Delta T=20 \text{ К}$. Определите работу, совершенную газом при расширении. Молярная масса газа $\mu=4 \text{ г/моль}$.

3.22(3). Идеальный газ совершает работу, изменяя свое состояние по замкнутому циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар (рисунок 3.7). В начальном состоянии (точка 1) температура газа $T_1 = 200 \text{ К}$, в точке 2 - температура $T_2 = 500 \text{ К}$. Точки 2 и 4 лежат на одной изотерме. Масса газа $m = 100 \text{ г}$, молярная масса $\mu = 4 \text{ г/моль}$. Определите работу, которую совершает газ за один цикл.

Рисунок 3.6



3.24(3). В вертикальном цилиндре с площадью основания $S=10 \text{ см}^2$ под поршнем массы $M=1 \text{ кг}$, при температуре $T=300 \text{ К}$ находится идеальный газ объемом $V=20 \text{ л}$. Для повышения температуры газа на $\Delta T=50 \text{ К}$ ему было сообщено количество теплоты $Q=833 \text{ Дж}$. Определите изменение внутренней энергии газа, если атмосферное давление $P_0=10^5 \text{ Па}$.

3.25(1). На какую высоту можно было бы поднять тело массой $M=1\,000\text{ кг}$, если бы удалось полностью использовать энергию, которую нужно затратить на плавление льда массой $m=200\text{ г}$ (удельная теплота плавления льда равна $\lambda = 0,34 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$), нагревание образовавшейся воды до $100\text{ }^\circ\text{C}$ (удельная теплоемкость воды $c=4,2 \cdot 10^3\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$) и ее испарение (удельная теплота парообразования воды $r=2,26 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$)?

Раздел А (1). Закон Кулона

4.1(2). Два одинаковых шарика с массами $m_1=m_2=m=100$ г подвешены на двух нитях, как показано на рисунке 4.1. Заряды шариков одинаковы $q_1=q_2=q$, расстояние между ними $r=10$ см. После пережигания нити, соединяющей шарики, ускорение верхнего шарика равно $a=-2g$. Определите величину зарядов шариков. Ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

4.2(3). Три одинаковых маленьких шарика массами $m=1$ г подвешены на нитях в одной точке. Определите, какие одинаковые заряды следует сообщить шарикам, чтобы каждая нить составила с вертикалью угол $\alpha=45^\circ$. Длина каждой нити $L=10$ см.

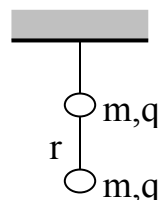


Рисунок 4.1

4.3(3). Шарик массой $m=1$ г, имеющий заряд $q_1=10^{-8}$ Кл, подвешен на нити и движется по окружности радиусом $R=2$ см с угловой скоростью $\omega=10$ с⁻¹. В центре окружности поместили шарик с зарядом $q_2=-q_1$. Определите угловую скорость вращения шарика, при которой радиус окружности не изменится.

Раздел В (3). Электрическое поле

4.4(1). Два заряда $q_1=2 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2=3 \cdot 10^{-8}$ Кл находятся на расстоянии $L=20$ см друг от друга. Определите потенциал электрического поля в точке, где напряженность поля равна нулю.

4.5(2). Два одинаковых равномерно заряженных тонких кольца радиусом R расположены так, что их оси пересекаются под прямым углом в точке O , которая находится на расстоянии $2R$ от центров обоих колец (рисунок 4.2). Определите, во сколько раз изменится величина напряженности электрического поля в точке O , если кольцо B полностью совместить с кольцом A . Положение кольца A не изменилось.

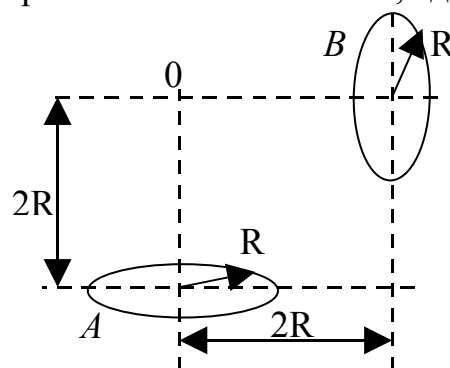


Рисунок 4.2

4.6(3). Стороны правильного треугольника образованы одинаковыми равномерно заряженными стержнями. Определите потенциал и величину напряженности электрического поля в центре треугольника, если при удалении одного из стержней потенциал и напряженность в этой точке становятся равными $\varphi=40$ В и $|\vec{E}|=100$ В/м.

4.7(4). Три одинаковые изолированные плоскости расположены параллельно друг другу на расстояниях d_1 и d_2 (рисунок 4.3). Плот-

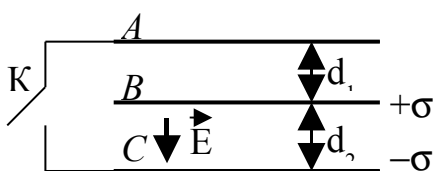


Рисунок 4.3

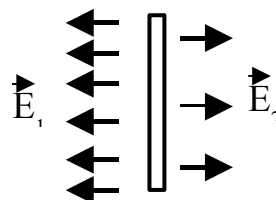


Рисунок 4.4

ности заряда на плоскостях B и C равны соответственно $+\sigma$ и $-\sigma$, плоскость A не заряжена. Затем плоскости A и C замкнули. Определите, во сколько раз изменилась величина напряженности электрического поля между плоскостями B и C .

4.8(3). Плоскую бесконечную заряженную пластину поместили в однородное электрическое поле так, что линии поля перпендикулярны поверхности пластины. В результате напряженность поля слева от пластины стала равной $|\vec{E}_1| = 6 \cdot 10^3$ В/м, а справа $|\vec{E}_2| = 3 \cdot 10^3$ В/м (рисунок 4.4). Определите силу, которая действует на единицу площади пластины со стороны электрического поля.

4.9(3). Два проводящих шара, радиусы которых R_1 и R_2 , имеют заряды q_1 и q_2 соответственно. Расстояние между шарами намного больше их радиусов. Определите потенциалы и заряды шаров после соединения их проволокой.

4.10(4). Четыре одинаковые заряженные частицы, каждая из которых имеет массу $m = 2$ г и заряд $q = 10^{-8}$ Кл, поместили на горизонтальную поверхность в вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Затем частицы одновременно освободили, после чего они стали симметрично разлетаться под действием кулоновских сил отталкивания. Определите максимальное значение скорости частиц.

4.11(5). На горизонтальной поверхности в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 20$ см помещены три одинаковых тела, массы которых $m = 1$ г и заряды $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл. В результате электростатического взаимодействия тела начинают двигаться. Определите максимальную скорость тел, если коэффициент трения между телами и поверхностью $\mu = 0,1$.

Раздел С(2). Электрическая емкость. Энергия электрического поля

4.12(1) Конденсатор емкостью C , заряженный до разности потенциалов $U_1 = 50$ В, соединяется параллельно одноименно заряженными обкладками с конденсатором емкостью $2C$, заряженным до напряжения $U_2 = 300$ В. Определите напряжение на конденсаторах после соединения.

4.13(3). Определите емкость бесконечно длинной системы конденсаторов, соединенных друг с другом, как показано на рисунке 4.5. Емкости верхних конденсаторов $C_1 = 2 \cdot 10^{-6}$ Ф, нижних — $C_2 = 10^{-6}$ Ф.

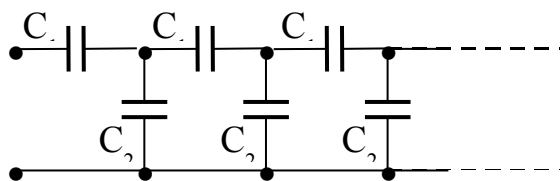


Рисунок 4.5

4.14(3). Два последовательно соединенных конденсатора, емкости которых $C_1 = 10^{-6}$ Ф и $C_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ Ф, зарядили от источника с ЭДС $E = 10$ В (рисунок 4.6,а). Затем оба конденсатора отсоединили от источника и соединили между собой так, как показано на рисунке 4.6,б. Определите энергию, которая выделилась в этом процессе.

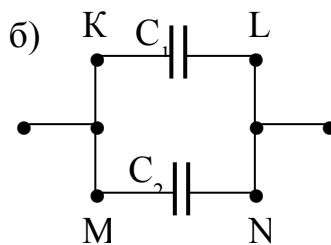
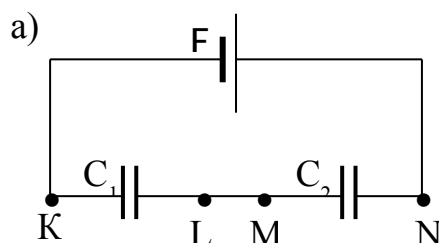


Рисунок 4.6

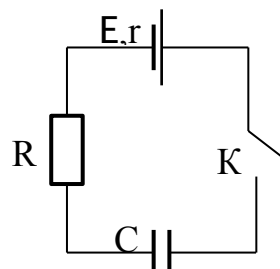


Рисунок 4.765

4.15(3). Определите количество теплоты, которое выделится на резисторе сопротивлением $R=5\text{ Ом}$ после замыкания ключа в схеме, приведенной на рисунке 4.7. Емкость конденсатора $C=10^{-5}\text{ Ф}$, ЭДС источника $E=10\text{ В}$, внутреннее сопротивление источника $r=1\text{ Ом}$.

4.16(4). Какое количество теплоты выделится после замыкания ключа в цепи, схема которой изображена на рисунке 4.8? До замыкания ключа на конденсаторе емкостью $C_1=10^{-5}\text{ Ф}$ находился заряд $q_1=2\cdot 10^{-5}\text{ Кл}$, а на конденсаторе емкостью $C_2=5\cdot 10^{-6}\text{ Ф}$ находился заряд $q_2=0,5\cdot 10^{-5}\text{ Кл}$.

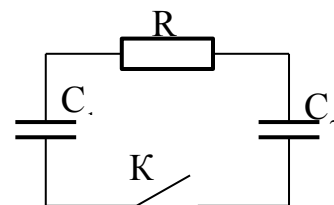


Рисунок 4.8

Раздел D (2). Постоянный электрический ток

4.17(1). Из проволоки сопротивлением $R=100\text{ Ом}$ сделали кольцо и присоединили его к источнику тока с ЭДС $E=10\text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r=1\text{ Ом}$ так, как показано на рисунке 4.9. Определите угол ϕ , если в цепи протекает ток $I=1\text{ А}$.

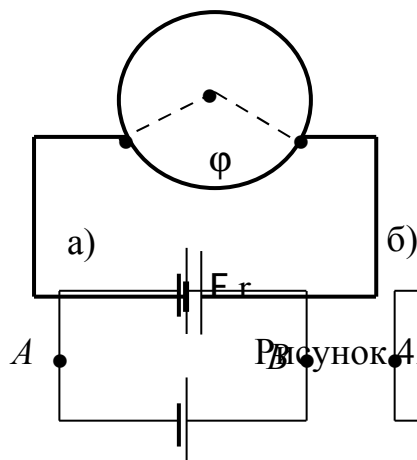


Рисунок 4.11

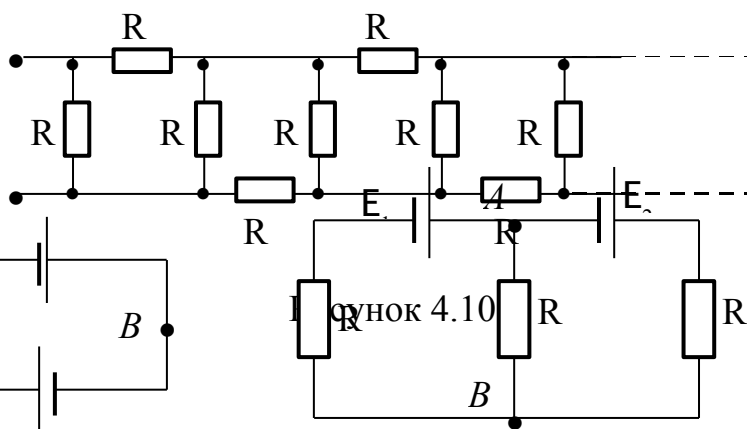


Рисунок 4.12

4.18(3). Определите сопротивление бесконечно длинной цепочки резисторов, соединенных друг с другом, как показано на рисунке 4.10. Сопротивления всех резисторов равны $R=10\text{ Ом}$.

4.19(2). Два источника тока с ЭДС $E=10\text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r=1\text{ Ом}$ соединены так, как показано на рисунке 4.11, а, б. Определите разность потенциалов между точками A и B для обоих соединений. Сопротивлением соединительных проводов следует пренебречь.

4.20(4). Определите разность потенциалов между точками B и A ($\phi_B - \phi_A$) в схеме, изобра-

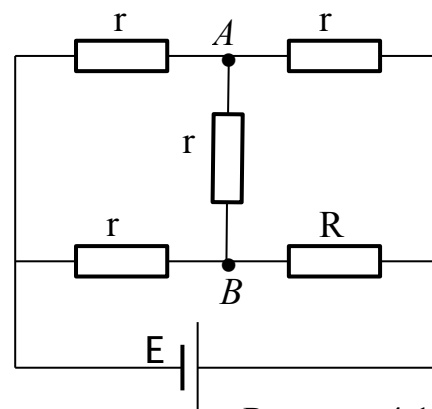


Рисунок 4.13

женной на рисунке 4.12, если $E_1=12$ В, $E_2=4$ В, $R=5$ Ом. Внутренние сопротивления источников одинаковы $r=1$ Ом.

4.21(4). Определите разность потенциалов между точками B и A ($\varphi_B - \varphi_A$) в схеме, изображенной на рисунке 4.13, если $E=9$ В, $R=6$ Ом, $r=2$ Ом. Внутренним сопротивлением источника можно пренебречь.

Раздел Е (1). Тепловое действие тока

4.22(2). Для некоторого источника тока суммарная мощность, выделяющаяся на резисторах, сопротивление которых $R_1=3$ Ом и $R_2=12$ Ом, одинакова при последовательном и параллельном соединениях этих резисторов. Определите внутреннее сопротивление источника тока.

4.23(2). При коротком замыкании источника, ЭДС которого $E=10$ В, сила тока равна $I_0=10$ А. Определите величину максимальной мощности, которая может быть отдана во внешнюю цепь.

4.24(3). Сопротивление $R=2$ Ом подключено к батарее из двух одинаковых источников тока с внутренними сопротивлениями $r=1$ Ом. Определите, во сколько раз КПД (отношение мощности, выделяемой во внешней цепи, к мощности источника тока) при параллельном соединении источников больше чем при последовательном соединении.

4.25(5). Одна из свинцовых проволочек плавится при протекании через нее тока $I_1=2$ А, а более толстая при $I_2=5$ А. При каком минимальном токе будет разорвана цепь, образованная при параллельном соединении этих проволочек, если отношение их сопротивлений $n=R_1/R_2=4$?

5.5 Задание 5. Магнетизм. Колебания. Волны

Раздел А (2). Магнитное поле

5.1(1). Определите скорость, с которой должен двигаться прямолинейный проводник перпендикулярно магнитным линиям однородного поля с индукцией $B=1$ Тл, чтобы между концами проводника возникла разность потенциалов $\Delta\varphi=0,1$ В. Длина проводника $L=20$ см.

5.2(2). Ток силой $I=10$ А течет по проводнику квадратного сечения, помещенному в однородное магнитное поле с индукцией $B=2$ Тл, магнитные линии которого перпендикулярны боковой поверхности проводника. Разность потенциалов между нижней и верхней поверхностями проводника $\Delta\varphi=2 \cdot 10^{-6}$ В. Определите плотность электронов проводимости в проводнике, если площадь его сечения $S=0,04$ см².

5.3(4). Тело массой m , имеющее заряд q , находится на наклонной плоскости с углом α . Плоскость находится в однородном магнитном поле, индукция  которого перпендикулярна наклонной плоскости (рисунок 5.1). Определите величину установившейся скорости тела, если его отпустить без начальной скорости. Коэффициент трения равен μ .

5.4(3). Прямой проводник подвешен горизонтально на нескольких невесомых нитях в однородном вертикальном магнитном поле. При прохождении через проводник тока нити отклонились от вертикали на угол $\alpha=30^\circ$. Определите, на какой угол отклонятся нити при прохождении через проводник тока, сила которого в $n=3$ раза больше начальной.

5.5(4). Проводник длины L и массы m подвешен на двух одинаковых пружинах в однородном магнитном поле с индукцией B , направленной перпендикулярно плоскости, в которой находятся пружины и проводник (рисунок 5.2). Жесткость каждой пружины k . В течение очень короткого промежутка времени τ через проводник пропущен ток силой I . Определите величину максимального смещения проводника от начального положения. Смещением за время τ можно пренебречь.

5.6(3). В полосе толщиной $d=2$ см создано однородное магнитное поле с индукцией $B=1$ мТл (рисунок 5.3). Линии вектора магнитной индукции направлены по нормали к поверхности рисунка. На полосу падает пучок электронов, скорость которых перпендикулярна полосе и линиям магнитной индукции. Определите минимальную энергию электронов, при которой они не будут "отражаться" от магнитной полосы. Масса электрона $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд $-|e|=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

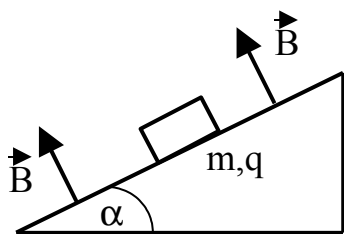


Рисунок 5.1

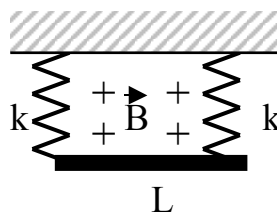


Рисунок 5.2

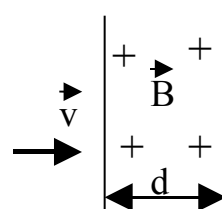


Рисунок 5.3

5.7(4). Электрон движется в однородных и постоянных электрическом и магнитном полях, силовые (магнитные) линии которых направлены одинаково. В начальный момент времени скорость электрона перпендикулярна силовым линиям. Определите минимальное расстояние между начальным положением электрона и точкой, в которой ускорение электрона совпадает с начальным. Напряженность электрического поля E , индукция магнитного поля B , масса электрона m , а заряд равен e .

Раздел В (2). Электромагнитная индукция

5.8(1). Из двух одинаковых проводников равной длины, изготовлены два контура - квадратный и круглый. Оба контура помещены в одной плоскости в однородном, изменяющемся во времени магнитном поле. В квадратном контуре возникает постоянный ток $I=2$ А. Определите силу тока в круглом контуре.

5.9(3). По двум горизонтальным рейкам, замкнутым на сопротивление $R=2,5$ Ом, движется с постоянной скоростью $v=1$ м/с жесткая рамка $KLMN$ (рисунок 5.4). Сопротивления участков LK и NM равны соответственно $R_1=2$ Ом и

$R_2=3$ Ом. Расстояние между рейками $L=0,5$ м. Система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=10$ Тл. Вектор $\vec{B}$ перпендикулярен плоскости рисунка. Определите мощность, выделяющуюся в рамке $KLMN$.

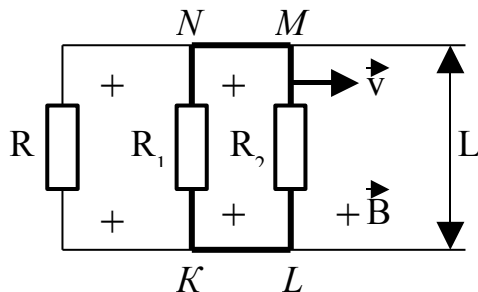


Рисунок 5.4

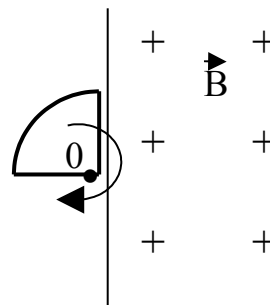


Рисунок 5.5

5.10(4). Контур, ограничивающий четверть круга радиусом $R = 0,2$ м, находится на границе однородного магнитного поля с величиной индукции $B = 0,2$ Тл, направленной перпендикулярно плоскости рисунка (рисунок 5.5). Сопротивление контура $r=1$ Ом. Контур начал вращаться вокруг оси O , параллельной вектору индукции $\vec{B}$, с постоянной угловой скоростью $\omega=50$ с $^{-1}$. Определите количество теплоты, которое выделится в контуре за один оборот.

5.11(4). Проволочный контур площадью $S=20$ см 2 замкнут на конденсатор емкостью $C=2 \cdot 10^{-5}$ Ф, линейными размерами которого можно пренебречь. Контур находится в однородном магнитном поле, магнитные линии которого перпендикулярны плоскости контура. Индукция магнитного поля линейно возрастает со временем: $B=b \cdot t$, где $b=10^{-2}$ Тл/с. Определите установившийся заряд конденсатора.

5.12(2). Плоский контур площадью S образован сверхпроводящей проволокой. Индуктивность контура L . Контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B , составляющей угол α с нормалью к плоскости контура. Поле внезапно исчезает. Определите ток, возникающий в сверхпроводящем контуре.

Раздел С (2). Колебания

5.13(1). Начальные фазы колебаний двух математических маятников с периодами колебаний $T_1=5$ с и $T_2=7$ с одинаковы. Определите минимальный промежуток времени, через который фазы колебаний маятников снова будут одинаковы.

5.14(2). Шарик прикреплен пружинкой к вертикальной стенке и может перемещаться без трения по горизонтальной поверхности. Шарик отвели из положения равновесия на $x_0=3$ см и сообщили ему начальную скорость, равную $v_0=0,2$ м/с. После этого шарик стал совершать гармонические колебания с циклической частотой $\omega=5$ рад/с. Определите амплитуду этих колебаний.

5.15(4). Шарик, находящийся на гладкой горизонтальной поверхности и прикрепленный к невесомой горизонтальной пружине, совершает гармонические колебания с периодом $T=2$ с. Определите период

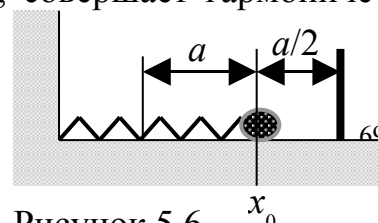


Рисунок 5.6

колебаний шарика, если на расстоянии $a/2$ (a – амплитуда колебаний) от положения равновесия (x_0) установить вертикальную стенку (рисунок 5.6), от которой шарик абсолютно упруго отскакивает.

5.16 (2). Положительно заряженный шарик ($q=1,5 \cdot 10^{-6}$ Кл) массой $m=10$ г является частью математического маятника. Маятник поместили в однородное электрическое поле, силовые линии которого направлены вертикально вверх. Величина напряженности поля $E=2 \cdot 10^4$ В/м. Определите, во сколько раз изменится период гармонических колебаний шарика, если направление напряженности электрического поля изменится на противоположное.

5.17(4). Тело находится на горизонтальной подставке, которая совершает по вертикали гармонические колебания с частотой $\omega=10$ с $^{-1}$. Определите, при каких амплитудах колебаний груз не оторвется от подставки.

5.18(3). От груза, который висит на пружине жесткостью $k=200$ Н/м, отделяется его часть массой $m=0,1$ кг. Определите, на какую максимальную высоту поднимется после этого оставшаяся часть груза.

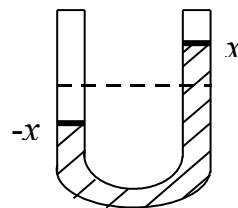


Рисунок 5.7

5.19(4). Определите частоту колебаний жидкости, налитой в U-образную трубку (рисунок 5.7). Если тот же объем жидкости налить в цилиндрическую трубу того же сечения, высота столба жидкости будет равна $L=0,5$ м.

Раздел D (1). Электромагнитные колебания

5.20(2). Заряженный конденсатор емкостью $C=0,5 \cdot 10^{-6}$ Ф подключили к катушке с индуктивностью $L=0,01$ Гн. Определите минимальное время, через которое энергия электрического поля конденсатора станет в $n=2$ раза меньше энергии магнитного поля катушки.

5.21(3). Колебательный контур состоит из воздушного конденсатора и катушки индуктивности. В пространство между пластинами конденсатора внесли пластину из диэлектрика ($\epsilon=4$), толщина которой совпадает с расстоянием между пластинами, а индуктивность катушки уменьшили в $n=2$ раза. Во сколько раз необходимо увеличить расстояние между пластинами конденсатора, чтобы частота собственных колебаний контура не изменилась?

5.22(3). Неоновая лампочка включена в сеть. Лампочка зажигается и гаснет при напряжении на ее электродах в $n=1,4$ раза меньшем, чем амплитудное значение напряжения в сети. Определите, во сколько раз продолжительность одной вспышки лампочки больше промежутка между вспышками.

Раздел E (1). Волны

5.23(2). В некоторой среде распространяется волна. За время, в течение которого частица среды $n=100$ раз прошла через свое равновесное положение, волна распространилась на расстояние $L=150$ м. Определите длину волны.

5.24(3). Определите, во сколько раз изменится длина волны и частота света при переходе из среды с показателем преломления $n_1=1,33$ в среду с показателем преломления $n_2=2$.

5.25(3). В некоторой среде распространяется поток фотонов с длиной волны $\lambda=2,8 \cdot 10^{-7}$ м и энергией $E=5 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите показатель преломления среды.

5.6 Задание 6. Оптика. Современная физика

Раздел А (2). Отражение и преломление света

6.1(1). Луч света падает на границу раздела двух сред. Показатель преломления первой среды $n_1=1,33$, второй среды $n_2=2$. Определите угол падения, если отраженный и преломленный лучи составляют угол $\gamma=120^\circ$.

6.2(5). Луч света распространяется в среде с показателем преломления n_1 , на расстоянии L от оси проходящей через центр прозрачного шара радиусом R . Шар изготовлен из вещества с показателем преломления $n_2 < n_1$. Определите угол отклонения луча от первоначального направления.

6.3(2). Между плоским экраном и плоским круглым зеркалом площадью $S=10 \text{ см}^2$ находится точечный источник света. Плоскости экрана и зеркала параллельны между собой. Источник находится напротив центра зеркала. Определите площадь светлого пятна, образованного на экране отраженными от зеркала лучами, если расстояние от экрана до источника в $k=5/3$ раз больше расстояния от источника до зеркала.

6.4(2). Точечный источник света движется прямолинейно и равномерно со скоростью $|\vec{v}|=20$ м/с. Определите величину скорости движения изображения источника в плоском зеркале относительно самого источника, если угол между вектором $\vec{v}$ и нормалью к зеркалу $\alpha=60^\circ$.

6.5(3). Определите графически, в каких точках пространства наблюдатель может видеть в плоском зеркале конечных размеров (3) одновременно изображения точек A и B , расположенных относительно зеркала так, как показано на рисунке 6.1.

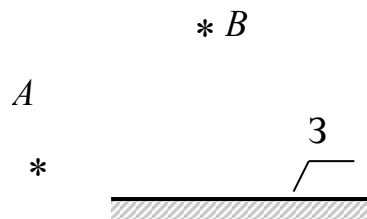


Рисунок 6.1

Раздел В (3). Линзы

6.6(2). Определите минимальное расстояние между предметом и его действительным изображением, которое может быть получено с помощью собирающей линзы с фокусным расстоянием F .

6.7(3). С помощью тонкой линзы получено действительное изображение предмета с увеличением $\Gamma_1=1,5$. Для того, чтобы получить резкое изображение с увеличением $\Gamma_2=6$, предмет переместили на $x=1$ см. На какое расстояние при этом необходимо перенести экран?

6.8(2). Тонкая линза создает изображение предмета, находящегося в ее фокальной плоскости. Определите высоту предмета, если высота изображения $H=0,5$ см.

6.9(2). Две тонкие собирающие линзы с фокусными расстояниями $F_1=10$ см и $F_2=20$ см плотно прижаты друг к другу так, что их главные оптические оси совпадают. Определите фокусное расстояние этой оптической системы. Толщиной линз можно пренебречь.

6.10(2). Параллельный пучок лучей света падает на рассеивающую линзу с фокусным расстоянием $F_1=-5$ см. На каком расстоянии от нее надо поставить собирающую линзу с фокусным расстоянием $F_2=12$ см, чтобы после прохождения этой системы линз лучи снова шли параллельным пучком?

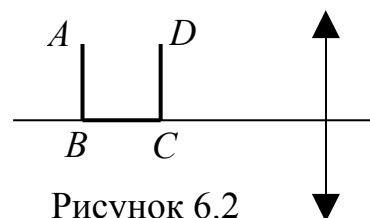


Рисунок 6.2

6.11(4). С помощью тонкой линзы получено изображение ломаной линии $ABCD$. Отрезок BC лежит на главной оптической оси, которая перпендикулярна отрезкам AB и DC (рисунок 6.2). Отрезок AB увеличивается линзой в $\Gamma_1=1,5$ раза, отрезок DC — в $\Gamma_2=8$ раз. Определите, во сколько раз увеличится отрезок BC .

6.12(3). На рисунке 6.3 показаны светящаяся точка S и ее изображение S' , даваемое линзой, а также главная оптическая ось линзы $O'O''$. Определите графически положение оптического центра линзы и ее фокусов.

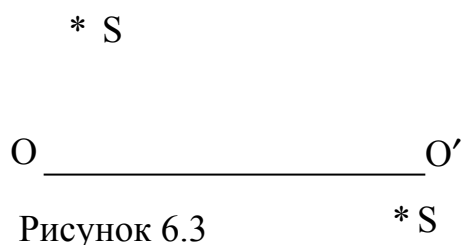


Рисунок 6.3

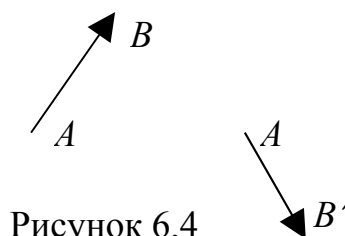


Рисунок 6.4

6.13(5). По положению предмета AB и его действительному изображению $A'B'$ (рисунок 6.4) восстановите положение линзы и ее главных фокусов.

Раздел С (1). Релятивистская динамика

6.14(1). Определите скорость тела, кинетическая энергия которого в $n=2$ раза больше его энергии покоя.

6.15(2). Определите кинетическую энергию частицы, если ее энергия покоя $m_0c^2=940$ МэВ, а импульс p определяется соотношением $pc=940$ МэВ, где c — скорость света.

6.16(4). Нейтральная частица распалась на два фотона, летящих под углами $\alpha=60^\circ$ и $\beta=30^\circ$ к направлению движения частицы. Определите кинетическую энергию частицы, если ее энергия покоя $m_0c^2=135$ МэВ.

6.17(4). Пучок лазерного излучения мощностью $P=200$ Вт падает на непрозрачную пластинку под углом $\alpha=45^\circ$. Пластинка зеркально отражает $\eta=50\%$ падающих фотонов (световых квантов), а остальные поглощает. Определите величину силы, с которой излучение действует на пластинку.

Раздел D (2). Квантовая физика

6.18(3). Отношение скоростей электронов, вылетающих из вещества при освещении светом с длинами, волн λ_1 и λ_2 , равно $k=2/3$. Определите λ_2 , если $\lambda_1=4 \cdot 10^{-7}$ м, а работа выхода $A=2,5$ эВ.

6.19(1). Атом водорода состоит из протона (p) и электрона (e). Определите, во сколько раз сила электрического взаимодействия между этими элементарными частицами больше силы их гравитационного взаимодействия. Заряды частиц $|q_p| = |q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, массы - $m_p=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг и $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

6.20(2). При поглощении фотона с энергией $h\nu=1,89$ эВ атом водорода переходит с уровня $n_1=2$ на уровень $n_2=3$. Определите максимальную длину волны фотона, способного ионизировать атом водорода, находящийся в основном состоянии ($n=1$).

6.21(4). Протон, скорость которого $v=7,8 \cdot 10^4$ м/с, сталкивается с покоящимся невозбужденным атомом водорода. После столкновения протон продолжает лететь в том же направлении, но со скоростью, меньшей в $n=4$ раза, в то время как атом водорода переходит в возбужденное состояние. Определите длину волны фотона, излучаемого атомом при возвращении в основное состояние. Массы атома водорода и протона можно считать равными $m_H=m_p=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

6.22(3). В термоядерной реакции ${}^2\text{H}_1+{}^3\text{He}_2\rightarrow{}^4\text{He}_2+{}^1\text{H}_1$ выделяется энергия $E=18,4$ МэВ, где E – разность суммы кинетических энергий образовавшихся частиц и аналогичной суммы для первичных частиц. Определите энергию, которая выделится в реакции ${}^3\text{He}_2+{}^3\text{He}_2\rightarrow{}^4\text{He}_2+{}^1\text{H}_1+{}^1\text{H}_1$, если энергия связи ядра ${}^3\text{He}_2$ на $\Delta E=5,5$ МэВ больше по сравнению с энергией связи ядра ${}^2\text{H}_1$.

6.23(4). При столкновении дейтронов, обладающих кинетической энергией $E=2$ МэВ, с тритиевой мишенью протекает реакция ${}^2\text{H}_1+{}^3\text{H}_1\rightarrow{}^1n+{}^4\text{He}_2$. Определите кинетическую энергию нейтронов, вылетающих перпендикулярно относительно направления импульса дейтронов, если в реакции выделяется энергия $\Delta E=17,6$ МэВ. Энергия покоя дейтрона $m_d c^2 = 1876$ МэВ, нейтрона - $m_n c^2 = 940$ МэВ, α -частицы - $m_\alpha c^2=3727$ МэВ.

Раздел E (0). Разные задачи

6.24 (4). Пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов $U=40$ кВ, падает на заземленную металлическую пластинку нормально к ее поверхности. Сила тока пучка $I=100$ мА. Определите силу, с которой пучок действует на пластинку, если все электроны поглощаются. Отношение заряда к массе электрона $e/m=1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

6.25(5). Электрон, имеющий кинетическую энергию $T=10$ кэВ, влетает в плоский заряженный конденсатор. В начальный момент времени скорость электрона направлена вдоль средней плоскости конденсатора AB (рисунок 6.5). Длина конденсатора $L=20$ см. Определите через ка-

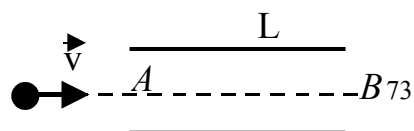


Рисунок 6.5

кое время нужно изменить направление электрического поля в конденсаторе на противоположное, не изменяя его абсолютной величины, чтобы на вылете из конденсатора электрон пересек плоскость AB . Масса электрона $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Силу тяжести учитывать не следует.

6 Типовая программа по физике для поступающих в ВУЗы

6.1 Стандарт среднего (полного) общего образования по физике (утвержден приказом Минобрнауки РФ от 05.03.2004 № 1089 «Об утверждении федерального компонента государственных образовательных стандартов начального общего, основного общего и среднего (полного) общего образования»)

Изучение физики на базовом уровне среднего (полного) общего образования направлено на достижение следующих целей:

- освоение знаний о фундаментальных физических законах и принципах, лежащих в основе современной физической картины мира; наиболее важных открытиях в области физики, оказавших определяющее влияние на развитие техники и технологии; методах научного познания природы;

- овладение умениями проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, выдвигать гипотезы и строить модели; применять полученные знания по физике для объяснения разнообразных физических явлений и свойств веществ; практического использования физических знаний; оценивать достоверность естественнонаучной информации;

- развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей в процессе приобретения знаний по физике с использованием различных источников информации и современных информационных технологий;

- воспитание убежденности в возможности познания законов природы и использования достижений физики на благо развития человеческой цивилизации; необходимости сотрудничества в процессе совместного выполнения задач, уважительного отношения к мнению оппонента при обсуждении проблем естественнонаучного содержания; готовности к морально-этической оценке использования научных достижений, чувства ответственности за защиту окружающей среды;

- использование приобретенных знаний и умений для решения практических задач повседневной жизни, обеспечения безопасности собственной жизни, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

6.2 Обязательный минимум содержания основной образовательной программы по физике

Физика и методы научного познания

Физика как наука. Научные методы познания окружающего мира и их отличия от других методов познания. Роль эксперимента и теории в процессе познания природы. Моделирование физических явлений и процессов. Научные гипотезы. Физические законы. Физические теории. Границы применимости физических законов и теорий. Принцип соответствия. Основные элементы физической картины мира.

Механика

Механическое движение и его виды. Прямолинейное равноускоренное движение. Принцип относительности Галилея. Законы динамики. Всемирное тяготение. Законы сохранения в механике. Предсказательная сила законов классической механики. Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований. Границы применимости классической механики.

Проведение опытов, иллюстрирующих проявление принципа относительности, законов классической механики, сохранения импульса и механической энергии.

Практическое применение физических знаний в повседневной жизни для использования простых механизмов, инструментов, транспортных средств.

Молекулярная физика

Возникновение атомистической гипотезы строения вещества и ее экспериментальные доказательства. Абсолютная температура как мера средней кинетической энергии теплового движения частиц вещества. Модель идеального газа. Давление газа. Уравнение состояния идеального газа. Строение и свойства жидкостей и твердых тел.

Законы термодинамики. Порядок и хаос. Необратимость тепловых процессов. Тепловые двигатели и охрана окружающей среды.

Проведение опытов по изучению свойств газов, жидкостей и твердых тел, тепловых процессов и агрегатных превращений вещества.

Практическое применение в повседневной жизни физических знаний о свойствах газов, жидкостей и твердых тел; об охране окружающей среды.

Электродинамика

Элементарный электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Электрический ток. Магнитное поле тока. Явление электромагнитной индукции. Взаимосвязь электрического и магнитного полей. Электромагнитное поле.

Электромагнитные волны. Волновые свойства света. Различные виды электромагнитных излучений и их практическое применение.

Проведение опытов по исследованию явления электромагнитной индукции, электромагнитных волн, волновых свойств света.

Объяснение устройства и принципа действия технических объектов, практическое применение физических знаний в повседневной жизни:

- при использовании микрофона, динамика, трансформатора, телефона, магнитофона;
- для безопасного обращения с домашней электропроводкой, бытовой электро- и радиоаппаратурой.

Квантовая физика и элементы астрофизики

Гипотеза Планка о квантах. Фотоэффект. Фотон. Гипотеза де Бройля о волновых свойствах частиц. Корпускулярно-волновой дуализм. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

Планетарная модель атома. Квантовые постулаты Бора. Лазеры.

Модели строения атомного ядра. Ядерные силы. Дефект массы и энергия связи ядра. Ядерная энергетика. Влияние ионизирующей радиации на живые

организмы. Доза излучения. Закон радиоактивного распада и его статистический характер. Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия.

Солнечная система. Звезды и источники их энергии. Современные представления о происхождении и эволюции Солнца и звезд. Галактика. Пространственные масштабы наблюдаемой Вселенной. Применимость законов физики для объяснения природы космических объектов.

Наблюдение и описание движения небесных тел.

Проведение исследований процессов излучения и поглощения света, явления фотоэффекта и устройств, работающих на его основе, радиоактивного распада, работы лазера, дозиметров.

6.3 Требования к уровню подготовки выпускников

В результате изучения физики на базовом уровне ученик должен знать/понимать:

- смысл понятий: физическое явление, гипотеза, закон, теория, вещество, взаимодействие, электромагнитное поле, волна, фотон, атом, атомное ядро, ионизирующие излучения, планета, звезда, Солнечная система, галактика, Вселенная;

- смысл физических величин: скорость, ускорение, масса, сила, импульс, работа, механическая энергия, внутренняя энергия, абсолютная температура, средняя кинетическая энергия частиц вещества, количество теплоты, элементарный электрический заряд;

- смысл физических законов классической механики, всемирного тяготения, сохранения энергии, импульса и электрического заряда, термодинамики, электромагнитной индукции, фотоэффекта;

- вклад российских и зарубежных ученых, оказавших наибольшее влияние на развитие физики;

уметь:

- описывать и объяснять физические явления и свойства тел: движение небесных тел и искусственных спутников Земли; свойства газов, жидкостей и твердых тел; электромагнитную индукцию, распространение электромагнитных волн; волновые свойства света; излучение и поглощение света атомом; фотоэффект;

- отличать гипотезы от научных теорий; делать выводы на основе экспериментальных данных; приводить примеры, показывающие, что: наблюдения и эксперимент являются основой для выдвижения гипотез и теорий, позволяют проверить истинность теоретических выводов; что физическая теория дает возможность объяснять известные явления природы и научные факты, предсказывать еще неизвестные явления;

- приводить примеры практического использования физических знаний: законов механики, термодинамики и электродинамики в энергетике; различных видов электромагнитных излучений для развития радио- и телекоммуникаций, квантовой физики в создании ядерной энергетики, лазеров;

- воспринимать и на основе полученных знаний самостоятельно оценивать информацию, содержащуюся в сообщениях СМИ, Интернете, научно-популярных статьях;

использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни для:

- обеспечения безопасности жизнедеятельности в процессе использования транспортных средств, бытовых электроприборов, средств радио- и телекоммуникационной связи;

- оценки влияния на организм человека и другие организмы загрязнения окружающей среды;

- рационального природопользования и охраны окружающей среды.

7 Примерные варианты тестов ЕГЭ по физике с ответами и решениями

7.1 Вариант 1

Часть 1

A1. Мотоциклист и велосипедист одновременно начинают равноускоренное движение. Ускорение мотоциклиста в 3 раза больше, чем у велосипеди-

ста. В один и тот же момент времени скорость мотоциклиста больше скорости велосипедиста

- 1) в 1,5 раза 2) в $\sqrt{3}$ раза 3) в 3 раза 4) в 9 раз

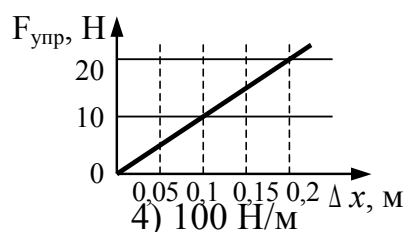
A2. Скорость лыжника при равноускоренном спуске с горы за 4 с увеличилась на 6 м/с. Масса лыжника 60 кг. Равнодействующая всех сил, действующих на лыжника, равна

- 1) 20 Н 2) 30 Н 3) 60 Н 4) 90 Н

A3. Потенциальная энергия взаимодействия с Землей гири массой 5 кг увеличилась на 75 Дж. Это произошло в результате того, что гирию

- 1) подняли на 1,5 м 2) опустили на 1,5 м 3) подняли на 7 м 4) опустили на 7 м

A4. На рисунке представлен график зависимости силы упругости пружины от величины ее деформации. Жесткость этой пружины равна

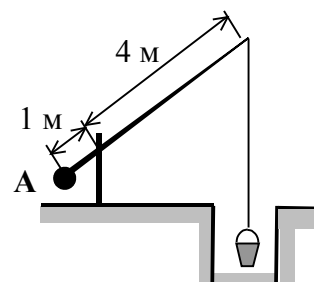


- 1) 0,01 Н/м 2) 10 Н/м 3) 20 Н/м 4) 100 Н/м

A5. Наименьшая упорядоченность в расположении частиц характерна для

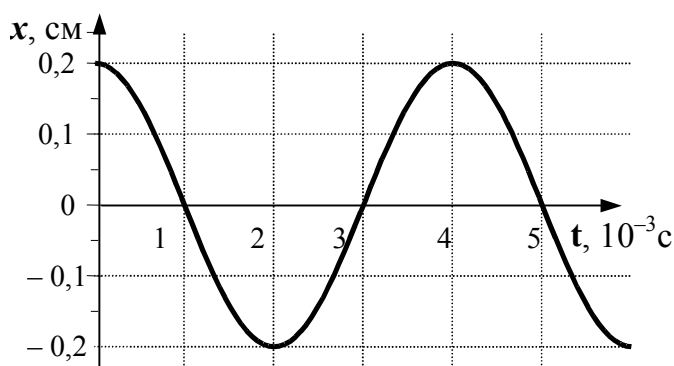
- 1) кристаллических тел 2) аморфных тел 3) жидкостей 4) газов

A6. Груз А колодезного журавля (см. рисунок) уравнивает вес ведра, равный 100 Н. (Рычаг считайте невесомым.) Вес груза равен



- 1) 20 Н 2) 25 Н 3) 400 Н 4) 500 Н

A7. На рисунке показан график колебаний одной из точек струны. Согласно графику, период этих колебаний равен



- 1) $1 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ 2) $2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ 3) $3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ 4) $4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$

А8. Тело массой 2 кг движется вдоль оси ОХ. Его координата меняется в соответствии с уравнением $x = A + Bt + Ct^2$, где $A = 2 \text{ м}$, $B = 3 \text{ м/с}$, $C = 5 \text{ м/с}^2$. Чему равен импульс тела в момент времени $t = 2 \text{ с}$?

- 1) 86 кг·м/с 2) 48 кг·м/с 3) 46 кг·м/с 4) 26 кг·м/с

А9. При нагревании текстолитовой пластинки массой 0,2 кг от 30 °С до 90 °С потребовалось затратить 18 кДж энергии. Следовательно, удельная теплоемкость текстолита равна

- 1) 0,75 кДж/(кг·К) 2) 1 кДж/(кг·К) 3) 1,5 кДж/(кг·К) 4) 3 кДж/(кг·К)

А10. В герметично закрытом сосуде находится одноатомный идеальный газ. Как изменится внутренняя энергия газа при понижении его температуры?

- 1) увеличится или уменьшится в зависимости от давления газа в сосуде
2) уменьшится при любых условиях
3) увеличится при любых условиях
4) не изменится

А11. Максимальный КПД тепловой машины с температурой нагревателя 227 °С и температурой холодильника 27 °С равен

- 1) 100 % 2) 88 % 3) 60 % 4) 40 %

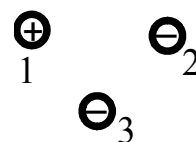
А12. Как изменяется внутренняя энергия кристаллического вещества в процессе его плавления?

- 1) увеличивается для любого кристаллического вещества
2) уменьшается для любого кристаллического вещества
3) для одних кристаллических веществ увеличивается, для других – уменьшается
4) не изменяется

А13. Парциальное давление водяного пара в воздухе при 20 °С равно 0,466 кПа, давление насыщенных водяных паров при этой температуре 2,33 кПа. Относительная влажность воздуха равна

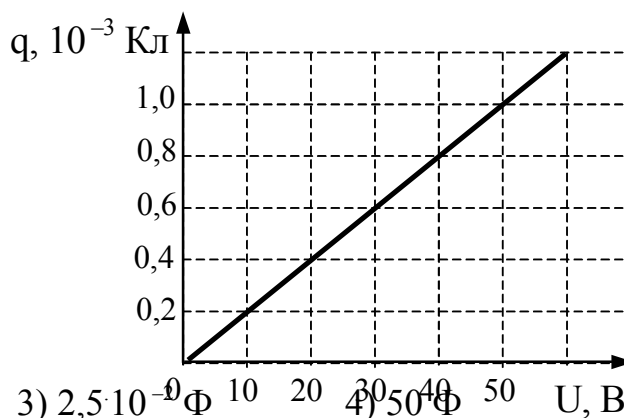
- 1) 10 % 2) 20 % 3) 30 % 4) 40 %

A14. Какое утверждение о взаимодействии трех изображенных на рисунке заряженных частиц является правильным?



- 1) 1 и 2 отталкиваются, 2 и 3 притягиваются, 1 и 3 отталкиваются
- 2) 1 и 2 притягиваются, 2 и 3 отталкиваются, 1 и 3 отталкиваются
- 3) 1 и 2 отталкиваются, 2 и 3 притягиваются, 1 и 3 притягиваются
- 4) 1 и 2 притягиваются, 2 и 3 отталкиваются, 1 и 3 притягиваются

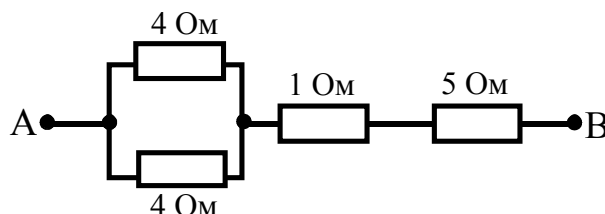
A15. При исследовании зависимости заряда на обкладках конденсатора от приложенного напряжения был получен изображенный на рисунке график. Согласно этому графику, емкость конденсатора равна



- 1) $2 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$
- 2) $2 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$

- 3) $2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$
- 4) 50 Ф

A16. Сопротивление между точками А и В участка электрической цепи, представленной на рисунке, равно



- 1) 14 Ом

- 2) 8 Ом

- 3) 7 Ом

- 4) 6 Ом

A17. Ион Na^+ массой m влетает в магнитное поле со скоростью $\vec{v}$ перпендикулярно линиям индукции магнитного поля $\vec{B}$ и движется по дуге окружности радиуса R . Модуль вектора индукции магнитного поля можно рассчитать, пользуясь выражением

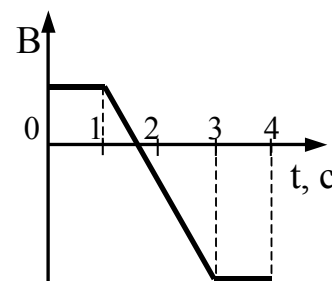
- 1) $\frac{mve}{R}$

- 2) $\frac{mvR}{e}$

- 3) $\frac{mv}{eR}$

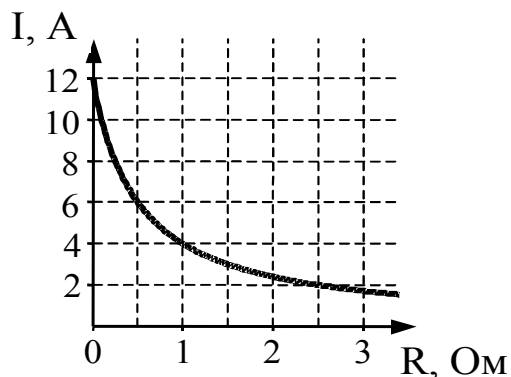
- 4) $\frac{eR}{mv}$

A18. Виток провода находится в магнитном поле, перпендикулярном плоскости витка, и своими концами замкнут на амперметр. Магнитная индукция поля меняется с течением времени согласно графику на рисунке. В какой промежуток времени амперметр покажет наличие электрического тока в витке?



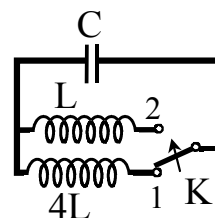
- 1) от 0 с до 1 с 2) от 1 с до 3 с 3) от 3 с до 4 с 4) во все промежутки времени от 0 с до 4 с

A19. К источнику тока с ЭДС = 6 В подключили реостат. На рисунке показан график изменения силы тока в реостате в зависимости от его сопротивления. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?



- 1) 0 Ом 2) 0,5 Ом 3) 1 Ом 4) 2 Ом

A20. Как изменится частота собственных электромагнитных колебаний в контуре (см. рисунок), если ключ К перевести из положения 1 в положение 2?



- 1) уменьшится в 2 раза 2) увеличится в 2 раза 3) уменьшится в 4 раза 4) увеличится в 4 раза

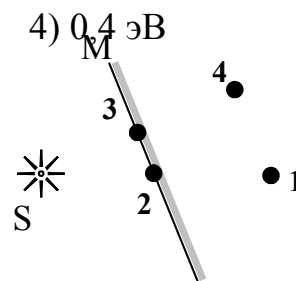
A21. Скорость света во всех инерциальных системах отсчета

- 1) не зависит ни от скорости приёмника света, ни от скорости источника света
 2) зависит только от скорости движения источника света
 3) зависит только от скорости приёмника света
 4) зависит как от скорости приёмника света, так и от скорости источника света

A22. Фотоны с энергией 2,1 эВ вызывают фотоэффект с поверхности цезия, для которого работа выхода равна 1,9 эВ. Чтобы максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов увеличилась в 2 раза, нужно увеличить энергию фотона на

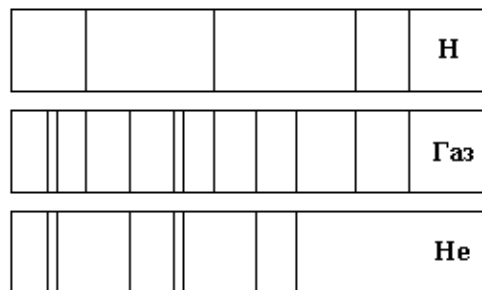
- 1) 0,1 эВ 2) 0,2 эВ 3) 0,3 эВ 4) 0,4 эВ

A23. Изображением источника света S в зеркале М (см. рисунок) является точка



- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

A24. На рисунке приведены спектр поглощения неизвестного газа (в середине), спектры поглощения атомов водорода (вверху) и гелия (внизу). Что можно сказать о химическом составе газа?



- 1) Газ содержит атомы водорода и гелия.
- 2) Газ содержит атомы водорода, гелия и еще какого-то вещества.
- 3) Газ содержит только атомы водорода.
- 4) Газ содержит только атомы гелия.

A25. Торий ${}_{90}^{230}\text{Th}$ может превратиться в радий ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ в результате

- 1) одного β -распада
- 2) одного α -распада
- 3) одного β - и одного α -распада
- 4) испускания γ -кванта

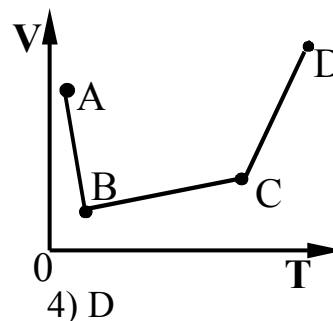
A26. Систему отсчета, связанную с Землей, будем считать инерциальной. Система отсчета, связанная с автомобилем, тоже будет инерциальной, если автомобиль

- 1) движется равномерно по прямолинейному участку шоссе
- 2) разгоняется по прямолинейному участку шоссе
- 3) движется равномерно по извилистой дороге
- 4) по инерции вкатывается на гору

A27. Мальчик массой 50 кг, стоя на очень гладком льду, бросает груз массой 8 кг под углом 60° к горизонту со скоростью 5 м/с. Какую скорость приобретет мальчик?

- 1) 5,8 м/с
- 2) 1,36 м/с
- 3) 0,8 м/с
- 4) 0,4 м/с

A28. В сосуде, закрытом поршнем, находится идеальный газ. График зависимости объема газа от температуры при изменении его состояния представлен на рисунке. В каком состоянии давление газа наибольшее?



- 1) A
- 2) B
- 3) C
- 4) D

A29. Участок проводника длиной 10 см находится в магнитном поле индукцией 50 мТл. Сила Ампера при перемещении проводника на 8 см в направлении своего действия совершает работу 0,004 Дж. Чему равна сила тока, протекающего по проводнику? Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

- 1) 0,01 А 2) 0,1 А 3) 10 А 4) 64 А

A30. Какая ядерная реакция может быть использована для получения цепной реакции деления?

- 1) ${}_{96}^{243}\text{Cm} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow 4{}_0^1\text{n} + {}_{42}^{108}\text{Mo} + {}_{54}^{132}\text{Xe}$
 2) ${}_{6}^{12}\text{C} \longrightarrow {}_3^6\text{Li} + {}_3^6\text{Li}$
 3) ${}_{90}^{227}\text{Th} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{49}^{129}\text{In} + {}_{41}^{99}\text{Nb}$
 4) ${}_{96}^{243}\text{Cm} \longrightarrow {}_{43}^{108}\text{Tc} + {}_{53}^{141}\text{I}$

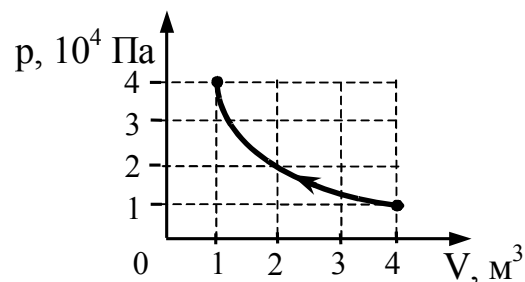
Часть 2

В1. За 2 с прямолинейного равноускоренного движения тело прошло 20 м, увеличив свою скорость в 3 раза. Определите конечную скорость тела.

Ответ: 15 (15 м/с)

В2. На рисунке показан процесс изменения состояния идеального газа. Внешние силы совершили над газом работу, равную $5 \cdot 10^4$ Дж. Какое количество теплоты отдает газ в этом процессе? Ответ выразите в килоджоулях (кДж).

Ответ: $Q = 50$ (– 50 кДж)



В3. В таблице показано, как изменялся заряд конденсатора в колебательном контуре с течением времени.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q, 10^{-9} \text{ Кл}$	2	1,42	0	–1,42	–2	–1,42	0	1,42	2	1,42

Какова энергия магнитного поля катушки в момент времени $5 \cdot 10^{-6}$ с, если емкость конденсатора равна 50 пФ? Ответ выразите в нДж и округлите его до целых.

Ответ: $W_M = 20$ ($20 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} = 20 \text{ нДж}$)

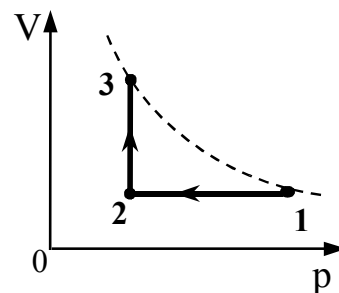
В4. На поверхность пластинки из стекла нанесена пленка толщиной $d=110$ нм, с показателем преломления $n_2=1,55$. Для какой длины волны видимого света пленка будет «просветляющей»? Ответ выразите в нанометрах (нм).

Ответ: $\lambda_0 = 682$ ($\lambda_0 = 682$ нм)

Часть 3

С1. Масса Марса составляет 0,1 от массы Земли, диаметр Марса вдвое меньше, чем диаметр Земли. Каково отношение периодов обращения искусственных спутников Марса и Земли $\frac{T_M}{T_3}$, движущихся по круговым орбитам на небольшой высоте?

С2. 10 моль идеального одноатомного газа охладили, уменьшив давление в 3 раза. Затем газ нагрели до первоначальной температуры 300 К (см. рисунок). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 2 – 3?

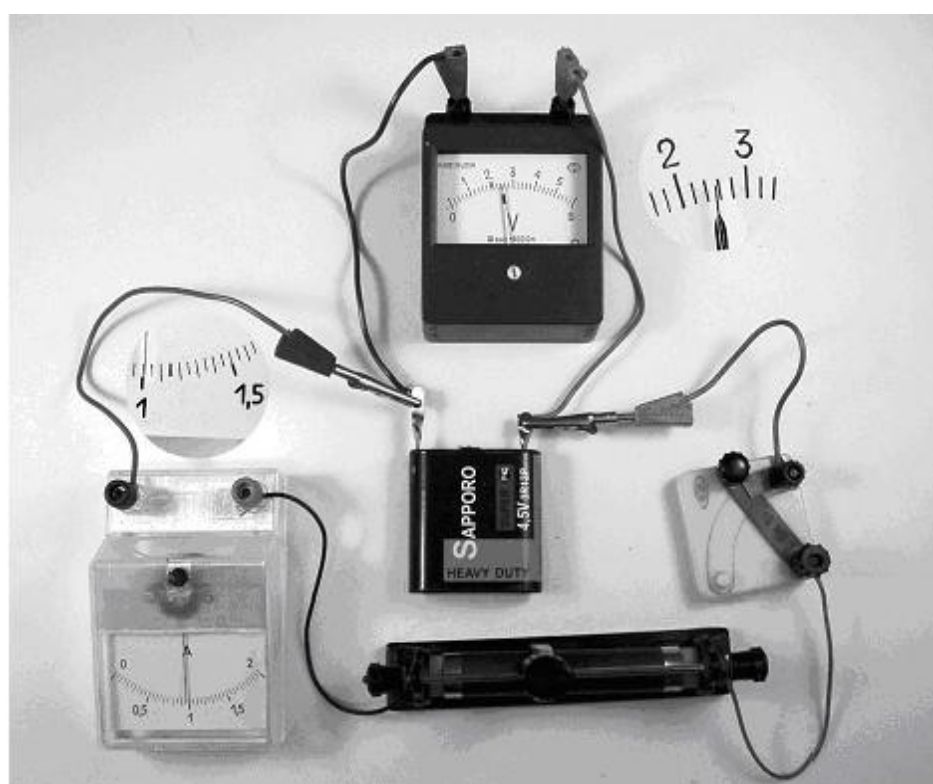
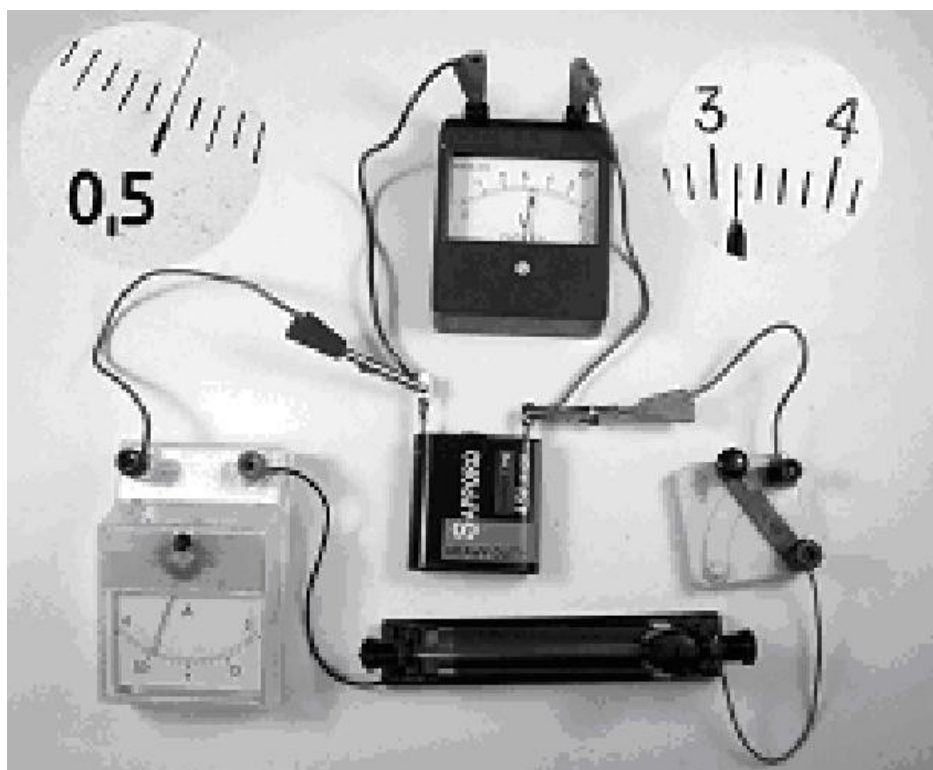


С3. Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки (1), реостата (2), ключа (3), амперметра (4) и вольтметра (5). После этого он провел измерения напряжения на полюсах и силы тока в цепи при различных сопротивлениях внешней цепи (см. фотографии). Определите ЭДС и внутреннее сопротивление батарейки.

С4. Объектив проекционного аппарата имеет оптическую силу 5,4 дптр. Экран расположен на расстоянии 4 м от объектива. Определите размеры экрана, на котором должно уместиться изображение диапозитива размером 6х9 см.

С5. Фотоны, имеющие энергию 5 эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 4,7 эВ. Какой максимальный импульс приобретает электрон при вылете с поверхности металла?

С6. Электрон влетает в область однородного магнитного поля индукцией $B = 0,01$ Тл со скоростью $v = 1\,000$ км/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на 1° ?



Решения задач из части 2.

B1. $\frac{t = 2 \text{ с}; S = 20 \text{ м}; V = 3V_0;}{V = ?}$

Решение: $V = V_0 + at; \quad V_0 = \frac{1}{3} V; \quad S = \frac{V^2 - V_0^2}{2a};$

Решив систему из написанных 3 уравнений, имеем:

$$V = \frac{3S}{2t} = \frac{3 \cdot 20}{2 \cdot 2} = 15 \text{ м/с.}$$

B2. $\frac{A' = 50 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 50 \text{ кДж};}{Q = ?}$

Решение: Из графика видно, что $P_1 V_1 = P_2 V_2$ (для начального и конечного состояния), т.е. процесс изотермический – при постоянной температуре ($T = \text{const}$). При изотермическом процессе внутренняя энергия не меняется, т.е. $\Delta U = 0$.

Из первого начала термодинамики следует, что

$$Q = \Delta U + A = 0 + A = A = -A' = -50 \text{ кДж.}$$

Знак “–” указывает на то, что система не получает а отдает такое количество теплоты.

B3. $\frac{q = -1,42 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}; t = 5 \cdot 10^{-6} \text{ с}; C = 50 \cdot 10^{-12} \text{ Ф};}{W_M = ?}$

Решение: Из приведенной таблицы находим, что в момент времени $t = 5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ значение заряда конденсатора $q = -1,42 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$, а максимальное значение заряда $q_0 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$. Максимальное значение энергии электрического поля $W_{\text{э0}}$ равно электромагнитной энергии контура W . По закону сохранения энергии в любой момент времени полная энергия контура W равна сумме энергий электрического поля $W_{\text{э}}$ и магнитного поля W_M :

$$W = W_{\text{э0}} = W_{\text{э}} + W_M, \text{ откуда находим}$$

$$\begin{aligned} W_M = W_{\text{э0}} - W_{\text{э}} &= \frac{q_0^2}{2C} - \frac{q^2}{2C} = \frac{q_0^2 - q^2}{2C} = \\ &= \frac{(2 \cdot 10^{-9})^2 - (-1,42 \cdot 10^{-9})^2}{2 \cdot 50 \cdot 10^{-12}} = 20 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} = 20 \text{ нДж.} \end{aligned}$$

В4. $\underline{d=110 \text{ нм}; n_2=1,55; m=1;}$
 $\lambda_0=?$

Решение: Длина волны света в среде λ отличается от длины волны света λ_0 в вакууме в n_2 раза, т.е.

$$\lambda_0 = n_2 \lambda.$$

Условие просветления оптики: на толщине пленки d должно укладываться нечетное число $\lambda/4$, т.е.

$$d = \frac{\lambda}{4} \cdot m, \text{ где } m = 1, 3, 5, 7, \dots \quad \text{Итак, имеем:}$$

$$d = \frac{\lambda_0}{4n_2} \cdot m, \quad \text{откуда находим: } \lambda_0 = \frac{1}{m} 4n_2 d.$$

Расчеты при различных значениях m :

$$m = 1, \lambda_0 = 4n_2 d = 4 \cdot 1,55 \cdot 110 = 682 \text{ нм};$$

$$m = 3, \lambda_{03} = \frac{1}{m} 4n_2 d = \frac{\lambda_0}{3} = 682/3 = 227 \text{ нм};$$

$$m = 5, \lambda_{05} = 682/5 = 136 \text{ нм}.$$

Так как видимый свет занимает диапазон 400 – 700 нм, то условию задачи удовлетворяет только одно значение $\lambda_0 = 682 \text{ нм}$.

Решения задач из части 3.

С1. $\underline{M_3 = M_M \cdot 10; d_M = d_3 \cdot 0,5;}$
 $T_M/T_3 = ?$

Решение: Так как высота полета спутника мала, то радиус орбиты совпадает с радиусом планеты $R = 0,5 d$. Согласно второму закону Ньютона сила тяготения равна произведению массы спутника на центростремительное ускорение:

$$G \frac{mM}{R^2} = m \frac{v^2}{R},$$

где G – гравитационная постоянная, m – масса спутника, M – масса планеты, v – скорость орбитального движения спутника. Из этого соотношения выразим скорость

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}}.$$

Период обращения спутника равен времени совершения одного оборота вокруг планеты со скоростью v :

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi R \sqrt{\frac{R}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}.$$

Поскольку записанные соотношения для периодов справедливы для любой планеты, найдем искомое отношение периодов обращения спутников Марса и Земли:

$$\begin{aligned} T_M/T_3 &= 2\pi \sqrt{\frac{R_M^3}{GM_M}} : 2\pi \sqrt{\frac{R_3^3}{GM_3}} = \sqrt{\left(\frac{R_M}{R_3}\right)^3 \frac{M_3}{M_M}} = \sqrt{\left(\frac{d_M}{d_3}\right)^3 \frac{M_3}{M_M}} = \\ &= \sqrt{0,5^3 \cdot 10} = 1,1. \end{aligned}$$

Ответ: $T_M/T_3 = 1,1$.

C2. $v = 10$ моль; $R = 8,31$ Дж/(моль·К); $T_1 = T_3 = 300$ К; $i = 3$; $P_1/P_2 = 3$; $Q_{23} = ?$

Решение: Будем полагать, что каждому состоянию (1, 2, 3) соответствует значение параметра состояния (P , V , T) с соответствующим индексом.

Так как процесс 1-2 изохорический ($V = \text{const}$), то

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} = 300/3 = 100 \text{ К}.$$

На участке 2-3 согласно первому началу термодинамики

$$\begin{aligned} Q_{23} &= \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{i}{2} \nu R(T_3 - T_2) + P_2(V_3 - V_2) = \\ &= \frac{i}{2} \nu R(T_3 - T_2) + \nu R(T_3 - T_2) = \frac{i+2}{2} \nu R(T_3 - T_2), \end{aligned}$$

где i – степеней свободы молекул, R – газовая постоянная. После подстановки данных получаем следующий результат:

$$Q_{23} = \frac{i + 2}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3 + 2}{2} \cdot 10 \cdot 8,31 \cdot (300 - 100) =$$

$$= 41,55 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 41,55 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q_{23} = 41,55 \text{ кДж}$.

С3. $U_1 = 3,2 \text{ В}; I_1 = 0,5 \text{ А}; U_2 = 2,6 \text{ В}; I_2 = 1 \text{ А};$
 $E = ? \quad r = ?$

Решение: Показания приборов (амперметра и вольтметра) для обеих схем записаны выше. Запишем закон Ома для двух случаев включения батареи:

$$E = I_1(R_1 + r) = I_1 R_1 + I_1 r = U_1 + I_1 r,$$

$$E = I_2(R_2 + r) = I_2 R_2 + I_2 r = U_2 + I_2 r.$$

Почленно вычитаем одно уравнение из другого и находим

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{3,2 - 2,6}{1 - 0,5} = 1,2 \text{ Ом}.$$

ЭДС батареи найдем подстановкой значения внутреннего сопротивления r , скажем, в первое уравнение:

$$E = U_1 + I_1 r = 3,2 + 0,5 \cdot 1,2 = 3,8 \text{ В}.$$

В частности, зная E и r , можно было бы найти ток короткого замыкания данной батареи:

$$I_{кз} = E / r = 3,8 / 1,2 = 3,17 \text{ А}.$$

Ответ: $E = 3,8 \text{ В}; r = 1,2 \text{ Ом}$.

С4. $a \cdot b = 6 \cdot 9 \text{ см}^2 = 0,06 \cdot 0,09 \text{ м}^2; D = 5,4 \text{ дптр}; f = L = 4 \text{ м};$
 $x \cdot y = ?$

Решение: Обозначим размеры экрана $x \cdot y$. Диапозитив имеет ширину a и высоту b , т.е. два линейных размера. Размеры изображений предметов с линейными размерами a и b определяют размеры экрана.

Вначале положим, что предмет имеет линейный размер a и рассчитаем размер его изображения x . Напишем формулу тонкой линзы и выражение для коэффициента увеличения Γ такой линзы, полагая, что объектив проекционного аппарата можно принять за такую линзу:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad \Gamma = \frac{f}{d} = \frac{x}{a},$$

где d – расстояние от диапозитива до объектива. Решая систему из написанных двух уравнений, находим:

$$x = a(Df - 1) = 0,06 \cdot (5,4 \cdot 4 - 1) = 1,236 \text{ м} = 123,6 \text{ см.}$$

Повторяя приведенные рассуждения, найдем второй параметр:

$$y = b(Df - 1) = 0,09 \cdot (5,4 \cdot 4 - 1) = 1,854 \text{ м} = 185,4 \text{ см.}$$

Таким образом получили, что для получения изображения диапозитива экран должен иметь минимальные размеры $x \cdot y = 123,6 \cdot 185,4 \text{ м}^2$.

Ответ: $x \cdot y = 123,6 \cdot 185,4 \text{ м}^2$.

$$\text{C5. } \underline{E = 5 \text{ эВ} = 5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; A = 4,7 \text{ эВ} = 4,7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};}$$

$$\underline{m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг};}$$

$$p = ?$$

Решение: Максимальная кинетическая энергия E_k фотоэлектрона равна

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m^2 v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m},$$

где m – масса электрона, v – его скорость.

Далее запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта с учетом полученного выражения для E_k , откуда найдем искомую величину импульса:

$$E = A + E_k = A + \frac{p^2}{2m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = \sqrt{2m(E - A)} = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} (5 - 4,7) 1,6 \cdot 10^{-19}} = 3 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

Ответ: $p = 3 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$

$$\text{C6. } \underline{e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}; m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}; B = 0,01 \text{ Тл};}$$

$$\underline{v = 10^6 \text{ м/с}; \Delta\phi = 1^0 = 1^0 \cdot \pi / 180^0 \text{ рад};}$$

$$\Delta S = ?$$

Решение: Под действием магнитной составляющей силы Лоренца электрон движется по дуге окружности радиуса R , который определяем из уравнения движения электрона:

$$F_{\text{л}} = \frac{mv^2}{R} \quad \text{или} \quad qvB = \frac{mv^2}{R},$$

Откуда определяем радиус окружности

$$R = \frac{mv}{eB}.$$

Положения двух точек траектории движения электрона, в которых угол между двумя векторами скорости составляет 1° , видны под тем же углом (1°) из центра окружности. Длина дуги ΔS между этими двумя точками как раз равна пути, пройденному электроном:

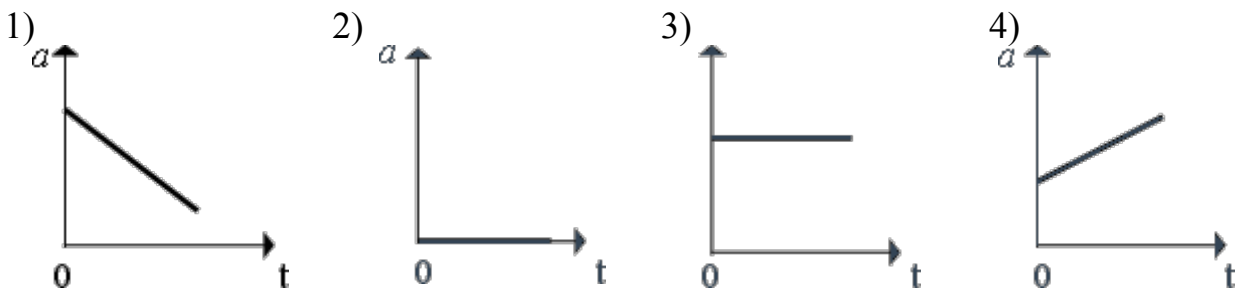
$$\Delta S = R \cdot \Delta \phi = \frac{mv}{eB} \cdot \Delta \phi = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,01} \cdot \frac{1^\circ \cdot \pi}{180^\circ} = 10^{-5} \text{ м} = 10 \text{ мкм}.$$

Ответ: $\Delta S = 10 \text{ мкм}$.

7.2 Вариант 2

Часть 1

A1. На рисунках изображены графики зависимости модуля ускорения от времени движения. Какой из графиков соответствует равномерному прямолинейному движению?



A2. Сила тяги ракетного двигателя первой отечественной экспериментальной ракеты на жидком топливе равнялась 660 Н. Стартовая масса ракеты была равна 30 кг. Какое ускорение приобретала ракета во время старта?

- 1) 22 м/с^2 2) $0,045 \text{ м/с}^2$ 3) 10 м/с^2 4) 19800 м/с^2

А3. При увеличении в 3 раза расстояния между тяготеющими телами сила притяжения между ними

- 1) увеличивается в 3 раза 2) уменьшается в 3 раза 3) увеличивается в 9 раз 4) уменьшается в 9 раз

А4. На рисунке изображен тонкий стержень. В точках 1 и 3 к стержню приложены силы $F_1 = 100 \text{ Н}$ и $F_2 = 300 \text{ Н}$. В какой точке надо расположить ось вращения, чтобы стержень находился в равновесии?



- 1) В точке 2 2) В точке 6 3) В точке 4 4) В точке 5

А5. Мальчик подбросил футбольный мяч массой $0,4 \text{ кг}$ с поверхности Земли на высоту 3 м . Какой потенциальной энергией будет обладать мяч на этой высоте?

- 1) 4 Дж 2) 12 Дж 3) $1,2 \text{ Дж}$ 4) $7,5 \text{ Дж}$

А6. При гармонических колебаниях вдоль оси OX координата тела изменяется по закону $x = 0,9 \cdot \cos 5t \text{ (м)}$. Чему равна амплитуда колебаний?

- 1) 5 м 2) $4,5 \text{ м}$ 3) $0,9 \text{ м}$ 4) $0,18 \text{ м}$

А7. Человеческое ухо может воспринимать звуки частотой от 20 до $20\,000 \text{ Гц}$. Какой диапазон длин волн соответствует этому интервалу слышимости звуковых колебаний? Скорость звука в воздухе примите равной 340 м/с .

- 1) от 20 до $20\,000 \text{ м}$ 2) от 6800 до $6\,800\,000 \text{ м}$ 3) от $0,06$ до $58,8 \text{ м}$ 4) от 17 до $0,017 \text{ м}$

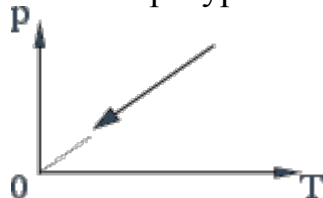
А8. Диффузия происходит быстрее при повышении температуры вещества, потому что

- 1) увеличивается скорость движения частиц. 2) увеличивается взаимодействие частиц 3) тело при нагревании расширяется 4) уменьшается скорость движения частиц

A9. При неизменной концентрации частиц идеального газа средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул увеличилась в 3 раза. При этом давление газа

- 1) уменьшилось в 3 раза 2) увеличилось в 3 раза 3) увеличилось в 9 раз 4) не изменилось

A10. На рисунке изображен график зависимости давления газа на стенки сосуда от температуры. Какой процесс изменения состояния газа изображен?



- 1) Изобарное нагревание 2) Изохорное охлаждение 3) Изотермическое сжатие 4) Изохорное нагревание

A11. При охлаждении твердого тела массой m температура тела понизилась на ΔT . Какое из приведенных ниже выражений определяет количество отданной теплоты Q , если удельная теплоемкость вещества этого тела c ?

- 1) $c \cdot m \cdot \Delta T$ 2) $\frac{m \cdot \Delta T}{c}$ 3) $\frac{c \cdot m}{\Delta T}$ 4) $\frac{m}{c \cdot \Delta T}$

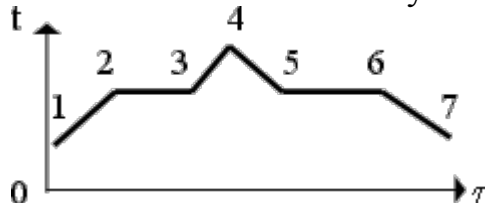
A12. Внутренняя энергия идеального газа при его охлаждении

- 1) увеличивается 2) уменьшается 3) увеличивается или уменьшается в зависимости от изменения объема 4) не изменяется

A13. Температура кипения воды существенно зависит от

- 1) мощности нагревателя 2) вещества сосуда, в котором нагревается вода 3) атмосферного давления 4) начальной температуры воды

A14. На рисунке изображен график плавления и кристаллизации нафталина. Какая из точек соответствует началу отвердевания вещества?



- 1) Точка 2 2) Точка 4 3) Точка 5 4) Точка 6

A15. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных неподвижных зарядов, если расстояние между ними увеличить в n раз?

- 1) Увеличится в n раз 2) Уменьшится в n раз 3) Увеличится в n^2 раз 4) Уменьшится в n^2 раз

A16. Если напряжение на концах проводника и площадь его сечения увеличить в 2 раза, то сила тока, протекающая по нему

- 1) не изменится 2) увеличится в 2 раза 3) увеличится в 4 раза 4) уменьшится в 4 раза

A17. Как изменится мощность, потребляемая электрической лампой, если, не изменяя её электрическое сопротивление, уменьшить напряжение на ней в 3 раза?

- 1) Уменьшится в 3 раза 2) Уменьшится в 9 раз 3) Не изменится 4) Увеличится в 9 раз

A18. Что нужно сделать для того, чтобы изменить полюса магнитного поля катушки с током?

- 1) Ввести в катушку сердечник 2) Изменить направление тока в катушке 3) Отключить источник тока 4) Увеличить силу тока

A19. Как изменится электроемкость конденсатора, если заряд на его обкладках увеличить в n раз при неизменной разности потенциалов?

- 1) Увеличится в n раз 2) Уменьшится в n раз 3) Не изменится 4) Увеличится в n^2 раз

A20. Колебательный контур радиоприемника настроен на радиостанцию, передающую на волне 100 м. Индуктивность катушки считать неизменной. Как нужно изменить емкость конденсатора колебательного контура, чтобы он был настроен на волну 25 м?

- 1) Увеличить в 4 раза 2) Уменьшить в 4 раза 3) Увеличить в 16 раз 4) Уменьшить в 16 раз

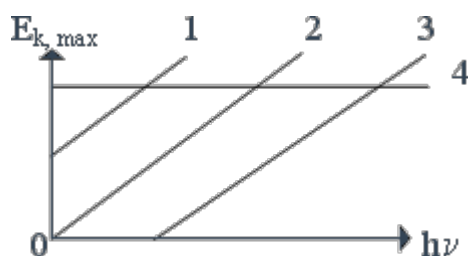
A21. Объектив фотоаппарата является собирающей линзой. При фотографировании предмета он дает на пленке изображение

- 1) действительное прямое 2) мнимое прямое 3) действительное перевернутое 4) мнимое перевернутое

A22. Два автомобиля движутся в одном и том же направлении со скоростями v_1 и v_2 относительно поверхности Земли. Скорость света от фар первого автомобиля в системе отсчета, связанной с другим автомобилем, равна

- 1) $c - (v_1 + v_2)$ 2) $c + (v_1 + v_2)$ 3) $c + (v_1 - v_2)$ 4) c

A23. На рисунке приведены варианты графика зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от энергии падающих на фотокатод фотонов. В каком случае график соответствует законам фотоэффекта?

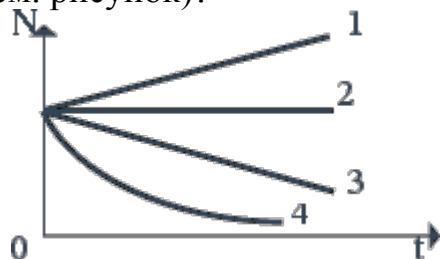


- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

A24. Какое из приведенных ниже высказываний правильно описывает способность атомов к излучению и поглощению энергии? Атомы могут:

- 1) поглощать и излучать любую порцию энергии
- 2) поглощать и излучать лишь некоторый дискретный набор значений энергии
- 3) поглощать любую порцию энергии, а излучать лишь некоторый дискретный набор значений энергии
- 4) излучать любую порцию энергии, а поглощать лишь некоторый дискретный набор значений энергии

A25. Какой из графиков правильно отражает закон радиоактивного распада (см. рисунок)?



- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

A26. Неподвижная лодка вместе с находящимся в ней охотником имеет массу 250 кг. Охотник выстреливает из охотничьего ружья в горизонтальном направлении. Какую скорость получит лодка после выстрела? Масса пули 8 г, а ее скорость при вылете равна 700 м/с.

- 1) 22,4 м/с 2) 0,05 м/с 3) 0,02 м/с 4) 700 м/с

A27. Тепловая машина с КПД 40 % за цикл получает от нагревателя 100 Дж. Какое количество теплоты машина отдает за цикл холодильнику?

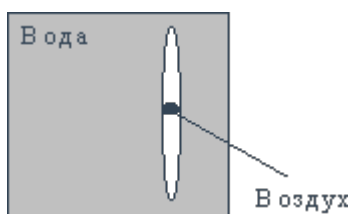
- 1) 40 Дж 2) 60 Дж 3) 100 Дж 4) 160 Дж

A28. Магнит выводят из кольца так, как изображено на рисунке. Какой полюс магнита ближе к кольцу?



- 1) Северный 2) Южный 3) Отрицательный 4) Положительный

A29. Линзу, изготовленную из двух тонких сферических стекол одинакового радиуса, между которыми находится воздух (воздушная линза), опустили в воду (см. рисунок). Как действует эта линза?



- 1) Как собирающая линза 2) Как рассеивающая линза 3) Она не изменяет хода луча 4) Может действовать и как собирающая, и как рассеивающая линза

A30. Чему равна энергия связи ядра изотопа натрия ${}_{11}^{23}\text{Na}$? Масса ядра равна 22,9898 а.е.м.

- 1) $3 \cdot 10^{11}$ Дж 2) $3 \cdot 10^{-11}$ Дж 3) $207 \cdot 10^{-16}$ Дж 4) 253 Дж

Часть 2

B1. Шарик, прикрепленный к пружине, совершает гармонические колебания на гладкой горизонтальной плоскости с амплитудой 10 см. На сколько сместится шарик от положения равновесия за время, в течение которого его кинетическая энергия уменьшится вдвое? Ответ выразите в см.

Ответ: $x = 7$ (7 см)

B2. Какое количество теплоты выделится, если охладить 80 г гелия с 200 °С до 100 °С, а процесс проводить при постоянном давлении? Ответ выразите в кДж.

Ответ: $Q = 42$ (42 кДж)

В3. Замкнутый проводник сопротивлением $R = 3$ Ом находится в магнитном поле. В результате изменения этого поля магнитный поток, пронизывающий контур, возрос с $\Phi_1 = 0,002$ Вб до $\Phi_2 = 0,005$ Вб. Какой заряд прошел через поперечное сечение проводника? Ответ выразите в мКл.

Ответ: $q = 1$ (1 мКл)

В4. Выполняя экспериментальное задание, ученик должен был определить период дифракционной решетки. С этой целью ученик направил световой пучок на дифракционную решетку через красный светофильтр. Красный светофильтр пропускает свет длиной волны 0,76 мкм. Дифракционная решетка находилась от экрана на расстоянии 1 м. На экране между спектрами первого порядка расстояние получилось равным 15,2 см. Какое значение периода дифракционной решетки было получено учеником? Ответ выразите в мкм. (При малых углах $\sin \varphi \approx \tan \varphi$)

Ответ: $x = 10$ (10 мкм)

В5. Определите энергию, выделившуюся при протекании следующей реакции:



(Масса ${}^7_3\text{Li}$ - 7,016004 а.е.м.; ${}^1_1\text{H}$ - 1,007825 а.е.м; ${}^4_2\text{He}$ - 4,002603 а.е.м.)

Ответ выразите в пДж. (1 пико = 10^{-12})

Ответ: $E = 2,78$ ($E = 2,78$ пДж.)

Решения задач из части 2.

В1. $A = 10$ см; $W_k = 0,5 \cdot W_{k \text{ макс}}$;
 $x = ?$

Решение: Запишем уравнение колебаний шарика $x(t)$ и, взяв первую производную по времени от этого уравнения, найдем зависимость скорости от времени $v(t)$:

$$x = A \sin \omega t; \quad v = A \omega \cos \omega t, \quad \text{где} \quad \omega^2 = \frac{k}{m} \quad \text{или} \quad k = m \omega^2;$$

Кинетическая энергия шарика в момент времени t равна:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2\omega t; \quad W_{k \text{ макс}} = \frac{mA^2\omega^2}{2}.$$

Так как по условию в этот момент времени $W_k = 0,5 \cdot W_{k \text{ макс}}$, то из выражений для кинетических энергий следует, что в момент времени t :

$$\cos^2\omega t = 0,5 \quad \text{и} \quad \sin\omega t = \sqrt{1 - \cos^2\omega t} = \sqrt{1 - 0,5^2} = 0,707.$$

Теперь найдем смещение шарика от положения равновесия в момент времени t :

$$x = A \sin\omega t = 10 \text{ см} \cdot 0,707 = 7,07 \text{ см} = 7 \text{ см}.$$

B2. $T_1 = 473 \text{ К}; T_2 = 373 \text{ К}; R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}); i = 3;$
 $\mu = 0,004 \text{ кг}/\text{моль}; m = 0,08 \text{ кг};$
 $Q = ?$

Решение: Число степеней свободы молекул гелия $i = 3$, а молярная масса равна μ . Искомое количество теплоты

$$Q = \frac{m}{\mu} C_p (T_1 - T_2), \text{ где}$$

молярная теплоемкость гелия (идеального газа) при постоянном давлении C_p равна

$$C_p = \frac{i + 2}{2} R.$$

Итак, имеем

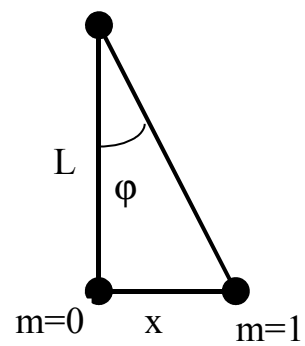
$$Q = \frac{m}{\mu} \frac{i + 2}{2} R (T_1 - T_2) = \frac{0,08}{0,004} \frac{3 + 2}{2} 8,31 (473 - 373) = 41,55 \cdot 10^3 \text{ Дж} =$$

$$= 41,55 \text{ кДж} = 42 \text{ кДж}.$$

B3. $R = 3 \text{ Ом}; \Phi_1 = 0,002 \text{ Вб}; \Phi_2 = 0,005 \text{ Вб};$
 $q = ?$

Решение: $q = \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{R} = \frac{0,005 - 0,002}{3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Кл} = 1 \text{ мКл}.$

B4. $L = 1 \text{ м}; m = 1; \lambda = 0,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}; 2x = 0,152 \text{ м};$
 $d = ?$



Решение: Расстояние между спектрами первого порядка ($m = -1$ и $m = 1$) равно $2x$. Тогда расстояние между центральным максимумом ($m = 0$) и первым максимумом ($m = 1$) равно x . Из рисунка видно, что

$$\operatorname{tg} \varphi = x/L.$$

Из условия главных дифракционных максимумов $d \sin \varphi = m \lambda$ выражаем

$$\sin \varphi = m \lambda / d.$$

Так как согласно условию задачи $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$, то отсюда следует, что

$$x/L = m \lambda / d,$$

откуда находим

$$d = \frac{m \lambda L}{x} = \frac{1 \cdot 0,76 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{0,5 \cdot 0,152} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 10 \text{ мкм}.$$

B5. $\frac{m_{\text{Li}} = 7,016004 \text{ а.е.м.}; m_{\text{H}} = 1,007825 \text{ а.е.м.};}{m_{\text{He}} = 4,002603 \text{ а.е.м.}; 1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \text{ МэВ}}$
 $E = ?$

Решение: Так как $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, то 1 а.е.м. соответствует энергия, равная

$$1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 149,04 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = 149,04 \text{ пДж}.$$

Найдем дефект массы реакции

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_{\text{Li}} + m_{\text{H}} - 2 \cdot m_{\text{He}} = 7,016004 + 1,007825 - 2 \cdot 4,002603 = \\ &= 0,018623 \text{ а.е.м.} \end{aligned}$$

Так как $\Delta m > 0$, отсюда следует, что при данной реакции выделяется энергия, равная

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 0,018623 \text{ а.е.м.} \cdot 149,04 \text{ пДж/(а.е.м.)} = 2,78 \text{ пДж}.$$

Часть 3

C1. Тележка массой 0,8 кг движется по инерции со скоростью 2,5 м/с. На тележку с высоты 50 см падает кусок пластилина массой 0,2 кг и прилипает к ней. Рассчитайте энергию, которая перешла во внутреннюю при этом ударе.

C2. Некоторое количество гелия расширяется: сначала адиабатно, а затем – изобарно. Конечная температура газа равна начальной. При адиабатном расширении газ совершил работу, равную 4,5 кДж. Чему равна работа газа за весь процесс?

C3. Маленький заряженный шарик массой 50 г, имеющий заряд 1 мкКл, движется с высоты 0,5 м по наклонной плоскости с углом наклона 30°. В вершине прямого угла, образованного высотой и горизонталью, находится неподвижный заряд 7,4 мкКл. Чему равна скорость шарика у основания наклонной плоскости, если его начальная скорость равна нулю? Трением пренебречь.

C4. При облучении металла светом с длиной волны 245 нм наблюдается фотоэффект. Работа выхода металла равна 2,4 эВ. Рассчитайте величину задерживающего напряжения, которое нужно приложить к металлу, чтобы уменьшить максимальную скорость вылетающих фотоэлектронов в 2 раза.

C5. Вакуумный диод, у которого анод (положительный электрод) и катод (отрицательный электрод) – параллельные пластины, работает в режиме, когда между током и напряжением выполняется соотношение $I = cU^{3/2}$ (где c – постоянная величина). Во сколько раз увеличится сила, действующая на анод из-за удара электронов, если напряжение на диоде увеличить в два раза? Начальную скорость вылетающих электронов считать равной нулю.

Решения задач из части 3.

C1. $\underline{M = 0,8 \text{ кг}; v = 2,5 \text{ м/с}; h = 0,5 \text{ м}; m = 0,2 \text{ кг}; g = 10 \text{ м/с}^2;}$
 $Q = ?$

Решение: Так как кинетическая энергия куса пластилина в момент удара о тележку равна его потенциальной энергии на высоте h , то полная энергия системы "пластилин + тележка" в момент удара куса пластилина равна

$$E_1 = mgh + \frac{1}{2} Mv^2.$$

Поскольку пластилин после удара о тележку прилипает к ней, то удар неупругий. В момент удара куса пластилина его скорость направлена вертикально, т.е. перпендикулярно направлению движения тележки, и поэтому «сила удара» куса пластилина направлена также вертикально. Применяя закон

сохранения импульса системы "пластилин + тележка" в горизонтальном направлении, имеем:

$$Mv = (M+m)u,$$

где u – скорость системы "пластилин + тележка" после прилипания пластилина. Из последнего выражения находим

$$u = \frac{M}{M+m} v.$$

Теперь можем записать выражение для энергии системы "пластилин + тележка" после прилипания пластилина:

$$E_2 = \frac{1}{2} (M+m)u^2.$$

Подставляя в последнее выражение для u , имеем:

$$E_2 = \frac{1}{2} \frac{M^2}{M+m} v^2.$$

Искомую величину Q найдем, применяя закон полной энергии для системы "пластилин + тележка":

$$\begin{aligned} Q = E_1 - E_2 &= mgh + \frac{1}{2} Mv^2 - \frac{1}{2} \frac{M^2}{M+m} v^2 = \\ &= mgh + \frac{1}{2} Mv^2 \frac{m}{M+m} = 0,2 \cdot 10 \cdot 0,5 + \frac{1}{2} 0,8 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{0,2}{0,8 + 0,2} = 1,5 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

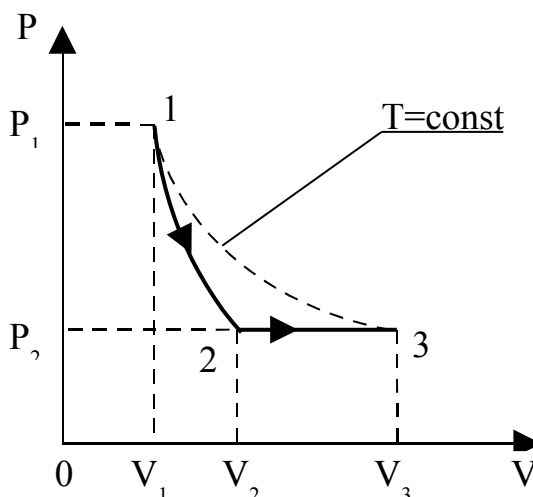
Ответ: $Q = 1,5$ Дж.

C2. $A_{12} = 4,5 \text{ кДж}; i = 3; T_1 = T_2;$
 $A_{123} = ?$

Решение: На рисунке 1-2 – адиабатический процесс, 2-3 – изобарический процесс, 1-3 – изотерма ($T_1 = T_3$). Согласно условию задачи работа адиабатического расширения равна A_{12} . Как известно, работа адиабатического расширения равна:

$$A_{12} = \nu C_V (T_1 - T_2),$$

где $C_V = \frac{i}{2} R$ – молярная теплоемкость при постоянном объеме, ν – количество



вещества; T_1 и T_2 – температуры в точках 1 и 2, i – число степеней свободы молекул, R – газовая постоянная. Итак,

$$A_{12} = \frac{i}{2} \nu R(T_1 - T_2),$$

откуда выражаем

$$\nu R(T_1 - T_2) = \frac{2}{i} A_{12}.$$

Работа изобарического расширения на участке 2-3 равна

$$A_{23} = P_2(V_3 - V_2) = P_2 V_3 - P_2 V_2 = \nu R T_1 - \nu R T_2 = \nu R(T_1 - T_2) = \frac{2}{i} A_{12}.$$

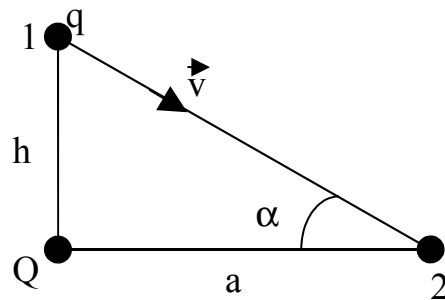
Так как работа аддитивная величина, то работа газа за весь процесс равна алгебраической сумме работ на отдельных участках:

$$A_{123} = A_{12} + A_{23} = A_{12} + \frac{2}{i} A_{12} = A_{12} \left(1 + \frac{2}{i} \right) = 4,5 \left(1 + \frac{2}{3} \right) = 7,5 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A_{123} = 7,5 \text{ кДж}$.

С3. $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$; $m = 0,05 \text{ кг}$; $Q = 7,4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$; $q = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$; $v_1 = 0$;
 $v_2 = ?$

Решение: На рисунке обозначено a – основание треугольника, причем, $a = h / \tan \alpha$. Заряженный шарик перемещается из точки 1 в точку 2, в которых он имеет скорости v_1 и v_2 , соответственно. Полная энергия шарика в каждой точке складывается из потенциальной энергии взаимодействия зарядов, механической (потенциальной и кинетической) энергии. Так как на шарик не действуют диссипативные силы (силы трения), то выполняется закон сохранения энергии в течение всего времени движения шарика. Применительно к точкам 1 и 2 закон сохранения энергии записывается следующим образом:



$$k \frac{qQ}{h} + \frac{mv_1^2}{2} + mgh = k \frac{qQ}{a} + \frac{mv_2^2}{2},$$

откуда с учетом, что $v_1 = 0$, находим

$$v_2 = \sqrt{\frac{2kqQ}{m} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{a} \right) + 2gh} = \sqrt{\frac{2kqQ}{m} \left(\frac{1}{h} - \frac{\tan \alpha}{h} \right) + 2gh} = \sqrt{\frac{2kqQ}{mh} (1 - \tan \alpha) + 2gh} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 7,4 \cdot 10^{-6}}{0,05 \cdot 0,5}} (1 - \operatorname{tg} 30^\circ) + 2 \cdot 10 \cdot 0,5 = 3,5 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v_2 = 3,5 \text{ м/с.}$

C4.
$$\frac{h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}; \quad v_2 = v_1/2; \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};}{A = 2,4 \text{ эВ} = 2,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; \quad e = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл};}$$
$$U_3 = ?$$

Решение: Запишем уравнения Эйнштейна для фотоэффекта для обоих случаев:

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv_1^2}{2}; \quad h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv_2^2}{2} + eU_3.$$

Во втором уравнении воспользуемся тем, что по условию $v_2 = v_1/2$, а затем в полученном уравнении заменим $\frac{mv_1^2}{2}$ его выражением из первого уравнения.

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow \frac{mv_1^2}{2} = h \frac{c}{\lambda} - A.$$

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv_2^2}{2} + eU_3 = A + \frac{mv_1^2}{2} \cdot \frac{1}{4} + eU_3 = A + \frac{1}{4} \left(h \frac{c}{\lambda} - A \right) + eU_3.$$

Из последнего уравнения находим:

$$U_3 = \frac{3}{4e} \left(h \frac{c}{\lambda} - A \right) = \frac{3}{4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \left(6,6 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{245 \cdot 10^{-9}} - 2,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \right) = 2 \text{ В.}$$

Ответ: $U_3 = 2 \text{ В.}$

C5.
$$\frac{I = cU^{3/2}; \quad U_2 = 2U_1;}{F_2/F_1 = ?}$$

Решение: Если обозначить массу электрона m , его заряд e , скорость удара электрона об анод v , число электронов достигающих анода за время t через N , то можно записать следующие соотношения с учетом того, что начальная скорость вылетающих электронов равна нулю:

- электрон, проходя ускоряющую разность потенциалов U , приобретает кинетическую энергию, равную

$$eU = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

- сила тока I с одной стороны равна заряду q всех N электронов, достигающих анода за время t , с другой – согласно условию задачи пропорциональна напряжению $U^{3/2}$, т.е.

$$I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t} = cU^{3/2} \Rightarrow \frac{N}{t} = \frac{c}{e} U^{3/2}.$$

- N электронов, достигающих анод со скоростью v за время t , создают силу давления F на анод (второй закон Ньютона)

$$F = N \frac{mv}{t}.$$

- подставляя в последнее уравнение выражения для скорости v и отношение N/t , имеем

$$F = \frac{N}{t} mv = \frac{c}{e} U^{3/2} \cdot m \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2m}{e}} c U^2.$$

- получили, что искомая сила, действующая на анод из-за удара электронов, пропорциональна квадрату напряжения U , т.е.

$$F_1 \sim U_1^2 \text{ и } F_2 \sim U_2^2,$$

откуда находим
$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{U_2^2}{U_1^2} = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 2^2 = 4.$$

Ответ: $F_2/F_1 = 4$.

7.3 Вариант 3

Часть 1

A1. Велосипедист съезжает с горки, двигаясь прямолинейно и равноускоренно. За время спуска скорость велосипедиста увеличилась на 10 м/с. Ускорение велосипедиста 0,5 м/с². Сколько времени длится спуск?

1) 0,05 с

2) 2 с

3) 5 с

4) 20 с

A2. В инерциальной системе отсчета движутся два тела. Первому телу массой m сила F сообщает ускорение a . Чему равна масса второго тела, если вдвое меньшая сила сообщила ему в 4 раза бóльшее ускорение?

1) $2m$

2) $\frac{m}{8}$

3) $\frac{m}{2}$

4) m

A3. На какой стадии полета в космическом корабле, который становится на орбите спутником Земли, будет наблюдаться невесомость?

1) на стартовой позиции с включенным двигателем

2) при выходе на орбиту с включенным двигателем

3) при орбитальном полете с выключенным двигателем

4) при посадке с парашютом с выключенным двигателем

A4. Два шара массами m и $2m$ движутся со скоростями, равными соответственно $2v$ и v . Первый шар движется за вторым и, догнав, прилипает к нему. Каков суммарный импульс шаров после удара?

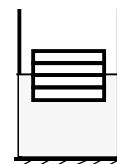
1) mv

2) $2mv$

3) $3mv$

4) $4mv$

A5. Четыре одинаковых листа фанеры толщиной L каждый, связанные в стопку, плавают в воде так, что уровень воды соответствует границе между двумя средними листами. Если в стопку добавить еще один такой же лист, то глубина погружения стопки листов увеличится на



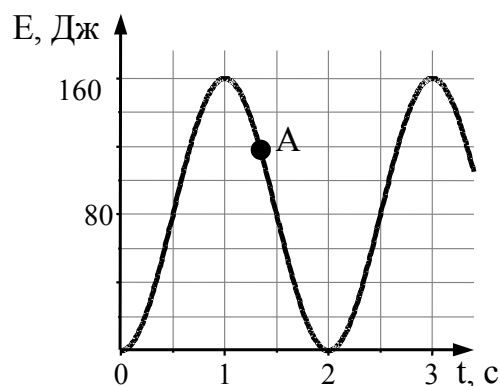
1) $\frac{L}{4}$

2) $\frac{L}{3}$

3) $\frac{L}{2}$

4) L

A6. На рисунке представлен график изменения со временем кинетической энергии ребенка, качающегося на качелях. В момент, соответствующий точке А на графике, его потенциальная энергия, отсчитанная от положения равновесия качелей, равна



1) 40 Дж

2) 80 Дж

3) 100 Дж

4) 120 Дж

A7. Две материальные точки движутся по окружностям радиусами R_1 и $R_2 = 2R_1$ с одинаковыми по модулю скоростями. Их периоды обращения по окружностям связаны соотношением

- 1) $T_1 = 2T_2$ 2) $T_1 = T_2$ 3) $T_1 = 4T_2$ 4) $T_1 = \frac{1}{2} T_2$

A8. В жидкостях частицы совершают колебания возле положения равновесия, сталкиваясь с соседними частицами. Время от времени частица совершает «прыжок» к другому положению равновесия. Какое свойство жидкостей можно объяснить таким характером движения частиц?

- 1) малую сжимаемость
2) текучесть
3) давление на дно сосуда
4) изменение объема при нагревании

A9. Лед при температуре 0°C внесли в теплое помещение. Температура льда до того, как он растает,

- 1) не изменится, так как вся энергия, получаемая льдом в это время, расходуется на разрушение кристаллической решетки
2) не изменится, так как при плавлении лед получает тепло от окружающей среды, а затем отдает его обратно
3) повысится, так как лед получает тепло от окружающей среды, значит, его внутренняя энергия растёт, и температура льда повышается
4) понизится, так как при плавлении лед отдает окружающей среде некоторое количество теплоты

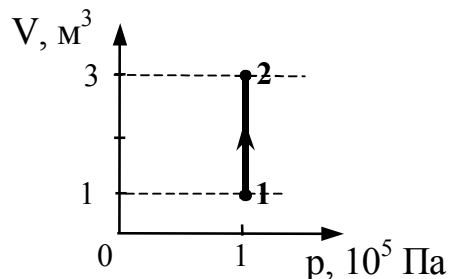
A10. При какой влажности воздуха человек легче переносит высокую температуру воздуха и почему?

- 1) при низкой, так как при этом пот испаряется быстро
2) при низкой, так как при этом пот испаряется медленно
3) при высокой, так как при этом пот испаряется быстро
4) при высокой, так как при этом пот испаряется медленно

A11. Абсолютная температура тела равна 300 К. По шкале Цельсия она равна

- 1) -27°C 2) 27°C 3) 300°C 4) 573°C

A12. На рисунке приведен график зависимости объема идеального одноатомного газа от давления в процессе 1 – 2. Внутренняя энергия газа при этом увеличилась на 300 кДж. Количество теплоты, сообщенное газу в этом процессе, равно

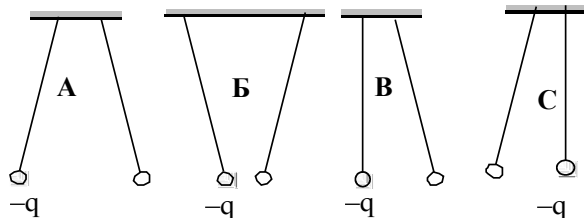


- 1) 0 кДж 2) 100 кДж 3) 200 кДж 4) 500 кДж

A13. Тепловая машина с КПД 60 % за цикл работы получает от нагревателя количество теплоты, равное 100 Дж. Какую полезную работу машина совершает за цикл?

- 1) 40 Дж 2) 60 Дж 3) 100 Дж 4) 160 Дж

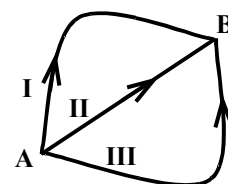
A14. Два одинаковых легких шарика, заряды которых равны по модулю, подвешены на шелковых нитях. Заряд одного из шариков указан на рисунках. Какой(-ие) из рисунков соответствует(-ют) ситуации, когда заряд 2-го шарика отрицателен?



–q

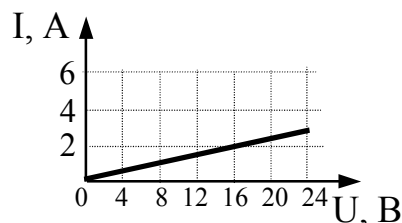
- 1) А 2) Б 3) В и С 4) А и В

A15. α -частица перемещается в однородном электростатическом поле из точки А в точку В по траекториям I, II, III (см. рисунок). Работа сил электростатического поля



- 1) наибольшая на траектории I
2) наибольшая на траектории II
3) одинаковая только на траекториях I и III
4) одинаковая на траекториях I, II и III

A16. На рисунке изображен график зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах. Чему равно сопротивление проводника?

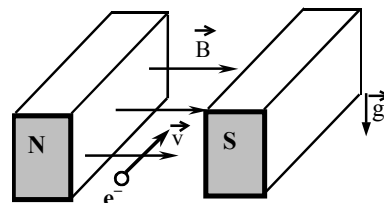


- 1) 0,125 Ом 2) 2 Ом 3) 16 Ом 4) 8 Ом

A17. Какими носителями электрического заряда создается ток в водном растворе соли?

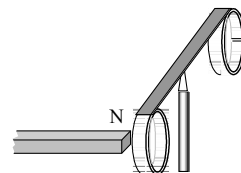
- 1) только ионами
- 2) электронами и «дырками»
- 3) электронами и ионами
- 4) только электронами

A18. Электрон e^- , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет горизонтально направленную скорость $\vec{v}$, перпендикулярную вектору индукции магнитного поля $\vec{B}$ (см. рисунок). Куда направлена действующая на электрон сила Лоренца $\vec{F}$?



- | | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1) вертикально
вниз | 2) вертикально
вверх | 3) горизонтально
влево | 4) горизонтально
вправо |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|

A19. На рисунке приведена демонстрация опыта по проверке правила Ленца. Опыт проводится со сплошным кольцом, а не разрезанным, потому что



- 1) сплошное кольцо сделано из стали, а разрезанное – из алюминия
- 2) в сплошном кольце не возникает вихревое электрическое поле, а в разрезанном – возникает
- 3) в сплошном кольце возникает индукционный ток, а в разрезанном – нет
- 4) в сплошном кольце возникает ЭДС индукции, а в разрезанном – нет

A20. Разложение белого света в спектр при прохождении через призму обусловлено:

- 1) интерференцией света
- 2) дисперсией света
- 3) отражением света
- 4) дифракцией света

A21. Объектив фотоаппарата – собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 50$ мм. При фотографировании предмета, удаленного от фотоаппарата на 40 см, изображение предмета получается четким, если плоскость фотопленки находится от объектива на расстоянии

- | | | | |
|-------------|----------------|---------------------|---------------|
| 1) бóльшем, | 2) равном $2F$ | 3) между F и $2F$ | 4) равном F |
|-------------|----------------|---------------------|---------------|

чем $2F$

A22. Скорость света во всех инерциальных системах отсчета

- 1) не зависит ни от скорости приёмника света, ни от скорости источника света
- 2) зависит только от скорости движения источника света
- 3) зависит только от скорости приёмника света
- 4) зависит как от скорости приёмника света, так и от скорости источника света

A23. Бета-излучение – это

- 1) поток ядер ге-
- 2) поток протонов
- 3) поток электронов
- 4) электромагнитные волны

A24. Реакция термоядерного синтеза ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ идет с выделением энергии, при этом

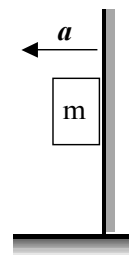
А. сумма зарядов частиц — продуктов реакции — точно равна сумме зарядов исходных ядер.

Б. сумма масс частиц — продуктов реакции — точно равна сумме масс исходных ядер.

Верны ли приведенные выше утверждения?

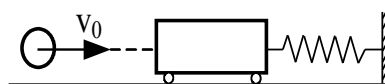
- 1) верно только А
- 2) верно только Б
- 3) верны и А, и Б
- 4) не верны ни А, ни Б

A25. К подвижной вертикальной стенке приложили груз массой 10 кг. Коэффициент трения между грузом и стенкой равен 0,4. С каким минимальным ускорением надо передвигать стенку влево, чтобы груз не соскользнул вниз



- 1) $4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$
- 2) 4 м/с^2
- 3) 25 м/с^2
- 4) 250 м/с^2

A26. Пластилиновый шар массой 0,1 кг летит горизонтально со скоростью 1 м/с (см. рисунок). Он налетает на неподвижную тележку массой 0,1 кг, прикрепленную к легкой пружине, и прилипает к тележке. Чему равна максимальная кинетическая энергия системы при ее дальнейших колебаниях? Трением пренебречь. Удар считать мгновенным.



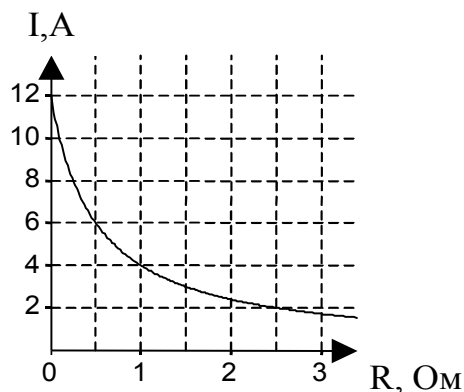
- 1) 0,1 Дж
- 2) 0,5 Дж
- 3) 0,05 Дж
- 4) 0,025 Дж

A27. Экспериментаторы закачивают воздух в стеклянный сосуд, одновременно охлаждая его. При этом температура воздуха в сосуде понизилась в

2 раза, а его давление возросло в 3 раза. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде?

- 1) в 2 раза 2) в 3 раза 3) в 6 раз 4) в 1,5 раза

A28. К источнику тока с внутренним сопротивлением $0,5 \text{ Ом}$ подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Чему равна ЭДС источника тока?



- 1) 12 В 2) 6 В 3) 4 В 4) 2 В

A29. Последовательно соединены конденсатор, катушка индуктивности и резистор. Если при неизменной частоте и амплитуде напряжения на концах цепи увеличивать емкость конденсатора от 0 до ∞ , то амплитуда тока в цепи будет

- 1) монотонно убывать
2) монотонно возрастать
3) сначала возрастать, затем убывать
4) сначала убывать, затем возрастать

A30. Сколько α - и β -распадов должно произойти при радиоактивном распаде

ядра урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ и конечном превращении его в ядро свинца ${}^{198}_{82}\text{Pb}$?

- 1) 10 α - и 10 β -распадов
2) 10 α - и 8 β -распадов
3) 8 α - и 10 β -распадов
4) 10 α - и 9 β -распадов

Часть 2

В1. Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, упал обратно на землю через 2 с в 20 м от места броска. Чему равна минимальная скорость камня за время полёта?

Ответ: $v_{\min} = 10$ (10 м/с)

В2. Для определения удельной теплоты плавления льда в сосуд с водой стали бросать кусочки тающего льда при непрерывном помешивании. Первоначально в сосуде находилось 300 г при температуре 20 °С. К моменту времени, когда лед перестал таять, масса воды увеличилась на 84 г. Определите по данным опыта удельную теплоту плавления льда. Ответ выразите в кДж/кг. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

Ответ: $\lambda = 300$ (300 кДж/кг)

В3. При лечении электростатическим душем к электродам прикладывается разность потенциалов 10^5 В. Какой заряд проходит между электродами за время процедуры, если известно, что электрическое поле совершает при этом работу, равную 1 800 Дж? Ответ выразите в мКл.

Ответ: $q = 18$ (18 мКл)

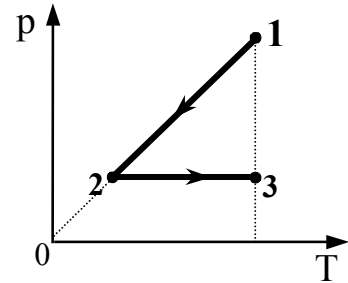
В4. Дифракционная решетка с периодом 10^{-5} м расположена параллельно экрану на расстоянии 1,8 м от него. Какого порядка максимум в спектре будет наблюдаться на экране на расстоянии 21 см от центра дифракционной картины при освещении решетки нормально падающим параллельным пучком света с длиной волны 580 нм? Считать $\sin\varphi \approx \tan\varphi$.

Ответ: $m = 2$ ($m = 2$)

Часть 3

С1. Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки (1), реостата (2), ключа (3), амперметра (4) и вольтметра (5) (см. фотографии: опыт 1, опыт 2). После этого он измерил напряжение на полюсах источника тока и силу тока в цепи при двух положениях ползунка реостата. Определите КПД источника тока в первом опыте.

С2. 1 моль идеального одноатомного газа сначала охладил, а затем нагрел до первоначальной температуры 300 К, увеличив объем газа в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты отдал газ на участке 1-2?

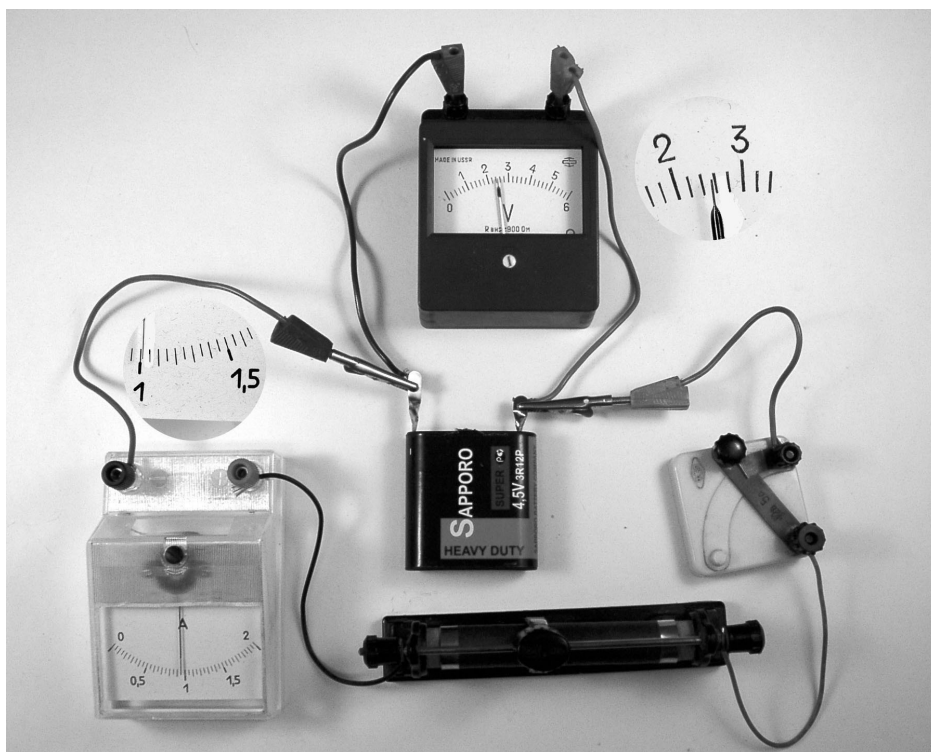
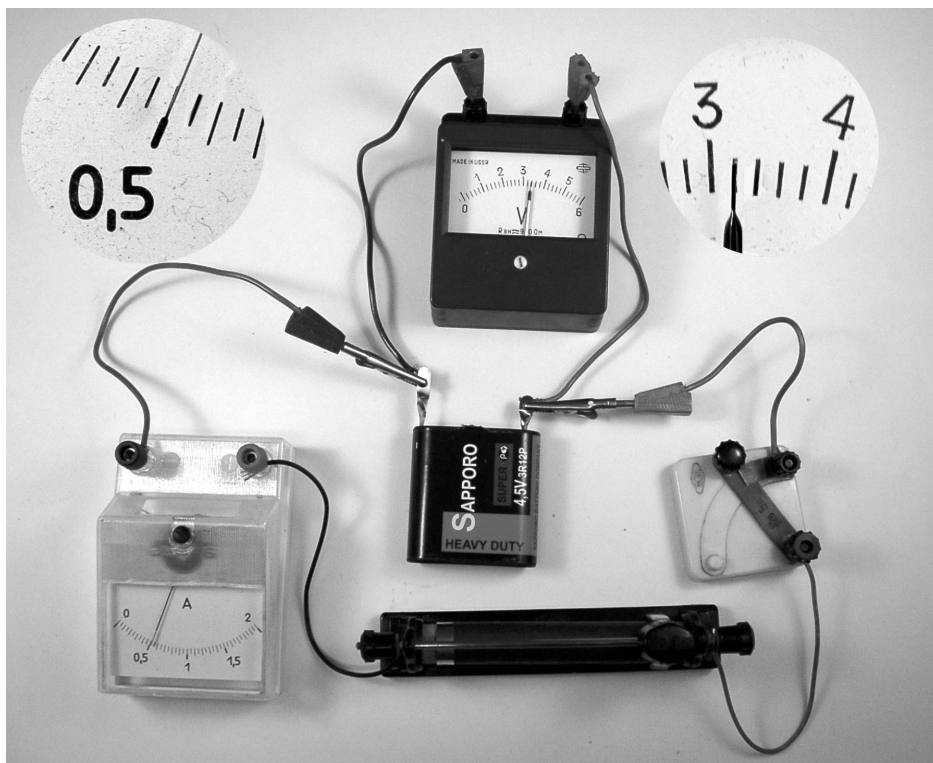


С3. На экране с помощью тонкой линзы получено изображение предмета с пятикратным увеличением. Экран передвинули на 30 см вдоль главной оптической оси линзы. Затем при неизменном положении линзы передвинули предмет, чтобы изображение снова стало резким. В этом случае получилось изображение с трехкратным увеличением. На каком расстоянии от линзы находилось изображение предмета в первом случае?

С4. Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из металлической пластины светом с длиной волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ м, если красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} = 540$ нм?

С5. Две параллельные неподвижные диэлектрические пластины расположены вертикально и заряжены разноименно. Пластины находятся на расстоянии $d = 2$ см друг от друга. Напряженность поля в пространстве внутри пластин равна $E = 4 \cdot 10^5$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом $q = 10^{-10}$ Кл и массой $m = 20$ мг. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. Насколько уменьшится высота местонахождения шарика Δh к моменту его удара об одну из пластин?

С6. Масса Марса составляет 0,1 от массы Земли, диаметр Марса вдвое меньше, чем диаметр Земли. Каково отношение периодов обращения искусственных спутников Марса и Земли $\frac{T_{\text{М}}}{T_{\text{З}}}$, движущихся по круговым орбитам на небольшой высоте?



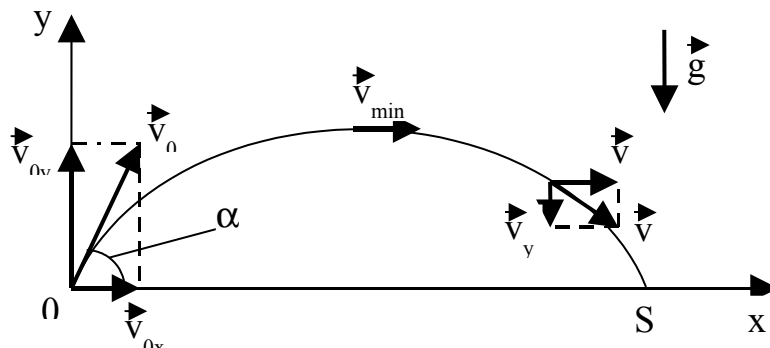
Решения задач из части 2.

B1. $t = 2 \text{ с}; S = 20 \text{ м};$
 $V_{\min} = ?$

Решение: Тело, брошенное со скоростью $\vec{v}_0$ под углом α к горизонту, находится под действием силы тяготения к Земле, и движется вертикально вниз (т.е. в сторону отрицательной полуоси Oy) с ускорением $\vec{g}$ (см. рисунок). Значения проекций начальной скорости $\vec{v}_0$ на горизонтальную ось Ox и вертикальную ось Oy равны:

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha;$$

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha.$$



Значения проекций скоростей по осям Ox и Oy изменяются со временем по законам

$$v_x = v_{0x} + g_x t = v_{0x};$$

$$v_y = v_{0y} + g_y t = v_{0y} - gt,$$

так как проекции вектора ускорения свободного падения $\vec{g}$ на оси координат равны

$$g_x = 0; \quad g_y = -g.$$

Поскольку в любой момент времени полная скорость равна $\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$, а ее модуль равен $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, то с учетом выражений для v_x и v_y заключаем, что минимальное значение скорости за время полета $v_{\min}$ равна $v_x = v_{0x}$, т.е. $v_{\min} = v_x = v_{0x}$. За время полета t камень пролетит по горизонтали (т.е. вдоль оси Ox) на расстояние S :

$$S = v_{0x} t + \frac{1}{2} g_x t^2 = v_{0x} t = v_{\min} t,$$

откуда находим

$$v_{\min} = \frac{S}{t} = \frac{20}{2} = 10 \text{ м/с}.$$

B2. $m = 0,3 \text{ кг}; t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}; t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}; c = 4\,200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}; \Delta m = 0,084 \text{ кг};$
 $\lambda = ?$

Решение: Масса воды увеличилась за счет растаявшего льда. Поэтому масса растаявшего льда равна Δm . Лед перестает плавиться, когда температура воды сравняется с его температурой плавления t_2 . Это означает, что температура воды изменяется от t_1 до t_2 .

По закону сохранения энергии количество теплоты, выделяющееся при остывании воды, равно количеству теплоты, необходимому для плавления льда. Поэтому уравнение теплового баланса записывается так:

$$cm(t_1 - t_2) = \Delta m \lambda,$$

где c – удельная теплоемкость воды, λ – удельная теплота плавления льда.

Из написанного соотношения находим:

$$\lambda = \frac{cm(t_1 - t_2)}{\Delta m} = \frac{4200 \cdot 0,3 \cdot (20 - 0)}{0,084} = 300 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} = 300 \text{ кДж/кг}.$$

При расчете λ учтено, что изменения температуры по шкале Цельсия (Δt) и по шкале Кельвина (ΔT) численно совпадают, т.е. $\Delta t = \Delta T$.

В3. $\underline{U = 10^5 \text{ В}; A = 1800 \text{ Дж};}$
 $q = ?$

Решение: Работа A электрического поля равна произведению заряда q на разность потенциалов U между точками перемещения заряда:

$$A = qU,$$

откуда находим

$$q = \frac{A}{U} = \frac{1800}{10^5} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Кл} = 18 \text{ мКл}.$$

В4. $\underline{d = 10^{-5} \text{ м}; L = 1,8 \text{ м}; x = 0,21 \text{ м}; \lambda = 580 \text{ нм};}$
 $m = ?$

Решение: Определяем углы отклонения световых лучей для m порядка по формуле:

$$\varphi \approx \sin \varphi \approx \tan \varphi = \frac{x}{L},$$

т.к. углы дифракции φ – малы.

Из условия главных дифракционных максимумов

$$d \cdot \sin \varphi = m \cdot \lambda$$

рассчитаем порядок дифракционного максимума m :

$$m = \frac{d \cdot \sin \varphi}{\lambda} = \frac{d}{\lambda} \sin \varphi = \frac{d}{\lambda} \cdot \frac{x}{L} = \frac{10^{-5}}{580 \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{0,21}{1,8} = 2.$$

Решения задач из части 3.

C1. $\underline{U_1 = 3,2 \text{ В}; I_1 = 0,5 \text{ А}; U_2 = 2,6 \text{ В}; I_2 = 1 \text{ А};}$
 $\eta_1 = ?$

Решение: Показания приборов (амперметра и вольтметра) для обеих схем записаны выше. Запишем закон Ома для двух случаев включения батареи:

$$E = I_1(R_1 + r) = I_1R_1 + I_1r = U_1 + I_1r,$$

$$E = I_2(R_2 + r) = I_2R_2 + I_2r = U_2 + I_2r.$$

Почленно вычитаем одно уравнение из другого и находим

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{3,2 - 2,6}{1 - 0,5} = 1,2 \text{ Ом}.$$

ЭДС батареи найдем подстановкой значения внутреннего сопротивления r , скажем, в первое уравнение:

$$E = U_1 + I_1r = 3,2 + 0,5 \cdot 1,2 = 3,8 \text{ В}.$$

Теперь найдем КПД источника тока в первом опыте:

$$\eta_1 = \frac{U_1 I_1}{EI_1} 100 \% = \frac{U_1}{E} 100 \% = \frac{3,2}{3,8} \cdot 100\% \approx 84\%.$$

Ответ: $\eta_1 = 84 \%$.

C2. $\underline{v = 1 \text{ моль}; R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}); T_1 = T_3 = 300 \text{ К}; i = 3; V_3/V_2 = 3;}$
 $Q_{12} = ?$

Решение: Будем полагать, что каждому состоянию (1, 2, 3) соответствует значение параметра состояния (P , V , T) с соответствующим индексом.

Так как процесс 2-3 изобарический ($P = \text{const}$), то

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = T_3 \cdot \frac{V_2}{V_3} = 300 \cdot \frac{1}{3} = 100 \text{ К}.$$

На участке 1-2 согласно первому началу термодинамики

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \Delta U_{12},$$

так как на этом участке процесс изохорный, и поэтому $A_{12} = 0$. Запишем известное соотношение для изменения внутренней энергии

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1),$$

где i – степеней свободы молекул, R – газовая постоянная. После подстановки данных получаем следующий результат:

$$\begin{aligned} Q_{12} = \Delta U_{12} &= \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \\ &= \frac{3}{2} \cdot 1,8,31 \cdot (100 - 300) = -2,5 \cdot 10^3 \text{ Дж} = -2,5 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Знак “–” указывает на то, что на участке 1-2 газ отдает такое количество теплоты (что требуется найти согласно условию задачи).

Ответ: $Q_{12} = -2,5 \text{ кДж}$.

С3. $\underline{\Delta f = 0,3 \text{ м}; \Gamma_1 = 5; \Gamma_2 = 3;}$
 $\underline{f_1 = ?}$

Решение: Запишем формулу тонкой линзы и выражение для коэффициента увеличения изображения Γ :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad \Gamma = \frac{f}{d}.$$

Из этих двух соотношений находим:

$$F = \frac{f}{1 + \Gamma}.$$

Последнее уравнение запишем для двух случаев, приведенных в задаче:

$$F = \frac{f_1}{1 + \Gamma_1}; \quad F = \frac{f_2}{1 + \Gamma_2},$$

откуда получаем

$$\frac{f_1}{1 + \Gamma_1} = \frac{f_2}{1 + \Gamma_2}.$$

Так как в полученном соотношении $\Gamma_1 > \Gamma_2$, то отсюда следует, что $f_2 < f_1$, т.е. $f_2 = f_1 - \Delta f$ (это означает, что экран передвинули к линзе). Итак, получили

$$\frac{f_1}{1 + \Gamma_1} = \frac{f_1 - \Delta f}{1 + \Gamma_1},$$

откуда находим искомую величину

$$f_1 = \Delta f \frac{1 + \Gamma_1}{\Gamma_1 - \Gamma_2} = 0,3 \cdot \frac{1 + 5}{5 - 3} = 0,9 \text{ м.}$$

Ответ: $f_1 = 0,9 \text{ м.}$

C4. $\lambda = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}; \lambda_{\text{кр}} = 540 \cdot 10^{-9} \text{ м}; h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}; c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$
 $v = ?$

Решение: Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2} = h \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{mv^2}{2},$$

где A – работа выхода, c – скорость света в вакууме, h – постоянная Планка, m – масса электрона, v – максимальная скорость фотоэлектронов.

Из написанного уравнения выразим искомую скорость:

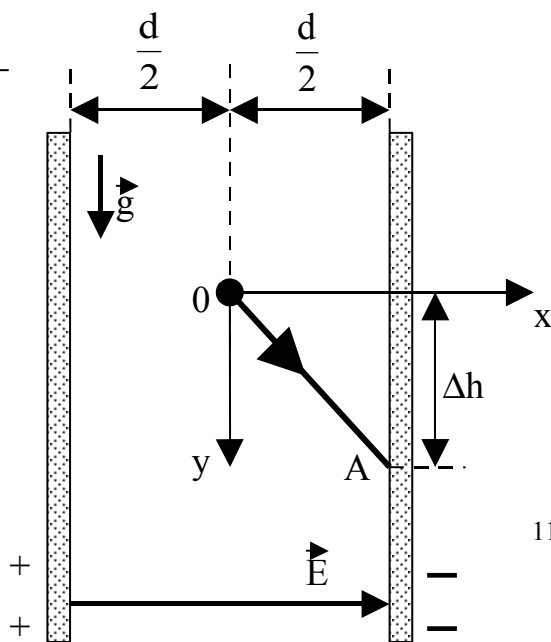
$$v = \sqrt{\frac{2hc}{m} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{кр}}} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left(\frac{1}{3 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{540 \cdot 10^{-9}} \right)} =$$

$$= 807 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 807 \text{ км/с.}$$

Ответ: $v = 807 \text{ км/с.}$

C5. $d = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}; E = 4 \cdot 10^5 \text{ В/м};$
 $q = 10^{-10} \text{ Кл}; m = 20 \cdot 10^{-6} \text{ кг}; g = 10 \text{ м/с}^2;$
 Δh
 $= ?$

Решение: В начальный момент времени шарик покоился, т.е. его скорость в этот момент равнялась нулю ($\vec{v}_0 = 0$). На рис. положение шарика в начальный момент отмечено точкой "0" – начало координат.



нат осей Ox и Oy , направленных, соответственно, по горизонтали и вертикали. Из состояния покоя шарик движется:

- по горизонтали с ускорением $\vec{a}$ под действием силы электрического поля, действующей на заряд

$$a = \frac{F_{\text{эл}}}{m} = \frac{qE}{m};$$

время движения шарика, находящегося на расстоянии $d/2$ от диэлектрических пластин, находим из уравнения движения по оси Ox

$$\frac{d}{2} = \frac{at^2}{2} \Rightarrow t^2 = \frac{d}{a} = d \cdot \frac{1}{a} = d \cdot \frac{m}{qE} = \frac{md}{qE};$$

- по вертикали под действием силы тяжести с ускорением свободного падения $\vec{g}$ шарик пролетает расстояние Δh за время движения шарика расстояния $d/2$, и уравнение движения шарика по оси Oy принимает вид

$$\Delta h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{md}{qE}.$$

Подстановка данных дает такой результат:

$$\Delta h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{md}{qE} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{10^{-10} \cdot 4 \cdot 10^5} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}.$$

Ответ: $\Delta h = 5 \text{ см}$.

С6. $\frac{M_3 = M_M \cdot 10; \quad d_M = d_3 \cdot 0,5;}{T_M/T_3 = ?}$

Решение: Так как высота полета спутника мала, то радиус орбиты совпадает с радиусом планеты $R = 0,5 d$. Согласно второму закону Ньютона сила тяготения равна произведению массы спутника на центростремительное ускорение:

$$G \frac{mM}{R^2} = m \frac{v^2}{R},$$

где G – гравитационная постоянная, m – масса спутника, M – масса планеты, v – скорость орбитального движения спутника. Из этого соотношения выразим скорость

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}}.$$

Период обращения спутника равен времени совершения одного оборота вокруг планеты со скоростью v :

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi R \sqrt{\frac{R}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}.$$

Поскольку записанные соотношения для периодов справедливы для любой планеты, найдем искомое отношение периодов обращения спутников Марса и Земли:

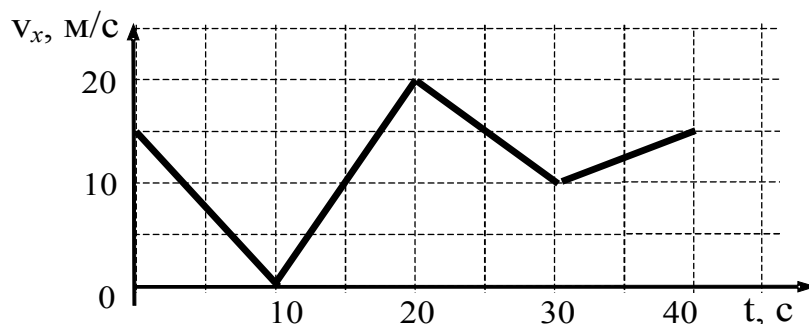
$$\begin{aligned} T_M/T_3 &= 2\pi \sqrt{\frac{R_M^3}{GM_M}} : 2\pi \sqrt{\frac{R_3^3}{GM_3}} = \sqrt{\left(\frac{R_M}{R_3}\right)^3 \frac{M_3}{M_M}} = \sqrt{\left(\frac{d_M}{d_3}\right)^3 \frac{M_3}{M_M}} = \\ &= \sqrt{0,5^3 \cdot 10} = 1,1. \end{aligned}$$

Ответ: $T_M/T_3 = 1,1$.

7.4 Вариант 4

Часть 1

A1. Автомобиль движется по прямой улице. На графике представлена зависимость скорости автомобиля от времени. Модуль ускорения максимален на интервале времени



- 1) от 0 с до 10 с 2) от 10 с до 20 с 3) от 20 с до 30 с 4) от 30 с до 40 с

A2. Две материальные точки движутся по окружностям радиусами R_1 и R_2 , причем $R_2 = 2R_1$. При условии равенства линейных скоростей точек их центростремительные ускорения связаны соотношением

1) $a_1 = 2a_2$

2) $a_1 = a_2$

3) $a_1 = \frac{1}{2}a_2$

4) $a_1 = 4a_2$

A3. Парашютист спускается вертикально с постоянной скоростью 2 м/с. Систему отсчета, связанную с Землей, считать инерциальной. В этом случае

1) вес парашютиста равен нулю

2) сила тяжести, действующая на парашютиста, равна нулю

3) сумма всех сил, приложенных к парашютисту, равна нулю

4) сумма всех сил, действующих на парашютиста, постоянна и не равна нулю

A4. Два автомобиля одинаковой массы m движутся со скоростями v и $2v$ относительно Земли по одной прямой в противоположных направлениях. Чему равен модуль импульса второго автомобиля в системе отсчета, связанной с первым автомобилем?

1) $3mv$

2) $2mv$

3) mv

4) 0

A5. Для измерения жесткости пружины ученик собрал установку (см. рисунок а)), и подвесил к пружине груз массой 0,1 кг (см. рисунок б)). Какова жесткость пружины?

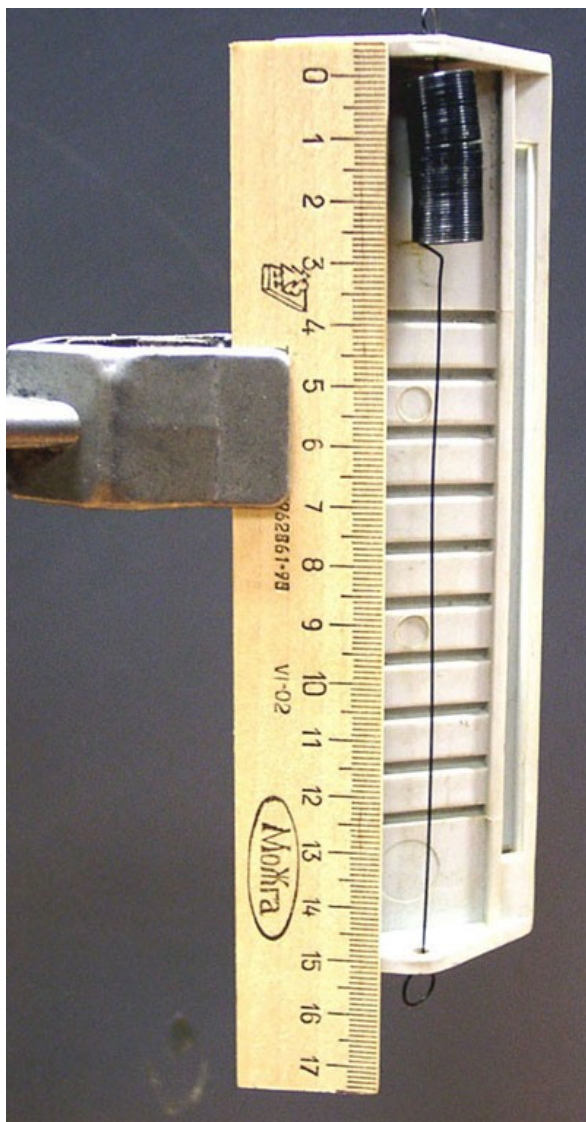


Рисунок а)

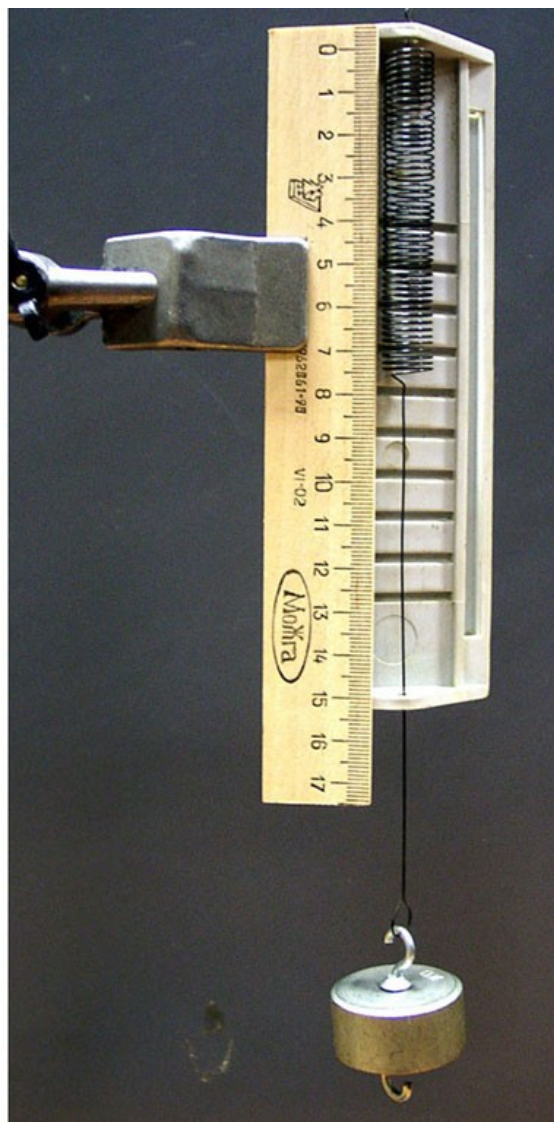


Рисунок б)

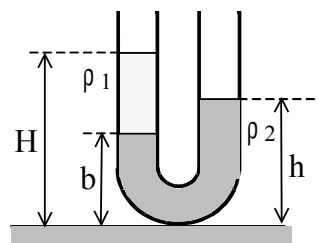
1) 40 Н/м

2) 20 Н/м

3) 13 Н/м

4) 0,05 Н/м

А6. В широкую U-образную трубку с вертикальными прямыми коленами налиты неизвестная жидкость плотностью ρ_1 и вода плотностью $\rho_2 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (см. рисунок). На рисунке $b = 10 \text{ см}$, $h = 24 \text{ см}$, $H = 30 \text{ см}$. Плотность жидкости ρ_1 равна



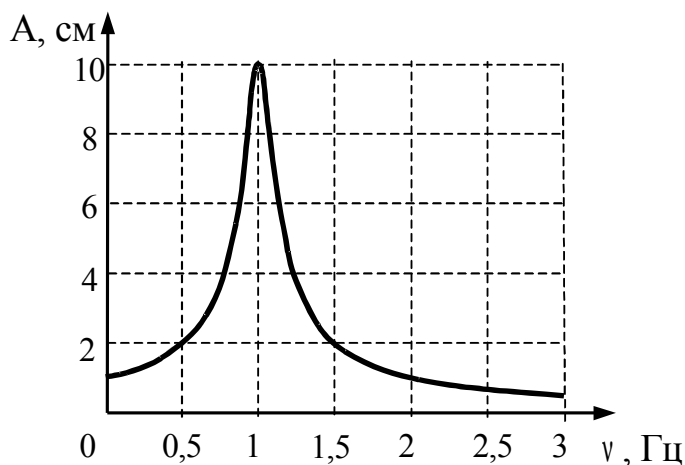
1) $0,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

2) $0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

3) $0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

4) $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

A7. На рисунке изображена зависимость амплитуды установившихся колебаний маятника от частоты вынуждающей силы (резонансная кривая). Отношение амплитуды установившихся колебаний маятника на резонансной частоте к амплитуде колебаний на частоте 0,5 Гц равно



- 1) 10 2) 2 3) 5 4) 4

A8. Брусок массой 0,5 кг прижат к вертикальной стене силой 10 Н, направленной горизонтально. Коэффициент трения скольжения между бруском и стеной равен 0,4. Какую минимальную силу надо приложить к бруску по вертикали, чтобы равномерно поднимать его вертикально вверх?

- 1) 9 Н 2) 7 Н 3) 5 Н 4) 4 Н

A9. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. При ударе выделилось количество теплоты, равное 15 Дж. Найдите кинетическую энергию мяча перед ударом.

- 1) 5 Дж 2) 15 Дж 3) 20 Дж 4) 30 Дж

A10. 3 моль водорода находятся в сосуде при температуре T . Какова температура 3 моль кислорода в сосуде того же объема и при том же давлении? (Водород и кислород считать идеальными газами.)

- 1) 32 Т 2) 16 Т 3) 2 Т 4) Т

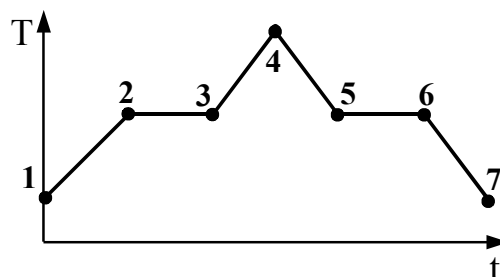
A11. Внутренняя энергия газа в запаянном несжимаемом сосуде определяется главным образом

- 1) движением всего сосуда с газом
 2) хаотическим движением молекул газа
 3) взаимодействием сосуда с газом и Земли
 4) действием на сосуд с газом внешних сил

A12. При одинаковой температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ давление насыщенных паров воды равно 10^5 Па , аммиака – $59\cdot 10^5\text{ Па}$ и ртути – 37 Па . В каком из вариантов ответа эти вещества расположены в порядке убывания температуры их кипения в открытом сосуде?

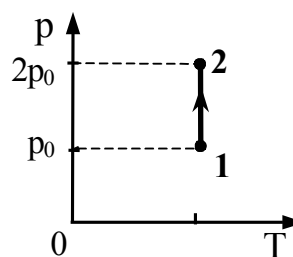
- 1) вода $\rightarrow$ аммиак $\rightarrow$ ртуть
- 2) аммиак $\rightarrow$ ртуть $\rightarrow$ вода
- 3) вода $\rightarrow$ ртуть $\rightarrow$ аммиак
- 4) ртуть $\rightarrow$ вода $\rightarrow$ аммиак

A13. На графике представлена зависимость температуры T вещества от времени t . В начальный момент времени вещество находилось в кристаллическом состоянии. Какая из точек соответствует окончанию процесса отвердевания?



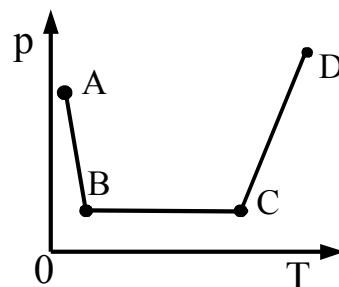
- 1) 5
- 2) 6
- 3) 3
- 4) 7

A14. На pT -диаграмме показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Газ отдает 50 кДж теплоты. Работа внешних сил равна



- 1) 0 кДж
- 2) 25 кДж
- 3) 50 кДж
- 4) 100 кДж

A15. В сосуде находится идеальный газ, массу которого изменяют. На диаграмме (см. рисунок) показан процесс изохорного изменения состояния газа. В какой из точек диаграммы масса газа наибольшая?

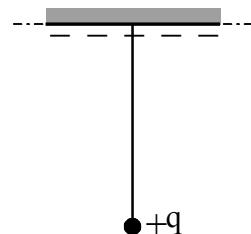


- 1) A
- 2) B
- 3) C
- 4) D

A16. Пылинка, имевшая отрицательный заряд $-10e$, при освещении потеряла четыре электрона. Каким стал заряд пылинки?

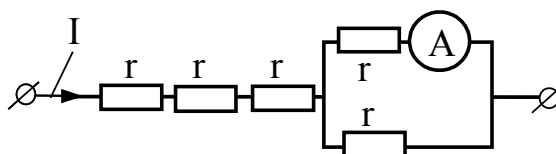
- 1) $6e$ 2) $-6e$ 3) $14e$ 4) $-14e$

A17. К бесконечной горизонтальной отрицательно заряженной плоскости привязана невесомая нить с шариком, имеющим положительный заряд (см. рисунок). Каково условие равновесия шарика, если mg – модуль силы тяжести, $F_э$ – модуль силы электростатического взаимодействия шарика с пластиной, T – модуль силы натяжения нити?



- 1) $-mg - T + F_э = 0$ 2) $mg + T + F_э = 0$ 3) $mg - T + F_э = 0$ 4) $mg - T - F_э = 0$

A18. Через участок цепи (см. рисунок) течет постоянный ток $I = 10$ А. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.

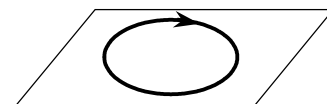


- 1) 2 А 2) 3 А 3) 5 А 4) 10 А

A19. В электронагревателе, через который течет постоянный ток, за время t выделяется количество теплоты Q . Если сопротивление нагревателя и время t увеличить вдвое, не изменяя силу тока, то количество выделившейся теплоты будет равно

- 1) $8Q$ 2) $4Q$ 3) $2Q$ 4) Q

A20. На рисунке изображен проволочный виток, по которому течет электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в горизонтальной плоскости. В центре витка вектор индукции магнитного поля тока направлен

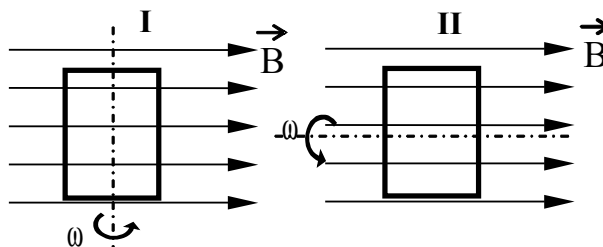


- 1) вертикально вверх $\uparrow$ 2) горизонтально влево $\leftarrow$ 3) горизонтально вправо $\rightarrow$ 4) вертикально вниз $\downarrow$

A21. Инфракрасное излучение испускают

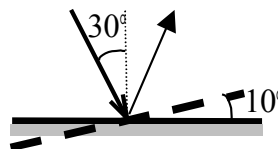
- 1) электроны при их направленном движении в проводнике
2) атомные ядра при их превращениях
3) любые заряженные частицы
4) любые нагретые тела

A22. На рисунке показаны два способа вращения рамки в однородном магнитном поле. Ток в рамке



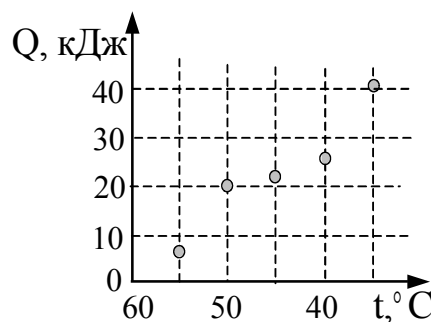
- 1) возникает в обоих случаях
- 2) не возникает ни в одном из случаев
- 3) возникает только в первом случае
- 4) возникает только во втором случае

A23. Угол падения света на горизонтально расположенное плоское зеркало равен 30° . Каким будет угол между падающим и отраженным лучами, если повернуть зеркало на 10° так, как показано на рисунке?



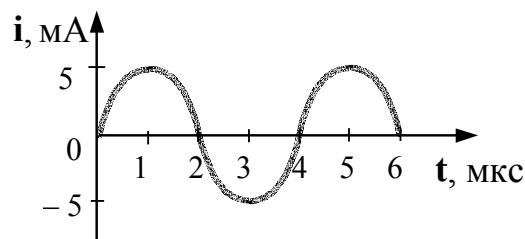
- 1) 80°
- 2) 60°
- 3) 40°
- 4) 20°

A24. Измеряли, какое количество теплоты отдает 1 кг изучаемого вещества при остывании до той или иной температуры. Результаты измерений указаны на рисунке точками. Чему равна удельная теплоемкость данного вещества?

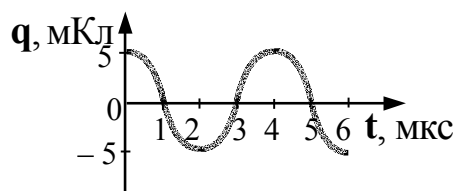
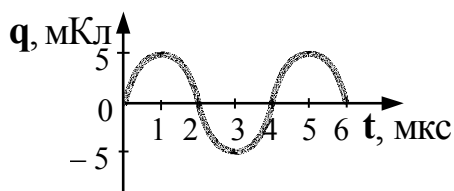


- 1) $1,5 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
- 2) $1,25 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
- 3) $1,0 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
- 4) $0,75 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$

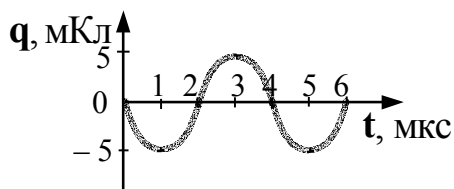
A25. На рисунке приведен график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре. На каком из графиков правильно показан процесс изменения заряда конденсатора?



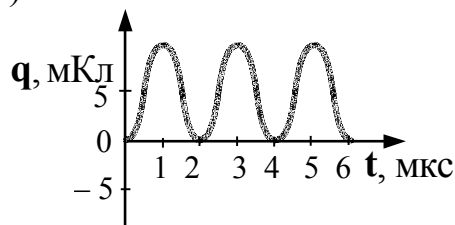
- 1)
- 2)



3)



4)



A26. Энергия фотона, поглощаемого атомом при переходе из основного состояния с энергией E_0 в возбужденное состояние с энергией E_1 , равна (h – постоянная Планка)

1) $E_1 - E_0$

2) $\frac{E_1 + E_0}{h}$

3) $\frac{E_1 - E_0}{h}$

4) $E_1 + E_0$

A27. Какая из строчек таблицы правильно отражает структуру атомного ядра ${}^{48}_{20}\text{Ca}$?

1) 48 протонов,
68 нейтронов

2) 28 протонов,
20 нейтронов

3) 20 протонов,
48 нейтронов

4) 20 протонов,
28 нейтронов

A28. Красная граница фотоэффекта исследуемого металла соответствует длине волны $\lambda_{\text{кр}} = 600$ нм. При освещении этого металла светом длиной волны λ максимальная кинетическая энергия выбитых из него фотоэлектронов в 3 раза меньше энергии падающего света. Какова длина волны λ падающего света?

1) 133 нм

2) 300 нм

3) 400 нм

4) 1 200 нм

A29. Полоний ${}^{214}_{84}\text{Po}$ превращается в висмут ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ в результате радиоактивных распадов:

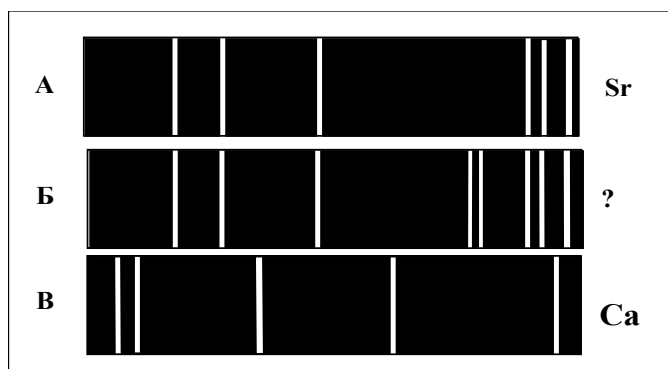
1) одного α и
одного β

2) одного α и
двух β

3) двух α и
одного β

4) двух α и
двух β

А30. На рисунках А, Б, В приведены спектры излучения паров стронция, неизвестного образца и кальция. Можно утверждать, что в образце



- 1) не содержится ни стронция, ни кальция
- 2) содержится кальций, но нет стронция
- 3) содержатся и стронций, и кальций
- 4) содержится стронций, но нет кальция

Часть 2

В1. Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, упал обратно на землю в 20 м от места броска. Чему была равна скорость камня через 1 с после броска, если в этот момент она была направлена горизонтально?

Ответ: $V(1) = 10$ (10 м/с)

В2. 1 моль инертного газа сжали, совершив работу 600 Дж. В результате сжатия температура газа повысилась на 40 °С. Какое количество теплоты отдал газ?

Ответ: $Q = 101,4$ (101,4 Дж)

В3. В электрическом поле, вектор напряженности которого направлен горизонтально и равен по модулю 1 000 В/м, нить с подвешенным на ней маленьким заряженным шариком отклонилась на угол 45° от вертикали. Масса шарика 1,4 г. Чему равен заряд шарика? Ответ выразите в микрокулонах (мкКл) и округлите до целых.

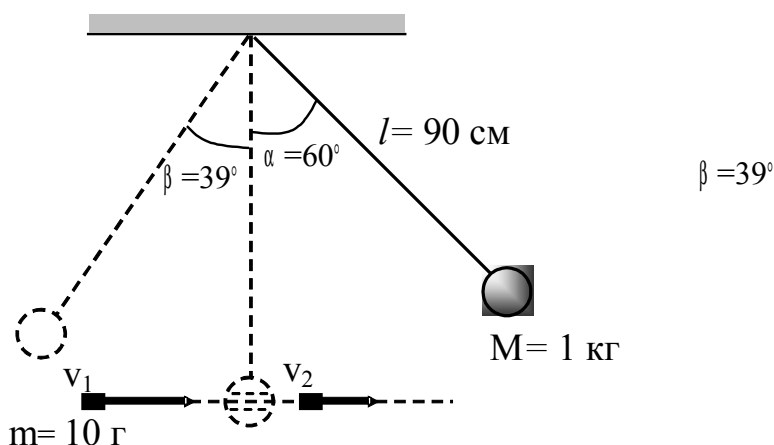
Ответ: $q = 14$ ($14 \cdot 10^{-6}$ Кл = 14 мкКл)

В4. На дифракционную решетку, имеющую период $2 \cdot 10^{-5}$ м, падает нормально параллельный пучок белого света. Спектр наблюдается на экране на расстоянии 2 м от решетки. Каково расстояние между красным и фиолетовым участками спектра первого порядка (первой цветной полосы на экране), если длины волн красного и фиолетового света соответственно равны $8 \cdot 10^{-7}$ м и $4 \cdot 10^{-7}$ м? Считать $\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi$. Ответ выразите в см.

Ответ: $\Delta x = x_{\text{к}} - x_{\text{ф}} = 4$ ($4 \cdot 10^{-2}$ м = 4 см)

Часть 3

С1. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару. Она пробивает его и продолжает двигаться горизонтально. Определите изменение скорости пули в результате попадания в шар, если он, продолжая движение в прежнем направлении, отклоняется на угол 39° . (Массу шара считать неизменной, диаметр шара – пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити, $\cos 39^\circ = \frac{7}{9}$).



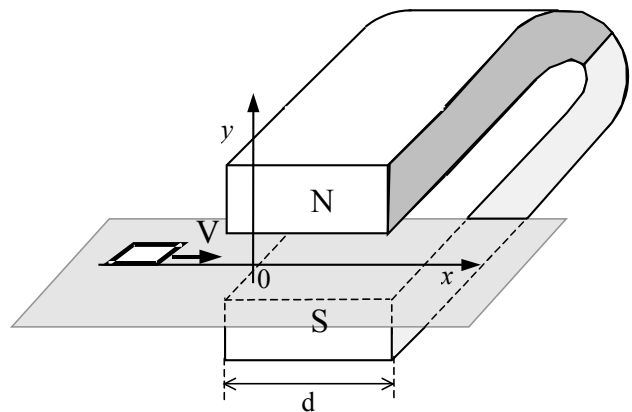
С2. Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой массой 400 кг заполнен гелием. Он может удерживать в воздухе на высоте, где температура воздуха 17°C , а давление 10^5 Па, груз массой 225 кг. Какова масса гелия в оболочке шара? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара.

С3. К однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 10 м приложили разность потенциалов 1 В. Определите промежуток времени, в течение которого температура проводника повысится на 10 К. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь. (Удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.)

С4. В дно водоема глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Свая отбрасывает на дне водоема тень длиной 0,75 м. Определите угол падения солнечных лучей на поверхность воды. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$.

С5. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности, по которой движутся электроны?

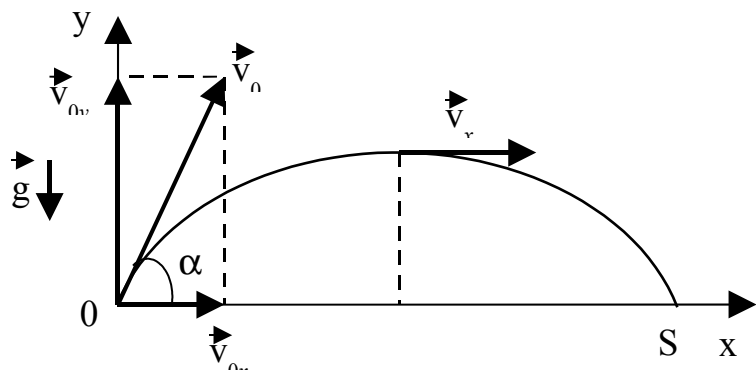
С6. Квадратная рамка со стороной $b = 5$ см изготовлена из медной проволоки сопротивлением $R = 0,1$ Ом. Рамку перемещают по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью V вдоль оси Ox . Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка проходит между полюсами магнита и вновь оказывается в области, где магнитное поле отсутствует. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу F , направленную вдоль оси Ox . С какой скоростью движется рамка, если суммарная работа внешней силы за время движения равна $A = 2,54 \cdot 10^{-3}$ Дж? Ширина полюсов магнита $d = 20$ см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция $B = 1$ Тл.



Решения задач из части 2.

В1. $t = 1$ с; $S = 20$ м; $v_y = 0$;
 $V(1) = ?$

Решение: На рисунке изображена траектория движения камня, брошенного под углом α к горизонту. Начальная скорость - $\vec{v}_0$, ускорение свободного падения $\vec{g}$, дальность полета - S , v_{0x} и v_{0y} - проекции $\vec{v}_0$ на оси координат Ox и Oy ,



$V(1) = v_x$ – скорость камня через 1 с после броска (в верхней точке траектории). При отсутствии сопротивления воздуха движению камня время полета $t_{\text{пол}}$ равно удвоенному времени движения камня до верхней точки траектории, т.е. $t_{\text{пол}} = 2t = 2$ с. Как видно из рисунка проекции начальной скорости и ускорения свободного падения на оси координат равны:

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha, \quad v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha; \quad g_x = 0, \quad g_y = -g.$$

Из равенства $g_x = 0$ заключаем, что по оси Ox имеет место равномерное движение со скоростью $v_x = v_{0x}$. За время $t_{\text{пол}} = 2t$ камень пролетит расстояние S :

$$S = v_{0x} \cdot t_{\text{пол}} = v_{0x} \cdot 2t = v_x \cdot 2t,$$

откуда находим

$$v_x = \frac{S}{2t} = \frac{20}{2 \cdot 1} = 10 \text{ м/с}.$$

Из последнего выражения заключаем, что

$$V(1) = v_x = 10 \text{ м/с}.$$

B2. $\nu = 1$ моль; $A' = 600$ Дж; $i = 3$; $R = 8,31$ Дж/(моль·К); $\Delta T = 40$ К;
 $Q = ?$

Решение: Из первого начала термодинамики следует, что

$$Q = \Delta U - A' = \frac{i}{2} \cdot \nu \cdot R \cdot \Delta T - A' = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 40 - 600 = -101,4 \text{ Дж}.$$

Знак “–” указывает на то, что система не получает а отдает такое количество теплоты.

B3. $E = 1\,000$ В/м; $\alpha = 45^\circ$; $g = 10$ м/с²; $m = 1,4 \cdot 10^{-3}$ кг;
 $q = ?$

Решение: В горизонтальном электрическом поле с напряженностью $\vec{E}$ на заряженный шарик, подвешенный на нити, действуют силы: $m\vec{g}$ – сила тяжести, $\vec{T}$ – сила натяжения нити, $\vec{F}_3 = q\vec{E}$ – сила, действующая на заряд q со стороны электрического поля (см.

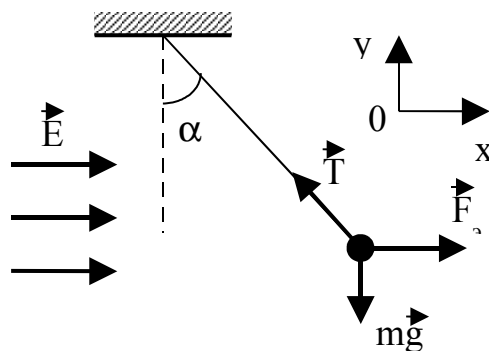


рисунок). В условиях равновесия шарика, векторная сумма перечисленных сил равна нулю:

$$m\vec{g} + q\vec{E} + \vec{T} = 0.$$

Это векторное уравнение в проекциях на координатные оси Ox и Oy имеет вид:

$$Ox: -T \cdot \sin\alpha + qE = 0;$$

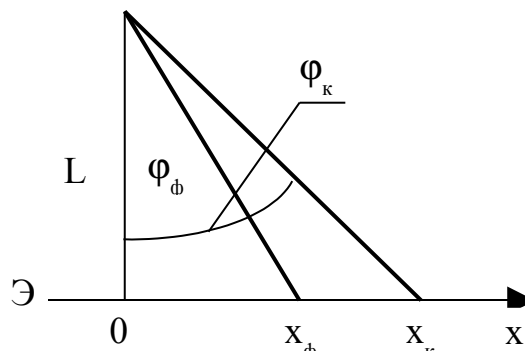
$$Oy: T \cdot \cos\alpha - mg = 0.$$

Решая систему из двух скалярных уравнений, находим:

$$q = \frac{1}{E} \cdot mg \cdot \operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{1000} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 14 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = 14 \text{ мкКл}.$$

В4. $\underline{d = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}; L = 1 \text{ м}; \lambda_{\phi} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}; \lambda_{\kappa} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}; m = 1;}$
 $\Delta x = x_{\kappa} - x_{\phi} = ?$

Решение: Вдоль экрана Э направим ось Ox (см. рисунок). Расстояние от дифракционной решетки до экрана обозначим через L , расстояние от центрального максимума 0 до фиолетового и красного участков спектра m -го порядка обозначим через x_{ϕ} и x_{κ} , соответственно. Из условия главных дифракционных максимумов m -го порядка для длины волны λ :
 $d \cdot \sin\varphi = m \cdot \lambda$ выразим



$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d}.$$

Из рисунка видно, что $\operatorname{tg}\varphi = \frac{x}{L}$. Так как согласно условию $\sin\varphi = \operatorname{tg}\varphi$, то из последнего равенства заключаем, что $\frac{m\lambda}{d} = \frac{x}{L}$, откуда выражаем

$$x = \frac{m\lambda L}{d}.$$

Последнее соотношение запишем для красного и фиолетового участков спектра

$$x_k = \frac{m\lambda_k L}{d}; \quad x_\phi = \frac{m\lambda_\phi L}{d},$$

откуда находим искомую величину

$$\begin{aligned} \Delta x = x_k - x_\phi &= \frac{m\lambda_k L}{d} - \frac{m\lambda_\phi L}{d} = \frac{mL}{d}(\lambda_k - \lambda_\phi) = \\ &= \frac{1.2}{2 \cdot 10^{-5}} (8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}) = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 4 \text{ см.} \end{aligned}$$

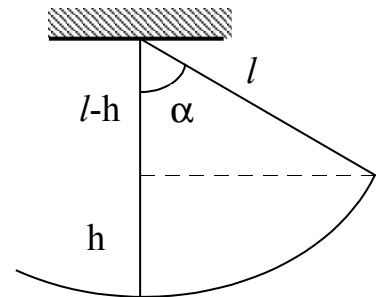
Решения задач из части 3.

C1. $l = 0,9 \text{ м}; M = 1 \text{ кг}; m = 10^{-2} \text{ кг}; \alpha = 60^\circ; \beta = 39^\circ; \cos\beta = 7/9; g = 10 \text{ м/с}^2;$
 $\Delta v = v_1 - v_2 = ?$

Решение: Шар массой M совершает колебания с максимальным углом отклонения α от вертикали (см. рисунок). При этом от положения равновесия шар поднимается на высоту h , определяемую из условия:

$$\cos\alpha = \frac{l-h}{l} \Rightarrow h = l(1 - \cos\alpha).$$

При этом шар положение равновесия проходит со скоростью v_α , определяемой из закона сохранения энергии:



$$\frac{Mv_\alpha^2}{2} = Mgh \Rightarrow v_\alpha = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha)}.$$

После того как шар будет пробит пулей, он отклоняется на угол β . Это означает, что шар в этом случае положение равновесия проходит со скоростью v_β :

$$v_\beta = \sqrt{2gl(1 - \cos\beta)}.$$

Так как $\beta < \alpha$, то из этого мы заключаем, что шар в момент попадания пули проходил положение равновесия со скоростью $\vec{v}_\alpha$, направленной навстречу скорости пули $\vec{v}_1$. После пробивания шара пуля массой m продолжает движения со скоростью $\vec{v}_2$, в том же направлении. Закон сохранения импульса для системы пуля – шар в проекции на направление движения пули имеет следующий вид:

$$Mv_\alpha - mv_1 = Mv_\beta - mv_2,$$

откуда находим искомую величину

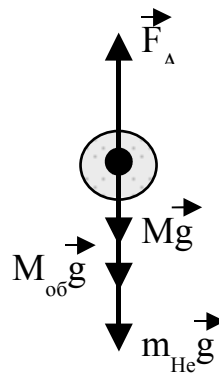
$$\begin{aligned}\Delta v &= v_1 - v_2 = \frac{M}{m}(v_\alpha - v_\beta) = \frac{M}{m}(\sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} - \sqrt{2gl(1 - \cos \beta)}) = \\ &= \frac{M}{m}\sqrt{2gl}(\sqrt{1 - \cos \alpha} - \sqrt{1 - \cos \beta}) = \\ &= \frac{1}{10^{-2}}\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,9}(\sqrt{1 - \cos 60^\circ} - \sqrt{1 - \cos 39^\circ}) = 100 \text{ м/с}.\end{aligned}$$

Ответ: $\Delta v = v_1 - v_2 = 100 \text{ м/с}$.

C2. $T=290 \text{ К}$; $P=10^5 \text{ Па}$; $\mu_B=29 \text{ г/моль}$; $\mu_{\text{He}}=4 \text{ г/моль}$; $M=225 \text{ кг}$; $M_{\text{об}}=400 \text{ кг}$;
 $m_{\text{He}} = ?$

Решение: Обозначим силы, действующие на воздушный шар: $M_{\text{об}}\vec{g}$ - сила тяжести оболочки, $M\vec{g}$ - сила тяжести груза, $m_{\text{He}}\vec{g}$ - сила тяжести гелия, заполняющего воздушный шар, $\vec{F}_A$ - сила Архимеда (см. рисунок). В условиях равновесия воздушного шара векторная сумма перечисленных сил равна нулю:

$$\vec{F}_A + M\vec{g} + M_{\text{об}}\vec{g} + m_{\text{He}}\vec{g} = 0.$$



Так как все силы направлены по вертикали, то запишем данное векторное уравнение в проекции на вертикальную ось Ox с учетом того, что сила Архимеда равна весу вытесненного воздушным шаром воздуха ($F_A = m_B g$, где m_B - масса вытесненного воздушным шаром воздуха):

$$m_B g - Mg - M_{\text{об}}g - m_{\text{He}}g = 0. \quad (*)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для гелия, заполняющего воздушный шар, и для воздуха, вытесненного воздушным шаром:

$$PV = \frac{m_{\text{He}}}{\mu_{\text{He}}} RT; \quad PV = \frac{m_B}{\mu_B} RT. \quad (**)$$

В уравнениях (**) учтено, что для воздуха и гелия в указанных в задаче условиях давление P , температура T и объемы V – одинаковы. Из уравнений

(**) выразим массу воздуха $m_B = m_{\text{He}} \frac{\mu_B}{\mu_{\text{He}}}$ и подставим в уравнение (*):

$$m_{\text{He}} \frac{\mu_{\text{B}}}{\mu_{\text{He}}} g - Mg - M_{\text{об}} g - m_{\text{He}} g = 0,$$

откуда и выразим искомую величину m_{He} :

$$m_{\text{He}} = \frac{\mu_{\text{B}}}{\mu_{\text{He}}} - 1 = \frac{225 + 400}{29} - 1 = 100 \text{ кг.}$$

Ответ: $m_{\text{He}} = 100 \text{ кг.}$

С3. $c=380 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$; $\rho=1,7\cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $d=8,9\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $U=1 \text{ В}$; $\Delta T=10 \text{ К}$;
 $t = ?$

Решение: Объем V цилиндрического проводника равен произведению длины l на площадь его поперечного сечения S , т.е. $V = l \cdot S$. А масса m проводника равна произведению удельной плотности d на его объем:

$$m = d \cdot V = d \cdot l \cdot S.$$

Электрическое сопротивление проводника равно $R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ - удельное электрическое сопротивление.

Так как согласно условию задачи потерями энергии можно пренебречь, то согласно закону сохранения энергии Джоулево тепло, выделяемое при пропускании тока

$$Q = \frac{U^2}{R} t,$$

идет на нагревание проводника, т.е.,

$$\frac{U^2}{R} t = c \cdot m \cdot \Delta T,$$

где c – удельная теплоемкость материала проводника.

В последнее уравнение подставим выражения для массы m и сопротивления R проводника, а затем найдем искомое время t , необходимое для изменения температуры проводника на ΔT :

$$\begin{aligned} \frac{U^2 \cdot S}{\rho \cdot l} t &= c \cdot d \cdot l \cdot S \cdot \Delta T \Rightarrow \\ \Rightarrow t &= \frac{c \cdot d \cdot \rho \cdot l^2 \cdot \Delta T}{U^2} = \frac{380 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2 \cdot 10}{1^2} = 57,5 \text{ с.} \end{aligned}$$

Ответ: $t = 57,5$ с.

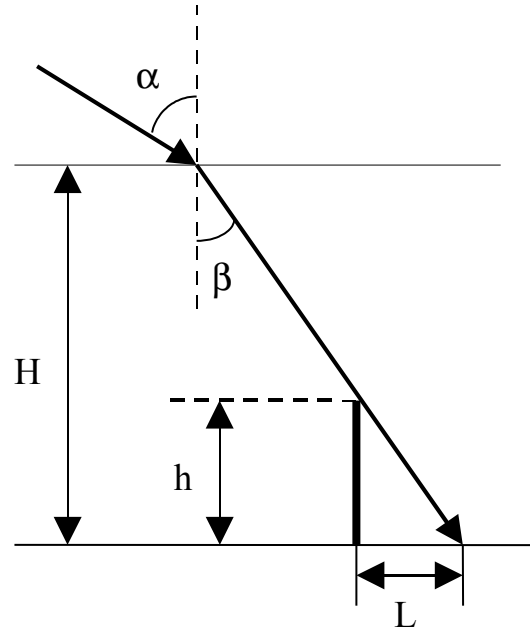
С4. $H = 3$ м; $h = 2$ м; $n = 4/3$; $L = 0,75$ м;
 $\alpha = ?$

Решение: На рисунке обозначим α - угол падения и β - угол преломления на границе воздух-вода, H – глубина водоема, h – высота сваи, L – длина тени сваи на дне водоема. Из прямоугольного треугольника, образованного свай и ее тенью, выражаем:

$$\sin\beta = \frac{L}{\sqrt{h^2 + L^2}}.$$

Из закона преломления

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



находим искомый угол падения угол падения световых лучей на поверхность воды:

$$\alpha = \arcsin(n \cdot \sin\beta) = \arcsin\left(n \cdot \frac{L}{\sqrt{h^2 + L^2}}\right) = \arcsin\left(\frac{4}{3} \cdot \frac{0,75}{\sqrt{2^2 + 0,75^2}}\right) = 27,9^\circ.$$

Ответ: $\alpha = 27,9^\circ$.

С5. $\lambda = 300 \cdot 10^{-9}$ м; $B = 8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл; $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж; $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг;
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $\alpha = 90^\circ$; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
 $R_{\max} = ?$

Решение: Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv_{\max}^2}{2},$$

где $v_{\max}$ – максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих из фотокатода.

Из этого уравнения выразим $v_{\max}$:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(h \frac{c}{\lambda} - A \right)}. \quad (*)$$

Вылетевшие из фотокатода электроны попадают в магнитное поле. Уравнение движения фотоэлектрона в магнитном поле имеет вид:

$$F_M = m \cdot a,$$

где $F_M = e \cdot v_{\max} \cdot B \cdot \sin \alpha$ - магнитная составляющая силы Лоренца, α - угол между векторами скорости и магнитной индукции; $a = \frac{v_{\max}^2}{R}$ - центростремительное ускорение фотоэлектрона.

Подстановка в уравнение движения выражений для силы F_M и ускорения a приводит к следующему уравнению

$$e \cdot v_{\max} \cdot B \cdot \sin \alpha = m \cdot \frac{v_{\max}^2}{R},$$

откуда находим радиус окружности, по которой движется электрон:

$$R = \frac{m \cdot v_{\max}}{e \cdot B \cdot \sin \alpha}.$$

Так как радиус R пропорционален скорости v , то если скорость максимальна ($v_{\max}$), то и радиус окружности максимален, т.е.

$$R_{\max} = \frac{m \cdot v_{\max}}{e \cdot B \cdot \sin \alpha}.$$

Подстановка в выражение для $R_{\max}$ равенства (*) для $v_{\max}$ приводит к окончательному соотношению для $R_{\max}$:

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \frac{1}{e \cdot B \cdot \sin \alpha} \sqrt{2 \cdot m \left(h \frac{c}{\lambda} - A \right)} = \\ &= \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot \sin 90^\circ} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left(6,6 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} - 4,42 \cdot 10^{-19} \right)} = \\ &= 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,7 \text{ мм}. \end{aligned}$$

$$\text{Ответ: } R_{\max} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,7 \text{ мм}.$$

C6. $V=\text{const}$; $b=5 \cdot 10^{-2}$ м; $R=0,1$ м; $A=2,5 \cdot 10^{-3}$ Дж; $d=0,2$ м; $B=1$ Тл;
 $V = ?$

Решение: Площадь квадратной рамки со стороной b равна $S = b^2$. Так как $b < d$, то магнитный поток Φ через рамку будет меняться в случае когда рамка будет заходить в область между полюсами магнита и когда будет выходить из этой области. При движении рамки с постоянной скоростью V быстрота изменения модуля магнитного потока $\Delta\Phi/\Delta t$ в обоих случаях одинакова.

Рассмотрим случай, когда рамка входит в пространство между полюсами магнита. Магнитный поток через рамку в этом случае будет изменяться в течение промежутка времени Δt , когда передняя сторона вступает в магнитное поле, а затем задняя сторона попадает в эту область. И указанный промежуток времени $\Delta t = b/V$. За этот промежуток времени в рамке согласно закону Фарадея электромагнитной индукции создается ЭДС индукции:

$$|E| = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{B \cdot S}{\Delta t} = \frac{B \cdot b^2}{b/V} = B \cdot b \cdot V.$$

В течение этого промежутка времени Δt в рамке протекает ток силой

$$I = \frac{|E|}{R} = \frac{B \cdot b \cdot V}{R}.$$

При этом на переднюю сторону рамки, которая уже вступила в область магнитного поля, действует сила Ампера F_A (в соответствии с правилом Ленца эта сила тормозит движение рамки):

$$F_A = I \cdot b \cdot B = \frac{B \cdot b \cdot V}{R} \cdot b \cdot B = \frac{(B \cdot b)^2 \cdot V}{R}.$$

При движении рамки с постоянной скоростью сила Ампера F_A равна по модулю внешней силе F , т.е. $F = F_A$.

За время Δt внешняя сила совершает работу $A_1 = F \cdot b$. Такая же работа будет совершаться, когда рамка будет выходить из области пространства между полюсами магнита. Поэтому суммарная работа внешней силы за время движения рамки равна:

$$A = 2 \cdot A_1 = 2 \cdot F \cdot b = 2 \cdot \frac{(B \cdot b)^2 \cdot V}{R} \cdot b,$$

откуда выражаем искомую величину скорости перемещения рамки

$$V = \frac{A \cdot R}{2 \cdot B^2 \cdot b^3} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1}{2 \cdot 1^2 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^3} = 1 \text{ м/с.}$$

Ответ: $V = 1 \text{ м/с.}$

8 Таблица ответов для части 1

Вариант 1

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
3	4	1	4	4	3	4	3	3	2
A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
4	1	2	4	1	2	3	2	2	2
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30
1	2	4	1	2	1	4	3	3	1

Вариант 2

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
2	1	4	3	2	3	4	1	2	2
A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
1	2	3	3	4	3	2	2	3	4
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30
3	4	3	2	4	3	2	1	2	2

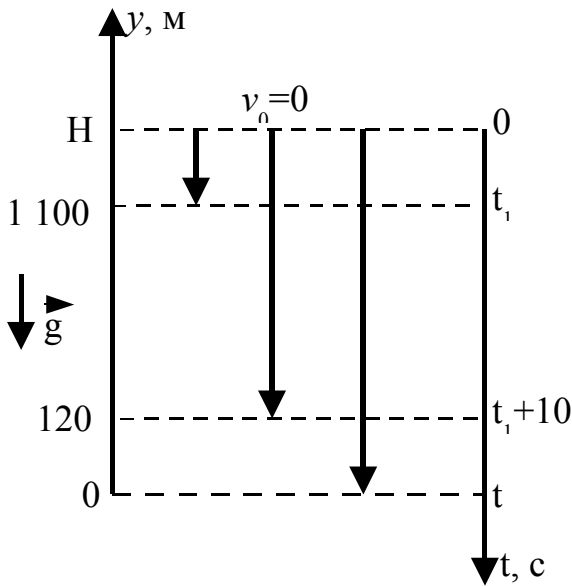
Вариант 3

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
4	2	3	4	3	1	4	2	1	1
A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
2	4	2	1	4	4	1	2	3	2
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30
3	1	3	1	3	4	3	2	3	1

Вариант 4

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
2	1	3	1	2	2	3	1	3	4
A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
2	4	2	3	1	2	4	3	2	4
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30
4	3	3	1	2	1	4	3	1	4

9 Примеры решения задач



1. Свободно падающее тело спустя некоторый промежуток времени после начала падения находилось на высоте 1 100 м, а еще через 10 с на высоте 120 м над поверхностью Земли. С какой высоты падало тело? Сколько времени оно было в движении? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Дано: $y(t_1) = 1\,100 \text{ м}$; $y(t_1 + 10) = 120 \text{ м}$;
 $g = 10 \text{ м/с}^2$; $v_0 = 0$.
 $H = ?$ $t = ?$

Решение. Так как движение тела происходит по вертикали, то для описания движения возьмем вертикальную ось Oy с началом на поверхности земли. Раз тело падает свободно, то начальная скорость $v_0 = 0$. Обозначим H – искомая высота, t – время падения (см. рис.).

Направим ось Oy вертикально вверх, ось времени Ot направим вертикально вниз с началом отсчета времени $t = 0$ на высоте H (т.к. тело начинает движение с высоты H). Каждой высоте будем сопоставлять моменты времени:

- в начальный момент времени $t = 0$ тело находится на высоте H ;
- спустя некоторый промежуток времени t_1 – на высоте 1 100 м;
- еще через 10 с, т.е. через $t_1 + 10$ после начала движения – на высоте 120 м;
- через время t после начала движения $y = 0$ (тело достигает поверхности Земли).

В уравнение движения тела по оси Oy в общем виде $y(t) = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ подставляем значения $y_0 = H$ (тело начинает движение в момент $t = 0$ с этой координаты), $v_0 = 0$ (тело свободно падает), $a = -g$ (т.к. проекция $g_y = -g$). Итак, уравнение движения имеет вид: $y(t) = y = H - \frac{1}{2} g t^2$. Применяя последнее уравнение для моментов времени t_1 , $t_1 + 10$ и t , получим 3 уравнения:

$$1\,100 = H - \frac{1}{2} g t_1^2; \quad 120 = H - \frac{1}{2} g (t_1 + 10)^2; \quad 0 = H - \frac{1}{2} g t^2.$$

Решая систему из трех уравнений, найдем искомые величины H и t . Вычтем почленно из первого уравнения второе, затем найдем t_1 :

$$1\,100 - 120 = H - \frac{1}{2} g t_1^2 - H + \frac{1}{2} g (t_1 + 10)^2, \text{ откуда}$$

$$t_1 = \frac{980 - 50g}{10g} = \frac{980 - 50 \cdot 10}{10 \cdot 10} = 4,8 \text{ с.}$$

Подставляя полученное значение t_1 в первое уравнение, найдем H :

$$1\,100 = H - \frac{1}{2}gt_1^2 \quad \text{и} \quad H = 1\,100 + \frac{1}{2}gt_1^2 = 1\,100 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4,8^2 = 1\,215 \text{ м.}$$

Из третьего уравнения найдем t :

$$0 = H - \frac{1}{2}gt^2, \quad \text{откуда} \quad t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1215}{10}} = 15,6 \text{ с.}$$

Ответ: $H = 1\,215 \text{ м; } t = 15,6 \text{ с.}$

2. Точка движется по окружности со скоростью, которая меняется по закону $v = bt$, где $b = 0,5 \text{ м/с}^2$. Найдите модуль полного ускорения, когда точка совершит первый оборот после начала движения.

Дано: $v = bt$; $b = 0,5 \text{ м/с}^2$.
 $a = ?$

Решение. Из уравнения $v = bt$ следует, что в начальный момент времени $t=0$ начальная скорость $v_0 = b \cdot 0 = 0$, и в этот момент угловая скорость равна $\omega_0 = v_0/R = 0/R = 0$, где R – радиус окружности.

Один оборот соответствует повороту на угол 2π рад. Уравнение вращательного движения точки $\varphi = 2\pi = \frac{1}{2}\epsilon t^2$, откуда находим $t^2 = 4\pi/\epsilon$, где ϵ – угловое ускорение.

Поскольку тангенциальное ускорение по определению $a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(bt) = b$, то из $a_\tau = \epsilon R$, находим $\epsilon = a_\tau/R = b/R$.

Нормальное ускорение равно:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(bt)^2}{R} = \frac{b^2}{R} \cdot t^2 = \frac{b^2}{R} \cdot \frac{4\pi}{\epsilon} = \frac{b^2}{R} \cdot \frac{4\pi}{b/R} = 4\pi b.$$

Полное ускорение равно:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{(4\pi b)^2 + b^2} = b\sqrt{(4\pi)^2 + 1} = 0,5\sqrt{(4\pi)^2 + 1} = 6,3 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 6,3 \text{ м/с}^2$.

3. Космонавт массой $m_1=80$ кг находится на поверхности астероида, имеющего форму шара радиуса $R=1$ км, и держит в руках камень массой $m_2=4$ кг. С какой скоростью v_2 относительно астероида (в горизонтальном направлении) космонавт может бросить камень, не рискуя, что сам станет спутником астероида? Плотность астероида $\rho=5$ г/см³. Гравитационная постоянная равна $G=6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг².

Дано: $m_1=80$ кг; $R=1\ 000$ м; $m_2=4$ кг; $\rho=5\ 000$ кг/м³; $G=6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг².
 $v_2=?$

Решение. Первая космическая скорость для астероида равна: $v_1=\sqrt{G \frac{M}{R}}$,

где $M=\rho \cdot V=\rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$ – масса астероида.

Итак,

$$v_1=\sqrt{\frac{G}{R} \cdot M}=\sqrt{\frac{G}{R} \cdot \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}=2R\sqrt{\frac{\pi G \rho}{3}}.$$

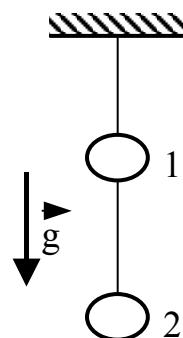
Допустим, что космонавт после броска камня приобретает скорость v_1 . В этом случае, если космонавт массой m_1 бросит камень массой m_2 со скоростью v_2 относительно астероида, то по закону сохранения импульса системы «космонавт – камень» имеем: $m_1 v_1=m_2 v_2$, откуда находим

$$v_2=\frac{m_1}{m_2} v_1=\frac{m_1}{m_2} \cdot 2R\sqrt{\frac{\pi G \rho}{3}}=\frac{80}{4} \cdot 2 \cdot 1000\sqrt{\frac{\pi \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5000}{3}}=23,6 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_2=23,6$ м/с.

4. Если пережечь нить, связывающую грузы, висащие на резиновом шнуре, то верхний груз (1) придет в движение с ускорением $a_1=5$ м/с² (см. рис.). Если грузы поменять местами и пережечь нить, то с каким ускорением a_2 придет в движение груз (2)? Ускорение силы тяжести $g=10$ м/с².

Дано: $a_1=5$ м/с²; $g=10$ м/с².
 $a_2=?$



Решение. Упругая резина под действием силы тяжести двух грузов растягивается на величину Δx , определяемую законом Гука $|\vec{F}_{\text{упр}}|=k \cdot \Delta x=(m_1+m_2)g$. Когда нить, связывающую грузы (1) и (2) пережигают, то на верхний груз (1) действуют $\vec{F}_{\text{упр}}$ и сила тяжести $m_1 \vec{g}$, и по второму закону Ньютона

$$m_1 \vec{a}_1 = \vec{F}_{\text{упр}} + m_1 \vec{g} \quad (\text{см. рисунок}).$$

Это уравнение в проекции на вертикальную ось $0x$ имеет вид:

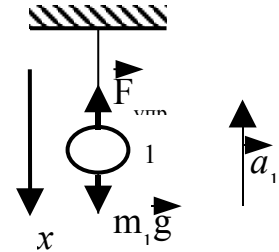
$$-m_1 a_1 = -k \cdot \Delta x + m_1 g.$$

С учетом, что $k \cdot \Delta x = (m_1 + m_2)g$, имеем

$$-m_1 a_1 = -(m_1 + m_2)g + m_1 g = -m_2 g, \text{ т.е. } m_1 a_1 = m_2 g$$

и

$$a_1 = \frac{m_2}{m_1} g.$$



Если поменять грузы (1) и (2) местами, то при тех рассуждениях можно получить выражение для a_2 :

$$a_2 = \frac{m_1}{m_2} g.$$

Перемножая почленно полученные выражения для a_1 и a_2 , имеем:

$$a_1 \cdot a_2 = \frac{m_2}{m_1} g \cdot \frac{m_1}{m_2} g = g^2,$$

откуда находим

$$a_2 = \frac{g^2}{a_1} = \frac{10^2}{5} = 20 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a_2 = 20 \text{ м/с}^2$.

5. Шарик, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити, отводят в сторону так, что нить принимает горизонтальное положение, и отпускают. Какой угол с вертикалью образует нить в тот момент, когда проекция скорости шарика на вертикальное направление наибольшая?

Дано: $\alpha_0 = 90^\circ$; $v_y = v_{y \text{ max}}$;
 $\alpha = ?$

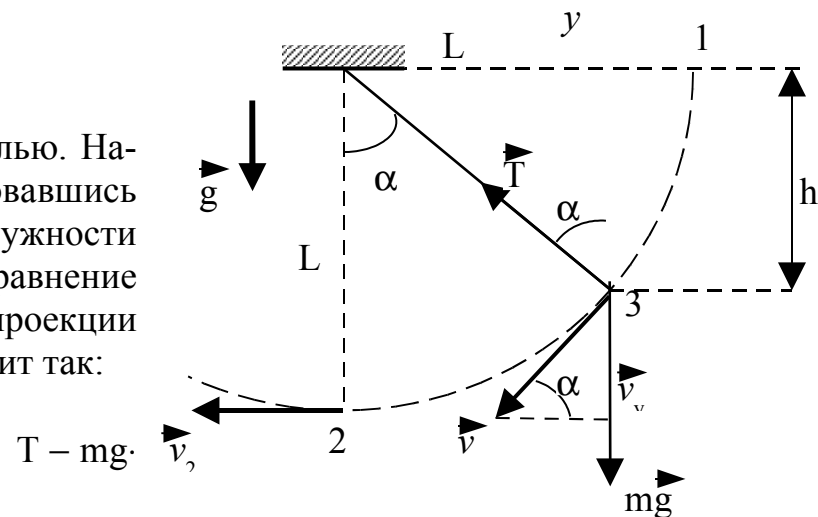
Решение. В начальный момент (положение 1 на рисунке) скорость шарика равна нулю. Значит, равна нулю и проекция скорости на вертикальную ось $0y$. В положении 2 вертикальная составляющая скорости снова равна нулю, так как вектор скорости $\vec{v}_2$ направлен горизонтально. Следовательно, по мере движе-

ния шарика из положения 1 в положение 2 вертикальная проекция скорости v_y сначала увеличивается, достигая максимального значения, а затем начинает уменьшаться. Возрастание вертикальной проекции скорости будет продолжаться до тех пор, пока не станет равной нулю вертикальная проекция равнодействующей приложенных к шарiku силы тяжести $m\vec{g}$ и силы натяжения нити $\vec{T}$. В этот момент (положение 3 на рисунке) вертикальная проекция ускорения обратится в нуль, и второй закон Ньютона в проекциях на ось Oy запишется в виде:

$$T \cdot \cos \alpha - mg = 0,$$

где α - угол между нитью и вертикалью. Натяжение нити T найдем, воспользовавшись тем, что шарик движется по дуге окружности радиуса L , где L – длина нити. Уравнение движения (второй закон Ньютона) в проекции на ось, совпадающей с нитью, выглядит так:

$$\cos \alpha = m \cdot \frac{v^2}{L}.$$



Квадрат линейной скорости v^2 шарика найдем из закона сохранения энергии:

$$m \cdot \frac{v^2}{2} = mgh, \text{ где } h = L \cdot \cos \alpha \text{ (см. рис.)}, \text{ откуда } v^2 = 2gL \cos \alpha.$$

Учитывая все записанные соотношения, получаем

$$3mg \cos^2 \alpha - mg = 0, \quad \text{и} \quad 3 \cos^2 \alpha - 1 = 0,$$

откуда находим

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \text{и} \quad \alpha = \arccos \frac{1}{\sqrt{3}} = 55^\circ.$$

Эту задачу можно решить, используя математический прием. Как известно, в точках экстремума функции ее производная равна нулю. В произвольном положении шарика вертикальная проекция скорости равна:

$$v_y = v \cdot \sin \alpha = \sqrt{2gL \cdot \cos \alpha} \cdot \sin \alpha.$$

Приравняем нулю производную от этого выражения:

$$v_y' = \frac{\sqrt{gL}}{\sqrt{2\cos\alpha}} (-\sin^2\alpha + 2\cos^2\alpha) = \sqrt{\frac{gL}{2\cos\alpha}} (3\cos^2\alpha - 1) = 0.$$

Отсюда вытекает условие: $3\cos^2\alpha - 1 = 0$, совпадающее с найденным ранее.

Ответ: $\alpha = 55^\circ$.

6. Квадратная рамка из однородной проволоки, у которой отрезана одна сторона, подвешена на гвоздь. Найдите тангенс угла между средней стороной и вертикалью.

Дано: $L_1=L_2=L_3=L$.
 $\text{tg}\alpha$ —?

Решение. На рамку действуют сила реакции $\vec{N}$ и силы тяжести $m_1\vec{g}$, $m_2\vec{g}$, $m_3\vec{g}$, приложенные к серединам сторон рамки (см. рис.). Так как проволока однородная, то массы сторон рамки равны между собой $m_1=m_2=m_3=m$. Сторону рамки обозначим через a . Приравнявая нулю сумму моментов сил (условие равновесия) относительно оси, проходящей через точку подвеса (гвоздь) O , получим уравнение:

$$m_1g \cdot \frac{a}{2} \cos\alpha - m_2g \cdot \frac{a}{2} \sin\alpha - m_3g \cdot x = 0.$$

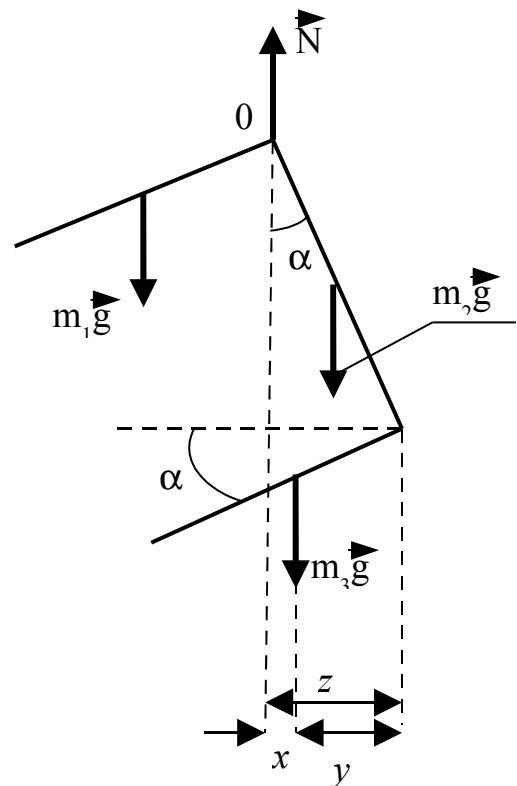
С учетом того, что $x = y - z = a \cdot \sin\alpha - \frac{a}{2} \cos\alpha$ и массы сторон рамки равны, уравнение моментов примет вид:

$$mg \cdot \frac{a}{2} \cos\alpha - mg \cdot \frac{a}{2} \sin\alpha - mg \cdot (a \cdot \sin\alpha - \frac{a}{2} \cos\alpha) = 0,$$

откуда получим искомый тангенс угла α :

$$\text{tg}\alpha = \frac{2}{3}.$$

Ответ: $\text{tg}\alpha = \frac{2}{3}$.



7. Какая сила давления может быть получена на гидравлическом прессе, если к длинному плечу рычага, передающего давление на малый поршень, приложена сила $F_0 = 100$ Н, соотношение плеч рычага равно $L_0/L_1 = 9$, а площади

поршней пресса соответственно равны $S_1=5 \text{ см}^2$ и $S_2=500 \text{ см}^2$. КПД пресса $\eta=0,8$.

Дано: $F_0 = 100 \text{ Н}$; $L_0/L_1 = 9$; $S_1=5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $S_2=500 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $\eta=0,8$ (80 %).
 F_2 –?

Решение. Сделаем схематический рисунок гидравлического пресса. Обозначения на рисунке: $L_0/L_1 = 9$ – отношение плеч рычага; F_1 и F_2 – силы, действующие на малый и большой поршни, соответственно; S_1 и S_2 – площади поршней.

Напишем уравнение для гидравлического пресса:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

где l_1 и l_2 – перемещения поршней.

Из этого уравнения следует, что $F_1 l_1 = F_2 l_2$, т.е. $A_1 = F_1 l_1$ – работа, совершаемая силой F_1 , действующей на малый поршень, и $A_2 = F_2 l_2$ – работа, совершаемая силой F_2 , действующей на большой поршень, равны. Так как гидравлический пресс используется для получения выигрыша в силе, то $A_2 = A_{\text{пол}}$ – представляет собой полезную работу, а $A_1 = A_{\text{затр}}$ представляет собой затраченную работу. $A_{\text{пол}} = A_{\text{затр}}$ – полезная и затраченная работы равны только в том случае, когда не учитываются силы сопротивления, действующие в механизмах пресса. В общем случае, как в нашей задаче, КПД пресса равен:

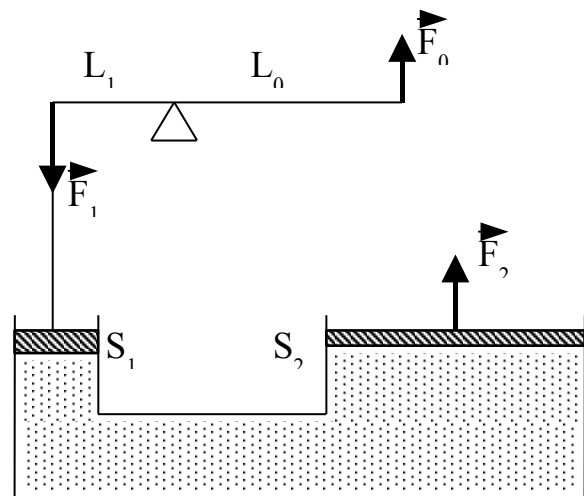
$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{F_1 l_1}{F_2 l_2} = \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{l_1}{l_2}.$$

Так как из уравнения гидравлического пресса следует, что

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{S_2}{S_1}, \quad \text{тогда} \quad \eta = \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{S_2}{S_1},$$

откуда находим

$$F_2 = \eta F_1 \frac{S_2}{S_1}.$$



$$\frac{L_0}{L_1}$$

Значение F_1 находим из уравнения для рычага: $F_1 L_1 = F_0 L_0$, т.е. $F_1 = F_0 \frac{L_0}{L_1}$. Подставляя выражение для F_1 в уравнение для F_2 , получаем:

$$F_2 = \eta F_1 \frac{S_2}{S_1} = \eta \cdot F_0 \cdot \frac{L_0}{L_1} \cdot \frac{S_2}{S_1} = 0,8 \cdot 100 \cdot 9 \cdot \frac{500}{5} = 72 \cdot 10^3 \text{ Н} = 72 \text{ кН}.$$

Ответ: $F_2 = 72 \text{ кН}$.

8. По трубе радиусом $R = 1,5 \text{ см}$ течет углекислый газ (с плотностью $\rho = 7,5 \text{ кг/м}^3$). Определите скорость его течения, если за время $t = 20 \text{ мин}$ через поперечное сечение трубы протекает $m = 950 \text{ г}$ газа.

Дано: $R = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $\rho = 7,5 \text{ кг/м}^3$; $t = 20 \cdot 60 \text{ с}$; $m = 0,95 \text{ кг}$.
 $v - ?$

Решение. Пишем формулу для массового расхода газа, т.е. для массы газа, протекающего в единицу времени через поперечное сечение трубы:

$$Q = \frac{m}{t} = \rho S v,$$

где v – скорость течения газа, $S = \pi R^2$ – площадь поперечного сечения трубы, т.е.

$$\frac{m}{t} = \rho \pi R^2 v,$$

откуда находим:

$$v = \frac{m}{\rho \pi R^2 t} = \frac{0,95}{7,5 \cdot \pi \cdot (1,5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 20 \cdot 60} = 0,15 \text{ м/с} = 15 \text{ см/с}.$$

Ответ: $v = 15 \text{ см/с}$.

9. Лодка массой M стоит в неподвижной воде. Насколько сместится лодка, если рыбак массой m переместится с кормы на нос лодки. Длина лодки l . Сопротивлением воды пренебрегайте.

Дано: M ; m ; l .
 $L - ?$

Решение. В системе отсчета, связанной с неподвижной водой или берегом сохраняется проекция импульса системы рыбак – лодка на горизонтальное направление:

$$0 = Mu_x + mv_x,$$

где u_x, v_x – проекции скоростей лодки и рыбака на горизонтально расположенную ось Ox .

Но $v_x = u_x + v'_x$, где v'_x – проекция скорости рыбака относительно лодки, поэтому

$$0 = Mu_x + m(u_x + v'_x) \quad \text{или} \quad 0 = (M+m)u_x + mv'_x.$$

Умножим обе части последнего уравнения на Δt – время перемещения рыбака с кормы на нос, тогда с учетом того, что $u_x \Delta t = L$ – перемещение лодки относительно берега, $v'_x \Delta t = l$ – перемещение рыбака относительно лодки равно длине лодки, имеем:

$$0 = (M+m)L + ml,$$

откуда находим

$$L = -\frac{m}{M+m} \cdot l.$$

Знак “–” указывает на то, что лодка перемещается в направлении, противоположном перемещению рыбака.

Ответ: $L = -\frac{m}{M+m} \cdot l.$

10. Платформа в виде сплошного диска радиуса $R=1,5$ м и массой $m_1=180$ кг вращается вокруг оси симметрии с частотой $\nu_0=10$ об/мин. В центре платформы стоит человек массой $m_2=60$ кг. Какую линейную скорость v относительно пола помещения будет иметь человек, если он перейдет на край платформы? Человека принять за материальную точку.

Дано: $R=1,5$ м; $m_1=180$ кг; $\nu=10$ об/мин $= (1/6) \text{ с}^{-1}$; $m_2=60$ кг.
 $v=?$

Решение. Так как на платформу не действуют внешние силы, соответственно, их момент можно считать равным нулю. В этом случае момент импульса системы «платформа – человек» остается неизменным:

$$L = J\omega = \text{const},$$

где J – момент инерции системы «платформа + человек» относительно оси вращения, ω – угловая скорость вращения платформы.

Момент инерции системы равен сумме моментов инерции тел, входящих в состав системы, поэтому в начальный момент времени $J=J_1+J_2$, в конечном состоянии $J'=J_1'+J_2'$. В итоге закон сохранения момента импульса примет вид:

$$(J_1+J_2) \cdot \omega = (J_1'+J_2') \cdot \omega',$$

где J_1 и J_1' – значения момента инерции платформы в начальном и конечном состоянии, J_2 и J_2' – значения момента инерции человека в начальном и конечном состоянии.

На момент инерции платформы относительно оси вращения переход человека не влияет, и момент инерции платформы, имеющей форму диска, равен:

$J_1=J_1' = \frac{1}{2} m_1 R^2$. Момент инерции человека, как материальной точки, в начальный момент, когда он находится в центре платформы, $J_2=0$; а в конечном состоянии, когда человек находится на краю платформы, $J_2'=m_2 R^2$.

Записанные соотношения для моментов инерций подставим в уравнение, выражающее закон сохранения момента импульса, и учтем, что угловая скорость в начальный момент $\omega=2\pi\nu$ и в конечный момент $\omega'=\frac{v}{R}$, где v – скорость человека относительно пола помещения:

$$\left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + 0\right) \cdot 2\pi\nu = \left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2\right) \cdot \frac{v}{R},$$

откуда находим искомую скорость

$$v = \frac{2\pi\nu R m_1}{m_1 + 2m_2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{6} \cdot 1,5 \cdot 180}{180 + 2 \cdot 60} = 1 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 1 \text{ м/с.}$

11. Определите релятивистский импульс p и кинетическую энергию T электрона, движущегося со скоростью $v=0,9c$, где c – скорость света в вакууме.

Дано: $m_0=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$; $c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; $v=0,9c$.
 $p=?$ $T=?$

Решение. Релятивистский импульс по определению равен:

$$p = mv = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v,$$

где m_0 – масса покоя и m – релятивистская масса электрона. Подставив значения, произведем вычисление релятивистского импульса:

$$p = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v = \frac{m_0 \cdot 0,9c}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,9c}{c}\right)^2}} = \frac{0,9m_0c}{\sqrt{1 - 0,81}} = \frac{0,9 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8}{\sqrt{0,19}} = 5,6 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

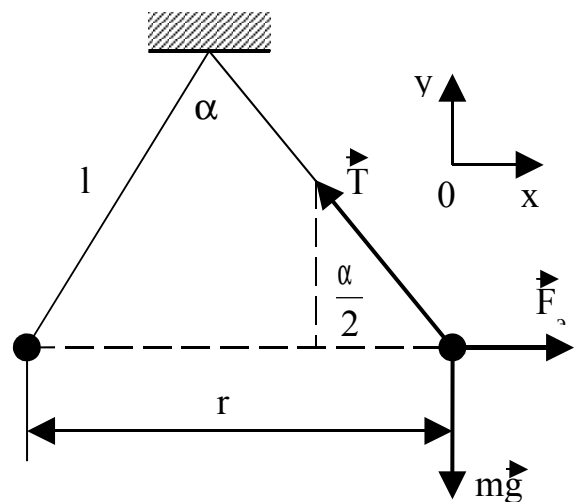
В релятивистской механике кинетическая энергия T равна разности между полной энергией E и энергией покоя:

$$T = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2 - m_0c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) =$$

$$= 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - 0,81}} - 1 \right) = 1,06 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Ответ: $p = 5,6 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; $T = 1,06 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

12. На шелковых нитях длиной $l = 50 \text{ см}$ подвешены в одной точке в воздухе два одинаково заряженных шарика массами $m = 0,8 \text{ г}$ каждый. Сколько избыточных электронов надо сообщить каждому шарiku, чтобы нити подвеса шариков разошлись на угол $\alpha = 60^\circ$? Элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Ускорение силы тяжести $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Диэлектрическая проницаемость воздуха $\epsilon = 1$. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.



Дано: $l = 0,5 \text{ м}$; $m = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$;
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $\epsilon = 1$; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$; $\alpha = 60^\circ$.
 N – ?

Решение. На каждый шарик действуют силы: $m\vec{g}$ – сила тяжести, $\vec{T}$ – сила натяжения нити, $\vec{F}_3$ – сила электрического (кулоновского) отталкивания шариков (см. рис.). Так как шарики находятся в равновесии, то условие равновесия любого из шариков записывается в виде:

$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_3 = 0,$$

т.е. векторная сумма сил, действующих на шарик, равна нулю. Распишем это векторное уравнение в проекциях по осям координат Ox , Oy :

$$F_3 - T \sin \frac{\alpha}{2} = 0; \quad T \cos \frac{\alpha}{2} - mg = 0,$$

или

$$T \sin \frac{\alpha}{2} = F_3; \quad T \cos \frac{\alpha}{2} = mg.$$

Поделив почленно уравнения в последней системе, друг на друга, имеем:

$$\frac{F_3}{mg} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad \text{или} \quad F_3 = mg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

В последнее уравнение подставим выражение для F_3 , следующее из закона Кулона:

$$F_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}, \quad \text{где} \quad r = 2l \sin \frac{\alpha}{2},$$

т.е.

$$F_3 = \frac{q^2}{16\pi\epsilon\epsilon_0 l^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}.$$

Итак,

$$F_3 = \frac{q^2}{16\pi\epsilon\epsilon_0 l^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = mg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Заряд каждого шарика q складывается из зарядов избыточных электронов, так как создается их совокупностью, т.е. $q = Ne$, где N – число избыточных электронов. Подстановка выражения для q в предыдущее уравнение дает:

$$\frac{N^2 e^2}{16\pi\epsilon\epsilon_0 l^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = mg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

откуда находим

$$N = \frac{4l}{e} \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\pi \varepsilon \varepsilon_0 m g \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} =$$

$$= \frac{4 \cdot 0,5}{1,6 \cdot 10^{-19}} \sin 30^0 \sqrt{\pi \cdot 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot \operatorname{tg} 30^0} = 2,21 \cdot 10^{12}.$$

Ответ: $N = 2,21 \cdot 10^{12}$.

13. Четыре конденсатора $C_1 = 3$ пФ, $C_2 = 7$ пФ, $C_3 = 6$ пФ и $C_4 = 4$ пФ соединены по схеме, приведенной на рисунке и подключены к источнику напряжения с ЭДС $E = 1\,000$ В. Определите показания вольтметра, подключенного между точками А и В схемы.

Дано: $C_1 = 3$ пФ; $C_2 = 7$ пФ; $C_3 = 6$ пФ; $C_4 = 4$ пФ; $E = 1\,000$ В.
 U_V —?

Решение. Напряжение U , поданное на схему (между точками 1 и 2), равно ЭДС источника, т.е.

$$U = U_{12} = E = 1000 \text{ В.}$$

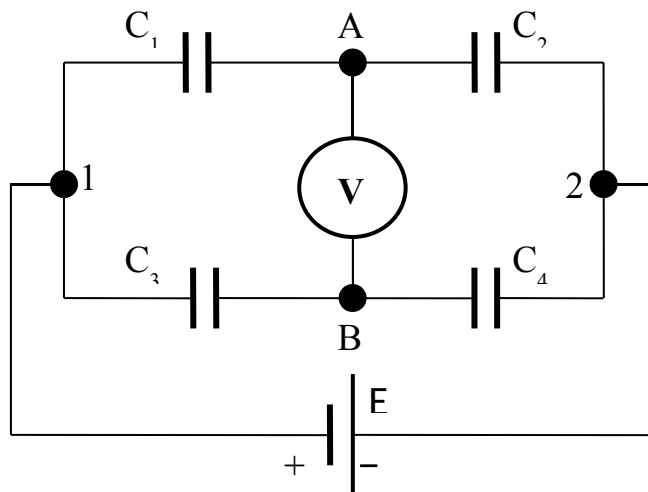
Рассмотрим участок цепи, состоящий из последовательно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 , к которой приложено напряжение $U_{12} = U$. При последовательном соединении конденсаторов заряды их одинаковы и равны заряду системы из C_1 и C_2 :

$$q_1 = q_2 = q_{12}.$$

Емкость C_{12} цепи из двух последовательно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 найдем из известного соотношения для емкости батареи конденсаторов при последовательном соединении:

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

Теперь найдем заряд, ушедший из источника в систему из конденсаторов C_1 и C_2 :



$$q_{12} = C_{12}U_{12} = C_{12}U = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U.$$

Определим напряжение U_1 на конденсаторе C_1 :

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{q_{12}}{C_1} = \frac{1}{C_1} \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U.$$

Повторяя приведенные выше рассуждения для цепи, состоящей из последовательно соединенных конденсаторов C_3 и C_4 , можно найти напряжение на конденсаторе C_3 :

$$U_3 = \frac{C_4}{C_3 + C_4} U.$$

Напряжение U_3 есть разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_B$ (см. рисунок):

$$U_3 = \varphi_1 - \varphi_B,$$

и, соответственно,

$$U_1 = \varphi_1 - \varphi_A.$$

Вычитая почленно два последних уравнения, имеем:

$$U_3 - U_1 = \varphi_A - \varphi_B.$$

Но $(\varphi_A - \varphi_B)$ – есть разность потенциалов (напряжение) между точками А и В и будет равно показанию вольтметра, подключенного между этими точками:

$$\begin{aligned} U_V = U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = U_3 - U_1 &= \frac{C_4}{C_3 + C_4} U - \frac{C_2}{C_1 + C_2} U = \\ &= U \left(\frac{C_4}{C_3 + C_4} - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) = 1\,000 \left(\frac{4}{6 + 4} - \frac{7}{3 + 7} \right) = -300 \text{ В}. \end{aligned}$$

Знак “–” указывает на то, что $\varphi_A - \varphi_B < 0$, т.е. $\varphi_A < \varphi_B$.

Ответ: $U_V = -300 \text{ В}$.

Теперь исследуем случай, когда показание вольтметра будет нулевое, т.е. когда

$$U_V = \varphi_A - \varphi_B = U \left(\frac{C_4}{C_3 + C_4} - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) = 0.$$

Поскольку $U \neq 0$, то должно быть:

$$\frac{C_4}{C_3 + C_4} - \frac{C_2}{C_1 + C_2} = 0, \quad \text{или} \quad \frac{C_4}{C_3 + C_4} = \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad \text{или} \quad \frac{1}{\frac{C_3}{C_4} + 1} = \frac{1}{\frac{C_1}{C_2} + 1}.$$

Последнее равенство выполняется при выполнении условия:

$$\frac{C_3}{C_4} = \frac{C_1}{C_2}.$$

Эту пропорцию можно привести к виду

$$\frac{C_1}{C_3} = \frac{C_2}{C_4}.$$

Таким образом, при выполнении соотношений между емкостями приведенной схемы:

$$\frac{C_1}{C_3} = \frac{C_2}{C_4}, \quad \text{или} \quad \frac{C_3}{C_4} = \frac{C_1}{C_2},$$

будет $\varphi_A - \varphi_B = 0$, т.е. $\varphi_A = \varphi_B$.

В этом случае:

- показания вольтметра, подключенного между точками А и В будут нулевыми, т.е. $U_V = \varphi_A - \varphi_B = 0$;

- подключение между точками А и В приведенной схемы конденсатора любой емкости (также любого резистора) или наличие между этими точками разрыва или перемычки (шунта) никак не повлияет на распределение зарядов и напряжений на конденсаторах C_1 , C_2 , C_3 и C_4 ;

- полученные результаты можно использовать при расчете подобных схем.

14. Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 0,08$ Ом при силе тока $I_1 = 4$ А отдает во внешнюю цепь мощность $P_1 = 8$ Вт. Какую мощность P_2 он отдает во внешнюю цепь при силе тока $I_2 = 6$ А?

Дано: $r = 0,08$ Ом; $I_1 = 4$ А; $P_1 = 8$ Вт; $I_2 = 6$ А.
 P_2 —?

Решение: Обозначим через E – ЭДС источника тока (аккумулятора); R_1 и R_2 – сопротивление нагрузки в первом и во втором случаях, соответственно; I_1 и I_2 – сила тока в цепи в первом и во втором случаях, соответственно.

В первом случае мощность, отдаваемая аккумулятором во внешнюю цепь, равна

$$P_1 = I_1^2 R_1, \quad \text{где} \quad I_1 = \frac{E}{R_1 + r}.$$

Во втором случае сила тока изменилась из-за того, что сопротивление нагрузки изменилось и стало равным, например, R_2 . Тогда мощность, отдаваемая во внешнюю цепь во втором случае, равна:

$$P_2 = I_2^2 R_2, \quad \text{где} \quad I_2 = \frac{E}{R_2 + r}.$$

Решая систему из написанных четырех последних уравнений, находим:

$$P_2 = I_2 \left[\frac{P_1}{I_1} + (I_1 - I_2)r \right] = 6 \left[\frac{8}{4} + (4 - 6)0,08 \right] = 11,04 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P_2 = 11,04 \text{ Вт}$.

15. Два гальванических элемента с ЭДС $E_1 = 2 \text{ В}$ и $E_2 = 1,5 \text{ В}$ и внутренними сопротивлениями $r_1 = 0,6 \text{ Ом}$ и $r_2 = 0,4 \text{ Ом}$, соответственно, соединены параллельно (см. рис.). Определите силу тока I в контуре и разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между точками 1 и 2.

Дано: $E_1 = 2 \text{ В}$; $E_2 = 1,5 \text{ В}$; $r_1 = 0,6 \text{ Ом}$; $r_2 = 0,4 \text{ Ом}$.

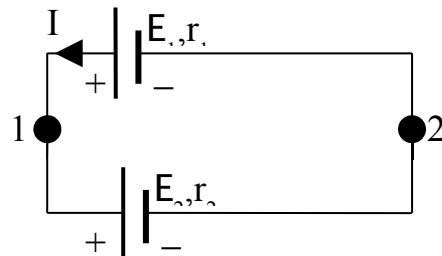
$\varphi_1 - \varphi_2$ –?

Решение: Согласно второму правилу Кирхгофа

$$E_1 - E_2 = I(r_1 + r_2),$$

Откуда находим

$$I = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} = \frac{2 - 1,5}{0,6 + 0,4} = 0,5 \text{ А}.$$



Согласно закону Ома для неоднородного участка цепи

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E_1 - Ir_1 = 2 - 0,5 \cdot 0,6 = 1,7 \text{ В},$$

или

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E_2 + Ir_2 = 1,5 + 0,5 \cdot 0,4 = 1,7 \text{ В}.$$

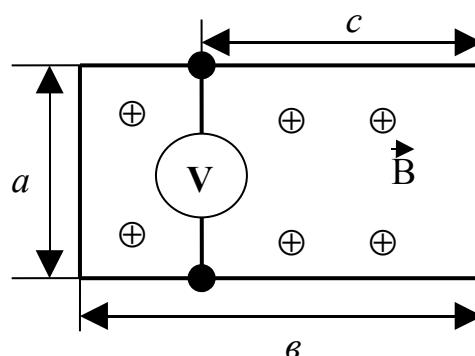
Ответ: $\varphi_1 - \varphi_2 = 1,7 \text{ В}$.

16. Из однородной проволоки, обладающей заметным сопротивлением, сделан прямоугольный контур размером $a \cdot b$. Перпендикулярно плоскости контура создается магнитное поле, индукция которого растет со временем по закону $B = \alpha t$. На расстоянии c от одной из сторон a подключен вольтметр, сопротивление которого очень велико (см. рис.). Какое напряжение покажет вольтметр?

Дано: $a, b, c; B = \alpha t$.
 $U - ?$

Решение: По основному закону электромагнитной индукции из-за изменения магнитного потока через весь контур возникает ЭДС индукции:

$$|E| = E = \Phi' = (BS)' = (\alpha t a b)' = \alpha a b.$$



По закону Ома определяем силу тока в контуре:

$$I = \frac{E}{R} = \alpha a b \left(\rho \frac{2(a + b)}{S} \right)^{-1} = \alpha a b \frac{S}{2\rho(a + b)},$$

где R – сопротивление контура, ρ – удельное сопротивление проволоки, S – площадь ее поперечного сечения.

В контуре, образованном вольтметром и участком провода длиной c и имеющим сопротивление

$$R_1 = \rho \frac{2c + a}{S},$$

создается ЭДС

$$E_1 = \alpha a c.$$

Согласно закону Ома

$$E_1 = U + IR_1,$$

откуда находим

$$U = E_1 - IR_1 = \alpha ac - \alpha av \frac{S}{2\rho(a + \epsilon)} \rho \frac{2c + a}{S} = \frac{\alpha a^2(2c - \epsilon)}{2(a + \epsilon)}.$$

$$\text{Ответ: } U = \frac{\alpha a^2(2c - \epsilon)}{2(a + \epsilon)}.$$

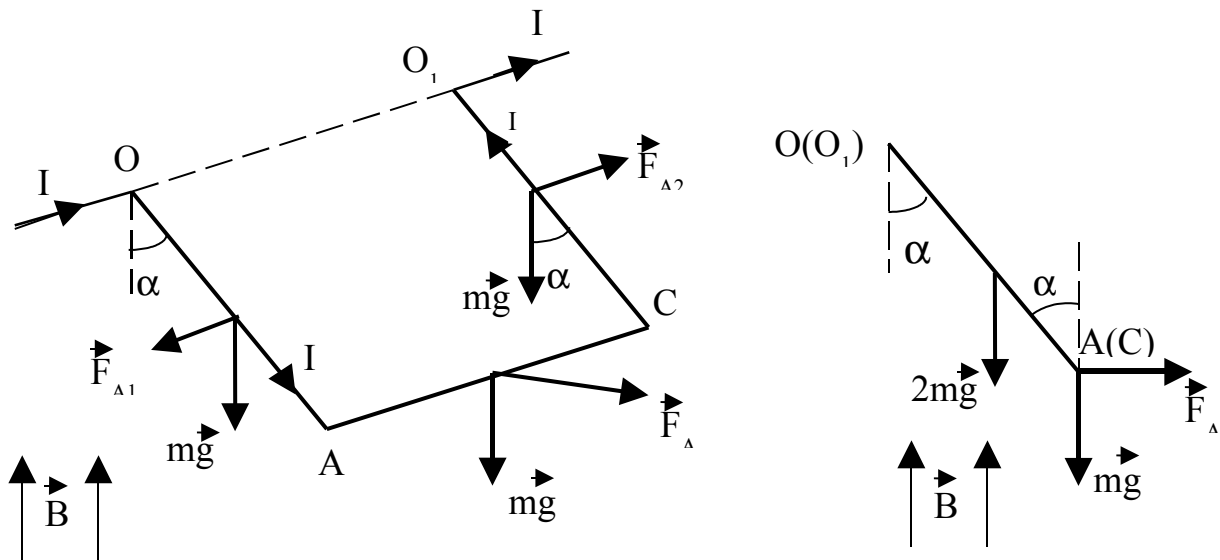
17. Провод из материала плотностью ρ и сечением S согнут в виде трех сторон квадрата и прикреплен своими концами к горизонтальной оси, вокруг которой он может вращаться в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B (см. рис.). На какой угол α от вертикали отклонится плоскость этого контура при прохождении по проводу тока I . Ускорение свободного падения равно g .

Дано: $\rho; S; g; B; I$.
 $\alpha - ?$

Решение: Обозначим силы, действующие на согнутый проводник:

- одинаковые силы тяжести $m\vec{g}$, приложенные к участкам OA , AC , CO_1 одинаковой длины, т.е. $OA=AC=CO_1=l$;
- силу Ампера $\vec{F}_A$, действующую на горизонтальный участок AC ;
- силы Ампера $\vec{F}_{A1}$ и $\vec{F}_{A2}$, действующие на участки OA и CO_1 .

Направления сил $\vec{F}_A$, $\vec{F}_{A1}$ и $\vec{F}_{A2}$ определяем по правилу правого винта (правилу левой руки).



Так как контур находится в равновесии, то сумма моментов всех приложенных к нему сил относительно оси вращения OO_1 равна нулю. Силы $\vec{F}_{A1}$ и $\vec{F}_{A2}$ параллельны оси OO_1 и их моменты относительно OO_1 равны нулю. Моменты сил реакции шарниров (на рисунке эти силы не показаны) относительно

оси OO_1 также равны нулю. Для остальных сил уравнение моментов сил относительно оси OO_1 запишется так:

$$mgl\sin\alpha + 2mg\frac{l}{2}\sin\alpha - F_A l\cos\alpha = 0.$$

Подставляя в это уравнение

$$m = \rho \cdot S \cdot l \quad \text{и} \quad F_A = I \cdot l \cdot B,$$

получаем

$$2\rho \cdot S \cdot l \cdot g \cdot l \cdot \sin\alpha = I \cdot l \cdot B \cdot l \cdot \cos\alpha,$$

откуда находим

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{IB}{2\rho Sg}.$$

$$\text{Ответ: } \alpha = \arctg \frac{I \cdot B}{2 \cdot \rho \cdot S \cdot g}.$$

18. В колебательном контуре к конденсатору параллельно присоединили другой конденсатор вдвое большей емкости, после чего частота колебаний в контуре уменьшилась на $\Delta\nu = 300$ Гц. Определите первоначальную частоту колебаний в контуре.

$$\text{Дано: } \underline{\Delta\nu = 300 \text{ Гц; } C = 2C_1.}$$

$\nu_1 - ?$

Решение: напишем выражения для частот ν колебаний в контуре в двух случаях:

$$\nu_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}, \quad \nu_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}},$$

где емкость C_2 контура во втором случае равна

$$C_2 = C + C_1 = 2C_1 + C_1 = 3C_1,$$

так как во втором случае к конденсатору емкости C_1 присоединяют параллельно конденсатор вдвое большей емкости, т.е. емкости $2C_1$.

Согласно условию задачи

$$\Delta \nu = \nu_1 - \nu_2 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_1}} - \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_2}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_1}} - \frac{1}{2\pi \sqrt{L3C_1}} =$$

$$= \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_1}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) = \nu_1 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right),$$

откуда находим

$$\nu_1 = \Delta \nu \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right)^{-1} = 300 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right)^{-1} = 710 \text{ Гц.}$$

Ответ: $\nu_1 = 710 \text{ Гц.}$

19. Лампочку для карманного фонаря, рассчитанную на напряжение $U_0 = 3,5 \text{ В}$ и силу тока $I_0 = 0,28 \text{ А}$, соединили последовательно с конденсатором и включили в сеть с эффективным напряжением $U_{\text{э}} = 220 \text{ В}$ и частотой $\nu = 50 \text{ Гц}$. Какой должна быть емкость C конденсатора, чтобы лампочка горела нормальным накалом?

Дано: $U_0 = 3,5 \text{ В}; I_0 = 0,28 \text{ А}; U_{\text{э}} = 220 \text{ В}; \nu = 50 \text{ Гц}.$
 $C - ?$

Решение: Электрическое сопротивление R лампочки находим из закона Ома для участка цепи:

$$R = \frac{U_0}{I_0}.$$

Амплитудное значение напряжения U_A в сети равно

$$U_A = U \sqrt{2}.$$

Нормальный накал лампочки будет в случае, когда сила тока через нее будет равна I_0 . Тогда согласно закону Ома для цепи переменного тока

$$I_0 = \frac{U_A}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi \nu C} \right)^2}} = \frac{U \sqrt{2}}{\sqrt{\left(\frac{U_0}{I_0} \right)^2 + \frac{1}{(2\pi \nu C)^2}}},$$

откуда находим

$$C = \frac{1}{2\pi\nu} \left(\frac{2U^2}{I_0^2} - \frac{U_0^2}{I_0^2} \right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50} \left(\frac{2 \cdot 220^2}{0,28^2} - \frac{3,5^2}{0,28^2} \right)^{-\frac{1}{2}} = 2,86 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 2,86 \text{ мкФ}.$$

Ответ: $C = 2,86 \text{ мкФ}$.

20. Катушка длиной $l = 0,5 \text{ м}$ и площадью поперечного сечения $S = 10^{-3} \text{ м}^2$ включена в цепь переменного тока частотой $\nu = 50 \text{ Гц}$. Число витков катушки $N = 3\,000$. Найдите сопротивление R катушки, если сдвиг фаз между напряжением и током $\varphi = 60^\circ$. Магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Дано: $l = 0,5 \text{ м}$; $S = 10^{-3} \text{ м}^2$; $\nu = 50 \text{ Гц}$; $N = 3\,000$; $\varphi = 60^\circ$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.
 $R - ?$

Решение: Сдвиг фаз φ между напряжением и током в данной задаче определяется выражением:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi\nu L}{R},$$

где

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S,$$

- индуктивность катушки индуктивности.

Подстановка соотношения для L в выражение для $\operatorname{tg}\varphi$ дает:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi\nu L}{R} = \frac{2\pi\nu\mu_0 N^2 S}{Rl},$$

откуда находим

$$R = \frac{2\pi\nu\mu_0 N^2 S}{l \operatorname{tg}\varphi} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3000^2 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot \operatorname{tg}60^\circ} = 4,1 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 4,1 \text{ Ом}$.

21. Материальная точка массой $m = 5 \text{ г}$ совершает горизонтальные колебания с частотой $\nu = 0,5 \text{ Гц}$ и амплитудой $A = 3 \text{ см}$. Определите: 1) скорость v точки в момент времени, когда смещение $x = 1,5 \text{ см}$; 2) максимальную силу F_m , действующую на точку; 3) полную энергию W колеблющейся точки.

Дано: $m = 5 \text{ г} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$; $A = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $\nu = 0,5 \text{ Гц}$; $x(t)$.
 $v(t) - ?$ $F_m - ?$ $W - ?$

Решение. Кинематическое уравнение гармонических колебаний запишем в виде $x = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$,

где x – смещение колеблющейся точки от положения равновесия; A – амплитуда; $(\omega t + \varphi)$ – фаза колебания; φ – начальная фаза; ω – циклическая частота ($\omega = 2\pi\nu$); t – время.

1) Формулу скорости получим, взяв первую производную по времени от смещения, $v = x' = A\omega \cdot \cos(\omega t + \varphi)$. Исходя из условия, задачи скорость надо выразить через смещение. Для этого исключим время из двух записанных уравнений. Для этого исключим время из двух записанных уравнений. Возведя оба уравнения в квадрат, затем, разделив первое уравнение на A^2 , второе – на $A^2\omega^2$ и, сложив их, получим:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2\omega^2} = 1 \quad \text{или} \quad \frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2(2\pi\nu)^2} = 1.$$

Решив это уравнение относительно v , найдем

$$v = \pm 2\pi\nu \sqrt{A^2 - x^2} = \pm 2\pi \cdot 0,5 \sqrt{3^2 - 1,5^2} = \pm 8,16 \text{ см/с}.$$

Знак "плюс" соответствует случаю, когда направление скорости совпадает с положительным направлением оси абсцисс, знак "минус" – в противном случае.

2) Силу F , действующую на точку, найдем из второго закона Ньютона:

$$F = ma,$$

где a – ускорение точки, которое определим, взяв производную по времени от скорости:

$$a = v' = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) \quad \text{или} \quad a = -A4\pi^2\nu^2 \sin(\omega t + \varphi),$$

откуда найдем максимальное значение силы

$$F_m = ma_m = m \cdot A \cdot 4\pi^2\nu^2 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot 0,5^2 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 1,49 \text{ мН}.$$

3) Полная энергия колеблющейся точки представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергий, вычисленных для любого момента времени. В данной задаче проще всего найти полную энергию в момент, когда кинетическая энергия достигает максимального значения, так как в этот момент потенциальная энергия равна нулю. Поэтому полная энергия W колеблющейся точки равна максимальной кинетической энергии

$$W_k = \frac{1}{2} m v_m^2.$$

Максимальное значение скорости v_m определим, положив в формуле скорости $\cos(\omega t + \varphi) = 1$, тогда $v_m = 2\pi \nu A$. Итак, полная энергия

$$W = W_k = \frac{1}{2} m v_m^2 = \frac{1}{2} m (2\pi \nu A)^2 = \frac{1}{2} 5 \cdot 10^{-3} \cdot (2\pi \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 10^{-2})^2 =$$

$$= 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 22,2 \text{ мкДж}.$$

Ответ: $v = \pm 8,16 \text{ см/с}$; $F_m = 1,49 \text{ мН}$; $W = 22,2 \text{ мкДж}$;

22. К пружине подвешена чашка весов с гирями. Период ее вертикальных колебаний T_1 . После того, как на чашку положили добавочные гири, период вертикальных колебаний стал равен T_2 . Насколько удлинилась пружина после увеличения груза? Ускорение свободного падения равно g .

Дано: $T_1; T_2; g$.
 $\Delta x - ?$

Решение. Период вертикальных колебаний чашки с гирями до того, как был добавлен груз,

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m – масса чашки с гирями, k – коэффициент жесткости пружины.

Пусть масса добавленных гирь Δm , тогда период колебаний

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{m + \Delta m}{k}}.$$

Вызывающая удлинение пружины Δx сила равна

$$F = k\Delta x,$$

отсюда

$$k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{\Delta m \cdot g}{\Delta x},$$

где g – ускорение свободного падения.

Возводя выражения для периодов колебаний в квадрат и вычитая одно выражение из другого, получим:

$$T_2^2 - T_1^2 = \frac{4\pi^2 \cdot \Delta m}{k}.$$

Подставим в последнее равенство выражение для k и получим

$$T_2^2 - T_1^2 = \frac{4\pi^2 \cdot \Delta x}{g},$$

откуда находим:

$$\Delta x = \frac{g(T_2^2 - T_1^2)}{4\pi^2}.$$

Ответ: $\Delta x = \frac{g(T_2^2 - T_1^2)}{4\pi^2}.$

23. Найдите относительное изменение длины математического маятника, необходимое для того, чтобы его период колебаний на высоте h был равен периоду колебаний на уровне моря.

Дано: $h; R_0.$
 $\varepsilon - ?$

Решение. При перенесении маятника на более высокий уровень над Землей его период колебаний увеличится, так как ускорение свободного падения уменьшается по мере увеличения высоты. Следовательно, для того, чтобы период колебаний не изменился, длину маятника следует уменьшить.

Пусть математический маятник длиной L_0 на уровне моря колеблется с периодом

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L_0}{g_0}},$$

где $g_0 = G \frac{M}{R_0^2}$ – ускорение свободного падения на уровне моря; M и R_0 – масса и радиус Земли; G – гравитационная постоянная.

На высоте h маятник длиной L будет иметь период колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad \text{где} \quad g = G \frac{M}{(R_0 + h)^2}.$$

Согласно условию задачи $T = T_0$, поэтому

$$\frac{L_0}{g_0} = \frac{L}{g} \quad \text{или} \quad \frac{L_0 R_0^2}{GM} = \frac{L(R_0 + h)^2}{GM},$$

откуда

$$\frac{L}{L_0} = \frac{R_0^2}{(R_0 + h)^2}.$$

Относительное уменьшение длины маятника

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_0 - L}{L_0} = 1 - \frac{L}{L_0} = 1 - \frac{R_0^2}{(R_0 + h)^2} = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{R_0}\right)^2} = 1 - \left(1 + \frac{h}{R_0}\right)^{-2}.$$

Далее воспользуемся с известным из математики условием $(1+x)^n \approx 1 + nx$, при $x \ll 1$. Для случая, когда $h \ll R_0$:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = 1 - \left(1 + \frac{h}{R_0}\right)^{-2} \approx 1 - \left(1 + (-2)\frac{h}{R_0}\right) = 2\frac{h}{R_0}.$$

Итак, при $h \ll R_0$:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = 2\frac{h}{R_0}.$$

Ответ: $\varepsilon = 2\frac{h}{R_0}.$

24. Шарик совершает гармонические колебания. Найдите отношение скоростей v_1/v_2 шарика в точках, удаленных от положения равновесия, соответственно, на половину и на одну треть амплитуды.

Дано: $x = A \cdot \sin \omega t$; $x_1 = A/2$; $x_2 = A/3$.
 $v_1/v_2 = ?$

Решение. Предположим, что шарик совершает гармонические колебания по закону синуса:

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

Тогда уравнение колебаний скорости будет иметь вид:

$$v = x' = A\omega \cdot \cos \omega t.$$

Согласно условию задачи в момент времени t_1 :

$$x_1 = \frac{A}{2} = A \cdot \sin \omega t_1 \quad \text{и} \quad v_1 = A\omega \cdot \cos \omega t_1,$$

а в момент времени t_2 :

$$x_2 = \frac{A}{3} = A \cdot \sin \omega t_2 \quad \text{и} \quad v_2 = A\omega \cdot \cos \omega t_2.$$

Из первой пары уравнений выражаем $\sin \omega t_1$ и $\cos \omega t_1$, возводим в квадрат и складываем:

$$\sin^2 \omega t_1 + \cos^2 \omega t_1 = 1 = \frac{1}{4} + \left(\frac{v_1}{A\omega} \right)^2.$$

А из второй пары уравнений выражаем $\sin \omega t_2$ и $\cos \omega t_2$, возводим в квадрат и складываем:

$$\sin^2 \omega t_2 + \cos^2 \omega t_2 = 1 = \frac{1}{9} + \left(\frac{v_2}{A\omega} \right)^2.$$

Из последних двух уравнений выражаем

$$\left(\frac{v_1}{A\omega} \right)^2 = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}, \quad \left(\frac{v_2}{A\omega} \right)^2 = 1 - \frac{1}{9} = \frac{8}{9},$$

затем эти уравнения почленно делим и извлекаем квадратный корень:

$$\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8}; \quad \left(\frac{v_1}{v_2} \right) = \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8}} = \frac{3\sqrt{6}}{8}.$$

Ответ: $\left(\frac{v_1}{v_2} \right) = \frac{3\sqrt{6}}{8}.$

25. Воду, текущую по водопроводной трубе со скоростью $v = 2$ м/с, быстро перекрывают жесткой заслонкой. Определите силу, действующую на заслонку при внезапной остановке воды, если скорость звука в воде $c = 1\,400$ м/с. Сечение трубы $S = 5$ см². Плотность воды $\rho = 1$ г/см³. Найдите давление на заслонку.

Дано: $v = 2$ м/с; $c = 1\,400$ м/с; $\rho = 10^3$ кг/м³; $S = 5 \cdot 10^{-4}$ м².

$$F - ? \quad P - ?$$

Решение. Столкнувшись с заслонкой, часть воды, прилегающая к ней, останавливается, сжимается и возбуждает волну давления, распространяющуюся навстречу потоку со скоростью звука в воде c . Если бы вода была несжимаема, то скорость всего потока уменьшилась бы мгновенно до нуля. Однако, благодаря сжимаемости вода продолжает движение, и до нуля падает скорость только той части столба, которая может быть достигнута волной давления. Выбирая положительное направление оси в направлении скорости потока v , запишем закон изменения импульса за время Δt :

$$0 - mv = 0 - \rho \cdot \Delta v \cdot v = 0 - \rho \cdot (c \Delta t S) \cdot v = F \cdot \Delta t.$$

Сила, действующая на заслонку:

$$F_c = -F = \rho c v S.$$

Следовательно, давление на заслонку равно:

$$P = \frac{F_c}{S} = \rho c v.$$

Подставляя числовые значения, найдем:

$$F_c = \rho c v S = 10^3 \cdot 1.4 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 1400 \text{ Н} = 1,4 \text{ кН}.$$

$$P = \rho c v = 10^3 \cdot 1.4 \cdot 10^3 \cdot 2 = 28 \cdot 10^5 \text{ Па} = 28 \text{ атм}.$$

Рассмотренное явление внезапного контакта воды с преградой называют гидравлическим ударом. Разрушительное действие капель также объясняется этим явлением.

Ответ: $F_c = 1,4 \text{ кН}$; $P = 28 \text{ атм}$.

26. В стакан налито $V=200$ мл воды. Найдите число молей воды, количество и концентрацию молекул, массу молекулы. Молярная масса воды $\mu=18$ г/моль, ее плотность $\rho=1$ г/см³. Число Авогадро $N_A=6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

$$\text{Дано: } \frac{V=200 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{v - ?}; \frac{\mu=18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{N - ?}; \frac{\rho=10^3 \text{ кг/м}^3}{n - ?}; \frac{N_A=6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{m_1 - ?}.$$

Решение. Число молей v (количество вещества) равно отношению массы воды m к ее молярной массе μ . Учитывая, что масса равна $m = \rho V$, имеем:

$$v = \frac{m}{\mu} = \frac{\rho V}{\mu} = \frac{10^3 \cdot 200 \cdot 10^{-6}}{18 \cdot 10^{-3}} = 11,1 \text{ моль}.$$

Число молекул воды N найдем, исходя из того, что в одном моле содержится число молекул, равное числу Авогадро N_A , согласно выражению:

$$N = \nu N_A = \frac{m}{\mu} N_A = \frac{\rho V}{\mu} N_A = \frac{10^3 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{18 \cdot 10^{-3}} = 6,7 \cdot 10^{24}.$$

Концентрация молекул n равна числу молекул, содержащихся в единице объема:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_A}{V} = \frac{m N_A}{\mu V} = \frac{\rho N_A}{\mu} = \frac{10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{18 \cdot 10^{-3}} = 3,3 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

Массу молекулы воды m_1 можно определить, разделив массу воды на число содержащихся в ней молекул, используя одно из приведенных ниже соотношений:

$$m_1 = \frac{m}{N} = \frac{\rho}{n} = \frac{\mu}{N_A}. \quad m_1 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 3,0 \cdot 10^{-26} \text{ кг}.$$

Ответ: $\nu = 11,1$ моль; $N = 6,7 \cdot 10^{24}$; $n = 3,3 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$; $m_1 = 3,0 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

27. Со дна водоема поднимается пузырек воздуха. У поверхности его диаметр оказывается в 1,3 раза большим, чем у дна. Найдите глубину водоема, если атмосферное давление равно 750 мм рт. ст., а температура воды на поверхности водоема на 5 градусов выше температуры на дне, равной $t_1 = 4^\circ \text{C}$. Плотности воды $\rho_v = 1 \text{ г/см}^3$, $\rho_p = 13,6 \text{ г/см}^3$. Ускорение силы тяжести $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Дано: $d_2 = 1,3 d_1$; $\rho_v = 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\rho_p = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $T_1 = 277 \text{ К}$; $T_2 = 282 \text{ К}$;
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $P_0 = 0,75 \text{ м рт. ст.}$
 $H - ?$

Решение. Давление P воздуха в пузырьке на дне водоема равно давлению, оказываемому на пузырек со стороны окружающей среды и определяемому как сумма атмосферного P_0 и гидростатического P_r давлений:

$$P = P_0 + P_r.$$

Гидростатическое давление (давление столба жидкости) зависит от глубины погружения H и рассчитывается по формуле $P_r = \rho_v g H$. Следовательно, давление воздуха в пузырьке на дне водоема

$$P_1 = P_0 + \rho_v g H,$$

где H – глубина водоема.

А давление воздуха в пузырьке на поверхности равно $P_2 = P_0$, так как на поверхности водоема $H = 0$. Атмосферное давление равно

$$P_0 = \rho_p g h,$$

где h – высота столбика ртути.

При подъеме пузырька со дна водоема термодинамические параметры воздуха в нем удовлетворяют объединенному газовому закону:

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

Учитывая, что

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi d_1^3 \quad \text{и} \quad V_2 = \frac{1}{6} \pi d_2^3,$$

где d_1 и d_2 – диаметры пузырька воздуха на дне и у поверхности, получаем:

$$\frac{(P_0 + \rho_{\text{в}} g H) \pi d_1^3}{6 T_1} = \frac{P_0 \pi (1,3 d_1)^3}{6 T_2}.$$

Решая это уравнение относительно H , находим:

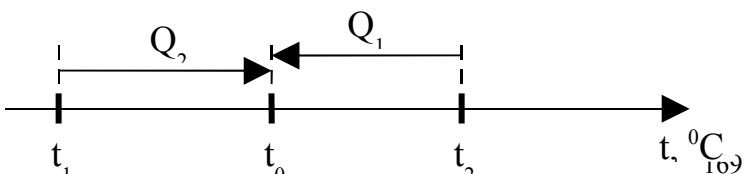
$$\begin{aligned} H &= \left((1,3)^3 \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \frac{P_0}{\rho_{\text{в}} g} = \left((1,3)^3 \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \frac{\rho_p g h}{\rho_{\text{в}} g} = \left((1,3)^3 \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \frac{\rho_p h}{\rho_{\text{в}}} = \\ &= \left((1,3)^3 \frac{277}{282} - 1 \right) \frac{13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,75}{10^3} = 11,8 \text{ м.} \end{aligned}$$

Ответ: $H = 11,8$ м.

28. Для измерения температуры воды, имеющей массу $m_{\text{в}} = 7,3$ г в нее погрузили термометр, который показал $t_0 = 32,4$ °С. Какова действительная температура t_2 воды, если теплоемкость термометра $C = 1,9$ Дж/К и перед погружением в воду он показывал $t_1 = 17,8$ °С? Удельная теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К). Потерями тепла во время измерения пренебрегайте.

Дано: $m_{\text{в}} = 7,3 \cdot 10^{-3}$ кг; $t_0 = 32,4$ °С; $t_1 = 17,8$ °С; $C = 1,9$ Дж/К; $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К).
 t_2 –?

Решение. При составлении уравнения теплового баланса часто бывает полезным рису-



нок, на котором изображена температурная ось t с обозначениями точек (температур) согласно условию задачи. Для данной задачи на температурной оси всего три точки t_1 , t_0 , t_2 . Согласно уравнению теплового баланса (закону сохранению энергии при тепловых процессах) количество теплоты Q_1 , теряемое водой при остывании от t_2 до t_0 равно количеству теплоты, необходимому для нагрева термометра от t_1 до t_0 :

$$Q_1 = Q_2, \quad \text{т.е.} \quad C(t_0 - t_1) = c_B m_B (t_2 - t_0).$$

Из этого уравнения находим искомую исходную температуру воды до погружения в нее термометра:

$$t_2 = t_0 + \frac{C(t_0 - t_1)}{c_B m_B} = 32,4 + \frac{1,9(32,4 - 17,8)}{4,2 \cdot 10^3 \cdot 7,3 \cdot 10^{-3}} = 33,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Примечание. Если в процессе теплообмена участвуют более двух тел и процесс идет с фазовыми превращениями – плавлением или парообразованием, то число точек на температурной оси будет более трех, а число слагаемых в уравнении теплового баланса будет более двух.

Ответ: $t_2 = 33,3 \text{ } ^\circ\text{C}$.

29. Какое количество бензина потребуется автомобилю, чтобы проехать со скоростью $v = 72 \text{ км/ч}$ в течение $t = 2$ часов, если масса машины $m_a = 10 \text{ т}$, КПД двигателя $\eta = 28 \text{ } \%$, а сопротивление движению составляет $\mu = 0,04$ силы тяжести автомобиля? Найдите силу тяги, мощность двигателя и расход горючего на $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ работы. Ускорение силы тяжести $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Удельная теплота сгорания бензина $q = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$, а его плотность $\rho = 0,7 \text{ г/см}^3$.

Дано: $v=20 \text{ м/с}; \quad t=7200 \text{ с}; \quad m_a=10^4 \text{ кг}; \quad \eta=0,28; \quad \mu=0,04;$
 $q=4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}; \quad \rho=0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}=3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$
 $m_{\text{б}} - ? \quad V_{\text{б}} - ? \quad F_{\text{т}} - ? \quad P_{\text{пол}} - ? \quad \alpha - ?$

Решение. При равномерном движении ($v = \text{const}$, ускорение $a = 0$) по горизонтальной дороге сила тяги $F_{\text{т}}$, развиваемая двигателем, равна силе сопротивления движению $F_{\text{с}}$, равной согласно условию задачи $\mu = 0,04$ от силы тяжести $m_a g$ автомобиля:

$$F_{\text{т}} = F_{\text{с}} = \mu m_a g = 0,04 \cdot 10^4 \cdot 9,8 = 3,92 \cdot 10^3 \text{ Н} = 3,92 \text{ кН}.$$

Работа силы тяги двигателя $A_{\text{пол}}$ (полезная работа), выполняемая при движении автомобиля, равна произведению силы тяги $F_{\text{т}}$ на путь $S = vt$, пройденный автомобилем:

$$A_{\text{пол}} = F_{\text{т}} \cdot S = F_{\text{с}} \cdot vt = \mu m_a g \cdot vt = 0,04 \cdot 10^4 \cdot 9,8 \cdot 20 \cdot 7200 =$$

$$= 5,64 \cdot 10^8 \text{ Дж} = \frac{5,64 \cdot 10^8}{3,6 \cdot 10^6} \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 157 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Мощность $P_{\text{пол}}$, развиваемая двигателем, рассчитывается как отношение выполненной работы $A_{\text{пол}}$ ко времени t , в течение которого она выполнялась:

$$P_{\text{пол}} = \frac{A_{\text{пол}}}{t} = \frac{F_T \cdot S}{t} = F_T \cdot v = 3,92 \cdot 10^3 \cdot 20 = 7,84 \cdot 10^4 \text{ Вт} = \frac{7,84 \cdot 10^4}{735} \text{ л.с.} = 106,7 \text{ л.с.}$$

(здесь учтено, что 1 л.с. = 1 лошадиная сила = 735 Вт)

Коэффициент полезного действия равен отношению полезной работы $A_{\text{пол}}$, выполненной для перемещения автомобиля, к количеству теплоты $Q_{\text{зат}}$, выделенной при сгорании бензина в двигателе автомобиля:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{зат}}} = \frac{A_{\text{пол}}}{m_{\text{б}} \cdot q},$$

где $m_{\text{б}}$ – масса бензина.

Из последнего уравнения находим:

$$m_{\text{б}} = \frac{A_{\text{пол}}}{\eta \cdot q} = \frac{5,64 \cdot 10^8}{0,28 \cdot 4,6 \cdot 10^7} = 43,8 \text{ кг}.$$

Объем израсходованного бензина $V_{\text{б}}$ найдем как отношение массы $m_{\text{б}}$ к плотности ρ бензина:

$$V_{\text{б}} = \frac{m_{\text{б}}}{\rho} = \frac{43,8}{0,7 \cdot 10^3} = 62,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 62,6 \text{ л}.$$

Расход горючего (бензина) на 1 кВт·ч работы равен отношению массы $m_{\text{б}}$ израсходованного бензина к совершенной полезной работе $A_{\text{пол}}$, выраженной в киловатт-часах:

$$\alpha = \frac{m_{\text{б}}}{A_{\text{пол}}} = \frac{43,8}{157} = 0,28 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} = 280 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

$$\text{Ответ: } F_T = 3,92 \text{ кН; } P_{\text{пол}} = 106,7 \text{ л.с.; } m_{\text{б}} = 43,8 \text{ кг; } V_{\text{б}} = 62,6 \text{ л; } \alpha = 280 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

30. В сосуд с ртутью опустили стеклянную капиллярную трубку. Разность уровней ртути в сосуде и капилляре равна $h = 7,5$ мм. Считая несмачивание полным (краевой угол $\varphi = 180^\circ$), определите радиус R кривизны ртутного мениска в капилляре. Плотность ртути $\rho = 13,6 \text{ г/см}^3$, ее коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 0,5 \text{ Н/м}$. Ускорение силы тяжести $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Дано: $h = 7,5 \cdot 10^{-3}$ м; $\rho = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³; $\sigma = 0,5$ Н/м; $g = 9,8$ м/с².
R –?

Решение. Давление Лапласа, вызванное кривизной мениска ртути, равно:

$$P = \frac{2\sigma}{R},$$

где R – радиус кривизны мениска в капилляре.

Так как ртуть не смачивает стекло, то она в трубке опускается на такую высоту h, когда гидростатическое давление, равное ρgh , будет уравновешено давлением Лапласа:

$$\frac{2\sigma}{R} = \rho gh,$$

откуда находим

$$R = \frac{2\sigma}{\rho gh} = \frac{2 \cdot 0,5}{13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}} = 10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}.$$

При полном несмачивании радиус R кривизны мениска совпадает с радиусом капиллярной трубки. Значит, радиус капилляра 1 мм.

Примечание. Используя прием решения этой задачи, можно выяснить условия, при которых можно носить воду в решете. Допустим, решето имеет систему отверстий диаметром (размером) $d = 1$ мм. Если вода ($\sigma = 0,07$ Н/м) не смачивает материал решета, то вода в решете будет удерживаться на уровне h, определяемом условием:

$$\frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{d} = \rho gh,$$

откуда

$$h = \frac{4\sigma}{\rho gd} = \frac{4 \cdot 0,07}{10^3 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}} = 0,03 \text{ м} = 3 \text{ см}.$$

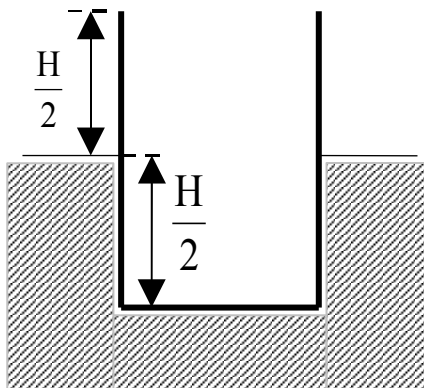
Таким образом, если в такое решето налить воду, то вода может удерживаться на максимальном уровне $h = 3$ см от дна. Причем эту воду из решета не удастся вылить через край решета, так как при наклоне решета уровень превысит $h = 3$ см, и вода будет выливаться сквозь отверстия.

Ответ: $R = 1$ мм.

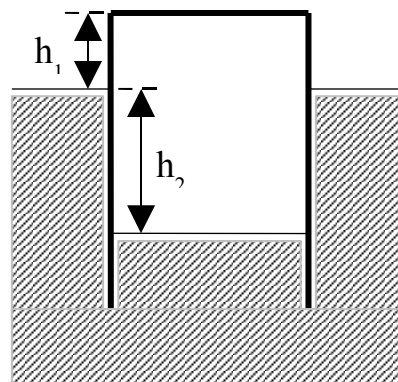
31. Тонкостенный стакан плавает в воде, погрузившись наполовину. насколько изменится глубина погружения, если стакан поставить в воду вверх дном. Температура воздуха в стакане постоянна. Высота стакана H . Атмосферное давление P_0 . Плотность воды ρ . Ускорение силы тяжести g .

Дано: $H; P_0; \rho; g$.
 $\Delta h - ?$

Решение. Сделаем рисунок, на котором изобразим положение стакана в обоих случаях. В позиции (а) стакан плавает, погрузившись на $\frac{H}{2}$, и на $\frac{H}{2}$ край стакана выступает над уровнем воды. В позиции (в) для перевернутого стакана: на h_1 дно стакана выступает над уровнем воды, h_2 – разница уровней воды в стакане и вне стакана.



(а)



(в)

1) Для изотермического процесса для воздуха в стакане применяем закон Бойля – Мариотта:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad \text{или} \quad P_0 H S = (P_0 + \rho g h_2)(h_1 + h_2) S,$$

где S – площадь поперечного сечения стакана.

2) Если записывать условия плавания стакана, то в обоих случаях сила тяжести стакана mg (m – масса стакана) уравнивается выталкивающими силами (Архимеда). Поэтому в качестве второго уравнения записываем:

$$mg = F_{\text{Арх1}} = F_{\text{Арх2}}, \quad \text{т.е.} \quad F_{\text{Арх1}} = F_{\text{Арх2}},$$

или

$$\rho g \frac{H}{2} S = \rho g h_2 S,$$

откуда находим

$$h_2 = \frac{H}{2}.$$

Подставляем это значение $h_2 = \frac{H}{2}$ в первое уравнение

$$P_0 H S = (P_0 + \rho g \frac{H}{2}) \cdot (h_1 + \frac{H}{2}) S,$$

откуда находим

$$h_1 = \frac{H}{2} \cdot \frac{2P_0 - \rho g H}{2P_0 + \rho g H}.$$

А приращение глубины погружения стакана равно (см. рисунок):

$$\Delta h = \frac{H}{2} - h_1 = \frac{H}{2} - \frac{H}{2} \cdot \frac{2P_0 - \rho g H}{2P_0 + \rho g H} = H \left(1 + \frac{2P_0}{\rho g H} \right)^{-1}.$$

$$\text{Ответ: } \Delta h = H \left(1 + \frac{2P_0}{\rho g H} \right)^{-1}.$$

32. Найдите значение избыточного давления внутри мыльного пузыря радиусом $R = 0,5$ см. Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора $\sigma = 0,04$ Н/м.

$$\text{Дано: } R = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м; } \sigma = 0,04 \text{ Н/м.} \\ P_{\text{избыт}} - ?$$

Решение. Давление P внутри мыльного пузыря равно:

$$P = P_0 + P_{\text{избыт}},$$

где P_0 – атмосферное давление, $P_{\text{избыт}}$ – избыточное давление, создаваемое искривленным поверхностным слоем мыльной воды.

Избыточное давление $P_{\text{избыт}}$ равно удвоенному давлению Лапласа:

$$P_{\text{избыт}} = 2 \cdot \frac{2\sigma}{R},$$

множитель 2 перед дробью (давлением Лапласа) поставлен потому, что мыльный пузырь имеет две поверхности – внешнюю и внутреннюю.

Итак,

$$P_{\text{избыт}} = 2 \cdot \frac{2\sigma}{R} = 2 \cdot \frac{2 \cdot 0,04}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 32 \text{ Па.}$$

Значение $P_{\text{избыт}}$ обратно пропорционально радиусу R пузырька. При закипании воды при малых R , например, в пузырьках воздуха в воде давление $P_{\text{избыт}}$ может быть сравнимо с атмосферным давлением. Правда в этом случае поверхность пузырька одинарная, и $P_{\text{избыт}} = \frac{2\sigma}{R}$.

Ответ: $P_{\text{избыт}} = 32 \text{ Па}$.

33. Гелий из состояния с температурой $T_1 = 200 \text{ К}$ расширяется в процессе $PV^2 = \text{const}$ (P – давление, V – объем газа) с постоянной теплоемкостью C . От газа отвели количество теплоты $Q = 400 \text{ Дж}$, и конечный объем газа стал вдвое больше начального. Определите теплоемкость C .

Дано: $T_1 = 200 \text{ К}$; $PV^2 = \text{const}$; $Q = 400 \text{ Дж}$; $V_2/V_1 = 2$.
 C –?

Решение. Запишем уравнение процесса и уравнение Клапейрона для гелия:

$$PV^2 = \text{const}, \quad \frac{PV}{T} = \text{const}.$$

Поделив почленно первое уравнение на второе, имеем:

$$VT = \text{const}.$$

Последнее уравнение для перехода гелия из состояния 1 в состояние 2 записывается так:

$$V_1 T_1 = V_2 T_2,$$

из которого находим температуру гелия в конечном состоянии

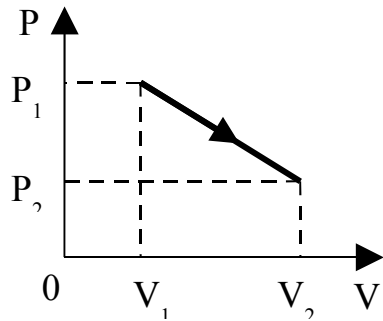
$$T_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot T_1 = \frac{1}{2} \cdot 200 = 100 \text{ К}.$$

Теплоемкость C по определению равна количеству теплоты, необходимому для изменения температуры системы (газа) на 1 К :

$$C = \frac{|Q|}{|T_2 - T_1|} = \frac{400}{200 - 100} = 4 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Ответ: $C = 4 \text{ Дж/К}$.

34. С азотом произошел процесс, изображенный на рисунке в координатах P-V. Определите температуру газа T в этом процессе, когда его объем равен V=1,1 л, если масса азота равна m=0,56 г; P₁=100 кПа; V₁=0,5 л; P₂=40 кПа; V₂=1,5 л. Молярная масса азота μ=28 г/моль. Универсальная газовая постоянная R=8,31 Дж/(моль·К).



Дано: $P_1 = 100 \cdot 10^3 \text{ Па}$; $V_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $P_2 = 40 \cdot 10^3 \text{ Па}$; $V_2 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
 $\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $V = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $R = 8,31 \text{ Дж/(моль·К)}$.
 T –?

Решение. Процесс, происходящий с газом (см. рисунок), можно выразить уравнением:

$$P = P_0 - \alpha V,$$

где P₀ – значение давления при нулевом объеме, α – угловой коэффициент в зависимости P(V).

Запишем это уравнение процесса для состояний 1 и 2:

$$P_1 = P_0 - \alpha V_1,$$

$$P_2 = P_0 - \alpha V_2.$$

Из этих уравнений выразим постоянные α и P₀:

$$\alpha = \frac{P_1 - P_2}{V_2 - V_1}; \quad P_0 = P_1 + \frac{P_1 - P_2}{V_2 - V_1} \cdot V_1.$$

Для промежуточного состояния запишем уравнение процесса и уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$P = P_0 - \alpha V, \quad PV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Из этих уравнений с учетом выражений для α и P₀ найдем искомую температуру T:

$$\begin{aligned} T &= \frac{PV\mu}{mR} = \frac{V\mu}{mR} \cdot P = \frac{V\mu}{mR} \cdot (P_0 - \alpha V) = \frac{V\mu}{mR} \cdot \left(P_1 + \frac{P_1 - P_2}{V_2 - V_1} \cdot V_1 - \alpha V \right) = \\ &= \frac{V\mu}{mR} \cdot \left(P_1 + \frac{P_1 - P_2}{V_2 - V_1} \cdot V_1 - \frac{P_1 - P_2}{V_2 - V_1} \cdot V \right) = \frac{V\mu}{mR} \cdot \left(P_1 + \frac{P_1 - P_2}{V_2 - V_1} \cdot (V_1 - V) \right) = \end{aligned}$$

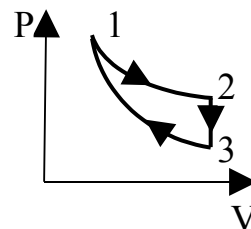
$$= \frac{1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{0,56 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} \cdot \left(100 \cdot 10^3 + \frac{100 \cdot 10^3 - 40 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,5 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 10^{-3}) \right) =$$

$$= 424 \text{ К.}$$

Ответ: $T = 424 \text{ К.}$

35. Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу (см. рисунок), состоящему из изотермы 1-2, изохоры 2-3 и адиабаты 3-1, равен η . Разность максимальной и минимальной температур газа в цикле равна ΔT . Найдите работу, совершенную ν молями одноатомного идеального газа в изотермическом процессе.

Дано: $\eta; T_1 - T_3 = \Delta T; T_1 = T_2; i = 3; \nu; R = 3.$
 $A_{12} - ?$



Решение. К каждому из трех процессов на участках 1-2, 2-3, 3-1 рассматриваемого цикла будем применять первый закон термодинамики – количество теплоты ΔQ , переданное системе, идет на изменение внутренней энергии ΔU системы и на совершение системой работы ΔA против внешних сил:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + P \Delta V,$$

где i – число степеней свободы молекул газа; ν – количество вещества; R – газовая постоянная; P – давление; ΔT и ΔV – изменения температуры и объема в рассматриваемом элементарном процессе.

Участок 1-2 – изотерма, температуры в состояниях 1 и 2 одинаковы, т.е. $T_1 = T_2$. Поэтому на этом участке внутренняя энергия не меняется, т.е. $\Delta U_{12} = 0$. И работа A_{12} совершается за счет теплоты $Q_{12} = Q_1$, получаемой тепловой машиной от нагревателя:

$$A_{12} = Q_1.$$

Участок 2-3 – изохора, объемы в состояниях 2 и 3 одинаковы, т.е. $V_2 = V_3$. Поэтому на этом участке работа не совершается, т.е. $A_{23} = 0$. На участке 2-3 температура понижается, и убыль внутренней энергии $\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$ производится за счет передачи теплоты $Q_{23} = Q_2$ холодильнику:

$$Q_2 = \frac{i}{2} \nu R \Delta T.$$

Участок 3-1 – адиабата, на этом участке процесс происходит без теплообмена с окружающей средой:

$$Q_3 = 0.$$

Коэффициент полезного действия η тепловой машины по определению равен:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

В полученное уравнение для η вместо Q_1 и Q_2 подставим их выражения, записанные выше:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T}{A_{12}},$$

откуда найдем искомую работу:

$$A_{12} = \frac{3 \nu R \Delta T}{2(1 - \eta)}.$$

Ответ: $A_{12} = \frac{3 \nu R \Delta T}{2(1 - \eta)}.$

36. Один моль идеального газа совершает замкнутый процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар (см. Рисунок). Температура в точке 1 равна T_1 , а в точке 3 равна T_3 . Точки 2 и 4 лежат на одной изотерме. Чему равна работа газа за цикл? Универсальная газовая постоянная равна R .

Дано: $R; T_1; T_3; T_4 = T_2; P_3$
 $P_1; V_2 = V_1; V_3 = V_4; \nu = 1 \text{ моль}.$

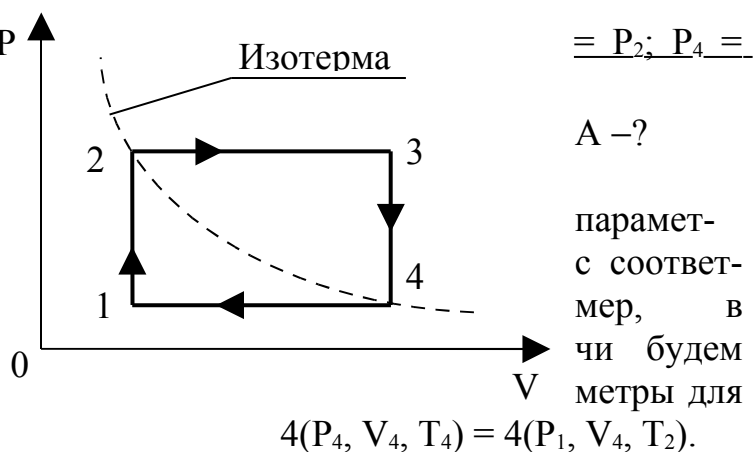
Решение. В каждой точке состояния будем обозначать соответствующими индексами. Напрямую в точке 4 с учетом условия задачи использовать следующие параметры: давления, объема, температуры:

Используя уравнение Клапейрона

$$\frac{PV}{T} = \text{const},$$

запишем уравнения изопроцессов 1-2, 2-3, 3-4, 4-1.

Из уравнений изохор 1-2 и 3-4



$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, \quad \frac{P_2}{T_3} = \frac{P_1}{T_2}$$

получаем выражение:

$$P_1 = P_2 \cdot \sqrt{\frac{T_1}{T_3}}. \quad (*)$$

Из уравнений изобар 2-3 и 4-1

$$\frac{V_1}{T_2} = \frac{V_4}{T_3}, \quad \frac{V_4}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$$

получаем соотношения:

$$V_4 = V_1 \cdot \frac{T_3}{T_2}, \quad T_2 = \sqrt{T_1 \cdot T_3}. \quad (**)$$

Работа газа за цикл равна площади фигуры (в данном случае площади прямоугольника) на диаграмме в координатах P-V:

$$A = (P_2 - P_1) \cdot (V_4 - V_1).$$

Преобразуем записанное выражение для работы с учетом соотношений (*) и (**):

$$\begin{aligned} A &= (P_2 - P_1) \cdot (V_4 - V_1) = P_2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_3}}\right) \cdot V_1 \cdot \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right) = \\ &= P_2 V_2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_3}}\right) \cdot \left(\frac{T_3}{\sqrt{T_1 T_3}} - 1\right). \end{aligned}$$

Преобразуем полученное выражение для работы с учетом уравнения состояния в точке 2:

$$P_2 V_2 = \nu R T_2, \quad (\nu = 1 \text{ моль}).$$

Итак, имеем:

$$A = P_2 V_2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_3}}\right) \cdot \left(\frac{T_3}{\sqrt{T_1 T_3}} - 1\right) = R T_2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_3}}\right) \cdot \left(\sqrt{\frac{T_3}{T_1}} - 1\right) =$$

$$= R \sqrt{T_1 \cdot T_3} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_3}}\right) \cdot \left(\sqrt{\frac{T_3}{T_1}} - 1\right) = R \cdot \left(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1}\right)^2.$$

Ответ: $A = R \cdot \left(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1}\right)^2.$

37. Изображение предмета находится на расстоянии b от заднего фокуса, а предмет – на расстоянии a от переднего фокуса собирающей линзы. Определите увеличение Γ линзы.

Дано: $f = F + b$; $d = F + a$.
 Γ –?

Решение. Согласно условию задачи расстояние от линзы до изображения равно

$$f = F + b,$$

расстояние от линзы до предмета равно

$$d = F + a,$$

где F - фокусное расстояние линзы.

Запишем формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F + b} + \frac{1}{F + a},$$

из которой находим фокусное расстояние

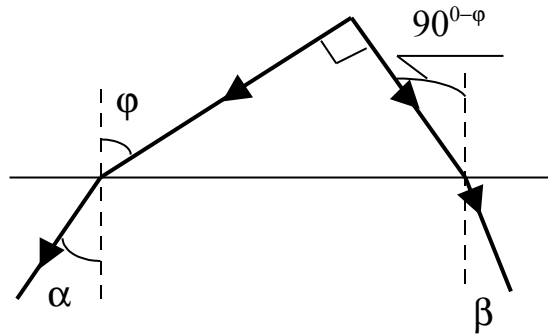
$$F = \sqrt{ab}.$$

Увеличение Γ линзы равно отношению расстояния от линзы до изображения f к расстоянию от предмета до линзы:

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{F + b}{F + a} = \frac{\sqrt{ab} + b}{\sqrt{ab} + a} = \frac{\sqrt{b}(\sqrt{a} + \sqrt{b})}{\sqrt{a}(\sqrt{b} + \sqrt{a})} = \sqrt{\frac{b}{a}}.$$

Ответ: $\Gamma = \sqrt{\frac{b}{a}}.$

38. Два взаимно перпендикулярных луча падают из воздуха на поверхность жидкости. При этом один луч преломляется под углом $\alpha = 36^\circ$, а другой преломляется под углом $\beta = 20^\circ$ (см. рисунок). Определите показатель преломления жидкости.



Дано: $\alpha = 36^\circ$; $\beta = 20^\circ$.
 $n - ?$

Решение. Если нет специальных указаний, полагают, что абсолютный показатель преломления воздуха, как и у вакуума, равен 1.

Из того, что лучи, падающие на поверхность жидкости, взаимно перпендикулярны, следует, что если угол падения первого луча равен φ , то угол падения второго луча будет равен $(90^\circ - \varphi)$. Запишем законы преломления первого и второго лучей на границе воздух-жидкость:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} = n, \quad \frac{\sin(90^\circ - \varphi)}{\sin \beta} = \frac{\cos \varphi}{\sin \beta} = n.$$

Поделив почленно первое уравнение на второе, имеем:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \text{и} \quad \varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin 36^\circ}{\sin 20^\circ} \right) = 60^\circ.$$

Из закона преломления первого луча находим:

$$n = \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 36^\circ} = 1,5.$$

Ответ: $n = 1,5$.

39. Плосковыпуклая линза с показателем преломления $n=1,6$ выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус третьего светлого кольца в отраженном свете ($\lambda=0,6$ мкм) равен $r_3=0,9$ мм. Определите фокусное расстояние F линзы.

Дано: $n = 1,6$; $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6}$ м; $r_3 = 0,9 \cdot 10^{-3}$ м; $m = 3$.
 $F - ?$

Решение. Радиус m -го светлого кольца Ньютона r_m в отраженном свете определяется соотношением:

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda R},$$

где λ - длина волны монохроматического света, падающего на линзу, m – номер кольца, R – радиус кривизны выпуклой стороны линзы (плоская сторона имеет радиус кривизны $R_{пл} \rightarrow \infty$).

Из этого соотношения выражаем R:

$$R = \frac{r_m^2}{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda}.$$

Запишем формулу тонкой линзы:

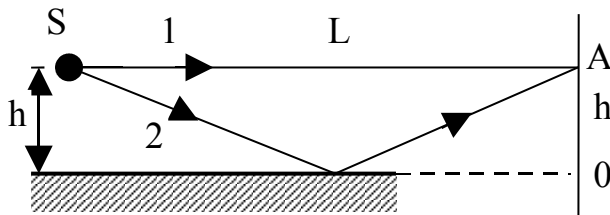
$$\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_{\text{III}}} \right) = (n-1) \frac{1}{R},$$

откуда находим фокусное расстояние линзы:

$$F = \frac{R}{n-1} = \frac{r_m^2}{(n-1) \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda} = \frac{(0,9 \cdot 10^{-3})^2}{(1,6-1) \cdot \left(3 - \frac{1}{2}\right) \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}} = 0,9 \text{ м.}$$

Ответ: $F = 0,9$ м.

40. На рисунке представлена схема получения интерференции света с помощью плоского зеркала. Центральный интерференционный максимум наблюдается в точке 0 экрана. Расстояние от источника S до зеркала равно h , длина волны источника $\lambda = 600$ нм. Луч 1 идет параллельно зеркалу и попадает в точку A экрана, где наблюдается второй интерференционный минимум. Чему равно расстояние h в этом опыте, если расстояние от источника до экрана $L = 20$ м?



Дано: $L = SA = 20 \text{ м}; m = 2; \lambda = 600 \cdot 10^{-9} \text{ м}.$
 $h - ?$

Решение. Интерференционный минимум наблюдается, если на разности хода ΔL лучей 1 и 2 укладывается нечётное число полуволн:

$$\Delta L = (2m - 1) \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где m – порядок интерференционного минимума.

Из приведенного рисунка найдем разность хода лучей 1 и 2:

$$\Delta L = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + h^2} - L = L \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{L}\right)^2} - 1 \right) \approx L \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2h}{L}\right)^2 - 1 \right) = \frac{2h^2}{L}.$$

В этих преобразованиях воспользовались следующим математическим приемом:

$$(1+x)^n \approx 1 + nx, \quad \text{при } x \ll 1.$$

В нашем случае $2h \ll L$, и этот прием уместен.

Далее приравняем правые части записанных выражений для разности хода ΔL и найдем искомую величину h :

$$(2m-1) \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{2h^2}{L} \Rightarrow h = \frac{\sqrt{(2m-1)\lambda L}}{2} = \frac{\sqrt{(2 \cdot 2 - 1) \cdot 600 \cdot 10^{-9} \cdot 20}}{2} = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм}.$$

Ответ: $h = 3 \text{ мм}$.

41. Определите длину волны λ монохроматического света, если в установке Юнга расстояние между щелями равно $d=0,6 \text{ мм}$, расстояние от щелей до экрана $L=4,6 \text{ м}$ и расстояние от главного до первого максимума $\Delta x=3,8 \text{ мм}$. Экран и плоскость, в которой лежат щели, параллельны друг другу.

$$\text{Дано: } \underline{\Delta x = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ м; } d = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м; } L = 4,6 \text{ м.}} \\ \lambda - ?$$

Решение. Воспользуемся известным выражением для ширины интерференционной полосы Δx в схеме Юнга:

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot L}{d},$$

где Δx – ширина интерференционной полосы (расстояние между соседними интерференционными максимумами или минимумами на экране), d – расстояние между источниками или щелями, как в нашем случае.

Из приведенного соотношения выразим искомую длину волны λ :

$$\lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{L} = \frac{3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}}{4,6} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,5 \text{ мкм.}$$

Ответ: $\lambda = 0,5 \text{ мкм.}$

42. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Определите угол дифракции φ_2 для линии $\lambda_2 = 0,55 \text{ мкм}$ в $m_2 = 4$ порядке, если угол дифракции для линии $\lambda_1 = 0,6 \text{ мкм}$ в $m_1 = 3$ порядке составляет $\varphi_1 = 30^\circ$.

Дано: $\lambda_2 = 0,55 \text{ мкм}; m_2 = 4; \lambda_1 = 0,6 \text{ мкм}; \varphi_1 = 30^\circ$.
 $\varphi_2 = ?$

Решение. Запишем условия главных дифракционных максимумов для обоих случаев:

$$d \cdot \sin \varphi_1 = m_1 \cdot \lambda_1, \quad d \cdot \sin \varphi_2 = m_2 \cdot \lambda_2.$$

Поделим оба уравнения почленно друг на друга и выразим искомый угол φ_2 :

$$\sin \varphi_2 = \frac{m_2 \lambda_2}{m_1 \lambda_1} \cdot \sin \varphi_1 \Rightarrow \varphi_2 = \arcsin\left(\frac{m_2 \lambda_2}{m_1 \lambda_1} \cdot \sin \varphi_1\right) = \arcsin\left(\frac{4 \cdot 0,55}{3 \cdot 0,6} \cdot \sin 30^\circ\right) = 38^\circ.$$

Ответ: $\varphi_2 = 38^\circ$.

43. Отрицательно заряженная цинковая пластинка освещается монохроматическим светом длиной волны $\lambda = 300 \text{ нм}$. Красная граница фотоэффекта для цинка составляет $\lambda_{\text{кр}} = 332 \text{ нм}$. Какой максимальный потенциал приобретет цинковая пластинка? Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Дано: $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}; c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \lambda_{\text{кр}} = 332 \cdot 10^{-9} \text{ м}; \lambda = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.
 $U = ?$

Решение. Так как $\lambda < \lambda_{\text{кр}}$, то внешний фотоэффект с цинковой пластинки возможен. Поскольку при фотоэффекте цинковую пластинку покидают отрицательно заряженные фотоэлектроны, то пластинка приобретет положительный потенциал. Таким образом, первоначально отрицательно заряженная цинковая пластинка перезарядится.

Согласно закону Эйнштейна для фотоэффекта максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов ϵ_k равна разности энергии фотона (hc/λ) и работы выхода ($hc/\lambda_{\text{кр}}$):

$$\epsilon_k = \frac{m \cdot v_{\max}^2}{2} = h \cdot \frac{c}{\lambda} - h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} = \frac{hc(\lambda_{\text{кр}} - \lambda)}{\lambda \lambda_{\text{кр}}}.$$

Потенциал точек, находящихся на бесконечности, полагают равным нулю. Поэтому разность потенциалов U между точками на пластинке и удаленными точками равна потенциалу пластинки. В стационарном режиме освещения пластинки, когда пластинка приобретет максимальный положительный потенциал, на отрицательные фотоэлектроны действует тормозящее электрическое поле. При этом электроны, вылетая из пластинки с максимальной скоростью $v_{\max}$, на бесконечности имеют нулевую скорость. Вследствие этого в стационарном режиме максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов ϵ_k равна произведению элементарного заряда на тормозящую разность потенциалов U :

$$\epsilon_k = eU, \quad \text{или} \quad \frac{hc(\lambda_{\text{кр}} - \lambda)}{\lambda \lambda_{\text{кр}}} = eU,$$

откуда находим

$$U = \frac{hc(\lambda_{\text{кр}} - \lambda)}{e\lambda \lambda_{\text{кр}}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot (332 - 300) \cdot 10^{-9}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 300 \cdot 10^{-9} \cdot 332 \cdot 10^{-9}} = 0,4 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 0,4 \text{ В.}$

44. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $A=4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом, у которого длина волны $\lambda=300$ нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле индукцией $B=8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Чему равен максимальный радиус окружности R , по которой движутся электроны? Скорость света $c=3 \cdot 10^8$ м/с, постоянная Планка $h=6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, элементарный заряд $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса электрона $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

$$\begin{aligned} \text{Дано: } e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл; } m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг; } h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с; } c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с;} \\ B &= 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ Тл; } \lambda = 300 \cdot 10^{-9} \text{ м; } A = 4,42 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.} \\ R &= ? \end{aligned}$$

Решение. Фотоэлектроны, влетевшие со скоростью v в однородное магнитное поле с индукцией B перпендикулярно линиям индукции, движутся по окружности. Радиус окружности находим из уравнения движения электрона, приравняв магнитную составляющую силы Лоренца центростремительной силе (произведению массы электрона на центростремительное ускорение):

$$evB = m \frac{v^2}{R},$$

откуда находим радиус окружности

$$R = \frac{m}{eB} \cdot v.$$

Получили, что радиус окружности пропорционален скорости, т.е. фотоэлектроны с максимальной скоростью будут двигаться по окружности максимального радиуса. Эту скорость найдем из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2},$$

где v – максимальная скорость фотоэлектронов.

Выразим эту скорость v и подставим в выражение для радиуса окружности:

$$\begin{aligned} R &= \frac{m}{eB} \cdot v = \frac{m}{eB} \cdot \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} = \frac{1}{eB} \sqrt{2m \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} = \\ &= \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,3 \cdot 10^{-4}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left(\frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} - 4,42 \cdot 10^{-19} \right)} = \\ &= 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,8 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Ответ: $R = 4,8 \text{ мм}$.

45. Пучок ультрафиолетовых лучей с длиной волны $\lambda = 10^{-7} \text{ м}$ передает металлической поверхности мощность $P = 10^{-6} \text{ Вт}$. Определите силу возникающего фототока, если фотоэффект вызывает $\eta = 1 \%$ падающих фотонов. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

$$\begin{aligned} \text{Дано: } \lambda &= 10^{-7} \text{ м; } P = 10^{-6} \text{ Вт; } \eta = 0,01; h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}; \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с; } e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}. \\ I &= ? \end{aligned}$$

Решение. Энергия, передаваемая металлической поверхности за время t , равна произведению мощности на время, т.е. равна Pt . С другой стороны эта

энергия равна произведению числа фотонов N на энергию одного фотона, т.е. равна $N \cdot hc/\lambda$. Приравняем выражения для этих энергий

$$Pt = N \cdot \frac{hc}{\lambda},$$

откуда найдем число фотонов, падающих на металлическую поверхность за время t :

$$N = \frac{Pt\lambda}{hc}.$$

Определим число n фотонов, вызывающих фотоэффект, как долю η от общего их числа N :

$$n = \eta \cdot N = \eta \cdot \frac{Pt\lambda}{hc}.$$

Число фотоэлектронов равно n , переносимый ими заряд Q равен произведению числа фотоэлектронов n на элементарный заряд e :

$$Q = ne = \eta \cdot \frac{Pt\lambda}{hc} \cdot e.$$

Сила тока по определению равна заряду, уносимому с поверхности металлической поверхности в единицу времени:

$$I = \frac{Q}{t} = \eta \cdot \frac{P\lambda}{hc} \cdot e = 0,01 \cdot \frac{10^{-6} \cdot 10^{-7}}{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 8 \cdot 10^{-10} \text{ A}.$$

Ответ: $I = 8 \cdot 10^{-10} \text{ A}$.

46. Во сколько раз отличаются напряженности E электрического поля на второй и третьей боровских орбитах атома водорода?

Дано: $n_2 = 2; n_3 = 3$.
 $E_2/E_3 - ?$

Решение. Если обозначить радиус первой ($n = 1$) боровской орбиты через R_1 , то радиус n -й орбиты выражается так:

$$R_n = R_1 \cdot n^2.$$

Поэтому радиусы второй и третьей орбит можем записать следующим образом:

$$R_2 = R_1 \cdot n_2^2 \quad \text{и} \quad R_3 = R_1 \cdot n_3^2.$$

Поделив почленно второе выражение на первое, имеем:

$$\frac{R_3}{R_2} = \frac{n_3^2}{n_2^2} = \left(\frac{n_3}{n_2} \right)^2.$$

Заряд ядра атома водорода равен элементарному заряду e . Напряженность электрического поля на боровских орбитах находим как напряженность поля точечного заряда:

$$\frac{E_2}{E_3} = k \frac{e}{R_2^2} : k \frac{e}{R_3^2} = \left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 = \left(\frac{R_1 \cdot n_3^2}{R_1 \cdot n_2^2} \right)^2 = \left(\frac{n_3}{n_2} \right)^4 = \left(\frac{3}{2} \right)^4 = 5.$$

Ответ: $\frac{E_2}{E_3} = 5.$

47. Рентгеновское (тормозное) излучение возникает при бомбардировке быстрыми электронами металлического антикатада рентгеновской трубки. Определите длину волны коротковолновой границы спектра тормозного излучения, если скорость электронов составляет $\eta = 40\%$ от скорости света в вакууме. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Масса покоя электрона $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Дано: $\eta = 0,4$; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.
 $\lambda - ?$

Решение. При внешнем фотоэффекте энергия фотона преобразуется в энергию фотоэлектрона, причем часть энергии фотона идет на совершение работы выхода из металла. В рентгеновской трубке ускоренные сильным электрическим полем электроны попадают на металлический анод, и энергия электрона преобразуется в энергию фотона (в этом случае если бы нужно было вести речь о работе выхода, то из-за малости работы выхода по сравнению с энергией быстрых электронов ею можно было пренебречь). При этом энергию (кинетическую энергию) электрона приравнивают максимальной энергии фотона. Такой фотон имеет максимально возможную частоту и минимально возможную (короткую) длину волны. Для нахождения длины волны рентгеновского излучения кинетическую энергию электрона приравняем энергии фотона.

Скорость электронов v сравнима со скоростью света c в вакууме ($v = \eta c$), поэтому воспользуемся релятивистским выражением для кинетической энергии ϵ_k электрона:

$$\epsilon_k = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\eta c}{c}\right)^2}} - m_0c^2 = m_0c^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \eta^2}} - 1 \right).$$

Теперь приравняем энергию фотона кинетической энергии электрона ϵ_k :

$$h \frac{c}{\lambda} = \epsilon_k = m_0c^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \eta^2}} - 1 \right),$$

откуда находим искомую длину волны рентгеновского излучения

$$\lambda = \frac{h}{m_0c \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \eta^2}} - 1 \right)} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - 0,4^2}} - 1 \right)} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$

48. Газообразный водород бомбардируется потоком протонов. Масса протона m , скорость протона v много меньше скорости света c . На какое минимальное расстояние может приблизиться протон к ядру атома водорода? Электрическая постоянная ϵ_0 . Элементарный заряд e .

Дано: $v; v \ll c; m; e; \epsilon_0$.
R – ?

Решение. Так как ядро атома водорода представляет собой протон, то будем рассматривать взаимодействие двух протонов. На достаточно большом расстоянии от ядра атома водорода протон имеет скорость v и кинетическую энергию $mv^2/2$. Когда протон и ядро приблизятся на минимальное расстояние R , то их центр масс будет двигаться со скоростью u , которую найдем из закона сохранения импульса:

$$mv = 2mu \Rightarrow u = \frac{v}{2}.$$

Далее воспользуемся законом сохранения энергии – кинетическая энергия протона на «бесконечности» равна сумме кинетической энергии системы протон-ядро и потенциальной энергии взаимодействия двух протонов, находящихся на минимально возможном расстоянии R между ними:

$$\frac{mv^2}{2} = 2m \frac{u^2}{2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R} = 2m \left(\frac{v}{2} \right)^2 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R} \Rightarrow \frac{mv^2}{4} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R},$$

откуда находим

$$R = \frac{e^2}{\pi\epsilon_0 mv^2}.$$

Ответ: $R = \frac{e^2}{\pi\epsilon_0 mv^2}.$

49. Активность некоторого препарата уменьшается в 2,5 раза за $t = 7$ суток. Найдите период полураспада T .

Дано: $t = 7$ суток; $A/A_0 = 1/2,5$.
 $T = ?$

Решение. Так как активность A (число распадов в единицу времени) пропорциональна числу ядер N , то закон изменения активности подобен основному закону радиоактивного распада:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \frac{A}{A_0} = \frac{1}{2,5} = 0,4 = 2^{-\frac{t}{T}},$$

Прологарифмируем это выражение и найдем период полураспада T :

$$\lg 0,4 = -\frac{t}{T} \lg 2 \Rightarrow T = -t \cdot \frac{\lg 2}{\lg 0,4} = -7 \cdot \frac{\lg 2}{\lg 0,4} = 5,3 \text{ суток.}$$

Ответ: $T = 5,3$ суток.

10 Литература, рекомендуемая для изучения физики

1. **Павленко, Ю.Г.** Начала физики / Ю.Г. Павленко.—М.: Экзамен, 2005.—864 с.
2. **Павленко, Ю.Г.** Физика. Ответы на вопросы / Ю.Г. Павленко.—М.: Экзамен, 2006.—192 с.
3. **Павленко, Ю.Г.** ТЕСТ-ФИЗИКА / Ю.Г. Павленко.—М.: Экзамен, 2004.—256 с.
4. **Роуэлл, Г.** Физика / Г. Роуэлл, С. Герберт.—М.: Просвещение, 1994.—576 с.
5. **Перельман, Я.И.** Знаете ли вы физику? / Я.И. Перельман.—М.: Наука, 1992.—272 с.
6. **Черноуцан, А.И.** Физика / А.И. Черноуцан.—М.: Университет, 2001.—336 с.
7. **Гомонова, А.И.** Физика / А.И. Гомонова.—М.: Экзамен, 2002.—384 с.
8. **Бендриков, Г.А.** Физика. Сборник задач / Г.А. Бендриков, Б.Б. Буховцев, В.В. Керженцев, Г.Я. Мякишев.—М.: «Альянс – В», 2003.—416 с.
9. **Баканина, Л.П.** Сборник задач по физике / Л.П. Баканина, В.Е. Белонучкин, С.М. Козел.—М.: Просвещение, 1995.—176 с.
10. **Павлов, С.В.** Сборник конкурсных заданий по физике для поступающих в вузы / С.В. Павлов, И.В. Платонова.—М.: Интеллект-Центр, 2001.—672 с.
11. **Турчина, Н.В.** Физика: 3 800 задач для школьников и поступающих в вузы / Н.В. Турчина, Л.И. Рудакова, О.И. Суров, Г.Г. Спирин, Т.А. Ющенко.—М.: Дрофа, 2000.—672 с.
12. **Гольдфарб, Н.И.** Сборник вопросов и задач по физике / Н.И. Гольдфарб.—М.: Высшая школа, 1993.—352 с.
13. **Козел, С.М.** Физика. Сборник задач и заданий / С.М. Козел, В.А. Коровин, В.А. Орлов.—М.: Мнемозина, 2001.—254 с.
14. **Гельфгат, И.М.** 1001 задача по физике / И.М. Гельфгат, Л.Э. Генденштейн, Л.А. Кирик.—М.: «Илекса», 2001.—352 с.
15. **Игропуло, В.С.** Физика. Алгоритмы, задачи, решения / В.С. Игропуло, Н.В. Вязников.—М.: «Илекса», 2002.—592 с.
16. **Задачи по физике: Учебное пособие** / Под ред. О.Я. Савченко.—М.: Наука, 1988.—416 с.

Приложение А
(справочное)
Основные физические константы

Скорость света в вакууме	$c=2,9979 \cdot 10^8$ м/с
Гравитационная постоянная	$G=6,67 \cdot 10^{-11}$ Н · м ² /кг ²
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$V_{\mu}=22,414$ $\frac{\text{л}}{\text{моль}}$
Универсальная газовая постоянная	$R=8,314$ $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Постоянная Фарадея	$F=96\,500$ $\frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$
Число Авогадро	$N_A=6,022 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Постоянная Больцмана	$k=1,38 \cdot 10^{-23}$ $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ = $8,625 \cdot 10^{-5}$ $\frac{\text{эВ}}{\text{К}}$
Элементарный заряд	$e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Электрическая постоянная	$\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ $\frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ $k=(4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0)^{-1}=9 \cdot 10^9$ $\frac{\text{В}^2 \cdot \text{м}}{\text{Кл}^2}$
Магнитная постоянная	$\mu_0=4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ $\frac{\text{Вб}}{\text{А} \cdot \text{м}}$ = $12,56 \cdot 10^{-7}$ $\frac{\text{Вб}}{\text{А} \cdot \text{м}}$
Постоянная Планка	$h=6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с = $4,136 \cdot 10^{-15}$ эВ · с $\hbar=\frac{h}{2\pi}=1,054 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Постоянная Ридберга	$R=3,29 \cdot 10^{15}$ с ⁻¹ $R=1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Масса покоя электрона	$m_e=9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	$m_p=1,672 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя нейтрона	$m_n=1,675 \cdot 10^{-27}$ кг
Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1,6606 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрон-вольт	1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж
Нормальное атмосферное давление	760 мм рт. ст. = 101 325 Па
Первый Боровский радиус	$r_1=0,528 \cdot 10^{-10}$ м
Масса изотопа ^1_1H	$m_H=1,6736 \cdot 10^{-27}$ кг

Приложение Б
(справочное)
Соотношения между единицами некоторых физических величин

Длина	1 Å (Ангстрем) = $1 \cdot 10^{-10}$ м 1 дюйм = 2,54 см 1 пк (парсек) $\approx 3,1 \cdot 10^{16}$ м 1 а. е. (астрономическая единица) = $1,456 \cdot 10^{11}$ м 1 св. год (световой год) $\approx 0,95 \cdot 10^{16}$ м 1 ферми = 10^{-15} м 1 фут = 30,48 см 1 ярд = 91,44 см
Масса	1 тонна = 10^3 кг 1 а.е.м. = $1,6606 \cdot 10^{-27}$ кг 1 кар (карат) = 0,2 г
Время	1 сутки = 86400 с 1 мин = 60 с 1 час = 60 мин 1 сутки = 24 часа 1 год $\approx 3,16 \cdot 10^7$ с
Объем	1 л = $1 \cdot 10^{-3}$ м ³
Сила	1 кГ = 1 кгс (килограмм-сила) = 9,81 Н
Давление	1 бар = $1 \cdot 10^5$ Па 1 атм = 760 мм рт. ст. = $1,01325 \cdot 10^5$ Па 1 ат = 1 кгс/см² = $0,98 \cdot 10^5$ Па 1 торр = 1 мм рт. ст. = 133,3 Па
Энергия	1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж 1 квт·ч = $3,6 \cdot 10^6$ Дж 1 кал = 4,1868 Дж
Мощность	1 л.с. (лошадиная сила) = 735 Вт

Приложение В (справочное)

Э – экса – 10^{18}	к – кило – 10^3	мк – микро – 10^{-6}
П – пета – 10^{15}	г – гекто – 10^2	н – нано – 10^{-9}
Т – тера – 10^{12}	д – деци – 10^{-1}	п – пико – 10^{-12}
Г – гига – 10^9	с – санти – 10^{-2}	ф – фемто – 10^{-15}
М – мега – 10^6	м – милли – 10^{-3}	а – атто – 10^{-18}

Приложение Г (справочное) Основные формулы по физике

$V = \frac{S}{t}$ при равномерном движении скорость V равна отношению пути S ко времени t .

$V_{\text{ср.}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ $V_{\text{ср.}}$ - средняя скорость равна отношению пути ΔS к промежутку времени Δt , в течение которого этот путь был пройден.

$\vec{V}_{\text{ср.}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ $\vec{V}_{\text{ср.}}$ - вектор средней скорости перемещения за время Δt , $\Delta \vec{r}$ - вектор перемещения.

$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}'_t$ $\vec{V}$ - вектор мгновенной скорости равен производной от перемещения по времени.

$V = \frac{dS}{dt} = S'_t$ V - модуль мгновенной скорости равен производной от пути по времени.

$\vec{a}_{\text{ср.}} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$ $\vec{a}_{\text{ср.}}$ - вектор среднего ускорения равен отношению изменения скорости $\Delta \vec{V}$ к промежутку времени Δt , за которое это изменение произошло.

$\vec{a} = \frac{dV}{dt} = V'_t$ мгновенное ускорение равно производной от скорости по времени

$a_t = \frac{dV}{dt} = V'_t$ тангенциальное (касательное) ускорение характеризует быстроту изменения скорости по модулю и направлено по касательной к траектории в данной точке.

$a_n = \frac{V^2}{R}$ нормальное (центростремительное) ускорение a_n характеризует быстроту изменения скорости по направлению и направлено к центру кривизны траектории. R - радиус кривизны траектории, V - скорость. (при равномерном вращении по окружности a_n - центростремительное ускорение, R - радиус окружности).

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$$

a —полное ускорение при криволинейном движении;
 a_n, a_t —нормальное (центростремительное) и тангенциальное (касательное) ускорения, соответственно.

$$x(t) = x_0 + V_0 \cdot t$$

кинематическое уравнение равномерного движения вдоль оси x , x_0 - начальная координата, t - время.

$$x(t) = x_0 + V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

кинематическое уравнение равнопеременного движения ($a = \text{const}$) вдоль оси x , V_0 - начальная скорость. Значения V_0 и a - положительны, если векторы $\vec{V}_0$ и $\vec{a}$ направлены в сторону положительной полуоси x , и отрицательны в противном случае.

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$V = V_0 + a \cdot t$$

S —путь и V —мгновенная скорость при равнопеременном движении, V_0 - начальная скорость, a - ускорение, t - время.

$$S = \frac{V^2 - V_0^2}{2a}$$

кинематическое уравнение, связывающее путь S , пройденный телом за некоторое время, с начальной - V_0 и конечной - V скоростями на этом отрезке пути, с ускорением a .

$$H = \frac{gt^2}{2}; t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$h(t) = H - \frac{gt^2}{2}$$

$$V = gt = \sqrt{2gH}$$

свободное падение ($v_0 = 0$) тела с высоты H : t - время падения; g - ускорение свободного падения; V - скорость тела в момент достижения поверхности (Земли), $h(t)$ - высота в момент времени t .

$$x(t) = V_0 \cdot t;$$

$$y(t) = H - \frac{gt^2}{2};$$

$$t_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}}; L = V_0 t_0;$$

$$V_x = V_0; |V_y| = gt$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

движение тела, брошенного горизонтально со скоростью V_0 с высоты H : $x_0 = 0$ и $y_0 = H$ - начальное положение тела (в момент броска); $x(t)$ и $y(t)$ - уравнения движения по осям; t_0 - время полета; L - дальность полета; V_x и V_y - составляющие скорости $\vec{V}$ тела по осям координат для любого момента времени t во время полета (до удара о поверхность).

$$V_{ox} = V_0 \cdot \cos \alpha; V_{oy} = V_0 \cdot \sin \alpha;$$

$$x(t) = V_{ox}(t); y(t) = V_{oy} \cdot t - \frac{1}{2} gt^2;$$

$$V_x(t) = V_{ox}; V_y(t) = V_{oy} - gt;$$

движение тела, брошенного со скоростью V_0 под углом α к горизонту: $x_0 = 0$ и $y_0 = 0$ - начальное положение тела (в момент броска); V_{ox} и V_{oy} - проекции скорости $\vec{V}_0$ по осям; $x(t)$ и $y(t)$ - уравнения движения по осям; $V_x(t)$ и

$$H = \frac{V_{0y}^2}{2g}; t_0 = \frac{2V_{0y}}{g};$$

$$L = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$

$V_y(t)$ - зависимость составляющих скорости по осям от времени t ; H - высота подъема, t_0 - время полета; L - дальность полета

$$v = \frac{N}{t}, T = \frac{t}{N} \quad \text{при равномерном вращательном движении:}$$

v - частота вращения, T - период вращения,

$v = T^{-1}, T = v^{-1}$ N - число оборотов за время t .

$$\omega = \frac{\phi}{t}; N = \frac{\phi}{2\pi}; \quad \omega - \text{угловая скорость при равномерном вращении: } \phi - \text{угол поворота, } N - \text{число оборотов за время } t; v - \text{частота вращения, } T - \text{период вращения.}$$

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

$$\omega = \frac{d\phi}{dt} = \phi'_t \quad \omega - \text{угловая скорость равна производной угла поворота по времени.}$$

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \omega'_t \quad \varepsilon - \text{угловое ускорение равно производной угловой скорости по времени.}$$

$$S = R \cdot \phi \quad S - \text{путь, пройденный материальной точкой при повороте на угол } \phi \text{ по дуге окружности радиуса } R.$$

$$V = \omega \cdot R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R v \quad \text{связь между линейной и угловой скоростями при равномерном вращательном движении}$$

$$a_t = R \cdot \varepsilon, a_n = \omega^2 \cdot R = \frac{V^2}{R} = V \cdot \omega \quad a_n \text{ и } a_t - \text{нормальное (центростремительное) и тангенциальное (касательное) ускорения, соответственно.}$$

$$\phi(t) = \phi_0 + \omega_0 \cdot t \quad \text{кинематическое уравнение равномерного вращения, } \phi_0 - \text{начальное угловое положение.}$$

$$\phi(t) = \phi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2} \quad \text{кинематическое уравнение равнопеременного вращения } (\varepsilon = \text{const}), \omega_0 - \text{начальная угловая скорость.}$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \varepsilon \cdot t \quad \omega - \text{мгновенная угловая скорость при равнопеременном вращении в момент времени } t, \omega_0 - \text{начальная угловая скорость, } \varepsilon - \text{угловое ускорение.}$$

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t}$$

$$\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon}$$

кинематическое уравнение, связывающее угол поворота φ с начальной ω_0 и конечной ω угловыми скоростями и с угловым ускорением ε .

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ - плотность тела, m - масса, V - объем тела.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{V}$$

$\vec{P}$ - импульс тела - векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость $\vec{V}$.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d\vec{V}}{dt}, \quad \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{P}'_t$$

второй закон Ньютона: m - масса тела, $\vec{F}$ - равнодействующая всех приложенных к телу сил, $\vec{a}$ - ускорение, $\vec{P}$ - импульс тела.

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

третий закон Ньютона: силы, с которыми действуют друг на друга два тела, всегда равны по модулю и противоположно направлены.

$$F_{\text{упр.}} = -k \cdot \Delta l, \quad \Delta l = l - l_0,$$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad \sigma = \frac{F}{S}$$

закон Гука: сила упругости $F_{\text{упр.}}$ пропорциональна удлинению тела (пружины) Δl и направлена в сторону, противоположную направлению перемещений частиц тела при деформации; k - коэффициент пропорциональности (жесткость пружины); σ - механическое напряжение; S - площадь поперечного сечения образца, к которому приложена сила F ; E - модуль Юнга (упругости); ε - относительное удлинение; l_0 - начальная длина.

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

закон всемирного тяготения: два тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния R между их центрами масс; G - гравитационная постоянная. В такой форме записи закон справедлив для взаимодействия материальных точек и однородных тел сферической формы.

$$g(h) = G \cdot \frac{M}{(R + h)^2}$$

$$g(h) = g \left(1 + \frac{h}{R} \right)^{-2}$$

$g(h)$ - ускорение свободного падения на высоте h над поверхностью планеты, M и R - масса и радиус планеты; g - ускорение свободного падения у поверхности планеты (без учета вращения планеты), т.е. $g = G \frac{M}{R^2}$.

$$F_{\text{тр.}} = \mu \cdot N$$

сила трения скольжения равна максимальной силе трения покоя $F_{\text{тр.}}$, пропорциональной силе нормального давления N (реакции опоры); μ - коэффициент трения.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

P - сила тяжести, m - масса тела, g - ускорение свободного падения.

$$V_1 = \sqrt{G \cdot \frac{M}{R}} = \sqrt{g \cdot R} \quad V_1 - \text{первая космическая скорость: } M \text{ и } R - \text{масса и радиус планеты, } G - \text{гравитационная постоянная, } g - \text{ускорение свободного падения на поверхности планеты.}$$

$$V_2 = \sqrt{2} V_1 = \sqrt{2g \cdot R} \quad V_2 - \text{вторая космическая скорость, } V_1 - \text{первая космическая скорость.}$$

$$\Delta A = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha \quad \Delta A - \text{элементарная работа равна скалярному произведению силы } \vec{F} \text{ на перемещение } \Delta \vec{r}, \alpha - \text{угол между } \vec{F} \text{ и } \Delta \vec{r}.$$

$$N_{\text{ср}} = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad \text{мощность равна работе, совершаемой в единицу времени: } N_{\text{ср}} - \text{средняя мощность за время } \Delta t.$$

$$N = \vec{F} \cdot \vec{V} = F \cdot V \cdot \cos \alpha \quad \text{мгновенная мощность } N \text{ равна скалярному произведению силы } \vec{F} \text{ на скорость } \vec{V}, \text{ с которой движется точка приложения силы, } \alpha - \text{угол между } \vec{F} \text{ и } \vec{V}.$$

$$E_K = \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{P^2}{2m} \quad E_K - \text{кинетическая энергия тела массой } m, \text{ движущегося со скоростью } V, P - \text{импульс тела.}$$

$$A = E_{K2} - E_{K1} \quad \text{работа равнодействующей силы равна изменению кинетической энергии тела (при условии постоянства потенциальной энергии).}$$

$$A = -\Delta U \quad \text{работа консервативных сил совершается за счет убыли потенциальной энергии (при условии постоянства кинетической энергии).}$$

$$E_{\Pi} = m g \cdot h \quad \text{потенциальная энергия тела в однородном поле тяготения: } h - \text{высота над поверхностью Земли (высота от нулевого уровня), } g - \text{ускорение свободного падения, } m - \text{масса тела.}$$

$$E_{\Pi} = \frac{k \cdot (\Delta l)^2}{2} \quad \text{потенциальная энергия упруго деформированного тела (пружины).}$$

$$E_{\Pi} = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R} \quad \text{потенциальная энергия взаимодействия двух тел массами } m_1 \text{ и } m_2, \text{ находящихся на расстоянии } R \text{ друг от друга.}$$

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \sum_{i=1}^N m_i \cdot \vec{V}_i = \text{const} \quad \text{закон сохранения импульса: суммарный импульс замкнутой системы остается постоянным (по величине и направлению) при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.}$$

$m \cdot \vec{V} - m \cdot \vec{V}_0 = \vec{F} \cdot \Delta t$ изменение импульса тела $\Delta \vec{P}$ за время Δt равно импульсу равнодействующей силы $\vec{F} \cdot \Delta t$.
 $\Delta \vec{P} = \vec{P} - \vec{P}_0 = \vec{F} \cdot \Delta t$

$E = E_K + E_{\Pi}$ полная механическая энергия материальной точки (тела) равна сумме кинетической и потенциальной энергий.

$E = E_K + E_{\Pi} = \text{const}$ закон сохранения полной механической энергии: полная механическая энергия замкнутой системы тел остается постоянной при любых движениях тел системы, если в системе не действуют диссипативные силы.

$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2$
 $\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$ законы сохранения импульса и энергии при центральном абсолютно упругом ударе двух тел (шаров).

$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$ закон сохранения импульса при центральном абсолютно неупругом ударе двух тел.

$\Delta E_K = Q = \left(\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \right) - \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2}$ изменение кинетической энергии при абсолютно неупругом ударе (часть ее переходит в «тепловую» форму энергии).

$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{затр}}}$ коэффициент полезного действия механизмов равен отношению полезной работы $A_{\text{пол}}$ (полезной мощности $N_{\text{пол}}$) к затраченной $A_{\text{затр}}$ (затраченной - $N_{\text{затр}}$).
 $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\% = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{затр}}} \cdot 100\%$

$\frac{dE_n}{dx} = (E_n)'_x = 0$ условие равновесия - экстремальное значение потенциальной энергии (для случая одномерной задачи, когда E_n зависит только от координаты x , т.е. когда $E_n = E_n(x)$).

$\frac{d^2 E_n}{dx^2} = (E_n)''_{xx} > 0$ условие устойчивого равновесия

$\vec{M} = [\vec{R} \cdot \vec{F}]$ момент силы $\vec{M}$ относительно неподвижной точки - физическая величина, равная векторному произведению радиус-вектора $\vec{R}$, проведенного из этой точки в точку приложения силы, на эту силу $\vec{F}$.

$M = R \cdot F \cdot \sin \alpha = F \cdot d$ модуль момента силы - M , α - угол между $\vec{R}$ и $\vec{F}$, $d = R \cdot \sin \alpha$ - плечо силы равно кратчайшему расстоянию от оси вращения до линии действия силы.

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

(первое) условие равновесия тела при отсутствии вращения: векторная сумма всех сил, приложенных к телу, равна нулю.

$$\sum M_i = 0$$

(второе) условие равновесия твердого тела с неподвижной осью вращения: алгебраическая сумма моментов сил относительно любой оси равна нулю, причем моменты сил, вращающих в одну сторону, считают положительными, а в другую - отрицательными.

$$\sum [\vec{R}_i m_i \vec{g}] = 0$$

центр тяжести тела: сумма моментов сил тяжести всех частиц тела по отношению к оси, проходящей через центр тяжести, равна нулю.

$$\vec{R}_c = \frac{\sum m_i g \vec{R}_i}{\sum m_i g}$$

центр тяжести тела: $\vec{R}_c(x_c, y_c, z_c)$ - радиус-вектор, проведенный из начала координат в центр тяжести тела; x_c, y_c, z_c - координаты центра тяжести; x_i, y_i, z_i - координаты частиц тела, причем $\vec{R}_i(x_i, y_i, z_i)$; суммирование производится по всем частицам тела.

$$x_c = \frac{\sum m_i g x_i}{\sum m_i g}$$

$$y_c = \frac{\sum m_i g y_i}{\sum m_i g}$$

$$z_c = \frac{\sum m_i g z_i}{\sum m_i g}$$

$$\vec{R}_{цм} = \frac{\sum m_i \vec{R}_i}{\sum m_i}$$

$\vec{R}_{цм}(x_{цм}, y_{цм}, z_{цм})$ - радиус-вектор центра масс системы материальных точек; m_i и $\vec{R}_i$ - масса и радиус-вектор i -ой материальной точки (если твердое тело, то суммирование производится по всем частицам тела).

$$\vec{R}_c = \vec{R}_{цм}$$

координаты центра масс и центра тяжести тела совпадают в случае, если размерами тела можно пренебречь в сравнении с размерами Земли (планеты).

$$M = F \cdot d$$

момент пары сил: d - плечо пары сил ($F_1 = F_2 = F$) - кратчайшее расстояние между линиями действия сил.

$$\frac{F}{mg} = \frac{l_1}{l_2}$$

правило рычага: во сколько раз плечо l_2 силы F больше плеча l_1 груза весом mg , тем меньше усилие F требуется, чтобы сдвинуть груз.

$$\vec{L} = [\vec{R} \cdot \vec{P}] = [\vec{R} \cdot m \vec{V}]$$

$$L = R \cdot P \cdot \sin \alpha = P \cdot d$$

$\vec{L}$ - момент импульса материальной точки относительно неподвижной точки O : $\vec{R}$ - радиус-вектор от точки O до материальной точки; $\vec{P} = m \cdot \vec{V}$ - импульс материальной точки; α - угол между $\vec{R}$ и $\vec{P}$; d - плечо вектора $\vec{P}$ относительно неподвижной точки O .

$$P = \frac{F}{S}$$

давление равно отношению силы, перпендикулярной к поверхности тела, к величине площади поверхности S , на которую действует эта сила.

$P = \rho \cdot g \cdot h$ P - гидростатическое давление: ρ - плотность жидкости, h - высота столба жидкости, g - ускорение свободного падения.

$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{l_2}{l_1}$ гидравлический пресс дает выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз площадь ее большого поршня превосходит площадь маленького поршня, S_1 и S_2 - площади поперечного сечения поршней, l_1 и l_2 - перемещения поршней, F_1 и F_2 - силы, приложенные к поршням.

$F_A = \rho \cdot g \cdot V_{\text{п}}$ закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости или газа. ρ - плотность жидкости (газа), $V_{\text{п}}$ - объем погруженной в жидкость (газ) части тела, g - ускорение свободного падения.

$S \cdot v = \text{const}$ уравнение неразрывности (непрерывности) для несжимаемой жидкости: произведение скорости течения v на поперечное сечение S трубки тока есть величина постоянная для данной трубки тока;

$V = S \cdot \frac{v}{t}$ объем жидкости (газа) V , проходящий через сечение S струи (трубы) за время t .

$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ в сообщающихся сосудах высота столбиков жидкостей над уровнем раздела обратно пропорциональна плотностям жидкостей.

$P + \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = \text{const}$ уравнение Бернулли для стационарного течения идеальной несжимаемой жидкости: P - статическое давление, $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$ - динамическое давление, $\rho \cdot g \cdot h$ - гидростатическое давление, v - скорость течения жидкости в данном сечении.

$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ формула Торричелли: v - скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом широком сосуде, h - глубина, на которой находится отверстие относительно уровня жидкости.

$v = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}$ v - количество вещества: μ - молярная масса, N_A - число Авогадро, N - число молекул в веществе (газе) массой m .

$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{\mu}{N_A}$ m_0 - масса одной молекулы.

$T = t + 273$ T - температура по абсолютной шкале температур (шкале Кельви-

на), t - температура по шкале Цельсия.

$P \cdot V = \text{const}$ закон Бойля-Мариотта: для данной массы газа ($m = \text{const}$) при неизменности состава газа (молярная масса $\mu = \text{const}$) при постоянной температуре ($T = \text{const}$) произведение давления газа P на его объем V есть величина постоянная.

$V = V_0 \cdot (1 + \alpha t)$
 $V = V_0 \cdot \alpha \cdot T$
 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ закон Гей-Люссака: объем данной массы газа ($m = \text{const}$) при неизменности состава газа (молярная масса $\mu = \text{const}$) при постоянном давлении ($P = \text{const}$) изменяется линейно с температурой, $\alpha = 273^{-1} \text{ K}^{-1}$ - термический коэффициент расширения, V_0 - объем при 0°C .

$P = P_0 \cdot (1 + \beta t)$
 $P = P_0 \cdot \beta \cdot T$
 $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ закон Шарля: давление данной массы газа ($m = \text{const}$) при неизменности состава газа (молярная масса $\mu = \text{const}$) при постоянном объеме ($V = \text{const}$) изменяется линейно с температурой, $\beta = 273^{-1} \text{ K}^{-1}$ - термический коэффициент давления, P_0 - давление при 0°C .

$V_\mu = \frac{V}{\nu} = 22,41 \frac{\text{л}}{\text{моль}}$ закон Авогадро: моли любых идеальных газов при одинаковых условиях (одинаковых температуре и давлении) занимают одинаковые объемы, в частности, при нормальных условиях, - 22,41 л.

$P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ значения давления и температуры при нормальных условиях.
 $t = 0^\circ \text{C}$

$P = \sum P_i$ закон Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений входящих в нее газов; P_i - парциальное давление i -ой компоненты равно давлению, которое создавала бы i -ая компонента смеси газов, если бы она одна занимала объем, равный объему смеси при той же температуре.

$\frac{P \cdot V}{T} = \text{const}$ уравнение Клапейрона справедливо при неизменности состава и массы газа, P - давление, V - объем, T - абсолютная температура.

$P \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T$ уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния идеального газа), m - масса газа, R - универсальная газовая постоянная, μ - молярная масса газа.

$R = k \cdot N_A$ R - универсальная газовая постоянная, k - постоянная Больцмана, N_A - число Авогадро.

$$n = \frac{N}{V}; \quad n - \text{концентрация молекул} - \text{число молекул в единице объема.}$$

$$\rho = \frac{m}{V}; \quad \rho = m_0 \cdot n \quad \rho - \text{плотность газа, } m_0 - \text{масса одной молекулы}$$

$$P = n \cdot k \cdot T \quad \text{зависимость давления } P \text{ от концентрации молекул } n \text{ и температуры } T; k - \text{постоянная Больцмана.}$$

$$P = \frac{2}{3} n \cdot E_0; \quad \text{основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов: давление } P \text{ идеального газа равно } \frac{2}{3} \text{ среднеквадратической кинетической энергии молекул, содержащихся в единице объема, } m_0 - \text{масса одной молекулы, } n - \text{концентрация молекул.}$$

$$E_0 = \frac{m_0 V^2}{2}$$

$$E_0 = \frac{m_0 \cdot V^2}{2} = \frac{3}{2} k \cdot T \quad E_0 - \text{среднеквадратическая кинетическая энергия поступательного движения молекулы идеального газа, } m_0 - \text{масса молекулы, } k - \text{постоянная Больцмана, } T - \text{температура, } V - \text{среднеквадратическая скорость.}$$

$$V = \overline{V} = \sqrt{\overline{V^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_i^2}{N}} \quad V(\overline{V}) - \text{среднеквадратическая скорость молекул идеального газа.}$$

$$\overline{V} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \cdot P}{\rho}} \quad R - \text{универсальная газовая постоянная, } \mu - \text{молярная масса, } T - \text{температура, } P - \text{давление, } \rho - \text{плотность газа, } k - \text{постоянная Больцмана, } m_0 - \text{масса молекулы.}$$

$$V_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot T}{\pi \cdot m_0}} = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot \mu}} = \sqrt{\frac{8 \cdot P}{\pi \cdot \rho}} \quad V_{\text{cp}} - \text{средняя арифметическая скорость молекул газа.}$$

$$V_{\text{H}} = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{m_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot T}{\mu}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}} \quad V_{\text{H}} - \text{наиболее вероятная скорость молекул газа.}$$

$$\lambda = \frac{V_{\text{cp}}}{Z} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n} \quad \lambda - \text{средняя длина свободного пробега молекул газа равна среднему расстоянию между двумя последовательными столкновениями молекулы, } Z - \text{среднее число соударений молекулы за 1 с, } d - \text{эффективный диаметр молекулы, } n - \text{концентрация молекул, } V_{\text{cp}} - \text{относительная средняя арифметическая скорость молекул.}$$

$$E_{\text{cp}} = \frac{i}{2} \cdot k \cdot T \quad E_{\text{cp}} - \text{средняя энергия молекулы, } i - \text{число степеней свободы молекул газа, } k - \text{постоянная Больцмана, } T - \text{температура.}$$

$$U = \frac{i}{2} \cdot \nu \cdot R \cdot T$$

U - внутренняя энергия идеального газа, ν - количество вещества, R - универсальная газовая постоянная, T - температура.

$$Q = \Delta U + A$$

первое начало термодинамики: количество теплоты Q , переданное системе, идет на изменение внутренней энергии ΔU системы и на совершение системой работы A против внешних сил.

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \nu \cdot R \cdot \Delta T = \frac{i}{2} P \cdot \Delta V$$

ΔU - изменение внутренней энергии при изменении температуры на ΔT ; ΔV - изменение объема при давлении P .

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

C - теплоемкость численно равна количеству теплоты, необходимому для изменения температуры тела на 1 К.

$$c = \frac{C}{m} = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$$

c - удельная теплоемкость равна теплоемкости единицы массы тела, m - масса тела.

$$C_V = \frac{i}{2} \cdot R$$

C_V - молярная теплоемкость газа при постоянном объеме, i - число степеней свободы молекул газа, R - универсальная газовая постоянная.

$$C_P = \frac{(i + 2)}{2} \cdot R$$

C_P - молярная теплоемкость газа при постоянном давлении.

$$R = C_P - C_V$$

уравнение Майера: универсальная газовая постоянная численно равна работе, которую 1 моль идеального газа совершает, изобарически расширяясь при нагревании на 1 К.

$$A = P \cdot \Delta V$$

A - работа, совершаемая газом при изменении его объема, P - давление газа, ΔV - изменение его объема.

$$A = P \cdot (V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

A - работа газа при изобарическом процессе.

$$A = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$$

A - работа газа при изотермическом процессе.

$$A = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{R}{\gamma - 1} \cdot (T_1 - T_2) = \frac{m}{\mu} \cdot C_V \cdot (T_1 - T_2)$$

A - работа газа при адиабатическом процессе, γ - показатель адиабаты.

$$P \cdot V^\gamma = \text{const}$$

уравнение Пуассона (уравнение адиабатического процесса),

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$T^\gamma \cdot P^{1-\gamma} = \text{const} \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V} - \text{показатель адиабаты.}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad \gamma - \text{показатель адиабаты, } C_P \text{ и } C_V - \text{молярные теплоемкости при постоянных давлении и объеме, соответственно; } i - \text{число степеней свободы молекул газа.}$$

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha t) \quad \text{линейное расширение твердых тел: } L_0 - \text{длина при } 0^\circ\text{C, } L - \text{длина при температуре } t^\circ\text{C, } \alpha - \text{линейный коэффициент расширения равен отношению изменению длины при нагреве на } 1^\circ\text{C (1 K).}$$

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

$$\Delta L = L - L_0$$

$$V = V_0 \cdot (1 + \beta t) \quad \text{объемное расширение твердых тел и жидкостей: } V_0 - \text{объем при } 0^\circ\text{C, } V - \text{объем при температуре } t^\circ\text{C, } \beta - \text{объемный коэффициент расширения равен отношению изменению объема при нагреве на } 1^\circ\text{C (1 K).}$$

$$\beta = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\Delta V = V - V_0$$

$$\beta = 3\alpha \quad \text{соотношение между коэффициентами линейного } (\alpha) \text{ и объемного } (\beta) \text{ расширения твердых тел.}$$

$$q = \frac{Q}{m} \quad \text{удельная теплота сгорания равна количеству теплоты, выделяющемуся при сгорании единицы массы топлива.}$$

$$\lambda = \frac{Q}{m} \quad \text{количество теплоты, необходимое для превращения единицы массы из твердого (жидкого) состояния в жидкое (твердое) при температуре плавления (кристаллизации), называют удельной теплотой плавления (кристаллизации) } \lambda. \text{ Удельная теплота плавления равна удельной теплоте кристаллизации. Температура плавления равна температуре кристаллизации.}$$

$$r = \frac{Q}{m} \quad \text{количество теплоты, которое необходимо сообщить жидкости для испарения единицы ее массы при постоянной температуре (в частности, при температуре кипения), называют удельной теплотой парообразования } r. \text{ С ростом температуры величина удельной теплоты парообразования уменьшается.}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \eta - \text{коэффициент полезного действия теплового двигателя: } A - \text{работа, совершенная за цикл, } Q_1 - \text{количество теплоты, полученное системой (от нагревателя), } Q_2 - \text{количество теплоты, отданное системой (холодильнику; окружающей среде).}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \eta - \text{коэффициент полезного действия идеального теплового двигателя (цикла Карно): } T_1 \text{ и } T_2 - \text{температуры на-}$$

гревателя и холодильника, соответственно; Q_1 - количество теплоты, полученное газом от нагревателя при изотермическом расширении; Q_2 - количество теплоты, отданное газом холодильнику при изотермическом сжатии.

$\rho = \frac{m}{V}$ абсолютной влажностью ρ называют количество водяного пара в граммах, содержащегося в 1 м^3 воздуха при данной температуре.

$\varphi = \frac{\rho}{\rho_H}$ относительной влажностью φ называют отношение абсолютной влажности к тому количеству водяного пара, которое необходимо для насыщения 1 м^3 воздуха при той же температуре.

$\varphi = \frac{P}{P_H}$ относительной влажностью φ называют отношение парциального давления P водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению P_H насыщенного пара при той же температуре.

$\delta = \frac{F}{L}$ δ - коэффициент поверхностного натяжения равен силе поверхностного натяжения, приходящейся на единицу длины границы свободной поверхности жидкости.

$\delta = \frac{A}{\Delta S}$ δ - коэффициент поверхностного натяжения равен работе, необходимой для увеличения свободной поверхности жидкости при постоянной температуре на единицу.

$\Delta P = \delta \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$ формула Лапласа: избыточное давление ΔP , обусловленное кривизной поверхности жидкости; r_1 и r_2 - радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных нормальных сечений поверхности жидкости; δ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

$\Delta P = \frac{2 \cdot \delta}{r}$ избыточное давление в случае сферы: r - радиус сферы, δ - коэффициент поверхностного натяжения.

$h = \frac{2 \cdot \delta \cdot \cos \nu}{\rho \cdot g \cdot r_0}$ h - высота подъема жидкости в капиллярной трубке: ν - краевой угол, r_0 - радиус капилляра, ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, δ - коэффициент поверхностного натяжения, ($\nu = 0$ - полное смачивание; $\nu = 180^\circ$ - полное несмачивание)

$\Sigma q_i = \text{const}$ закон сохранения заряда: алгебраическая сумма зарядов в замкнутой системе (т.е. в системе, не обменивающейся зарядами с внешними телами) остается неизменной при любых процессах внутри этой системы.

$$F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r^2}$$

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

закон Кулона: сила взаимодействия F между двумя неподвижными точечными зарядами прямо пропорциональна абсолютным значениям зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, ε_0 —электрическая постоянная, $k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$, ε - диэлектрическая проницаемость изотропной непрерывной среды нахождения зарядов.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \vec{E} - \text{напряженность электростатического поля равна силе, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля.}$$

$$E = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r^2}$$

E - напряженность электростатического поля точечного заряда q на расстоянии r от него: ε_0 - электрическая постоянная, ε - диэлектрическая проницаемость среды.

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i \quad \text{принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей: напряженность } \vec{E} \text{ результирующего поля, создаваемого системой зарядов, равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов в отдельности.}$$

$$\vec{p} = q \vec{l} \quad \vec{p} - \text{электрический момент диполя: } \vec{l} - \text{плечо диполя.}$$

$$\sigma = \frac{Q}{S} \quad \sigma - \text{поверхностная плотность заряда равна заряду, приходящемуся на единицу площади поверхности несущего заряд тела.}$$

$$\rho = \frac{Q}{V} \quad \rho - \text{объемная плотность заряда равна заряду, приходящемуся на единицу объема заряженного по объему тела.}$$

$$E = \frac{\sigma}{2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon} \quad E - \text{напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной плоскостью: } \sigma - \text{поверхностная плотность заряда, } \varepsilon_0 - \text{электрическая постоянная, } \varepsilon - \text{диэлектрическая проницаемость среды нахождения плоскости.}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon} \quad E - \text{напряженность поля, создаваемого двумя бесконечными параллельными разноименно заряженными плоскостями, в пространстве между этими плоскостями.}$$

$$W_{\Pi} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r}$$

W_{Π} - потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов, находящихся на расстоянии r друг от друга.

$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q_0}$ φ - потенциал электростатического поля равен потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещенного в данную точку.

$\varphi = \frac{A_{\infty}}{q_0}$ φ - потенциал поля равен работе перемещения единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность.

$\varphi = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r}$ φ - потенциал поля точечного заряда на расстоянии r от него.

$\varphi = \sum \varphi_i$ принцип суперпозиции для потенциала: если поле создается несколькими зарядами, то потенциал поля системы зарядов равен алгебраической сумме потенциалов полей всех этих зарядов в данной точке.

$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0}$ разность потенциалов между двумя точками равна работе поля по перемещению единичного положительного заряда из начальной точки в конечную; U - напряжение.
 $U = \varphi_1 - \varphi_2$

$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$ диэлектрическая проницаемость ε показывает во сколько раз электрическое поле ослабляется диэлектриком; E_0 - напряженность поля в вакууме, E - напряженность поля в диэлектрике.

$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$ $\vec{D}$ - электрическое смещение.

$E = - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ связь между напряженностью E и разностью потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ для однородного электростатического поля: d - расстояние между точками поля, отсчитанное вдоль силовой линии (знак минус "—" в первом уравнении указывает на то, что вектор напряженности поля направлен в сторону убывания потенциала).
 $E = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d}$

$E = \frac{U}{d}$ E - напряженность однородного электрического поля в пространстве между обкладками плоского конденсатора; U - напряжение и d - расстояние между обкладками.

$C = \frac{q}{\varphi}$ C - емкость уединенного проводника равна заряду, сообщенному которому проводнику изменяет его потенциал на единицу.

$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}$ C - емкость конденсатора равна отношению заряда q , накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов (напряжению) между его обкладками.

$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$ C - емкость плоского конденсатора: S - площадь каждой из обкладок, d - расстояние между обкладками.

$C = 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot R$ C - емкость шара радиуса R .

$C = \sum C_i$ C - емкость батареи конденсаторов при их параллельном соединении, C_i - емкость отдельного конденсатора.

$U = U_i$ напряжения на конденсаторах при их параллельном соединении одинаковы.

$q = \sum q_i$ q - общий заряд на батарее конденсаторов при их параллельном соединении, q_i - заряд на отдельном конденсаторе.

$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$ C - емкость батареи конденсаторов при их последовательном соединении, C_i - емкость отдельного конденсатора.

$U = \sum U_i$ U - общее напряжение на батарее конденсаторов при их последовательном соединении, U_i - напряжение на отдельном конденсаторе.

$q = q_i$ заряды на конденсаторах при их последовательном соединении одинаковы.

$W = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q^2}{2 \cdot C}$ W - энергия заряженного конденсатора: q - заряд, U - напряжение (разность потенциалов), C - емкость конденсатора.

$\omega = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2}{2}$ ω - объемная плотность энергии электростатического поля, E - напряженность поля.

$F = \frac{q^2}{2\varepsilon_0\varepsilon S} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2 S}{2}$ F - сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками плоского конденсатора.

$\frac{m \cdot V_1^2}{2} + q \cdot \phi_1 =$
 $= \frac{m \cdot V_2^2}{2} + q \cdot \phi_2$ закон сохранения энергии при движении заряженной частицы с зарядом q и массой m : V_1 и V_2 - скорости частицы в точках 1 и 2, ϕ_1 и ϕ_2 - потенциалы в точках 1 и 2, соответственно.

$I = \frac{q}{t}$ сила тока I равна заряду, протекающему через поперечное сечение проводника в единицу времени.

$I = \frac{dq}{dt} = q'_t$

$j = \frac{I}{S}$ плотность тока j равна силе тока, протекающего через единицу площади поперечного сечения проводника, перпендикулярного направлению тока.

$\vec{j} = e \cdot n \cdot \vec{V}_{\text{ср}}$ направление вектора плотности тока $\vec{j}$ совпадает с направлением упорядоченного движения положительных зарядов, n - концентрация носителей тока, $\vec{V}_{\text{ср}}$ - скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике (скорость дрейфа), e - заряд носителей тока.

$I = \frac{U}{R}$ закон Ома для (однородного) участка цепи: I - сила тока, U - напряжение на участке цепи равно разности потенциалов, т.е. $U = \phi_1 - \phi_2$, R - сопротивление участка цепи.

$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$ R - сопротивление однородного линейного проводника длиной l с постоянной площадью поперечного сечения S , ρ - удельное электрическое сопротивление проводника.

$\sigma = \frac{1}{\rho}$ σ - удельная электрическая проводимость вещества, ρ - удельное электрическое сопротивление.

$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ зависимость удельного сопротивления ρ от температуры: ρ_0 - удельное сопротивление при 0°C , α - температурный коэффициент сопротивления равен относительному изменению сопротивления при нагреве на 1°C (1 K).
 $\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t}$

$R = \Sigma R_i$ R - общее сопротивление цепи при последовательном соединении проводников, R_i - сопротивление i -го проводника.

$U = \Sigma U_i$ U - общее напряжение в цепи последовательно соединенных проводников; U_i - напряжение на сопротивлении R_i .

$I = I_i$ сила тока в цепи последовательно соединенных сопротивлений одинакова на всех проводниках.

$\frac{1}{R} = \Sigma \frac{1}{R_i}$ R - общее сопротивление цепи при параллельном соединении проводников, R_i - сопротивление i -го проводника.

$U = U_i$ напряжение при параллельном соединении проводников одинакова на всех сопротивлениях

$I = \Sigma I_i$ I - общая сила тока при параллельном соединении проводников; I_i - сила тока на сопротивлении R_i .

$U = \frac{A}{q}$ напряжение U равно работе электрического поля по перемещению единичного электрического заряда на данном участке цепи.

$E = \frac{A_{\text{сторон}}}{q}$ E - электродвижущая сила (ЭДС), действующая в цепи, равна работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда.

$I = \frac{E}{R + r}$ закон Ома для замкнутой (полной) цепи: сила тока I в замкнутой цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна сумме внешнего R и внутреннего r сопротивлений.

$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}}{R}$ закон Ома для неоднородного участка цепи (участка цепи с источником тока): $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов на концах участка цепи, E_{12} - ЭДС источника (источников) тока, входящего в участок с сопротивлением R . $U = IR = \varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}$ - напряжение на неоднородном участке цепи не равно разности потенциалов, т.е. $U \neq \varphi_1 - \varphi_2$.

$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho}$ закон Ома в дифференциальной форме: j - плотность тока, σ - удельная электропроводность, ρ - удельное сопротивление, E - напряженность электростатического поля.

$\sum I_k = 0$ первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю.

$\sum I_k \cdot R_k = \sum E_i$ второе правило Кирхгофа: для любого замкнутого контура разветвленной электрической цепи алгебраическая сумма произведений сил токов I_k на сопротивления R_k соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме ЭДС E_i в этом контуре.

$I = \frac{n \cdot E}{n \cdot r + R}$ закон Ома для замкнутой цепи при последовательном соединении n одинаковых источников тока: n - число источников тока, r - внутреннее сопротивление каждого из источников, E - ЭДС отдельного источника, R - внешнее сопротивление цепи.

$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R}$ закон Ома для замкнутой цепи при параллельном соединении n одинаковых источников тока.

$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}$ расчет сопротивления шунта $R_{ш}$ для расширения верхнего предела измерения амперметра в $n = \frac{I}{I_0}$ раз, R_A - сопротивление амперметра.

$R_{доб} = R_V \cdot (n - 1)$ расчет добавочного сопротивления $R_{доб}$ для расширения верхнего предела измерения вольтметра в $n = \frac{U}{U_0}$ раз, R_V - сопротивление вольтметра.

$$A = I \cdot U \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

A - работа постоянного тока: I - сила тока в цепи, U - напряжение на участке цепи с сопротивлением R , t - время.

$$P = \frac{A}{t} = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

P - мощность тока.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t = I \cdot U \cdot t$$

закон Джоуля-Ленца: Q - количество теплоты, выделяющейся на участке цепи с сопротивлением R за время t .

$$\omega = j \cdot E = \sigma \cdot E^2$$

закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме: ω - удельная тепловая мощность тока (количество теплоты, выделяющейся в единицу времени в единице объема), σ - удельная электропроводность, j - плотность тока, E - напряженность электростатического поля.

$$m = k \cdot q = k \cdot I \cdot t$$

первый закон Фарадея для электролиза: масса вещества m , выделившаяся на электроде, пропорциональна заряду q , прошедшему через электролит, I - сила постоянного тока, протекавшего за время t , k - электрохимический эквивалент вещества.

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n}$$

второй закон Фарадея: электрохимический эквивалент k пропорционален химическому эквиваленту $\frac{A}{n}$, A - атомная (молярная) масса данного химического элемента, n - его валентность, F - постоянная Фарадея.

$$j_H = N \cdot q \cdot d$$

j_H - плотность тока насыщения в газе: N - число пар ионов, возникающих в единице объема в единицу времени, d - расстояние между электродами, q - заряд ионов (в частном случае $q = e$ - элементарному заряду).

$$\eta = \frac{U}{E} = \frac{R}{R + r}$$

η - коэффициент полезного действия (КПД) источника тока: R - внешнее сопротивление, r - внутреннее сопротивление, E - ЭДС источника, U - напряжение на R .

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4 \cdot r}$$

$P_{\max}$ - максимальная полезная мощность источника тока: E - ЭДС источника, r - внутреннее сопротивление источника. При этом внешнее сопротивление $R = r$.

$$r^2 = R_1 \cdot R_2$$

соотношение между внутренним сопротивлением r источника и внешними сопротивлениями R_1 и R_2 , когда мощности, выделяемые

на R_1 и R_2 , одинаковы (R_1 и R_2 подключаются поочередно).

$$\eta = 1 - \frac{P \cdot R}{U^2}$$

η - КПД линии электропередачи: P - мощность, развиваемая источником при напряжении U на зажимах источника, R – сопротивление линии передачи (сопротивление проводов).

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot [d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{4 \cdot \pi \cdot r^3}$$

закон Био-Савара-Лапласа: $d\vec{B}$ - магнитная индукция поля, создаваемая элементом длины dl проводника с током I в вакууме, $\vec{r}$ - радиус-вектор от $d\vec{l}$ в точку наблюдения, α - угол между $d\vec{l}$ и $\vec{r}$, μ_0 - магнитная постоянная.

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot dl \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot q \cdot [\vec{v} \cdot \vec{r}]}{4 \cdot \pi \cdot r^3}$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

$\vec{B}$ - индукция магнитного поля свободно движущегося в вакууме заряда q с нерелятивистской скоростью $\vec{v}$: $\vec{r}$ - радиус-вектор, проведенный от заряда к точке наблюдения; α - угол между векторами $\vec{v}$ и $\vec{r}$.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot R}$$

B - индукция магнитного поля в центре кругового проводника, находящегося в вакууме: R - радиус витка, I - сила тока в проводнике.

$$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot b}$$

B - индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I в вакууме, b - расстояние от оси проводника до точки наблюдения.

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot I$$

B - индукция магнитного поля внутри (длинного) соленоида, находящегося в вакууме: l - длина соленоида, N - число витков.

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

B - индукция магнитного поля внутри тороида, находящегося в вакууме, N - число витков, r - расстояние от оси до средней линии тороида, I - сила тока, μ_0 - магнитная постоянная.

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей: $\vec{B}$ - магнитная индукция результирующего поля; $\vec{B}_i$ - магнитные индукции складываемых полей.

$$\vec{F}_A = I \cdot [\Delta \vec{l} \cdot \vec{B}]$$

$$F_A = I \cdot \Delta l \cdot B \cdot \sin \alpha$$

закон Ампера: F_A - сила Ампера, действующая на участок проводника длины Δl с током I , помещенный в магнитное поле с индукцией B , α - угол между направлением отрезка $\Delta \vec{l}$ проводника с током и $\vec{B}$, направление $\Delta \vec{l}$ совпадает с направлением тока.

$$F = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{R}$$

сила взаимодействия двух прямых прямолинейных бесконечных параллельных проводников с токами I_1 и I_2 : R - расстояние между проводниками; l - длина одного из проводников, на которую действует сила F ; μ - магнитная про-

нищаемость окружающей среды; μ_0 - магнитная постоянная.

$$\vec{P}_m = N \cdot I \cdot S \cdot \vec{n}$$

$$P_m = N \cdot I \cdot S$$

P_m - магнитный момент плоского контура с током I и площадью S ; $\vec{n}$ - единичный вектор нормали к поверхности рамки, N - число витков рамки.

$$\vec{M} = [\vec{P}_m \cdot \vec{B}]$$

$$M = P_m \cdot B \cdot \sin \alpha$$

M - механический момент сил, действующий на плоский контур с током, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией B ; P_m - магнитный момент рамки с током, α - угол между нормалью $\vec{n}$ к плоскости контура и вектором $\vec{B}$.

$$\vec{F}_L = q \cdot [\vec{V} \cdot \vec{B}]$$

$$F_L = q \cdot V \cdot B \cdot \sin \alpha$$

сила Лоренца (ее магнитная составляющая): F_L - сила, действующая на электрический заряд q , движущийся в магнитном поле с индукцией B со скоростью V , α - угол между $\vec{V}$ и $\vec{B}$.

$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q \cdot [\vec{V} \cdot \vec{B}] =$$

$$= \vec{F}_{эл} + \vec{F}_{магн}$$

общее выражение для силы Лоренца $\vec{F}_L$ при наличии в пространстве электрического (с напряженностью $\vec{E}$) и магнитного (с индукцией $\vec{B}$) полей. $\vec{F}_L$ - складывается из электрической $\vec{F}_{эл}$ и магнитной $\vec{F}_{магн}$ составляющих (слагаемых).

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

R - радиус окружности и T - период обращения заряженной частицы с зарядом q и массой m , влетевшей со скоростью v в однородное магнитное поле с индукцией B нормально к линиям индукции.

$$R = \frac{mv \cdot \sin \alpha}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v \cdot \sin \alpha} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$h = vT \cos \alpha = \frac{2\pi m}{qB} \cdot v \cdot \cos \alpha$$

R - радиус окружности, T - период обращения и h - шаг спирали, по которой движется заряженная частица с зарядом q и массой m , влетевшая в однородное магнитное поле с индукцией B со скоростью $\vec{v}$, составляющей угол α с линиями индукции, т.е. с вектором $\vec{B}$.

$$v = \frac{qB}{m} \sqrt{R^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}$$

$v=v(R,h)$ - выражение скорости v заряженной частицы через радиус окружности R и шаг спирали h .

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$\Phi = B_n \cdot S$$

Φ - магнитный поток (поток магнитной индукции) через площадку S ; α - угол между вектором $\vec{B}$ и нормалью $\vec{n}$ к площадке, $B_n = B \cdot \cos \alpha$ - проекция вектора $\vec{B}$ на направление $\vec{n}$.

$A = I \cdot \Delta \Phi$ работа по перемещению проводника с током в магнитном поле

$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
 $E = - \frac{d\Phi}{dt} = - \Phi'_t$ закон Фарадея (основной закон электромагнитной индукции): ЭДС индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром.

$E = - N \frac{d\Phi}{dt} = - N \Phi'_t$ E - ЭДС индукции в рамке с числом витков N.

$E = B \cdot l \cdot v = \varphi_1 - \varphi_2$ разность потенциалов (ЭДС индукции), возникающая на концах прямолинейного отрезка проводника длиной l при его движении в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной линиям индукции $\vec{B}$, со скоростью $\vec{v}$; $\vec{v}$ - перпендикулярна проводнику.

$q = \frac{\Delta \Phi}{R}$ q - величина заряда, протекающего в замкнутом контуре с сопротивлением R при изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром, на $\Delta \Phi$.

$\Phi = L \cdot I$ Φ - магнитный поток, создаваемый током I в контуре с индуктивностью L.

$E_c = - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$
 $E_c = - L \cdot \frac{dI}{dt} = - L \cdot I'_t$ E_c - ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока в контуре, L - индуктивность контура.

$\mu = \frac{B}{B_0}$ μ - магнитная проницаемость вещества показывает, во сколько раз индукция результирующего поля в магнетике больше индукции внешнего поля B_0 (поля, создаваемого намагничивающим током в вакууме); $\mu=1$ для вакуума.

$\vec{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \vec{H}$ $\vec{B}$ - магнитная индукция в случае однородной изотропной среды, H - напряженность магнитного поля, μ_0 - магнитная постоянная, μ - магнитная проницаемость среды.

$L = \mu \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l}$ L - индуктивность соленоида, N - число витков, l - длина соленоида, S - его площадь поперечного сечения, $V=S \cdot l$ - объем соленоида.

$W = \frac{L \cdot I^2}{2}$ W - энергия магнитного поля, создаваемого током I в замкнутом контуре с индуктивностью L.

$$\omega = \frac{B^2}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot H^2}{2} = \frac{B \cdot H}{2} \quad \omega - \text{объемная плотность энергии однородного магнитного поля (энергия магнитного поля в единице объема)}.$$

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad k - \text{коэффициент трансформации трансформатора, } N_2 \text{ и } N_1 - \text{число витков во вторичной и первичной обмотках, } U_2 \text{ и } U_1 - \text{напряжения на обмотках в режиме холостого хода.}$$

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad \text{кинематическое уравнение гармонических колебаний: } x - \text{смещение колеблющейся точки из положения равновесия, } A - \text{амплитуда, } \omega_0 - \text{круговая (циклическая) частота, } \alpha - \text{начальная фаза, } t - \text{время, } (\omega_0 t + \alpha) - \text{фаза колебаний.}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \quad \text{дифференциальное уравнение гармонических колебаний; } \omega_0 - \text{циклическая частота.}$$

$$x''_{tt} + \omega_0^2 x = 0$$

$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu}; \quad \nu = \frac{N}{t} \quad T - \text{период колебаний равен времени совершения одного колебания; } \nu - \text{частота колебаний; } N - \text{число полных колебаний за время } t.$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \quad \nu = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad T \text{ и } \nu - \text{период и частота гармонических колебаний, } \omega_0 - \text{циклическая частота.}$$

$$V(t) = \frac{dx}{dt} = x'_t = -A \cdot \omega_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \alpha) = A \cdot \omega_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2}) \quad V - \text{скорость колеблющейся точки.}$$

$$a(t) = \frac{dV}{dt} = V'_t = -A \cdot \omega_0^2 \cdot \sin\left(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right) = A \cdot \omega_0^2 \cdot \cos(\omega_0 t + \alpha + \pi) \quad a - \text{ускорение колеблющейся точки.}$$

$$F = -m \cdot \omega_0^2 \cdot x \quad F - \text{упругая (квазиупругая) сила, действующая на колеблющуюся материальную точку массой } m, x - \text{смещение колеблющейся точки из положения равновесия.}$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \quad T - \text{период колебаний математического маятника, } l - \text{длина маятника, } g - \text{ускорение силы тяжести.}$$

$$F = ma = mx''', \quad F = -kx; \quad mx''' = -kx; \quad x''' + \frac{k}{m}x = 0; \quad \text{второй закон Ньютона для гармонических колебаний пружинного маятника: } m - \text{масса груза, подвешенного на пружине с жесткостью } k; F = -k \cdot x - \text{сила упругости; } \omega_0 - \text{циклическая частота.}$$

$$x'' + \omega_0^2 x = 0; \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad T - \text{период колебаний пружинного маятника: } m - \text{масса груза, подвешенного на пружине жесткостью } k.$$

$$W_K = \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{m \cdot A^2 \cdot \omega_0^2 \cdot \sin^2(\omega_0 t + \alpha)}{2} \quad \text{кинетическая энергия материальной точки, совершающей прямолинейные гармонические колебания.}$$

$$W_{\Pi} = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot \omega_0^2 \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot A^2 \cdot \omega_0^2 \cdot \cos^2(\omega_0 t + \alpha)}{2} \quad \text{потенциальная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания под действием упругой силы } F.$$

$$W = W_K + W_{\Pi} = \frac{m \cdot A^2 \cdot \omega_0^2}{2} = \frac{k A^2}{2} \quad \text{полная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания.}$$

$$V = \lambda \cdot \nu = \frac{\lambda}{T} \quad \text{связь между скоростью волны } V, \text{ длиной волны } \lambda, \text{ частотой } \nu, \text{ периодом } T;$$

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad V - \text{скорость распространения звуковых (акустических) волн в упругой среде, } E - \text{модуль Юнга среды и } \rho - \text{ее плотность.}$$

$$x(r, t) = A \cdot \cos \omega_0 \left(t - \frac{r}{V} \right) = A \cdot \cos(\omega_0 t - k \cdot r) \quad \text{уравнение плоской прямой (бегущей) волны, распространяющейся в среде без поглощения в сторону положительной полуоси } r, k - \text{волновое число.}$$

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} = \frac{\omega_0}{V}$$

$$q'' + \frac{1}{LC} q = 0$$

$$q'' + \omega_0^2 q = 0 \quad \text{дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний заряда } q \text{ в контуре; } L - \text{индуктивность и } C - \text{емкость контура}$$

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \alpha);$$

$$I = \frac{dq}{dt} = q'_t = -q_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \alpha);$$

$$I = I_0 \cos\left(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right); \quad I_0 = q_0 \omega_0;$$

уравнения колебаний заряда $q(t)$ и тока $I(t)$ в LC-контуре; ω_0 - циклическая частота; q_0, I_0, U_0 - амплитудные значения заряда, силы тока и напряжения.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; q_0 = CU_0; \frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2};$$

связь между амплитудными значениями силы тока и напряжения в контуре

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

T - период колебаний электрического контура (формула Томсона).

$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2} = \frac{CU_0^2}{2}$$

полная электромагнитная энергия контура равна сумме энергий электрического и магнитного полей. Она также равна максимальной энергии электрического или магнитного полей.

$$\lambda_0 = cT = \frac{c}{\nu_0}; \nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

связь между скоростью распространения электромагнитной волны в вакууме c (скоростью света в вакууме), длиной волны λ_0 , частотой ν_0 , периодом T.

$$\Phi = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \omega t$$

Φ - магнитный поток через контур площадью S и числом витков N: ω - циклическая частота вращения рамки; α - угол поворота рамки (угол между индукцией $\vec{B}$ и нормалью $\vec{n}$) в момент времени t; N - число витков.

$$E_i = -\Phi_t' = -\frac{d\Phi}{dt} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

E_i - ЭДС индукции, возникающая при вращении рамки.

$$E_{\max} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega$$

значение максимальной (амплитудной) ЭДС во вращающейся рамке (при $\sin \omega t = 1$).

$$X_L = \omega \cdot L$$

X_L - (реактивное) индуктивное сопротивление.

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

X_C - (реактивное) емкостное сопротивление.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2}$$

Z - (импеданс) - полное сопротивление цепи переменного тока, содержащей последовательно включенные резистор сопротивлением R, катушку индуктивностью L, конденсатор емкостью C. На концы цепи подается переменное напряжение $U = U_0 \cdot \cos \omega t$.

$$I_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}$$

закон Ома для цепи переменного тока, I_0 - амплитудное значение силы тока в цепи переменного тока, Z - импеданс.

