



ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Основан в 1878 г.

ФИЗИКА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРОГРАММА ДЛЯ
ПОСТУПАЮЩИХ
В ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Томск - 2013

Пособие по физике составлено на основе примерной программы, разработанной Министерством образования и науки РФ.

Пособие включает программу подготовки к экзамену по физике как в формате ЕГЭ, так и в традиционной письменной форме.

Методическое пособие содержит программу подготовки к экзамену по физике, методические указания по разделам, примеры задач и способы их решения.

Протокол № 4 от 24.12.2012г.

Составитель: старший преподаватель физического факультета
П.А. Назаров

ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ ПО ФИЗИКЕ Общие указания

При подготовке к экзамену основное внимание следует уделить выявлению сущности физических законов и явлений, умению истолковывать физический смысл величин и понятий, а также умению применять теоретический материал к решению задач.

Необходимо уметь пользоваться при вычислениях системой СИ и знать внесистемные единицы, указанные в программе.

МЕХАНИКА

Кинематика.

Механическое движение. Относительность движения. Система отсчета. Материальная точка. Траектория. Путь и перемещение. Скорость. Ускорение. Равномерное и равноускоренное прямолинейное движение. Свободное падение тел. Ускорение свободного падения. Уравнение прямолинейного равноускоренного движения.

Криволинейное движение точки на примере движения по окружности с постоянной по модулю скоростью.

Центростремительное ускорение.

Основы динамики.

Инерция. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Взаимодействие тел. Масса. Импульс. Сила. Второй закон Ньютона. Принцип суперпозиции сил. Принцип относительности Галилея. Силы в природе. Сила тяготения. Закон всемирного тяготения. Вес тела. Невесомость. Первая космическая скорость. Сила упругости. Закон Гука. Сила трения. Коэффициент трения. Закон трения скольжения.

Третий закон Ньютона.

Момент силы. Условие равновесия тел.

Законы сохранения в механике.

Закон сохранения импульса. Ракеты.

Механическая работа. Мощность. Кинетическая энергия.

Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике.

Простые механизмы. Коэффициент полезного действия механизма.

Механика жидкостей и газов.

Давление. Атмосферное давление. Изменение атмосферного давления с высотой. Закон Паскаля для жидкостей и газов. Барометры и манометры. Сообщающиеся сосуды. Принцип устройства гидравлического пресса.

Архимедова сила для жидкостей и газов. Условия плавания тел на поверхности жидкости.

Движение жидкости по трубам. Зависимость давления жидкости от скорости ее течения.

Измерение расстояний, промежутков времени, силы, объёма, массы, атмосферного давления.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА

Основы молекулярно-кинетической теории.

Опытное обоснование основных положений молекулярно-кинетической теории. Броуновское движение. Диффузия. Масса и размер молекул. Измерение скорости молекул. Опыт Штерна. Количество вещества. Моль. Постоянная Авогадро. Взаимодействие молекул. Модели газа, жидкости и твёрдого тела.

Основы термодинамики.

Тепловое равновесие. Температура и её измерение. Абсолютная температурная шкала. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Теплоемкость вещества. Работа в термодинамике. Первый закон термодинамики. Изотермический, изохорный и изобарный процессы. Адиабатный процесс.

Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики и его статистическое истолкование. Преобразование энергии в тепловых двигателях. КПД теплового двигателя.

Идеальный газ. Связь между давлением и средней кинетической энергией молекул идеального газа. Связь температуры со средней кинетической энергией частиц газа.

Уравнение Клапейрона-Менделеева. Универсальная газовая постоянная.

Жидкости и твердые тела. Испарение и конденсация. Насыщенные и

ненасыщенные пары. Влажность воздуха. Кипение жидкости. Кристаллические и аморфные тела. Преобразование энергии при изменениях агрегатного состояния вещества.

Измерение давления газа, влажности воздуха, температуры, плотности вещества.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Электростатика.

Электризация тел. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов. Элементарный электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.

Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Электрическое поле точечного заряда. Потенциальность электростатического поля. Разность потенциалов. Принцип суперпозиции полей.

Проводники в электрическом поле. Электрическая ёмкость. Конденсатор. Ёмкость плоского конденсатора. Диэлектрики в электрическом поле. Диэлектрическая проницаемость. Энергия электрического поля плоского конденсатора.

Постоянный электрический ток.
Электрический ток. Сила тока. Напряжение. Носители свободных электрических зарядов в металлах, жидкостях и газах. Сопротивление проводников. Закон Ома для участка цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.

Полупроводники.
Собственная и примесная проводимость полупроводников, p-n-переход.

Магнитное поле.
Электромагнитная индукция. Взаимодействие магнитов. Взаимодействие проводников с током. Магнитное поле. Действие магнитного поля на электрические заряды. Индукция магнитного поля. Сила Ампера. Сила Лоренца. Магнитный поток. Электродвигатель.

Электромагнитная индукция.

Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца. Вихревое электрическое поле. Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

Измерение силы тока, напряжения, сопротивления проводника.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Механические колебания и волны.

Гармонические колебания. Амплитуда, период и частота колебаний. Свободные колебания. Математический маятник. Период колебаний математического маятника.

Превращение энергии при гармонических колебаниях. Вынужденные колебания. Резонанс. Понятие об автоколебаниях.

Механические волны.

Скорость распространения волны. Длина волны. Поперечные и продольные волны. Уравнение гармонической волны.

Звук.

Электромагнитные колебания и волны.

Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания в контуре. Превращение энергии в колебательном контуре. Собственная частота колебаний в контуре. Вынужденные электрические колебания. Переменный электрический ток. Генератор переменного тока. Действующие значения силы тока и напряжения. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления. Резонанс в электрической цепи.

Трансформатор. Производство, передача и потребление электрической энергии.

Идеи теории Максвелла. Электромагнитные волны. Скорость распространения электромагнитных волн. Свойства электромагнитных волн. Принципы радиосвязи. Шкала электромагнитных волн.

ОПТИКА

Свет - электромагнитная волна.

Прямолинейное распространение, отражение и преломление света. Луч. Законы отражения и преломления света. Показатель преломления.

Полное отражение. Предельный угол полного отражения. Ход лучей в призме. Построение изображений в плоском зеркале.

Собирающая и рассеивающая линзы. Формула тонкой линзы.
Построение изображений в линзах. Фотоаппарат. Глаз. Очки.

Интерференция света. Когерентность. Дифракция света.
Дифракционная решетка. Поляризация света. Поперечность световых волн.
Дисперсия света.

Измерение фокусного расстояния собирающей, линзы, показателя преломления вещества, длины волны света.

ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Инвариантность скорости света. Принцип относительности Эйнштейна.
Пространство и время в специальной теории относительности. Связь массы и энергии.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Тепловое излучение. Постоянная Планка. Фотоэффект. Опыты Столетова. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

Гипотеза Луи де Бройля. Дифракция электронов. Корпускулярно-волновой дуализм.

Радиоактивность.
Альфа-, бета-, гамма-излучения. Методы наблюдения и регистрации частиц в ядерной физике.

Опыт Резерфорда по рассеянию α -частиц. Планетарная модель атома. Боровская модель атома водорода. Спектры. Люминесценция.

Лазеры.

Закон радиоактивного распада. Нуклонная модель ядра. Заряд ядра. Массовое число ядра. Энергия связи частиц в ядре. Деление ядер. Синтез ядер. Ядерные реакции. Сохранение заряда и массового числа при ядерных реакциях. Выделение энергии при делении и синтезе ядер. Использование ядерной энергии.

Дозиметрия. Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия.

МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Эксперимент и теория в процессе познания мира. Моделирование явлений и объектов природы. Научные гипотезы. Физические законы и границы их применимости. Роль математики в физике. Принцип соответствия. Принцип причинности. Физическая картина мира.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ СОВЕТЫ И УКАЗАНИЯ

Решение задач в процессе изучения физики имеет очень большое значение. Осмысленное решение задач дает возможность учащимся разобраться в различных законах физики и границах их применения, способствует запоминанию основных физических законов. Решение задач развивает навыки использования законов для решения различных конкретных вопросов практики. Поэтому умение решать физические задачи может служить отличным критерием знания общего курса физики средней школы.

При решении большинства задач по физике можно выделить следующие четыре этапа решения:

- 1) анализ условия задачи, составление соответствующих схем или рисунков;
- 2) составление систем уравнений, описывающих конкретные физические процессы;
- 3) совместное решение полученной системы уравнений;
- 4) анализ полученных результатов и соответствующий расчет.

Проанализировав условие задачи, подумайте, какие упрощающие предположения облегчат решение задачи (пренебрежение силами трения, сопротивления воздуха, вязкостью жидкости, учет постоянства сил и т.д.).

Задачу в большинстве случаев целесообразно решать в общем виде. При этом не следует смущаться, если часть величин отсутствует в условии – эти величины либо сократятся в процессе выкладок, либо их значение можно найти в справочнике по физике.

Однако следует иметь в виду, что не каждую задачу удобно решать в общем виде. Иногда решение в общем виде приводит к излишне громоздким преобразованиям, в таких случаях задачу целесообразно решать в числах. Решив задачу, следует проверить результат по размерности и довести ответ до числа.

Надеемся, что данное пособие поможет вам хорошо сдать вступительные испытания.

Кинематика поступательного и вращательного движения. Динамика поступательного и вращательного движения. Статика

Методические указания

Для решения задач по кинематике можно предложить следующий порядок.

1. Выбрать удобную систему отсчета согласно условию задачи. Связать с выбранной системой отсчета систему координат. Систему координат целесообразно выбирать таким образом, чтобы ее начало совпадало с положением точки в начальный момент времени, а одна из осей совпадала с направлением ускорения движущейся точки.
2. Изобразить траекторию движущейся точки в выбранной системе отсчета. Указать векторы перемещения, скорости и ускорения.
3. Составить систему уравнений движения материальной точки.

При решении задач на динамику материальной точки можно рекомендовать следующую последовательность.

1. Сделать рисунок, изобразить все силы, действующие на каждое тело в отдельности.
2. Для каждого тела в отдельности записать II закон Ньютона в векторном виде: $m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$.
3. Выбрать систему координат. Спроецировать эти уравнения на выбранные оси координат. Желательно положительное направление оси выбрать совпадающим с направлением ускорения тела. В случае движения тела по окружности, ось необходимо направить к центру окружности, т.е. по направлению центростремительного ускорения.
4. Дополнить при необходимости полученную систему уравнений кинематическими соотношениями и решать их относительно искомой неизвестной величины.

5. Для решения задач по статике необходимо воспользоваться условиями равновесия:

а) сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0.$$

б) сумма моментов всех сил, действующих на тело,

равна нулю $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0.$

Примеры решения задач

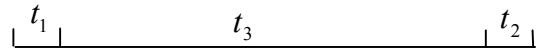
•Первый вагон, тронувшегося с места поезда, проходит мимо неподвижного наблюдателя за время t_1 , последний вагон – за время t_2 . Считая поезд длинным, вагоны одинаковыми, а движение поезда равноускоренным, найти время движения всего поезда мимо неподвижного наблюдателя.

Дано:

$$t_1, t_2$$

$$\underline{\hspace{2cm}}$$

$$t - ?$$



Решение:

Пусть будет: n – вагонов, l – длина одного вагона, a – ускорение поезда, t_3 – время движения со второго до предпоследнего вагона.

Тогда время движения всего поезда:

$$t = t_1 + t_2 + t_3.$$

Так как движение первого вагона происходит без начальной скорости, то:

$$l = \frac{at_1^2}{2} \quad (1),$$

всего поезда

$$nl = \frac{at^2}{2} \quad (2).$$

Если рассмотреть движение от первого вагона до предпоследнего (не включая последний вагон), то это движение также происходит без начальной скорости:

$$(n-1)l = \frac{a(t_1+t_2)^2}{2} = \frac{a(t-t_2)^2}{2} \quad (3).$$

Подставим (1) в (2):

$$\frac{at_1^2}{2}n = \frac{at^2}{2}.$$

Отсюда получим:

$$n = \frac{t^2}{t_1^2} \quad (4).$$

Теперь подставим в уравнение (3) выражения (4) и (1):

$$\left(\frac{t^2}{t_1^2} - 1\right)\frac{at_1^2}{2} = \frac{a(t-t_2)^2}{2}.$$

Преобразуя и упрощая это выражение приходим к виду $t^2 - t_1^2 = (t-t_2)^2$. И отсюда раскрывая квадрат разности и приводя подобные, получаем окончательный ответ:

$$t = \frac{t_1^2 + t_2^2}{2t_2}.$$

Ответ: $t = \frac{t_1^2 + t_2^2}{2t_2}$

• Шарик массой 500 г, подвешенный на нерастяжимой нити длиной 1 м, совершает колебания в вертикальной плоскости. Найти силу натяжения нити в момент, когда она образует с вертикалью угол 60° . Скорость шарика в этот момент 1,5 м/с.

Дано

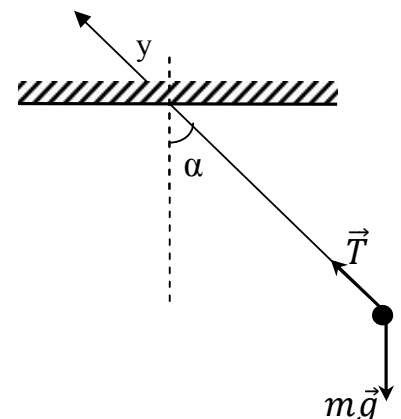
$$m = 500 \text{ г} = 0,5 \text{ кг}, \quad l = 1 \text{ м}, \quad \alpha = 60^\circ, \quad v = 1,5 \text{ м/с}$$

Т—?

Решение

Рассмотрим положение шарика в момент, когда, согласно условию задачи, он образует угол 60° с вертикалью.

Расставим силы, действующие на шарик. Это сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и



сила натяжения нити \vec{T} , действующая вдоль нити к точке подвеса. Выберем ось y , вдоль нити, как указано на рисунке. Согласно второму закону Ньютона, векторная сумма всех сил, приложенных к телу, равна произведению массы этого тела на его ускорение

$$m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}.$$

В проекции на ось y это уравнение имеет вид

$$T - mg \cos \alpha = ma$$

Здесь a – центростремительное ускорение, равное $a = \frac{v^2}{l}$.

Подставляя его в предыдущее уравнение, выражаем силу натяжения

$$T = m \left(\frac{v^2}{l} + g \cos \alpha \right).$$

Численное значение силы натяжения получается

$$T = 0,5 \left(\frac{1,5^2}{1} + 9,8 \cdot 0,5 \right) = 3,6 \text{ (H)}$$

Ответ: $T = 3,6 \text{ H}$

• Сколько пробок из пенопласта надо взять, чтобы удержать рыболовную сеть массой $m = 30 \text{ кг}$? Диаметр пробки $d = 8 \text{ см}$, а длина $l = 6 \text{ см}$. Считать, что пробка должна быть погружена в воду наполовину, массой пробок пренебречь. Плотность воды 1000 кг/м^3 .

Дано

$$m = 30 \text{ кг}, d = 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}, l = 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \\ \rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

N —?

Решение

Так как система тел «рыболовная сеть – пробки» находится в равновесии, значит, сумма всех сил, приложенных к ней, равна нулю. На систему тел со стороны земли действует сила тяжести, направленная вертикально вниз, а со стороны жидкости – сила Архимеда, направленная вертикально вверх. Таким образом, можно приравнять силу тяжести, действующую на всю сеть, и силу Архимеда, действующую на все N пробок.

$$mg = N \cdot F_A$$

Распишем силу Архимеда.

$$mg = N \cdot \rho g V_{\text{погр}}$$

Учтем условие задачи, что $V_{\text{погр}} = \frac{1}{2}V$, тогда

$$mg = N \cdot \rho g \frac{1}{2}V$$

Форма пенопластовой пробки цилиндрическая, значит, ее объем можно вычислить как

$$V = \frac{\pi d^2}{4}l$$

Подставляя значение V в предыдущее выражение, и, выражая количество пробок N , окончательно получаем

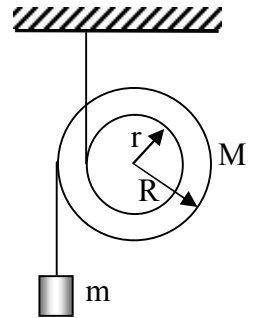
$$N = \frac{8m}{\pi \rho l d^2}.$$

Численное значение N равно

$$N = \frac{8 \cdot 30}{3,14 \cdot 1000 \cdot 6 \cdot 10^{-2} \cdot (8 \cdot 10^{-2})^2} = 199$$

Ответ: $N = 199$

- Катухка висит на нити, намотанной по ее малому радиусу r . По большому радиусу R тоже намотана нить, на конце которой висит груз. Какова масса груза m , если система находится в равновесии? Масса катушки равна M .



Дано:

r, R, M

$m - ?$

Решение:

Запишем первое условие равновесия.

- 1) Сумма всех сил, приложенных к телу, равна нулю.

Для тела массой m :

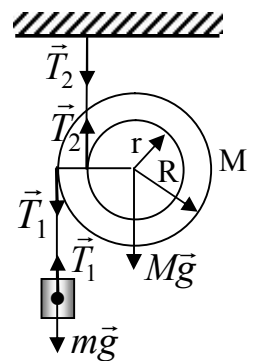
$$T_1 = mg.$$

Для тела массой M :

$$T_2 = (m + M)g.$$

Второе условие равновесия:

- 2) Сумма всех моментов сил, приложенных к телу, равна нулю.



$$\sum M_i = 0.$$

Рассмотрим моменты сил относительно оси, проходящей через ось катушки. Для силы \vec{T}_1 плечом является больший радиус. А для силы \vec{T}_2 – меньший радиус. Так как сила тяжести $M\vec{g}$ имеет плечо, равное нулю, то ее момент относительно оси катушки тоже равен нулю. Момент силы \vec{T}_1 имеет отрицательный знак, так как кратчайший поворот от силы к плечу осуществляется против часовой стрелки. А момент силы \vec{T}_2 имеет положительный знак, так как кратчайший поворот от силы к плечу осуществляется по часовой стрелке. Тогда

$$T_1 R = T_2 r.$$

Воспользовавшись вторым условием равновесия, получаем

$$mgR = (m + M)gr.$$

Отсюда нетрудно получить значение искомой массы m :

$$m = \frac{Mr}{R - r}.$$

Ответ: $m = \frac{Mr}{R - r}$

Работа и энергия. Законы сохранения в механике

Методические указания

При решении задач на законы сохранения необходимо:

1. Указать какие тела входят в рассматриваемую систему, выбрать состояния системы, к которым будут применяться законы сохранения. Это не обязательно начальное и конечное состояния системы, указанные в условии задачи.

2. Обосновать возможность применения законов сохранения при переходе системы из одного состояния в другое.
3. Спроецировать записанные уравнения на выбранные оси координат, дополнить в случае необходимости систему полученных уравнений кинематическими и динамическими уравнениями.
4. Выбрать нулевой уровень отсчета потенциальной энергии.
5. Решить полученную систему уравнений.

Примеры решения задач

- На гладкой горизонтальной плоскости находится длинная доска массой $M = 2$ кг. По доске скользит шайба массой $m = 0,5$ кг. Коэффициент трения между шайбой и доской $\mu = 0,2$. В начальный момент времени скорость шайбы равна v_0 а доска покоится. В момент $\tau = 0,8$ с шайба перестает скользить по доске. Чему равна начальная скорость шайбы v_0 ?

Дано

$$M = 2 \text{ кг}, \quad m = 0,5 \text{ кг}, \quad \mu = 0,2, \quad \tau = 0,8 \text{ с},$$

$v_0 - ?$

Решение

Рассмотрим систему тел «доска – шайба». Внешние силы, действующие на эту систему тел, направлены по вертикали и в сумме равны нулю. Импульс системы тел «доска – шайба» в проекции на горизонтальную ось относительно Земли сохраняется:

$$m v_0 = (M + m) v,$$

где v – скорость шайбы и доски после того, как шайба перестала скользить по доске.

Сила трения, действующая на доску со стороны шайбы, постоянна и равна

$$F_{mp} = \mu m g.$$

Под действием этой силы доска движется с ускорением

$$a = \mu \frac{m}{M} g,$$

которое определяется из второго закона Ньютона в проекции на горизонтальную ось

$$Ma = \mu N,$$

а сила реакции опоры N из проекции на вертикальную ось

$$N = mg.$$

Доска достигает скорости v за время

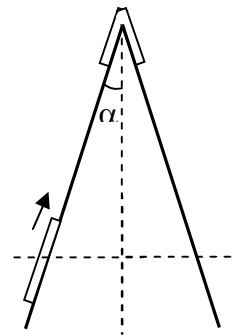
$$\tau = \frac{v}{a} = \frac{Mv}{\mu mg} = \frac{Mv_0}{\mu g(M + m)}.$$

Отсюда

$$v_0 = \frac{\mu(M + m)g\tau}{M} = 2 \text{ (м/с)}.$$

Ответ: $v_0 = 2 \text{ м/с}$

• Гибкая однородная цепь длиной L может двигаться по желобу, имеющему в сечении форму равнобедренного треугольника с углом 2α при вершине и расположенному в вертикальной плоскости. Трение отсутствует, предполагается, что цепь прилегает к желобу. Найти наименьшую начальную скорость цепи, необходимую для преодоления такой горки. В начальный момент времени расстояние между горизонтальными прямыми, проходящими через центр тяжести цепи и вершину желоба, равно H (рис.).



Дано:

$L, 2\alpha, H$

v_0 -?

Решение:

Цепь перевалит через горку, если в тот момент времени, когда середина цепи достигнет вершины желоба, скорость цепи обратиться в нуль. Выберем в качестве нулевого уровня потенциальной энергии горизонтальную прямую, проходящую через вершину желоба. Тогда в начальном состоянии энергия равна:

$$E_1 = mv_0^2/2 + (-mgH)$$

В конечном состоянии центр тяжести цепи находится на расстоянии $L/4 \cdot \cos\alpha$ от вершины треугольника:

$$E_2 = 0 + (-mg \cdot L/4 \cdot \cos\alpha)$$

$$E_1 = E_2 \Rightarrow mv_0^2/2 - mgH = -mgL/4 \cdot \cos\alpha$$

В согнутом состоянии

$$v_0 = \sqrt{2gH\left(1 - \frac{L}{4H} \cdot \cos\alpha\right)}$$

центр масс цепи не совпадает с центром самой цепочки.

Ответ: $v_0 = \sqrt{2gH\left(1 - \frac{L}{4H} \cdot \cos\alpha\right)}$. Для точечного тела наименьшая скорость $v_0 = \sqrt{2gH}$.

Молекулярно-кинетическая теория. Термодинамика

Методические указания

При решении задач на расчет параметров состояния газа рекомендуется:

1. Выяснить, изменяется ли состояние газа; если даны два или несколько состояний газа, то параметры этих состояний записываются в виде:
1 состояние газа $m_1 = \dots, p_1 = \dots, V_1 = \dots, T_1 = \dots$
2 состояние газа $m_2 = \dots, p_2 = \dots, V_2 = \dots, T_2 = \dots$
2. Для каждого состояния записать уравнение Менделеева-Клапейрона. Если масса газа не изменяется, то можно записать один из законов идеального газа: Бойля-Мариотта, Гей-Люссака или Шарля.
3. Записать дополнительные уравнения, связывающие искомые величины или параметры состояния, используя условие задачи.
4. При рассмотрении процессов, связанных с изменением состояния двух или более газов, входящих в состав смеси или отделенных друг от друга поршнями или перегородками, все указанное в пунктах 1-3 проделать для каждого отдельно. Для смеси газов следует воспользоваться законом Дальтона.
5. Решить полученную систему уравнений.

При решении задач по термодинамике следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. Установить какие тела входят в данную термодинамическую систему.
2. Выяснить причины изменения внутренних энергий тел этой системы.
3. Записать первый закон термодинамики $Q = \Delta U + A$.

При решении задач с использованием уравнения теплового баланса можно рекомендовать следующее:

1. Задаются параметры системы в начальном и конечном состоянии.
2. Выяснить какие части системы отдают тепло, а какие – получают.
4. Составить уравнение теплового баланса (частный случай первого закона термодинамики): $\sum_{i=1}^n Q_i = 0$.

Если в задаче нужно найти КПД процесса, то следует помнить, что КПД равен отношению полезной работы к затраченной работе. КПД принято выражать в процентах.

Примеры решения задач

- Воздух, находящийся в закрытом сосуде вместимостью 1 л при нормальных условиях, нагревается электрическим нагревателем, рассчитанным на ток 0,2 А и напряжение 10 В. Через сколько времени давление в сосуде повысится до 1 МПа? КПД нагревателя 50%. Удельная теплоемкость воздуха $1,005 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), его плотность при н.у. $1,29 \cdot 10^{-3}$ кг/м³. Нормальное атмосферное давление $1,01 \cdot 10^5$ Па, температура при н.у. 0°С.

Дано

$$V = 1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3, \quad I = 0,2 \text{ А}, \quad U = 10 \text{ В}, \quad p_2 = 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}, \quad \eta = 0,5, \quad c = 1,005 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}), \quad \rho = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3, \quad p_1 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}, \quad T_1 = 0^\circ\text{С} = 273 \text{ К}$$

$t = ?$

Решение

Коэффициентом полезного действия нагревателя, по определению, является отношение количества теплоты, полученное воздухом, к количеству теплоты, выделившемуся при протекании тока по электрическому нагревателю

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (1)$$

Количество теплоты, выделяемое при протекании тока по проводнику, определяется законом Джоуля-Ленца

$$Q_1 = IUt. \quad (2)$$

Количество теплоты, полученное воздухом при нагревании

$$Q_2 = cm(T_2 - T_1). \quad (3)$$

Подставляя уравнения (2) и (3) в (1), выражаем время t

$$t = \frac{cm(T_2 - T_1)}{\eta I U}. \quad (4)$$

Так как сосуд закрыт, то его объем не изменяется. Значит, можно считать процесс нагревания воздуха в баллоне изохорным $V = const$. В соответствии с этим отношение $\frac{p}{T} = const$. Тогда

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Выражая отсюда T_2 и подставляя в (4), получим

$$t = \frac{c\rho V \left(T_1 \frac{p_2}{p_1} - T_1 \right)}{\eta I U}.$$

Здесь учтено, что $m = \rho V$. Преобразовывая это выражение, окончательно получаем

$$t = \frac{c\rho VT_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right)}{\eta I U}.$$

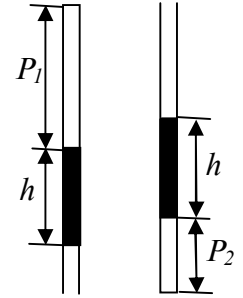
Подстановка численных значений в это уравнение дает ответ.

$$t = \frac{1,005 \cdot 10^3 \cdot 1,29 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \cdot 273 \left(\frac{10^6}{1,01 \cdot 10^5} - 1 \right)}{0,5 \cdot 0,2 \cdot 10} = 3150 \text{ (с)}$$

$$= 3,15 \cdot 10^3 \text{ (с)}$$

Ответ: $t = 3,15 \cdot 10^3 \text{ с}$

• Найти атмосферное давление в миллиметрах ртутного столба, если при длине ртутного столбика $12,5\text{ см}$ в тонкой трубке, запаянной с одного конца, длина столбика воздуха в первом положении 7 см , а во втором - 5 см .



Дано:

$$h = 12,5\text{ см} \quad l_1 = 7\text{ см} \quad l_2 = 5\text{ см}$$

$$p_0 - ?$$

Решение:

Учтем, что в процессе переворачивания трубки температура не изменилась. Значит, для объема воздуха, запертого столбиком ртути, можно рассматривать изотермический процесс.

$$T = \text{const} \text{ или } p_1 V_1 = p_2 V_2. \quad (1)$$

Выразим давление в первом и втором случаях, принимая во внимание, что по условию задачи оно должно быть в миллиметрах ртутного столба. В первом случае давление воздуха меньше атмосферного на величину давления столбика ртути:

$$p_1 = p_0 - h.$$

Во втором случае давление увеличивается, так как на воздух действует как атмосфера, так и столбик ртути:

$$p_2 = p_0 + h.$$

Так как сечение трубки постоянно, то объем воздуха для обоих случаев может быть выражен как

$$V_1 = S l_1 \quad \text{и} \quad V_2 = S l_2,$$

где S - сечение трубки.

Подставим эти значения в уравнение (1):

$$(p_0 - h) S l_1 = (p_0 + h) S l_2.$$

Раскрывая скобки и преобразовывая это выражение, получаем

$$p_0 = \frac{h(l_1 + l_2)}{l_1 - l_2}.$$

Подстановка численных значений дает результат:

$$p_0 = \frac{12,5(7 + 5)}{7 - 5} = \frac{12,5 \cdot 12}{2} = 75(\text{см рт ст}) = 750(\text{мм рт ст}).$$

Ответ: $p_0 = 750\text{ мм рт ст}$

• Идеальный одноатомный газ в количестве 1 моль нагрели сначала изобарно, а затем изохорно. В результате как давление, так и объем газа увеличились в два раза. Какое количество тепла получил газ в этих двух процессах, если его начальная температура была 100 К? Универсальная газовая постоянная равна 8300 Дж/(кмоль·К).

Дано

$\nu = 1$ моль, $p_1 = \text{const}$, $V_2 = \text{const}$, $p_2 = 2p_1$, $V_2 = 2V_1$, $T_1 = 100$ К,
 $R = 8300$ Дж/(кмоль·К)

$Q = ?$

Решение

Общее количество теплоты Q , полученное газом в результате двух процессов, можно рассчитать как

$$Q = Q_p + Q_V. \quad (1)$$

Здесь

$$Q_p = \Delta U_1 + A \quad (2)$$

- количество теплоты, полученное при изобарном процессе, а

$$Q_V = \Delta U_2 \quad (3)$$

- количество теплоты при изохорном процессе. Так как газ одноатомный, то число степеней свободы равно трём $i = 3$. Согласно тому, что

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T,$$

изменение внутренней энергии в первом процессе

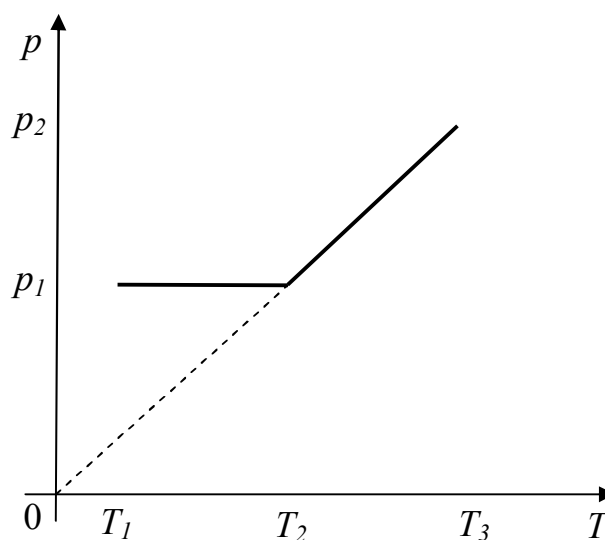
$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1), \quad (4)$$

а во втором процессе

$$\Delta U_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = Q_V. \quad (5)$$

Так как при изохорном процессе изменение объема равно нулю, то работа газом не совершается. Поэтому рассчитаем работу в изобарном процессе как $A = p \Delta V$.

$$A = p_1 (V_2 - V_1). \quad (6)$$



Теперь необходимо рассчитать объемы V_2 и V_1 и температуры T_2 и T_3 . Это можно сделать исходя из уравнения состояния идеального газа $pV = \nu RT$. В первоначальном состоянии

$$p_1 V_1 = \nu R T_1 \quad (7)$$

После изобарного нагревания

$$p_1 V_2 = \nu R T_2, \quad (8)$$

а после изохорного

$$p_2 V_2 = \nu R T_3. \quad (9)$$

Поделив (8) на (7), получим соотношение

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (10)$$

Если воспользоваться условием задачи $V_2 = 2V_1$ и подставить в выражение (10), то получим соотношение для температур

$$T_2 = 2T_1. \quad (10')$$

Согласно этому (4) соотношение примет вид

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu R T_1, \quad (11)$$

а соотношение (6)

$$A = p_1 V_1.$$

Заменим произведение $p_1 V_1$ из (7) и выразим работу

$$A = \nu R T_1. \quad (12)$$

Подставляя (11) и (12) в выражение (2) для количества теплоты при изобарном процессе, получим

$$Q_p = \frac{3}{2} \nu R T_1 + \nu R T_1 = \frac{5}{2} \nu R T_1. \quad (13)$$

Теперь поделим (9) на (8), чтобы получить соотношение между давлениями и температурами

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_3}{T_2}.$$

Если воспользоваться условием задачи $p_2 = 2p_1$, $V_2 = 2V_1$ и подставить в предыдущее соотношение, то получим, что

$$T_3 = 4T_1. \quad (14)$$

Теперь, подставляя в выражение (5) для количества теплоты, полученной газом при изохорном процессе, значения температур из (10') и (14), имеем

$$Q_V = \frac{3}{2} \nu R (4T_1 - 2T_1) = 3 \nu R T_1. \quad (15)$$

Для того чтобы получить окончательно полное количество теплоты, необходимо в (1) подставить значения Q_p и Q_V из соотношений (13) и (15)

$$Q = \frac{5}{2} \nu R T_1 + 3 \nu R T_1 = \frac{11}{2} \nu R T_1.$$

Получим численное значение для Q .

$$Q = \frac{11}{2} \cdot 1,8,3 \cdot 100 = 4565 \text{ (Дж)}.$$

Ответ: $Q = 4565$ Дж

Электростатика. Постоянный электрический ток

Методические указания

При решении задач по электростатике необходимо:

1. Сделать рисунок с изображением взаимодействующих зарядов и полей, создаваемых зарядами.
2. При изображении полей обязательно использовать правила проведения силовых линий и эквипотенциальных поверхностей.
3. Помнить, что закон Кулона имеет место только в случае, если заряды можно считать точечными.
4. Для нахождения величин зарядов после соприкосновения заряженных тел применить закон сохранения электрического заряда. Помнить, что при соприкосновении заряженных проводников выравниваются их потенциалы.
5. При действии на точечный заряд нескольких сил или полей использовать принцип суперпозиции $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$, $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$
6. Знать, что точечный заряд или система зарядов будут находиться в равновесии, если сумма всех сил, действующих на каждый заряд, равна нулю.

При решении задач на законы постоянного тока необходимо:

1. Сделать рисунок с изображением элементов цепи, указать направление тока, проходящего через каждый элемент. Помнить, что между точками цепи с равными потенциалами ток не проходит.
2. Если соединение проводников смешанное, то следует разделить цепь на участки последовательного и параллельного соединения проводников, а в наиболее сложных схемах заменить участки эквивалентными.

Примеры решения задач

• Два одинаковых шарика, имеющих заряды по 400 нКл , соединены пружиной и находятся на гладком горизонтальном столе. Шарика колеблются так, что расстояние между ними меняется от L до $4L$. Найдите жесткость пружины, если известно, что её длина в свободном состоянии равна $2L$, где $L=2 \text{ см}$. Электрический коэффициент $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$.

Дано

$$q_1 = q_2 = 400 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}, \quad L = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Ф/м},$$

К—?

Решение

Так как по условию сказано, что стол гладкий, значит, нет диссипативных сил (сил трения, сопротивления) и можно воспользоваться законом сохранения энергии. При максимальном сжатии и максимальном растяжении пружины кинетическая энергия системы равна нулю. При записи закона сохранения энергии воспользуемся этим условием, учитывая, что полная энергия системы в крайних положениях складывается только из потенциальной энергии сжатия (растяжения) пружины и потенциальной энергии взаимодействия заряженных шариков. То есть W_1 – полная энергия при максимальном сжатии пружины (первое положение), должна соответствовать W_2 – полной энергии при максимальном растяжении (второе положение).

$$W_1 = W_2$$

W_1 – полная энергия системы в первом положении, которая складывается из энергии сжатой пружины и энергии взаимодействующих заряженных шариков

$$W_1 = \frac{Kx_1^2}{2} + \frac{kq^2}{L}.$$

Здесь x_1 – максимальное смещение из положения равновесия при сжатии

$$x_1 = 2L - L = L.$$

Подставим это значение в предыдущую формулу, тогда

$$W_1 = \frac{KL^2}{2} + \frac{kq^2}{L}. \quad (1)$$

W_2 – полная энергия системы во втором положении, которая складывается из энергии растянутой пружины и энергии взаимодействующих заряженных шариков на расстоянии $4L$

$$W_2 = \frac{Kx_2^2}{2} + \frac{kq^2}{4L}.$$

Здесь x_2 – максимальное смещение из положения равновесия при растяжении

$$x_2 = 4L - 2L = 2L.$$

Подставим это значение в предыдущую формулу, тогда

$$W_2 = \frac{K4L^2}{2} + \frac{kq^2}{4L}. \quad (2)$$

Теперь согласно закону сохранения энергии приравняем (1) к (2)

$$\frac{KL^2}{2} + \frac{kq^2}{L} = \frac{K4L^2}{2} + \frac{kq^2}{4L}$$

и выражаем отсюда коэффициент жесткости K пружины

$$K = \frac{kq^2}{2L^3}.$$

Численное значение жесткости пружины получаем

$$K = \frac{9 \cdot 10^3 \cdot 16 \cdot 10^{-14}}{2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 90 \text{ (Н/м)}.$$

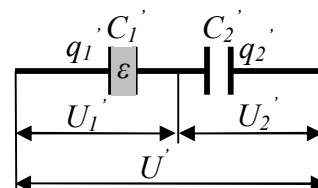
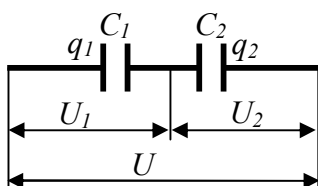
Ответ: $K = 90 \text{ Н/м}$

- Два одинаковых последовательно соединенных конденсатора подключены к источнику постоянного напряжения с разностью потенциалов U . Во сколько раз изменится напряженность электрического поля того конденсатора, который будет заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε ?

Дано:

U, ε

$$\frac{E_1}{E_1'} - ?$$



Решение:

При последовательном соединении конденсаторов выполняется условие равенства зарядов на отдельных емкостях:

$$q_1 = q_2.$$

Тогда согласно определению емкости $C = \frac{q}{U}$, получаем:

$$C_1 U_1 = C_2 U_2, \quad (1)$$

$$\text{причем } U = U_1 + U_2. \quad (2)$$

Так как конденсаторы плоские, то емкость каждого можно вычислить:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}, \quad C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}.$$

Подставляя в (1), получаем: $\frac{\varepsilon_0 S}{d} \cdot U_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \cdot U_2$. Отсюда следует, что

$U_1 = U_2$ или, с учетом (2): $U_1 = \frac{U}{2} = U_2$. Электрическое поле в первом конденсаторе до заполнения его диэлектриком равно $E_1 = U_1 / d$ или, подставив значение U_1 , получаем

$$E_1 = U / (2d). \quad (3)$$

После заполнения диэлектриком первого конденсатора также будет выполняться условие равенства зарядов (при последовательном соединении):

$$q_1' = q_2',$$

тогда аналогично (2) можно записать

$$C_1' U_1' = C_2' U_2'. \quad (4)$$

Теперь, так как отключения от источника нет, будет справедливо равенство

$$U = U_1' + U_2'. \quad (5)$$

$$\text{Отсюда } U_2' = U - U_1'. \quad (6)$$

Новые емкости конденсаторов:

$$C_1' = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} \text{ и } C_2' = \frac{\varepsilon_0 S}{d}.$$

Подставляя эти значения в (4), получим

$$\frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} \cdot U_1' = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \cdot U_2', \text{ или сокращая подобные,}$$

$$\varepsilon U_1' = U_2'.$$

Или, учтя выражение (5), $\varepsilon U_1' = U - U_1'$. Отсюда выражаем U_1' :

$$U_1' = \frac{U}{\varepsilon + 1}. \quad (7)$$

Выражение для напряженности электрического поля в конденсаторе с диэлектриком $E_1' = U_1' / d$. Подставляя сюда значение U_1' из (7), получим

$$E_1' = \frac{U}{(\varepsilon + 1)d}. \quad (8)$$

Теперь можно найти и отношение $\frac{E_1}{E_1'}$.

$$\frac{E_1}{E_1'} = \frac{Ud}{2} \cdot \frac{\varepsilon + 1}{Ud} = \frac{\varepsilon + 1}{2}.$$

Ответ: Напряженность изменилась в $\frac{E_1}{E_1'} = \frac{\varepsilon + 1}{2}$ раз.

• Напряжение городской сети 220 В . Длина электрической проводки к дому 50 м . Определить сечение подводящих проводов, если известно, что при включении полной нагрузки, состоящей из 100 семидесятипятиваттных и 50 двадцатипятиваттных лампочек, напряжение на лампочках 210 В . Провода изготовлены из медного провода с удельным сопротивлением $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$.

Дано:

$$U_1 = 220 \text{ В} \quad \ell' = 50 \text{ м} \quad n_1 = 100 \quad P_1 = 75 \text{ Вт} \quad n_2 = 50 \quad P_2 = 25 \text{ Вт}$$

$$U_2 = 210 \text{ В} \quad \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$$

$S - ?$

Решение:

Сечение подводящих проводов можно определить из определения сопротивления проводника:

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \Rightarrow S = \rho \frac{\ell}{R}. \quad (1)$$

Сопротивление можно выразить из закона Ома для участка цепи. Падение напряжения на подводящих проводниках:

$$U_1 - U_2 = IR.$$

Отсюда сопротивление

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I}. \quad (2)$$

Полная мощность цепи:

$$P = n_1 P_1 + n_2 P_2.$$

Из определения мощности постоянного тока $P = IU$ можно выразить силу тока в цепи с лампочками, подставив выражение для мощности:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2}{U_2}. \quad (3)$$

Подставим выражение (3) для силы тока в выражение (2) для сопротивления:

$$R = \frac{(U_1 - U_2)U_2}{n_1 P_1 + n_2 P_2}.$$

Из выражения (1) получим:

$$S = \frac{\rho \ell (n_1 P_1 + n_2 P_2)}{(U_1 - U_2)U_2}.$$

Так как подводящая линия двухпроводная, то общая ее длина $\ell = 2\ell'$. Поэтому сечение:

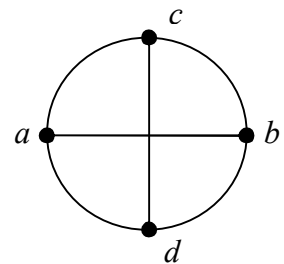
$$S = \frac{\rho 2\ell' (n_1 P_1 + n_2 P_2)}{(U_1 - U_2)U_2}.$$

Подстановка численных значений дает результат:

$$S = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 50 \cdot (100 \cdot 75 + 50 \cdot 25)}{(220 - 210) \cdot 210} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 7,1 \text{ мм}^2$$

Ответ: $S = 7,1 \text{ мм}^2$

- Из проволоки, единица длины которой имеет сопротивление R_l , сделан каркас в форме окружности радиуса r , пересеченный двумя взаимно перпендикулярными диаметрами. Найти сопротивление R_x каркаса, если источник тока подключен к точкам c и d .



Дано:

R_l, r

$R_x - ?$

Решение:

Так как длина отрезков ca и cb , сечение и материал из которых изготовлены эти проводники одинаковы, то падение напряжения на

этих участках тоже будет одинаковым. Следовательно, точка a и точка b имеют одинаковый потенциал. Это означает, что по проводнику ab ток не потечет. Эквивалентная схема будет представлять из себя параллельное соединение проводников cad , cd и cbd . При параллельном соединении общее сопротивление цепи выразим из соотношения:

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{2rR_l} + \frac{1}{\pi rR_l} + \frac{1}{\pi rR_l},$$

где $2rR_l$ - сопротивление диаметра cd , πrR_l - соответственно сопротивления участков cad и cbd . Из этого выражения получаем R_x :

$$R_x = \frac{2\pi rR_l}{\pi + 4}.$$

Ответ: $R_x = \frac{2\pi rR_l}{\pi + 4}$

Магнитное поле тока. Электромагнитная индукция. Колебания и волны. Переменный ток

Методические указания

При решении задач на данную тему необходимо:

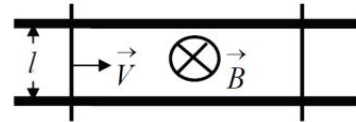
1. Знать правила изображения магнитных полей проводников с током. Сделать правильный рисунок.
2. Помнить, что силы, действующие на проводник с током и движущиеся заряды в магнитном поле всегда перпендикулярны к направлению вектора магнитной индукции.
3. При наличии нескольких магнитных полей использовать принцип суперпозиции.
4. Учитывать различное направление сил со стороны электрического и магнитного полей, действующих на движущуюся заряженную частицу.
5. Уметь применять закон электромагнитной индукции при любом изменении магнитного поля через поверхность, ограниченную проводящим

контуром или при перемещении проводника в магнитном поле.

6. Помнить, что закон сохранения энергии выполняется для любых физических явлений и процессов.

Примеры решения задач

• Два параллельных друг другу рельса, лежащих в горизонтальной плоскости, находятся в однородном магнитном поле, индукция которого \vec{B} направлена вертикально вниз (см. рисунок). Левый проводник движется вправо со скоростью \vec{V} , а правый - покоится. С какой скоростью \vec{v} надо перемещать правый проводник (такой же), чтобы в три раза уменьшить действующую на него силу Ампера? (Сопротивлением рельсов пренебречь.)

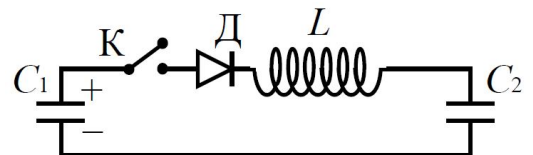


Решение.

Когда правый проводник покоится, на него действует сила Ампера $F=IBl$, где $I = \frac{\varepsilon_{\text{инд}}}{R}$ – индукционный ток, R - сопротивление цепи, l –расстояние между рельсами. Поскольку силу Ампера надо уменьшить втрое, ЭДС индукции $\varepsilon_{\text{инд}} = -B \frac{\Delta S}{\Delta t}$ — в контуре надо в три раза уменьшить. Значит, скорость изменения площади, ограниченной контуром, также должна быть меньше в три раза. Отсюда следует, что правый проводник должен, как и левый, двигаться вправо, причем его скорость должна быть равна $v = \frac{2}{3}V$.

Ответ: $v = \frac{2}{3}V$.

• К конденсатору ёмкостью $C_1 = 0,5$ мкФ через идеальный диод и катушку индуктивности L подключён конденсатор ёмкостью $C_2 = 2$ мкФ. До замыкания ключа



К конденсатор C_1 был заряжен до некоторого напряжения U , а конденсатор C_2 не заряжен. После замыкания ключа система перешла в новое состояние равновесия, в котором напряжение на конденсаторе C_2

оказалось равным 20 В. Чему равно напряжение U ? (Активное сопротивление цепи пренебрежимо мало.)

Решение.

Энергия заряженного конденсатора C_1 до замыкания ключа К:

$$W_{э} = \frac{C_1 U^2}{2}. \quad (1)$$

Заряд конденсатора C_1 :

$$q = C_1 U. \quad (2)$$

Суммарная энергия заряженных конденсаторов после замыкания ключа К:

$$W_{э1} + W_{э2} = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_2 U_2^2}{2}. \quad (3)$$

Так как процесс зарядки конденсатора C_2 происходит медленно, нет потерь энергии на излучение, а следовательно, после замыкания ключа К первоначальная энергия заряженного конденсатора C_1 в новом состоянии равновесия распределяется между конденсаторами:

$$W_{э} = W_{э1} + W_{э2}. \quad (4)$$

Кроме того, выполняется закон сохранения заряда:

$$q = q_1 + q_2 = C_1 U_1 + C_2 U_2. \quad (5)$$

Объединяя соотношения (1) – (5), получаем систему уравнений

$$C_1 U^2 = C_1 U_1^2 + C_2 U_2^2$$

$$C_1 U = C_1 U_1 + C_2 U_2.$$

Решая эту систему, получаем

$$U = \frac{U_2(C_1 + C_2)}{2C_1}.$$

Результат не зависит от индуктивности L . Она нужна в цепи для обеспечения медленной перезарядки, когда можно пренебречь потерями на электромагнитное излучение.

После подстановки численных значений $U = 50\text{В}$.

Ответ: $U = 50\text{В}$

- Найти амплитуду, период и частоту колебаний, если закон колебаний материальной точки имеет вид $x = 5 \cos 6,28t$ (см).

Дано:

$$x = 5 \cos 6,28t \text{ (см)}$$

$$\overline{A - ? \quad T - ? \quad \nu - ?}$$

Решение:

Амплитудой A называется максимальное смещение из положения равновесия колеблющейся точки. Сравнивая с общим уравнением колебаний

$$x = A \cos(\omega t + \varphi),$$

можно утверждать, что $A = 5 \text{ см}$, а круговая частота $\omega = 6,28 \text{ с}^{-1}$. По определению период колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Подставляя в это выражение круговую частоту, получаем

$$T = \frac{2\pi}{6,28} = 1 \text{ с}.$$

Линейную частоту ν можно определить из соотношения $\omega = 2\pi\nu$, как

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6,28}{2 \cdot 3,14} = 1 \text{ Гц}.$$

Ответ: $A = 5 \text{ см}$, $T = 1 \text{ с}$, $\nu = 1 \text{ Гц}$

- В сеть переменного тока напряжением 220 В включены последовательно конденсатор емкостью 40 мкФ и катушка с индуктивностью $0,5 \text{ Гн}$ и активным сопротивлением 5 Ом . Определить действующее значение силы тока. Частота тока 50 Гц .

Дано:

$$U_{\text{эф}} = 220 \text{ В} \quad C = 40 \text{ мФ} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф} \quad L = 0,5 \text{ Гн}$$

$$R = 50 \text{ Ом} \quad \nu = 50 \text{ Гц}$$

$$I_{\text{эф}} - ?$$

Решение:

Воспользуемся законом Ома для цепи, содержащей активное и реактивное (полное сопротивление) Z :

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{Z}, \text{ где } Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Учтем, что $\omega = 2\pi\nu$. Тогда $I_{эф} = \frac{U_{эф}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}}$.

Подстановка значений дает следующие результаты:

$$I_{эф} = \frac{220}{\sqrt{5^2 + \left(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5 - \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-5}}\right)^2}} = 2,85 \text{ A}.$$

Ответ: $I_{эф} = 2,85 \text{ A}$

Отражение и преломление света. Линзы. Квантовая физика.

Методические указания

При решении задач по геометрической оптике требуется:

1. Тщательно с помощью линейки сделать чертеж. Рекомендуется действительные лучи изображать сплошными линиями с указанием направления, продолжение лучей – пунктирными линиями.
2. Записать математические соотношения соответствующих оптических законов и формул, определяющих оптические величины.
3. Записать вспомогательные соотношения, вытекающие из геометрических построений.
4. Решить полученную систему уравнений относительно искомой величины.

Для построения изображений предмета необходимо построить изображение его характерных точек. Для построения изображения точки достаточно построить ход двух лучей, исходящих из этой точки, при этом ее изображение будет находиться на пересечении этих лучей (действительное изображение) или их продолжений (мнимое). Изображение в плоском зеркале всегда мнимое. При построении изображений в тонкой линзе используются свойства лучей: а) лучи, идущие

параллельно главной оптической оси, собираются в фокусе линзы; б) лучи, идущие параллельно побочной оси, собираются в фокальной плоскости; в) луч, идущий через оптический центр, не преломляется.

Задачи на волновую оптику охватывают вопросы интерференции и дифракции света. При решении задач на интерференцию света следует выяснить причины появления оптической разности хода между интерферирующими лучами, определить эту разность как $\Delta = n(l_1 - l_2)$ и записать условия максимума или минимума освещенности в интерференционной картине. Задачи на дифракцию света предполагают расчет дифракции в параллельных лучах на дифракционной решетке. Необходимо составить основные уравнения с учетом условий положения главных максимумов освещенности на экране при наблюдении дифракционной картины. Следует помнить, что дифракционная картина симметрична относительно нулевого (центрального) максимума.

При решении задач по квантовой физике нужно:

1. Помнить взаимосвязь между волновыми и квантовыми характеристиками частиц.
2. Знать, что взаимодействие фотонов с веществом подчиняется законам сохранения энергии и импульса.
3. Законы фотоэффекта следуют из законов сохранения энергии (уравнение Эйнштейна).

Примеры решения задач

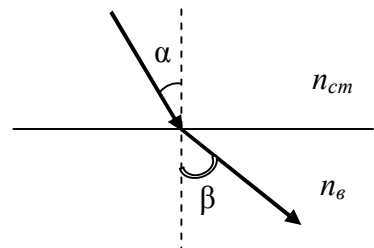
- Луч света переходит из стекла, показатель преломления которого 1,6 в воздух. При каком угле падения угол преломления вдвое больше угла падения?

Дано:

$$n_{ст} = 1,6 \quad n_{в} = 1 \quad \beta = 2\alpha$$

$\alpha - ?$

Решение:



По закону Снеллиуса (закон преломления света на границе двух сред):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_g}{n_{cm}}$$

Так как $\beta = 2\alpha$, то предыдущее выражение примет вид

$$\frac{\sin \alpha}{\sin 2\alpha} = \frac{n_g}{n_{cm}}$$

Учтем, что $2 \sin \alpha \cos \alpha = \sin 2\alpha$. Тогда

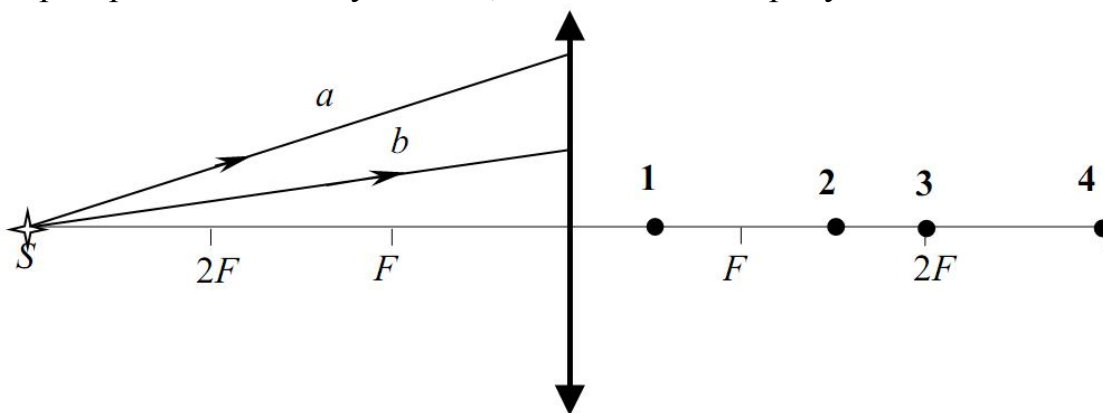
$$\frac{\sin \alpha}{2 \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{n_g}{n_{cm}} \Rightarrow \frac{1}{2 \cos \alpha} = \frac{n_g}{n_{cm}}$$

Отсюда выразим $\cos \alpha = \frac{n_{cm}}{2n_g}$. Тогда $\alpha = \arccos \frac{n_{cm}}{2n_g}$.

$$\alpha = \arccos \frac{1,6}{2 \cdot 1} = 0,8 \Rightarrow \alpha \approx 39^\circ$$

Ответ: $\alpha \approx 39^\circ$

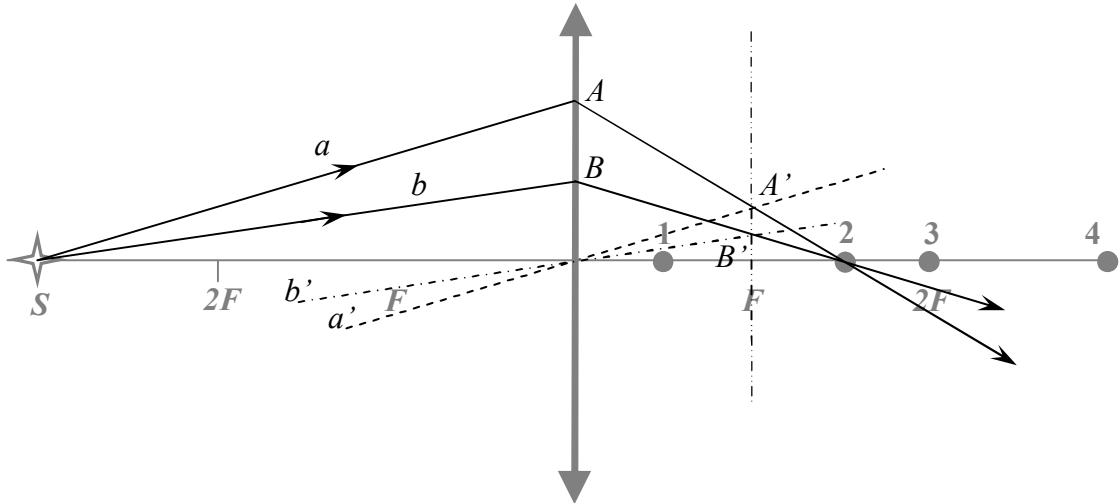
• От точечного источника света S , находящегося на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии $3F$ от нее, распространяются два луча a и b , как показано на рисунке.



В какой точке после преломления линзой эти лучи пересекутся?

Решение

Воспользуемся дополнительными построениями согласно следующим правилам. Луч, проходящий под произвольным углом к главной оптической оси через центр тонкой линзы, преломляясь в ней, является продолжением самого себя и называется побочной оптической осью. Воспользовавшись этим, построим вспомогательный луч a' параллельный лучу a и b' параллельный лучу b . Далее построим фокальную плоскость, проходящую перпендикулярно главной оптической оси через точку главного фокуса F .



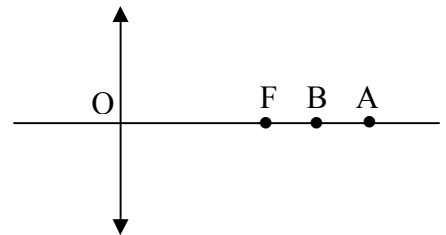
Продолжение луча a за линзой будет проходить из точки A через точку пересечения побочной оптической оси a' с фокальной плоскостью. Эта точка на рисунке обозначена A' , она является побочным фокусом. Аналогично и для луча b . Его продолжение за линзой проходит из точки B через точку пересечения побочной оптической оси b' с фокальной плоскостью в точке B' . Точка B' также является побочным фокусом.

Подтверждение построений. Согласно тому, что параллельный пучок лучей, идущий вдоль побочной оптической оси сходится в точке побочного фокуса, мы получили, что параллельные лучи a и a' пересеклись в побочном фокусе A' . Аналогично, параллельные лучи b и b' пересеклись в B' .

Окончательно получаем, что продолжения лучей a и b за линзой пересекутся в точке 2.

Ответ: 2

• Когда предмет находился в точке A , линза давала увеличение $\Gamma_1 = 2$, а когда предмет поместили в точку B , увеличение стало равным $\Gamma_2 = 3$ (рис.). Каким будет увеличение, если предмет будет находиться в середине отрезка AB ?



Дано

$$\Gamma_1 = 2, \Gamma_2 = 3$$

$\Gamma = ?$

Решение

Зная формулу тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

запишем для двух случаев, согласно условию, это соотношение:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f_1} \quad \text{и} \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{OB} + \frac{1}{f_2}. \quad (1)$$

Здесь F - фокусное расстояние.

Учтем, что

$$\Gamma = \frac{f}{d}. \quad (2)$$

Тогда

$$\Gamma_1 = \frac{f_1}{OA} \quad \text{и} \quad \Gamma_2 = \frac{f_2}{OB}. \quad (3)$$

Искомое увеличение линзы можно определить, принимая во внимание условие

$$d = \frac{OA + OB}{2}.$$

Подставляя это выражение в (2), получим

$$\Gamma = \frac{2f}{OA+OB}. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) и (3) получаем

$$\begin{cases} OA = \frac{F}{\Gamma_1} (1 + \Gamma_1), \\ OB = \frac{F}{\Gamma_2} (1 + \Gamma_2) \end{cases} \quad (5)$$

Подставляя в (2) выражение $d = \frac{OA+OB}{2}$, находим

$$f = \frac{\Gamma}{2} (OA + OB)$$

Если это значение f подставить в (4) и решить совместно с (5), то можно получить окончательный ответ для искомого линейного увеличения

$$\Gamma = \frac{2\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2}.$$

Численное значение

$$\Gamma = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3}{2+3} = 2,4.$$

Ответ: $\Gamma = 2,4$

• Дифракционная решетка, имеющая 100 штрихов на 1 мм, расположена параллельно экрану на расстоянии 2,5 м от него и освещается нормально падающим пучком света длиной волны 600 нм. Определите расстояние между вторыми дифракционными максимумами справа и слева от центрального (нулевого). Ответ выразите в сантиметрах (см). Считать $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$.

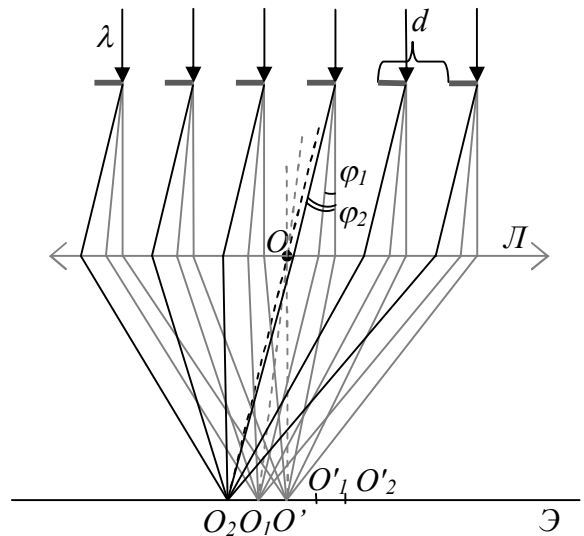
Дано

$$N = 100, \quad \ell = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}, \quad S = 2,5 \text{ м}, \quad \lambda = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \quad k = 2$$

$O_2 O'_2$ —?

Решение

Условие для максимумов дифракции дифракционной решетки в случае нормального падения лучей света $d \sin \varphi = k\lambda$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок дифракционной картины. В случае нормального падения света на решетку, максимумы соответствующих положительных и отрицательных порядков расположены симметрично от центрального (нулевого) порядка (точка O' на экране Э). Таким образом, необходимо определить расстояние $O_2 O'_2$, которое и соответствует расстоянию между положительным порядком +2 (в точке O_2) и –2 (в точке O'_2). Данное расстояние легко определить из прямоугольного треугольника $OO_2 O'_2$.



Лучи, проходя сквозь дифракционную решетку, за счет явления дифракции отклоняются от прямолинейного распространения, заходя в область геометрической тени. Для максимумов первого порядка они отклоняются от первоначального направления на угол φ_1 . А для второго – на угол φ_2 в обе стороны. В целях упрощения рисунка эти направления выделены только влево. Так как для каждого из порядков имеем дело с параллельным пучком света, то лучше всего эти лучи сфокусировать на экране с помощью линзы L .

Для правильного геометрического построения воспользуемся вспомогательным лучом (побочной оптической осью) OO_2 ,

проходящим через центр линзы параллельно лучам, идущим под углом φ_2 . Точка пересечения этого луча с фокальной плоскостью линзы, где установлен экран, есть точка O_2 – точка, в которой сойдутся все лучи, распространяющиеся до линзы под углом φ_2 . Таким образом, из построения делаем вывод, что угол φ_2 равен углу O_2OO' прямоугольного треугольника с соответствующими обозначениями.

Необходимо найти катет O_2O' , так как искомое расстояние между вторыми дифракционными максимумами равно этому удвоенному расстоянию $O_2O'_2 = 2 O_2O'$. Из условия задачи расстояние от решетки до экрана равно S . Если решетка расположена практически вплотную к линзе, то это расстояние можно принять за OO' . Из определения тангенса угла

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{O_2O'}{OO'} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{O_2O'}{S}.$$

Примем во внимание, что $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ для малых углов. Значит,

$$\sin \varphi_2 = \frac{O_2O'}{S}.$$

Значение этого синуса можно подставить в основную формулу для дифракционной решетки $d \sin \varphi = k\lambda$,

$$d \sin \varphi_2 = k\lambda, \quad \text{или} \quad d \frac{O_2O'}{S} = k\lambda.$$

Остается определить период d решетки

$$d = \frac{\ell}{N}.$$

Теперь можно выразить из последних двух формул расстояние O_2O'

$$O_2O' = \frac{k\lambda SN}{\ell}.$$

Окончательно получаем $O_2O'_2 = 2 O_2O'$ или

$$O_2O'_2 = 2 \frac{k\lambda SN}{\ell}.$$

Подставим численные значения $O_2O'_2 = 2 \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 100}{10^{-3}} = 0,6 \text{ м}.$

$O_2O'_2 = 60 \text{ см}.$

Ответ: $O_2O'_2 = 60 \text{ см}$

- Длина волны ультрафиолетового света, падающего на металлическую пластинку, уменьшилась с $\lambda_1 = 250 \text{ нм}$ до $\lambda_1 = 125 \text{ нм}$. Определить в электронвольтах работу выхода электрона, если

максимальная кинетическая энергия электрона при этом увеличилась в 4 раза. Постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано

$$\lambda_1 = 250 \text{ нм} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \quad \lambda_2 = 125 \text{ нм} = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$W_2 = 4W_1, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}, \quad h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с}$$

A_B — ?

Решение

Воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта, учитывая падение на пластинку волн различной длины

$$h\nu_1 = A_B + W_1 \quad (1)$$

$$h\nu_2 = A_B + W_2. \quad (2)$$

Заменим частоту через скорость света и длину волны, тогда (1) и (2) примут вид

$$h \frac{c}{\lambda_1} = A_B + W_1 \quad (3)$$

$$h \frac{c}{\lambda_2} = A_B + W_2. \quad (4)$$

Теперь из уравнения (4) вычтем (3) и выразим кинетическую энергию W_1

$$W_1 = \frac{hc(\lambda_1 - \lambda_2)}{3 \cdot \lambda_1 \lambda_2}.$$

Подставим это значение кинетической энергии в уравнение (3) и выразим отсюда работу выхода

$$A_B = h \frac{c}{\lambda_1} - \frac{hc(\lambda_1 - \lambda_2)}{3 \cdot \lambda_1 \lambda_2}.$$

Приведя к общему знаменателю последнее уравнение, окончательно получаем выражение для работы выхода

$$A_B = \frac{hc(4\lambda_2 - \lambda_1)}{3 \cdot \lambda_1 \lambda_2}.$$

Численное значение работы выхода

$$A_B = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 (4 \cdot 1,25 \cdot 10^{-7} - 2,5 \cdot 10^{-7})}{3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1,25 \cdot 10^{-9}} = 5,304 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\approx 3,3 \text{ эВ}$$

Ответ: $A_B \approx 3,3 \text{ эВ}$

Варианты заданий

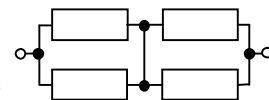
ЗАДАНИЕ №1

1. По оси x движутся две точки: первая по закону $x_1 = 10 + 2t$, вторая по закону $x_2 = 4 + 5t$. В какой момент времени они встретятся?

(8 баллов)

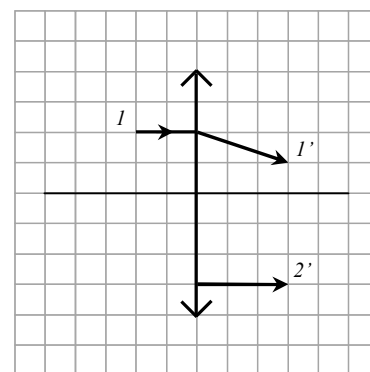
2. Четыре одинаковых сопротивления, каждое из которых равно r , соединены так, как показано на рисунке. Определить эквивалентное сопротивление.

(9 баллов)



3. Леонардо да Винчи высказал следующее положение. Если сила F продвинет тело массой m за время t на расстояние S , то та же сила продвинет тело массой $\frac{m}{2}$ за то же время на двойное расстояние. Докажите, правильно ли это положение.

(9 баллов)



4. Период колебаний груза на пружине $T = 0,5$ с. На сколько уменьшится длина пружины, если снять с нее груз?

(11 баллов)

5. На рисунке показан ход светового луча 1 до и после линзы. Найти построением точные положения каждого фокуса линзы и ход светового луча 2 .

(13 баллов)

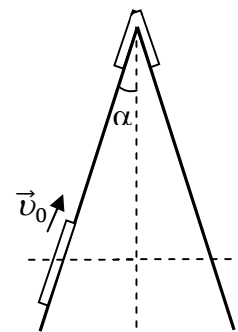
6. Узкую цилиндрическую трубку, запаянную с одного конца, длиной $l = 45$ см погружают открытым концом в сосуд с ртутью на глубину $H = 40$ см. Атмосферное давление $p_0 = 76$ см рт. ст. Какова будет высота столбика ртути в трубке? Плотность ртути $13,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

(15 баллов)

7. В плоский конденсатор длиной $l = 5$ см влетает электрон под углом $\alpha = 15^\circ$ к пластинам. Электрон обладает энергией $W = 1500$ эВ. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 1$ см. Определить разность потенциалов между пластинами конденсатора, при которой электрон на выходе из него будет двигаться параллельно пластинам. Заряд электрона $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

(15 баллов)

8. Гибкая однородная цепь длиной L может двигаться по желобу, имеющему в сечении форму равнобедренного треугольника с углом 2α при вершине и расположенному в вертикальной плоскости. Трение отсутствует, предполагается, что цепь прилегает к желобу. Найти наименьшую начальную скорость



цепи, необходимую для преодоления такой горки. В начальный момент времени расстояние между горизонтальными прямыми, проходящими через центр тяжести цепи и вершину желоба, равно H (рис.).

(20 баллов)

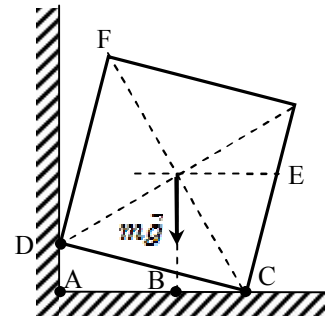
ЗАДАНИЕ №2

1. По оси x движутся две точки: первая по закону $x_1 = 7t - 2$, вторая по закону $x_2 = 14t - 9$. В какой момент времени они встретятся?

(8 баллов)

2. Однородный куб опирается одним ребром на пол, другим – на вертикальную стену. Плечо силы $m\vec{g}$ относительно оси, проходящей через точку A , перпендикулярно плоскости рисунка обозначено...

(9 баллов)



3. Спортсмен-тяжелоатлет поднимает штангу массой 150 кг в течение 1,5 с с пола на высоту 2 м. Определите мощность, развиваемую спортсменом в течение этого времени.

(9 баллов)

4. Определите длину никелиновой проволоки площадью поперечного сечения $0,1 \text{ мм}^2$, необходимой для изготовления спирали сопротивлением 120 Ом. Удельное сопротивление никелина $0,4 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

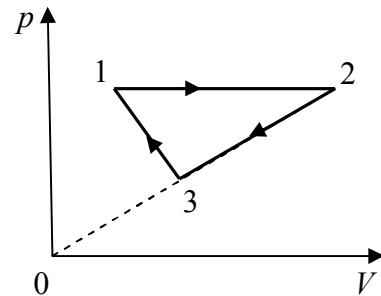
(11 баллов)

5. Импульс тела массой $m = 2 \text{ кг}$, движущегося поступательно, в некоторый момент времени равен $p = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}$. Чему равна кинетическая энергия тела в этот момент?

(13 баллов)

6. Площадь льдины 4 м^2 , толщина $0,25 \text{ м}$. Погрузится ли льдина целиком в воду, если на ее середину встанет человек, сила тяжести которого 700 Н ? Плотность льда $900 \text{ кг}/\text{м}^3$, а воды – $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

(15 баллов)



7. На рисунке показан цикл для ν моль гелия, состоящий из двух участков линейной зависимости давления p от объема V и изобары. На изобаре 1-2 газ совершил работу A , и его температура увеличилась в 4 раза. Температуры в состояниях 1 и 3 равны. Точки 2 и 3 на диаграмме p, V лежат на прямой, проходящей через начало координат. Определите температуру в точке 1 и работу газа за цикл.

(15 баллов)

8. На длинном шоссе на расстоянии 1 км друг от друга установлены светофоры. Красный сигнал каждого светофора горит в течение 30 секунд, зелёный — в

течение следующих 30 секунд. При этом все автомобили, движущиеся со скоростью 40 км/ч, проехав один из светофоров на зелёный свет, проезжают без остановки, то есть тоже на зелёный свет, и все следующие светофоры. С какими другими скоростями могут двигаться автомобили, чтобы, проехав один светофор на зелёный свет, далее нигде не останавливаться? Задачу решить графически.

(20 баллов)

Основная литература

- 1. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. – 5-е изд., дораб. – М.: Дрофа, 2003. — 416 с.: ил.**
- 2. Касьянов В.А. Физика. 11 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. – 4-е изд., дораб. – М.: Дрофа, 2004. — 416 с.: ил., 8 л. Цв. Вкл.**
3. Физика: Механика. 10 кл.: Учебник для углубленного изучения физики /Под ред. Г.Я. Мякишева. М.: Дрофа, 2001.
4. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2001.
5. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика. 10 - 11 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2001.
6. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Колебания и волны. 11 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2001.
7. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2001.
8. Буховцев Б.Б., Кривченков В.Д., Мякишев Г.Я., Сараева И.М. Задачи по элементарной физике. М.: Физматлит, 2000 и предшествующие издания.
9. Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б., Керженцев В.Г., Мякишев Г.Я. Физика. Для поступающих в вузы: Учебн. пособие. Для подготов. отделений вузов. М.: Физматлит, 2000 и предшествующие издания.

Дополнительная литература

1. Элементарный учебник физики /под ред. Г.С. Ландсберга. В 3-х кн. М.: Физматлит, 2000 и предшествующие издания.
2. Яворский Б.М., Селезнев Ю.Д. Физика. Справочное пособие. Для поступающих в вузы. М.: Физматлит, 2000 и предшествующие издания.
3. Физика. Учебники для 10 и 11 классов школ и классов с углубленным изучением физики /под ред. А.А. Пинского. М.: Просвещение, 2000 и предшествующие издания.
4. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика. В 3-х кн. М.: Физматлит, 2001.
5. Павленко Ю.Г. Физика. Полный курс для школьников и поступающих в вузы: Учебн. пособие. М.: Большая Медведица, 2002.
6. Сборник задач по физике /под ред. С.М. Козела М.: Просвещение, 2000 и предшествующие издания.
7. Гольдфарб Н.И. Физика. Задачник. 9 11 кл.: Пособие для общеобразоват. учеб. заведений. М.: Дрофа, 2000 и предшествующие издания.
8. Задачи по физике /под ред. О.Я. Савченко М.: Наука, 1988.