МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра “Общая физика”

ФИЗИКА

Часть1
(Физические основы механики,
основы молекулярной физики и термодинамики)

Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения направлений: 150200, 280000, 140000, 190600, 220300, 200000, 190200, 151000, 190600, 050501, 260600, 080000, 190700, 220000; специальностей: 150202, 280100, 140211, 190601, 190603, 220301, 200503, 190201, 190202, 151001, 151002, 190601, 260601, 080502, 190702, 220200

Курган 2006

Кафедра общей физики

Дисциплина «Физика» для студентов заочной формы обучения направлений: 150200, 280000, 140000, 190600, 220300, 200000, 190200, 151000, 190600, 050501, 260600, 080000, 190700, 220000; специальностей: 150202, 280100, 140211, 190601, 190603, 220301, 200503, 190201, 190202, 151001, 151002, 190601, 260601, 080502, 190702, 220200.

Составили: д-р техн. наук, профессор Б.С. Воронцов,
канд. физ.-мат.наук, доцент Т.Н. Новгородова,
канд. физ.-мат.наук, доцент В.М.Солодовников.

Утверждены на заседании кафедры « 25 »_ноября__ ___2005г.

Рекомендованы методическим советом университета
«_24_»__марта_______2006 г.

Введение

Физика - наука о наиболее простых и вместе с тем наиболее общих формах движения материи и их взаимных превращениях. Изучаемые физикой формы движения (механическая, тепловая и др.) присутствуют во всех высших и более сложных формах движения материи (химических, биологических и др.). Поэтому они, будучи наиболее простыми, являются в то же время наиболее общими формами движения материи.

Курс физики вместе с другими дисциплинами цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин составляет основу теоретической подготовки инженеров и играет роль фундаментальной физико-математической базы, без которой не возможна успешная деятельность инженеров любого профиля.

Дисциплина "Физика" представляет собой целостный и фундаментальный курс, единый в своих частях и демонстрирующий роль физики как основы всего современного естествознания.

Изучение курса физики совместно с другими дисциплинами цикла способствует формированию у студентов современного естественнонаучного мировоззрения. Целостность курса физики является одной из фундаментальных предпосылок для воспитания образованного специалиста.

Цель настоящих методических указаний – оказать помощь студентам заочной формы обучения технических специальностей КГУ в изучении курса физики.

1. Общие методические указания

Дисциплина «Физика» изучается студентами всех технических специальностей заочной формы обучения Курганского государственного университета в течение трех семестров.

Основной формой обучения студента заочной формы обучения является самостоятельная работа над учебным материалом. Эта работа организуется и направляется кафедрой общей физики КГУ. Преподаватели кафедры читают студентам установочные и обзорные лекции, проводят консультации, практические и лабораторные занятия, осуществляют текущий и итоговый контроль приобретенных знаний.

Процесс изучения физики студентами заочной формы обучения в каждом из учебных семестров состоит из следующих этапов:

1) проработка установочных и обзорных лекций;
2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями;
3) выполнение и защита контрольных работ;
4) прохождение лабораторного практикума;
5) сдача зачетов (если они предусмотрены учебным планом) и экзаменов.

Важнейшим аспектом самостоятельной работы студентов является выполнение контрольных работ. Контрольные работы позволяют закрепить теоретический материал курса. В процессе изучения физики студент должен выполнить три контрольные работы (по одной в семестр). Контрольные работы рецензируются преподавателем и, в случае необходимости, отправляются на доработку. Обязательным элементом является последующая защита контрольной работы студентом, которая может происходить как в течение семестра, так и во время сессии.

Основные разделы курса физики для инженерно - технических специальностей распределены по контрольным работам следующим образом.

Первая контрольная работа включает в себя физические основы механики, основы молекулярной физики и термодинамики.

Вторая - физические основы электродинамики и волновую оптику.

Третья - элементы квантовой физики, квантовые статистики и физики твердого тела, элементы физики атомного ядра и элементарных частиц.

Вариант задания контрольной работы для каждого студента определяет преподаватель.

Перед выполнением контрольной работы необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач по данной контрольной работе, уравнениями и формулами, а также со справочными материалами, приведенными в методических указаниях.

Каждая контрольная работа оформляется в отдельной тетради. На титульном листе должны быть указаны: номер контрольной работы, наименование дисциплины, фамилия и инициалы студента, номер учебной группы, шифр и домашний адрес.

При решении задач по физике необходимо:

1. Внимательно прочитать условие задачи. Полностью переписать условие задачи в тетрадь. Сделать краткую запись, выразить все данные в СИ. Если позволяет характер задачи, необходимо сделать рисунок, поясняющий ее сущность.

2. Уточнить, какие величины требуется найти в результате решения задачи. Дать определения этих величин, записать для них соответствующие математические соотношения.

3. Установить круг физических явлений, относящихся к данной задаче, и физические законы, лежащие в их основе. Записать в общем виде математические выражения этих законов, а также соотношения между величинами, характеризующими установленные явления с количественной точки зрения.

4. Переписать все уравнения в соответствии с условиями задачи. (Ввести обозначения величин, учесть начальные и конечные условия, число состояний и количественный состав представленной в задаче физической системы).

5. Исходя из полученных соотношений, составить замкнутую систему уравнений (число уравнений совпадает с числом неизвестных). Решить ее любым известным математическим методом. (Следует помнить, что в ряде случаев "лишние" неизвестные могут сокращаться в процессе промежуточных математических преобразований).

6. Если конечное выражение для искомой величины является достаточно сложным, то его правильность желательно проверить методом размерности.

7. Необходимо помнить, что численные значения физических величин всегда являются приближенными. Поэтому при расчетах надо руководствоваться правилами действий с приближенными числами. (*Приложение 4).*

Отметим, что для инженерных расчетов, как, впрочем, и для большинства физических, достаточна точность, обеспечиваемая тремя значащими цифрами.

8. Получив численный ответ, оценить его правдоподобность с позиций современной физики.

2. Содержание курса «ФИЗИКА»

(I семестр изучения)

Введение. *Предмет физики*

РАЗДЕЛ I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Предмет механики. Понятие состояния в классической механике. Основные задачи механики.

<u>Тема 1.</u> Элементы кинематики

1.1. Физические модели: материальная точка (частица), система материальных точек, абсолютно твердое тело, сплошная среда. Пространство и время. Степени свободы и обобщенные координаты.

1.2. Кинематическое описание движения. Прямолинейное и криволинейное движение точки. Радиус кривизны траектории. Связь линейного и углового перемещений. Поступательное и вращательное движение твердых тел.

1.3. Скорость как производная по времени: радиус-вектора – для поступательного и углового перемещения - для вращательного движений. Связь линейной и угловой скоростей.
1.4. Ускорение как 2-я производная по времени радиус-вектора и углового перемещения. Нормальное и касательное (тангенциальное) ускорения. Связь линейных и угловых характеристик.
1.5. Кинематические уравнения движения.

<u>Тема 2.</u> Динамика частиц и твердого тела

2.1. Динамика поступательного движения материальной точки. Масса. Постоянство и аддитивность массы. Импульс. Сила. Принцип независимости действия сил.
2.2. Первый закон Ньютона (закон инерции). Второй закон Ньютона (основной закон динамики). Сила как производная импульса по времени. Третий закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета.
2.3. Динамика поступательного движения системы материальных точек и твердого тела. Внешние и внутренние силы. Замкнутая система материальных точек. Центр масс, теорема о его движении.
2.4. Динамика вращательного движения. Момент инерции относительно оси вращения. Теорема Штейнера. Момент импульса.
2.5. Момент силы. Уравнение динамики вращательного движения.
2.6. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.
2.7. Кинематика и динамика жидкостей и газов. Уравнение Бернулли. Вязкость.

<u>Тема 3.</u> Законы сохранения

3.1. Закон сохранения импульса. Уравнение движения тела с переменной массой. Формула Циолковского.
3.2. Закон сохранения момента импульса. Физические основы гироскопа.
3.3. Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Работа силы и ее выражение через криволинейный интеграл. Мощность. Кинетическая энергия. Кинетическая энергия механической системы и ее связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе.
3.4. Поле как форма материи, осуществляющая взаимодействие между частицами вещества. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальное поле. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и ее связь с силой, действующей на материальную точку.
3.5. Закон сохранения энергии в механике. Общефизический закон сохранения энергии. Диссипация энергии.
3.6. Соударение тел.

<u>Тема 4.</u> Элементы специальной (частной) теории относительности (СТО)

4.1. Инерциальные системы отсчета и принцип относительности. Преобразования Галилея.
4.2. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Следствия преобразований Лоренца.
4.3. Релятивистский импульс. Уравнение движения релятивистской частицы. Взаимосвязь массы и энергии, энергии и импульса.

<u>Тема 5.</u> Гармонический и ангармонический осцилляторы

5.1. Гармонические колебания. Амплитуда, круговая частота, фаза гармонических колебаний.

5.2. Колебания: груз на пружине, математический и физический маятники, колебательный контур.
5.3. Гармонический осциллятор. Энергетические соотношения. Ангармонический осциллятор.
5.4. Сложение скалярных и векторных колебаний одного направления и одной частоты. Сложение колебаний близких по частоте. Биения.
5.5. Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний. Фигуры Лиссажу. Спектральное разложение и его физический смысл.
5.6. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент.
5.7. Вынужденные колебания осциллятора. Свойства вынужденных колебаний. Случай резонанса.

РАЗДЕЛ 2. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

Предмет статистической (молекулярной) физики и термодинамики.

<u>*Тема 6.*</u> *Макроскопические состояния*

6.1. Тепловое движение. Макроскопические параметры. Равновесные состояния и процессы, их изображения на термодинамических диаграммах. Интенсивные и экстенсивные параметры.
6.2. Идеальный газ. Уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления. Средняя кинетическая энергия молекул. Молекулярно-кинетическое толкование абсолютной температуры.
6.3. Уравнение состояния идеального газа (Менделеева - Клапейрона). Изопроцессы и их уравнения. Законы Дальтона и Авогадро.
6.4. Число степеней свободы молекул. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул.
6.5. Закон Максвелла для распределения молекул по скоростям и энергиям теплового движения. Средняя арифметическая и наиболее вероятная скорости теплового движения молекул.
6.6. Барометрическая формула. Распределение Больцмана для частиц во внешнем силовом поле.
6.7. Эффективное сечение рассеяния. Среднее число столкновений и длина свободного пробега молекул.
6.8. О явлениях переноса в термодинамических неравновесных системах. Опытные законы диффузии, теплопроводности и внутреннего трения. Молекулярно-кинетическая теория этих явлений.

<u>*Тема 7.*</u> *Основы термодинамики и ее связь с молекулярно-кинетической теорией идеальных газов*

7.1. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа газа при изменении его объема. Первое начало термодинамики.
7.2. Теплоемкость многоатомных газов. Зависимость теплоемкости идеального газа от вида процесса.
7.3. Применение 1-го начала термодинамики к изопроцессам и адиабатическому процессу идеального газа.
7.4. Обратимые и необратимые процессы. Круговой процесс (цикл). Тепловые двигатели и холодильные машины.
7.5. Цикл Карно. Максимальный кпд тепловой машины. Независимость кпд цикла Карно от природы рабочего тела. Второе начало термодинамики.
7.6. Энтропия, ее статистическое толкование. Порядок и беспорядок в природе. Энтропия и второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики (теорема Нернста). Термодинамические функции состояния.
7.7. Отступление от законов идеальных газов. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Фазы и фазовые превращения. Условия равно-

весия фаз. Критическое состояние (точка).
7.8. Силы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия. Внутренняя энергия реального газа. Эффект Джоуля - Томпсона.
7.9. Фазовые переходы I и II рода. Диаграммы состояния. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса.
7.10. Макросистемы вдали от равновесия. Идеи синергетики.

Список литературы

<u>Основная литература</u>

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2003.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Изд.центр «Академия», 2003.
3. Савельев И.В. Курс физики. Т.1-3. – М.: Наука, 1989.
4. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. - М.: Высшая школа, 1977.

<u>Электронная учебно – методическая литература</u>

1. Козел С.М., Соболева Н.Н. Учебный компьютерный курс «Открытая физика 1.1». Долгопрудный: ООО «ФИЗИКОН», 2001.

<u>Дополнительная литература</u>

1. Суханов Л.Д. Фундаментальный курс физики. – М.: Агор, 1996, Т.1.
2. Орир Дж. Физика. Т.1-2. – М.: Мир, 1981, т.1-2.
3. Бордовский Г.А., Бурсиан Э.В. Общая физика: Курс лекций. Т.1,2. – М.: Владос. Пресс, 2001.
4. Кибец И.Н., Кибец В.И. Физика: Справочник. - Харьков: Фолио, 1997.
5. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. – М.: Наука, 1988.
6. Бутиков Е.Н. Оптика. – М.: Высшая школа, 1987.
7. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. – М.: Наука, 1980.
8. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции (синергетический подход). – М.: Эдиториал УРСС, 2001.
9. Мотылева Л.С., Скоробогатов В.А., Судариков А.М. Концепции современного естествознания. – СПб.: Союз, 2000.

<u>Сборники задач</u>

1. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики. – М.: Высшая школа, 1996.
2. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2003.
3. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. – М.: Высшая школа, 1995.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – СПб.: Книжный мир, 2004.
5. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. – М.: Наука, 1988.
6. Волкова Е.А., Попов А.М., Рахимов А.Т. Квантовая механика на персональном компьютере. – М.: УРСС, 1995.

3. Основные формулы

Средняя скорость материальной точки

в векторном виде: $\langle\vec{v}\rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$,

в скалярном виде: $\langle v\rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}$,

где $\vec{r}$ - радиус-вектор точки; $\Delta\vec{r}$ - вектор перемещения точки за промежуток времени Δt; Δs - путь, пройденный точкой за промежуток времени Δt.

Мгновенная скорость материальной точки

в векторном виде: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

в скалярном виде: $v = \frac{ds}{dt}$.

Среднее ускорение материальной точки $\langle\vec{a}\rangle = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$.

Мгновенное ускорение материальной точки $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$.

Полное ускорение при криволинейном движении

в векторном виде: $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$,

в скалярном виде: $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$.

Тангенциальное ускорение $a_\tau = \frac{dv}{dt}$.

Нормальное ускорение $a_n = \frac{v^2}{R}$,

где R – радиус кривизны траектории в данной точке.

Путь и скорость для равнопеременного прямолинейного движения

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2},$$

$$v = v_0 + at$$

где v_0 - начальная скорость.

Угловая скорость

в векторном виде: $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$,

в скалярном виде: $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$,

где $\vec{\varphi}$ - угловое перемещение.

Угловое ускорение

в векторном виде: $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$,

в скалярном виде: $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$.

Связь угловой скорости с периодом и частотой вращения

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu,$$

$$\nu = \frac{N}{t}.$$

где T - период, ν - частота вращения, N - число оборотов, совершаемых телом за время t.

Угловое перемещение и угловая скорость для равнопеременного вращательного движения

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2},$$

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

где ω_0 - начальная скорость.

Связь между линейными и угловыми величинами

$$s = R\varphi,\quad v = R\omega,$$

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

$$a_n = R\omega^2 = \frac{v^2}{R}.$$

где R - радиус кривизны траектории.

Уравнение динамики поступательного движения материальной точки (II закон Ньютона)

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$$

или

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i ,$$

где $\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$ - геометрическая сумма сил, действующих на материальную точку; m – масса, $\vec{a}$ - ускорение, $\vec{p} = m\vec{v}$ - импульс точки.

Сила тяжести

$$\vec{F}_т = m\vec{g} ,$$

где $\vec{g}$ – ускорение свободного падения.

Сила гравитационного взаимодействия

$$F_{гр} = G\frac{m_1 m_2}{R^2} ,$$

где G – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 массы взаимодействующих тел, находящихся на расстоянии R друг от друга.

Сила упругости

$$F_{упр} = -kx ,$$

где k - коэффициент упругой силы (коэффициент жесткости - в случае пружины); x - абсолютная деформация.

Сила трения скольжения

$$F_{тр} = \mu \cdot N ,$$

где μ - коэффициент трения скольжения; N - сила нормального давления.

Координаты центра масс системы материальных точек

$$x_C = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} ,$$

$$y_C = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} ,$$

$$z_C = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} .$$

где m_i - масса i-й материальной точки; x_i, y_i, z_i - ее координаты.

Момент силы относительно оси вращения

$$M = F \cdot L .$$

(При условии, что сила $\vec{F}$, действующая на тело, лежит в плоскости перпендикулярной оси вращения). Здесь L - плечо силы $\vec{F}$ (кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы).

Момент инерции относительно оси вращения

материальной точки

$$J = mr^2 ,$$

где m – масса точки; r - расстояние от оси вращения;

системы материальных точек

$$J = \sum_{i=1}^{n} \Delta m_i r_i^2 ,$$

где Δm_i - масса i-й точки; r_i - расстояние этой точки от оси вращения; n – общее число материальных точек системы;

твердого тела

$$J = \int r^2 dm .$$

Таблица 1

Моменты инерции некоторых тел правильной геометрической формы

Тело	Ось, относительно которой определяется момент инерции	Момент инерции
1	2	3
Однородный тонкий стержень массой m и длиной l	Проходит перпендикулярно стержню через его центр масс	$\frac{1}{12} ml^2$
Однородный тонкий стержень массой m и длиной l	Проходит перпендикулярно стержню через его конец	$\frac{1}{3} ml^2$

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Тонкое кольцо, обруч, труба радиусом R и массой m, равномерно распределенной по ободу	Проходит перпендикулярно плоскости основания через центр масс	mR^2
Круглый однородный диск (цилиндр) радиусом R и массой m	Проходит перпендикулярно плоскости основания через центр масс	$\frac{1}{2}mR^2$
Однородный шар массой m и радиусом R	Проходит через геометрический центр	$\frac{2}{5}mR^2$

Момент импульса L тела, вращающегося относительно неподвижной оси $L = J\omega$,
где J – момент инерции тела относительно *этой же* оси вращения, ω - угловая скорость.

Уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси $M = \frac{dL}{dt}$.

Если момент инерции тела не изменяется с течением времени, то уравнение динамики вращательного движения принимает вид: $M = J\varepsilon$,
где ε - угловое ускорение.

Закон сохранения импульса для замкнутой системы $\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} m_i\vec{v}_i = const$,
где n - число материальных точек (тел), входящих в систему.

Закон сохранения момента импульса для замкнутой системы $\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} J_i\vec{\omega}_i = const.$

Элементарная работа силы $dA = (\vec{F}\cdot d\vec{S}) = F_S \cdot dS = F\cdot dS\cdot\cos\alpha,$
где $F_S = F\cdot\cos\alpha$ - проекция силы $\vec{F}$ на направление перемещения $d\vec{S}$, α - угол между направлениями силы и перемещения.

Работа, совершаемая переменной силой, на пути S $A = \int_S(\vec{F}\cdot d\vec{S}) = \int_S F_S dS = \int_S F\cdot\cos\alpha\cdot dS.$

Мгновенная мощность $N = \frac{dA}{dt}$; $N = (\vec{F}\cdot\vec{v}) = F_S\cdot v = F\cdot v\cdot\cos\alpha$.

Кинетическая энергия поступательного движения тела массы m $E_к = \frac{mv^2}{2}$.

Кинетическая энергия вращательного движения тела, имеющего момент инерции J, вокруг неподвижной оси $E_к = \frac{J\omega^2}{2}$.

Кинетическая энергия катящегося тела: $E_к = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J_c\omega^2}{2}$,
где v_c - скорость центра масс, J_c - момент инерции, относительно оси, проходящей через центр масс тела.

Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли на высоту h $E_п = mgh$,
где g - ускорение свободного падения.

Потенциальная энергия упруго деформированного тела $E_п = \frac{kx^2}{2}$,
где k - коэффициент упругой силы; x - аб-

солютная деформация.

Уравнение гармонических колебаний $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$,

где x - смещение колеблющейся точки от положения равновесия; t - время; A, ω, φ_0 - соответственно амплитуда, круговая (циклическая) частота, начальная фаза колебаний; $(\omega t + \varphi_0)$ - фаза колебаний в момент времени t.

Круговая (циклическая) частота колебаний $\omega = 2\pi\nu$, $\omega = 2\pi / T$,

где ν и T - частота и период колебаний.

Скорость точки, совершающей гармонические колебания $v = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_0)$.

Ускорение точки, совершающей гармонические колебания $a = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0)$.

Энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания:

кинетическая –

$$E_к = \frac{mA^2\omega^2}{2}\sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2}\sin^2(\omega t + \varphi_0),$$

потенциальная –

$$E_п = \frac{mA^2\omega^2}{2}\cos^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2}\cos^2(\omega t + \varphi_0),$$

полная -

$$E = \frac{mA^2\omega^2}{2} = \frac{kA^2}{2},$$

где m - масса точки, k - коэффициент упругой (квазиупругой) силы.

Период колебаний тела, подвешенного на пружине (пружинный маятник) $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$,

где m - масса тела, k - коэффициент жесткости пружины.

Период колебаний математического маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$,

где ℓ - длина маятника; g - ускорение свободного падения.

Период колебаний физического маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mag}}$,

где J - момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний, a - расстояние центра масс маятника от оси колебаний; $L = J / ma$ - приведенная длина физического маятника.

Масса релятивистской частицы $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$,

где m_0 – масса покоя.

Релятивистский импульс $p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

Полная энергия релятивистской частицы $E = m \cdot c^2$.

Кинетическая энергия релятивистской частицы $E_к = (m - m_0)c^2$.

Связь между энергией и импульсом релятивистской частицы $E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$.

Количество вещества тела (системы) $\nu = N / N_A$,

где N - число структурных элементов (молекул, атомов, ионов и т.п.), составляющих тело (систему); N_A - постоянная Авогадро.

Молярная масса вещества $M = m / \nu$,

где m - масса однородного тела (системы); ν - количество вещества этого тела.

Молярная масса смеси газов $M_{см} = \frac{\sum_i^k m_i}{\sum_{i=1}^k \nu_i}$,

где m_i - масса i-го компонента смеси; ν_i - количество вещества i -го компонента смеси; k - число компонентов смеси.

Уравнение состояния идеальных газов (уравнение Менделеева - Клапейрона)

$$pV = \frac{m}{M}RT,$$

или

$$pV = \nu RT.$$

где m - масса газа; M- его молярная масса; R - молярная газовая постоянная; T - термодинамическая температура; ν - количество вещества.

Закон Дальтона

$$p = \sum_1^k p_i,$$

где p - давление смеси газов; p_i - парциальное давление i-го компонента смеси, k – число компонентов смеси.

Концентрация частиц (молекул, атомов и т.п.) однородной системы

$$n=N/V,$$

где N – число частиц, V - объем системы.

Основное уравнение молекулярно- кинетической теории газов

$$p = 2/3 \cdot n\langle\varepsilon\rangle_п,$$

где p - давление газа, n – концентрация молекул, $\langle\varepsilon\rangle_п$ - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

Средняя кинетическая энергия

приходящаяся на одну степень свободы молекулы

$$\langle\varepsilon\rangle_1 = \frac{1}{2}\cdot kT,$$

поступательного движения молекулы

$$\langle\varepsilon\rangle_п = \frac{3}{2}\cdot kT,$$

вращательного движения молекулы

$$\langle\varepsilon\rangle_{вр} = \frac{i-3}{2}kT,$$

приходящаяся на все степени свободы молекулы (полная энергия молекулы)

$$\langle\varepsilon\rangle = \frac{i}{2}kT,$$

где k - постоянная Больцмана; T - термодинамическая температура; i - число степеней свободы молекулы. Для одноатомной молекулы i=3, для двухатомной i=5, для молекул, состоящих из трех и более атомов i=6.

Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$p=nkT.$$

Скорости молекул газа

среднеквадратичная

$$\langle v\rangle_{ср.кв} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

средняя арифметическая

$$\langle v\rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}},$$

наиболее вероятная

$$v_{н.в.} = \sqrt{\frac{2RT}{M}},$$

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \nu\frac{i}{2}RT,$$

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

где ν - количество вещества; m - масса газа; M - молярная масса газа; R - молярная газовая постоянная.

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A.$$

где Q - количество теплоты, полученное системой; ΔU - изменение внутренней энергии системы; A - работа, совершенная системой против внешних сил.

Первое начало термодинамики для бесконечно малого изменения состояния системы

$$dQ = dU + dA$$

Связь между молярной (C_m) и удельной (c) теплоемкостями газа

$$C_m = cM,$$

где M - молярная масса газа.

Молярные теплоемкости газа

при постоянном объеме

$$C_V = \frac{i}{2}R,$$

при постоянном давлении

$$C_P = \frac{i+2}{2}R.$$

Уравнение Майера $C_P = C_V + R$,
где R - молярная газовая постоянная

Показатель адиабаты $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$.

Уравнение адиабатного процесса (уравнение Пуассона)
где γ - показатель адиабаты

$$pV^{\gamma} = const,$$
$$TV^{\gamma-1} = const,$$
$$T^{\gamma}p^{1-\gamma} = const.$$

Количество теплоты, полученное системой или отданное ею

при изохорном процессе

$$Q = c_V m\Delta T,$$
$$Q = C_V \nu \Delta T,$$

при изобарном процессе

$$Q = c_P m\Delta T,$$
$$Q = C_P \nu \Delta T,$$

где c_V и c_P - удельные теплоемкости при постоянном объеме и давлении, а C_V и C_P - соответствующие молярные теплоемкости, ν - количество вещества.

Изменение внутренней энергии идеального газа $dU = \frac{m}{M} C_V dT$.

Элементарная работа, совершаемая газом при изменении его объема $dA = pdV$

Полная работа газа при изменении объема $A = \int_{V_1}^{V_2} pdV$
где V_1 и V_2 – соответственно начальный и конечный объемы газа.

Работа газа

при изобарном процессе

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

при изотермическом процессе

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2},$$
$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1},$$

при адиабатном процессе

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

где T_1, T_2 и V_1, V_2 – соответственно начальные и конечные температуры и объемы газа.

Коэффициент полезного действия тепловой машины $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$,
где Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику.

Максимальный коэффициент полезного действия тепловой машины (КПД цикла Карно) $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$,
где T_1 и T_2 – температуры нагревателя и холодильника, соответственно.

Изменение энтропии системы при переходе из состояния 1 в состояние 2 $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$.

4. Примеры решения задач

Пример 1. Кинематическое уравнение движения материальной точки по прямой имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 4м$, $B = 2м/с$, $C = -0{,}5м/с^3$. Для момента времени $t_1 = 2с$ определить: 1) координату x_1 точки; 2) мгновенную скорость v_1; 3) мгновенное ускорение a_1; 4) среднюю скорость за промежуток времени с момента начала движения до $t_1 = 2с$.

Решение

Дано:
$x = A+Bt+Ct^3$
$A = 4$ м
$B = 2$ м/с
$C = -0{,}5$ м/с^3
$t_1 = 2$с
x_1 - ?
v_1 - ?
a_1 - ?
<v> - ?

1. Координату точки, для которой известно кинематическое уравнение движения, найдем, подставив в уравнение движения заданное значение времени t_1:

$$x(t_1) = A + Bt_1 + Ct_1^3.$$

Подставив в это выражение значения постоянных A, B, C, и t_1, произведем вычисления: $x_1 = 4м$.

2. Уравнение, описывающее зависимость скорости от времени, найдем, продифференцировав координату x по времени: $v = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2$. Тогда в заданный момент времени t_1 мгновенная скорость $v_1 = B + 3Ct_1^2$.

Подставим сюда значения B, C, t_1 и произведем вычисления:

$$v_1 = -4м/с.$$

Знак минус в полученном значении скорости указывает на то, что в данный момент времени скорость материальной точки направлена в сторону, противоположную положительному направлению оси X.

3. Функциональную зависимость ускорения от времени найдем, используя определение ускорения, как второй производной от координаты x по времени:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = 6Ct.$$

Подставим значения C, t_1 и произведем вычисления

$$a_1 = -6 \text{ м/с}^2.$$

4. По определению, среднее значение скорости равно: $\langle v \rangle = \frac{S}{\Delta t}$, где S – путь, пройденный точкой за время Δt.

Если в течение рассматриваемого промежутка времени скорость точки не изменяется по направлению, то

$$S = x(t_1) - x(t_0),$$

где $x(t_1)$ и $x(t_0)$ – координаты материальной точки в конечный и начальный моменты времени, соответственно.

В нашем случае в начальный момент времени $t_0 = 0$ с скорость точки равна 2 м/с, а в момент времени t_1 скорость - $v_1 = -4м/с$. Следовательно, в некоторый момент времени t' скорость точки обращается в нуль, т.е. в этот момент времени материальная точка изменяет направление своего движения. Тогда весь путь, пройденный точкой, можно представить в виде: $S = S_1 + S_2$, где $S_1 = x(t') - x(t_0)$ - путь, пройденный точкой до остановки, а $S_2 = x(t') - x(t_1)$ - путь, пройденный в обратном направлении.

Найдем момент времени, в который скорость точки равна нулю: $B + 3C(t')^2 = 0$.

Отсюда $t' = \sqrt{\frac{-B}{3C}}$. Подставив численные значения, получим: t'=1,155 с.

Тогда $x(t') = A + Bt' + C(t')^3$=7,08 м,

$x(t_0) = A$=4 м,

$$x(t_1) = A + Bt_1 + Ct_1^3 = 4\text{м}.$$

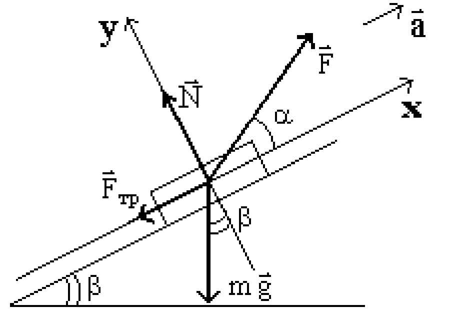
Следовательно, S=(7,08-4)+(7,08-4)=6,16 м, средняя скорость <v> =3,08 м/с.

Пример 2. Тело массой 10 кг движется вверх по наклонной плоскости. На тело действует сила F=100 Н, направленная вверх под углом $\alpha = 30^0$ к поверхности наклонной плоскости. Коэффициент трения μ=0,1. Угол наклона плоскости $\beta = 30^0$. Определить ускорение, с которым движется тело.

Дано:
m=10 кг
F=100 Н
$\alpha = 30^0$
$\beta = 30^0$
μ=0,1

a - ?

Решение



При движении тела кроме силы $\vec{F}$ на него действуют также: сила тяжести - $m\vec{g}$, сила реакции опоры - $\vec{N}$ и сила трения - $\vec{F}_{тр}$, показанные на рисунке.

Ускорение тела определим, используя основной закон динамики, который в векторной форме в условиях данной задачи имеет вид:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}. \qquad (1)$$

Направим ось X вдоль наклонной плоскости в сторону движения тела, а ось Y - перпендикулярно к ней.

Запишем уравнение (1) в проекциях на выбранные оси координат.

На ось X: $ma = -mg \cdot \sin\beta - F_{тр} + F \cdot \cos\alpha,$ (2)

на ось Y: $0 = -mg \cdot \cos\beta + N + F \cdot \sin\alpha.$ (3)

По определению силы трения: $F_{тр} = \mu N$.

Силу реакции опоры найдем из уравнения (3):

$$N = mg \cdot \cos\beta - F \cdot \sin\alpha.$$

Тогда $F_{тр} = \mu \cdot mg \cdot \cos\beta - \mu \cdot F \cdot \sin\alpha$.

Подставим это выражение в (2) и получим рабочую формулу: $a = \dfrac{F}{m}(\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha) - g(\mu \cdot \cos\beta + \sin\alpha).$

Проведя подстановку данных и вычисления, найдем: a=3,3м/с^2.

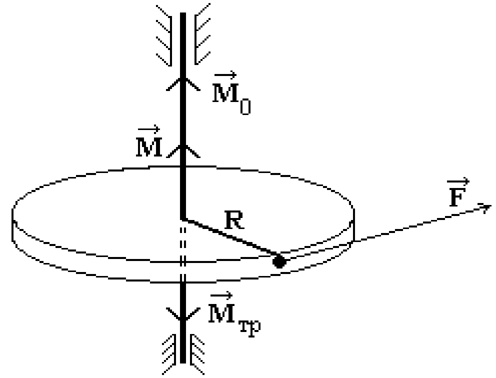
Пример 3. К ободу однородного диска радиусом 0,2 м, вращающегося вокруг своей оси, приложена касательная сила F=98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения $M_{тр} = 4{,}9$ Н·м. Найти массу диска, если известно, что диск вращается с угловым ускорением ε =100 рад/с^2.

Дано:

R=0,2 м
F=98,1 Н
$M_{тр}$ = 4,9 Н м
ε = 100 рад/с^2

m - ?

Решение



Известно, что момент инерции диска относительно оси, проходящей через его центр, равен: $J = \frac{1}{2} mR^2$.

Отсюда масса диска: $$m = \frac{2J}{R^2} \qquad (1)$$

Воспользовавшись законом динамики вращательного движения твердого тела, найдем момент инерции J:

$$J = \frac{M}{\varepsilon}, \qquad (2)$$

где M - результирующий момент сил, под действием которого вращается диск. Запишем уравнение (2) в проекции на ось вращения (с учетом направлений моментов).

$$M = M_0 - M_{тр} = FR - M_{тр}. \qquad (3)$$

Здесь $M_0 = F \cdot R$ – момент силы F относительно оси вращения.

Подставляя (2) и (3) в (1), находим:

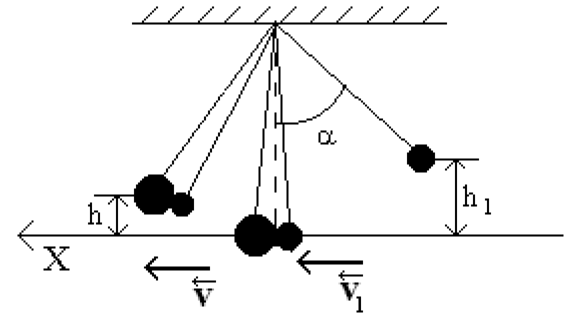
$$m = \frac{2}{\varepsilon R^2}\left(FR - M_{тр}\right).$$

Проведя необходимые расчеты, получим: m=7,36 кг.

Пример 4. Два свинцовых шара массами m_1=2 кг и m_2=3 кг подвешены на нитях длиной L=70 см. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем меньший шар отклонили на угол $\alpha = 60^0$ и отпустили. Считая удар центральным и неупругим, определить: 1) высоту h, на которую поднимутся шары после удара; 2) энергию ΔE, израсходованную на деформацию шаров при ударе.

Дано:	СИ:
$m_1 = 2$ кг	
$m_2 = 3$ кг	
$L = 70$ см	0,7 м
$\alpha = 60°$	$\pi/3$ рад
h - ?	
ΔE - ?	

Решение



Проведем анализ движения тел в данной задаче. Движение шаров можно разбить на три этапа.

На первом этапе (до соударения) шар массой m_1 движется под действием только консервативных сил (сила трения отсутствует). Следовательно, на этом участке движения выполняется закон сохранения механической энергии:

$$m_1 g h_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2}, \qquad (1)$$

где $h_1 = L(1 - \cos\alpha))$ - начальная высота, на которой находился отклоненный шар, v_1 - скорость этого шара непосредственно перед ударом.

Второй этап – неупругое соударение шаров, при котором выполняется закон сохранения импульса:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v},$$

где $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ - скорости шаров до удара, $\vec{v}$ - скорость шаров, движущихся как единое целое, непосредственно после удара.

С учетом того, что $\vec{v}_2 = 0$, получим:

$$m_1\vec{v}_1 = (m_1 + m_2)\vec{v} \qquad . \qquad (2)$$

Из уравнения (2) очевидно, что скорость шаров $\vec{v}$ сразу после удара будет направлена вдоль оси X, так же как и скорость $\vec{v}_1$ первого шара непосредственно перед соударением. Поэтому, уравнение (2) в проекциях на ось X будет иметь вид:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)v. \qquad (3)$$

На третьем этапе движения шаров после удара снова выполняется закон сохранения механической энергии:

$$(m_1 + m_2)\frac{v^2}{2} = (m_1 + m_2)gh. \qquad (4)$$

Отсюда искомая высота $h = \dfrac{v^2}{2g}$.

Используя уравнения (3) и (1), получим: $v = \dfrac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$,

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2gL(1-\cos\alpha)} = 2\sqrt{gL}\sin\frac{\alpha}{2}.$$

Тогда $h = \dfrac{v^2}{2g} = \dfrac{2m_1^2 L \sin^2\frac{\alpha}{2}}{(m_1 + m_2)^2}$.

Энергия, израсходованная на деформацию шаров при ударе:

$$\Delta E = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)}{2}v^2. \qquad (5)$$

Проведя подстановку и преобразования, получим:

$$\Delta E = 2gL\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}\sin^2\alpha.$$

Вычислим: 1) h=0,056 м; 2) ΔE =4,12 Дж.

Пример 5. Кинетическая энергия $E_к$ электрона равна 1МэВ. Определить скорость электрона, его релятивистские массу и импульс, а также полную энергию.

Дано:	СИ:
$E_к$ =1 МэВ	$1{,}6\cdot 10^{-13}$ Дж
v - ? m - ? p - ? E - ?	

Решение

Кинетическая энергия релятивистской частицы равна:

$$E_к = E - E_0, \qquad (1)$$

где $E = mc^2$ - полная энергия,
$E_0 = m_0 c^2$ - энергия покоя частицы (в нашем случае – электрона),
$m_0 = 9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг - масса покоя электрона; $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ - его релятивистская масса, $\beta = v/c$,
$c = 3\cdot 10^8$ м/с - скорость света.

Последовательная подстановка этих величин в (1) приводит нас к формуле:

$$E_к = E_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right).$$

Выполнив преобразования относительно β, найдем скорость частицы, выраженную в долях скорости света $(\beta = v/c)$:

$$\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + E_к)E_к}}{E_0 + E_к}. \qquad (2)$$

Расчет энергии покоя дает величину:

$$E_0 = m_0 c^2 = 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot(3\cdot 10^8)^2 = 8{,}19\cdot 10^{-14}\ (\text{Дж}).$$

Подставив числовые значения E_0 и $E_к$ в формулу (2), получим $\beta = 0{,}941$.

Так как $v = \beta\cdot c$, то получим: $v = 2{,}82\cdot 10^8$ м/с.

Найдем релятивистские массу m, импульс p и полную энергию E:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1-0{,}941^2}} = 2{,}69 \cdot 10^{-30} \text{ кг},$$

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}} = mv = mc\beta = 2{,}69 \cdot 10^{-30} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 0{,}941 = 7{,}59 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг м}}{\text{с}},$$

$$E = mc^2 = 2{,}69 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2{,}42 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Пример 6. Материальная точка массой 5 г совершает гармонические колебания с частотой 0,5 Гц вдоль оси X. Амплитуда колебаний 3 см. Определить: 1) скорость точки в момент времени, когда смещение x=1,5 см; 2) максимальную силу, действующую на точку.

Дано:	СИ:
m=5 г	$5 \cdot 10^{-3}$ кг
ν=0,5 Гц	
A=3 см	$3 \cdot 10^{-2}$ м
x=1,5 см	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$ м
v - ?	
F_{max} -?	
E - ?	

Решение

1. Уравнение гармонического колебания имеет вид:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi). \qquad (1)$$

По определению, скорость точки равна первой производной по времени от смещения:

$$v = \dot{x} = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi). \qquad (2)$$

Чтобы выразить скорость через смещение, надо исключить из формул (1) и (2) время. Для этого возведем оба уравнения в квадрат:

$$x^2 = A^2\cos^2(\omega t + \varphi), \qquad (3)$$

$$v^2 = A^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi). \qquad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) выразим $\cos^2(\omega t + \varphi) = \frac{x^2}{A^2}$, $\sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{v^2}{A^2\omega^2}$. Воспользовавшись известным соотношением $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$, получим:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2\omega^2} = 1.$$

Так как $\omega = 2\pi\nu$, тогда

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{4\pi^2\nu^2A^2} = 1.$$

Решая последнее уравнение относительно v, найдем:

$$v = \pm 2\pi\nu\sqrt{A^2 - x^2}.$$

Вычисляя, получим v=±8,2 м/с.

Знак плюс соответствует случаю, когда направление скорости совпадает с положительным направлением оси X, знак минус - когда направление скорости противоположно.

2. Силу, действующую на точку, найдем, используя второй закон Ньютона:

$$F = ma, \qquad (3)$$

где a - ускорение точки.

По определению:

$$a = \ddot{x} = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$$

или: $a = -4\pi^2\nu^2A\cos(\omega t + \varphi)$.

Подставим это выражение в (3) и получим:

$$F = -4\pi^2\nu^2 mA\cos(\omega t + \varphi).$$

Отсюда максимальное значение силы (при $\cos(\omega t + \varphi) = -1$):

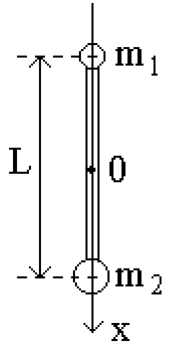
$$F_{max} = 4\pi^2\nu^2 mA.$$

Подставим в это уравнение значения величин π, ν, m, A и найдем $F_{max} = 1{,}49 \cdot 10^{-3}$ Н.

Пример 7. На концах тонкого стержня длиной 1 м и массой M=400г укреплены шарики малых размеров массами m_1=200 г и m_2=300 г. Стержень колеблется около горизонтальной оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину (точка O на рис.). Определить период колебаний, совершаемых стержнем.

Решение

Дано:	СИ:
m_1=200 г	0,2 кг
m_2=300 г	0,3 кг
M=400 г	0,4 кг
L = 1 м	
T - ?	



Период колебаний физического маятника, каковым является стержень с шариками, определяется соотношением:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mag}}\ , \qquad (1)$$

где J - момент инерции маятника относительно оси колебаний; m - его масса; a - расстояние от центра масс маятника до оси колебаний.

В силу аддитивности, момент инерции данного маятника равен сумме моментов инерции J_1 и J_2 шариков и стержня J_3:

$$J = J_1+J_2+J_3. \qquad (2)$$

Принимая шарики за материальные точки, запишем их моменты инерции: $J_1 = m_1\left(\frac{L}{2}\right)^2$; $J_2 = m_2\left(\frac{L}{2}\right)^2$.

Так как ось проходит через середину стержня, то его момент инерции относительно этой оси $J_3 = \frac{1}{12}ML^2$. Подставив полученные выражения J_1, J_2 и J_3 в формулу (2), найдем общий момент инерции физического маятника:

$$J = m_1\left(\frac{L}{2}\right)^2 + m_2\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \frac{1}{12}ML^2 = \frac{1}{12}L^2(3m_1 + 3m_2 + M).$$

Произведя вычисления по этой формуле, найдем J = 0,158 $кг \cdot м^2$.

Масса маятника состоит из масс шариков и массы стержня:

$$m = m_1+m_2+M = 0{,}9 \text{ кг}.$$

Расстояние от центра масс маятника до оси колебаний найдем, исходя из следующих соображений. Если ось X направить вдоль стержня и начало координат совместить с точкой O, то искомое расстояние равно координате центра масс маятника (x_c), т.е.

$$a = x_c = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} = \frac{m_1\left(-\frac{L}{2}\right) + m_2\left(\frac{L}{2}\right) + M\cdot 0}{m_1 + m_2 + M},$$

или
$$a = \frac{(m_2 - m_1)L}{2(m_1 + m_2 + M)} = \frac{(m_2 - m_1)L}{2m}.$$

Подставив значения величин m_1, m_2, m, L и произведя вычисления, найдем: $a = 5{,}55 \cdot 10^{-2}$ м.

Произведя расчет по формуле (1), получим период колебаний физического маятника: T=3,57 с.

Пример 8. В баллоне объемом 10 литров находится гелий под давлением 1 МПа при температуре 300 К. После того как из баллона был израсходован гелий массой 10 г, температура в баллоне понизилась до 290 К. Определить 1) давление гелия, оставшегося в баллоне; 2) его плотность; 3) количество оставшихся в баллоне молекул гелия; 4) их концентрацию.

Решение

Дано:	СИ:
V=10 л	0,01 м^3
p_1=10 МПа	10^6 Па
T_1=300 К	
$\Delta m = 10$г	0,01 кг
T_2=290 К	

1) p_2 - ?
2) ρ_2 - ?
3) N_2 - ?
4) n_2 - ?

1. Воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона, применив его к начальному и конечному состояниям газа:

$$p_1 \cdot V = \frac{m_1}{M} RT_1;$$

$$p_2 \cdot V = \frac{m_2}{M} RT_2.$$

Выразим из этих уравнений массы m_1 и m_2 гелия и найдем их разность:

$$m_1 = \frac{Mp_1V}{RT_1}; \qquad m_2 = \frac{Mp_2V}{RT_2}.$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{Mp_1V}{RT_1} - \frac{Mp_2V}{RT_2}.$$

Из последнего уравнения выразим искомое давление:

$$p_2 = \frac{RT_2}{MV}\left(\frac{Mp_1V}{RT_1} - \Delta m\right).$$

Молярная масса гелия (He) равна $M = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль , R=8,31 Дж/(моль К) – молярная газовая постоянная.

Подставив данные и проведя расчет, найдем давление

p_2 =364 10^3 Па.

2. Плотность вещества, по определению, равна $\rho = m/V$. Выразим эту величину из исходного уравнения для второго состояния системы:

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V} = \frac{Mp_2}{RT_2}.$$

После подстановки данных и проведения расчета получим:

$$\rho_2 = 0{,}604 \text{ кг/м}^3.$$

3. Количество молекул, оставшихся в баллоне, равно: $N_2 = N_A \cdot \nu_2$, где $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ – число Авогадро. Количество вещества ν_2, оставшегося в баллоне газа, выразим из уравнения Менделеева – Клапейрона для второго состояния системы:

$$\nu_2 = \frac{m_2}{M} = \frac{p_2V}{RT_2}.$$

Тогда, искомое число молекул:

$$N_2 = N_A \cdot \nu_2 = N_A \frac{p_2V}{RT_2}.$$

После подстановки данных и проведения расчета получим:

$$N_2 \approx 9{,}1 \cdot 10^{23}.$$

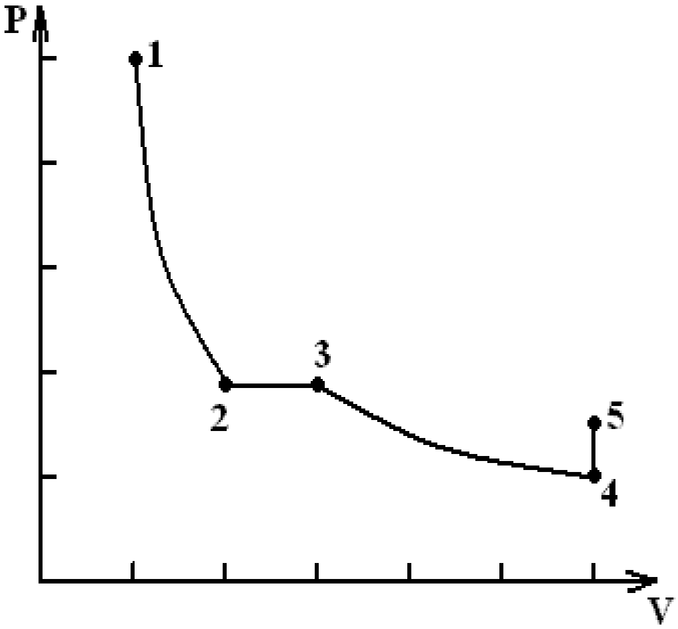
4. Концентрация молекул по определению равна: $n = N/V$, тогда:

$$n_2 = N_2/V.$$

После подстановки данных и проведения расчета получим:

$$n_2 = 9{,}1 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Пример 9. Кислород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,5 МПа, температуре T_1=350 К и занимающий объем V_1=1л, перевели в состояние 2, подвергнув адиабатическому расширению до объема V_2=2 л. Затем изобарно объем газа был увеличен до V_3=3 л. В состояние 4 кислород был переведен путем изотермического увеличения объема V_3 в два раза. После этого последовал изохорный нагрев на ΔT_{5-4}= 150К, который перевел газ в пятое состояние. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.



Дано:	СИ:
O_2	
p_1=0,5МПа	$0{,}5 \cdot 10^6$ Па
T_1=350 К	
V_1=1 л	$1 \cdot 10^{-3}$ м^3
$\Delta Q_{1-2} = 0$	
V_2=2 л	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3
P_{2-3}=const	
V_3=3 л	$3 \cdot 10^{-3}$ м^3
T_{3-4}=const	
V_4=0,5 V_3	
V_{4-5}=const	
ΔT_{5-4} = 50 К	

P_i, T_i, V_i, i=1-5 - ?

$\left.\begin{array}{l} A\text{ - ?} \\ \Delta U\text{ - ?} \\ Q\text{ - ?} \end{array}\right\}$ Для каждого из процессов

Решение

Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты Q, полученное газом, расходуется на изменение внутренней энергии газа (ΔU) и совершение газом работы (A) против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A. \qquad (1)$$

<u>Параметры состояния 1 известны из условия задачи</u>: p_1=0,5·10^6 Па, V_1= 1·10^{-3} м^3, T_1=350 К.

1. Адиабатный процесс совершается, по определению, без теплообмена с окружающей средой, и описывает, в рамках нашей задачи, переход системы из 1-го во 2-е состояние.

Поэтому: $$Q_{12} = 0. \qquad (2)$$

Уравнение (1), записанное для адиабатного процесса, имеет вид: $$\Delta U_{12} = -A_{12}. \qquad (3)$$

Известно, что изменение внутренней энергии для любого термодинамического процесса:

$$\Delta U = \frac{m}{M} C_V \Delta T.$$

Тогда, в нашем случае:

$$\Delta U_{12} = \frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1), \qquad (4)$$

где m –масса газа, $C_V = \frac{i}{2} R$ - молярная теплоемкость при постоянном объеме, i=5 – число степеней свободы двухатомной молекулы, какой является молекула кислорода; R=8,31 Дж/(моль К) – молярная газовая постоянная; M = $32\cdot10^{-3}$ кг/моль – молярная масса кислорода.

Температуру T_2 найдем, используя уравнение Пуассона, описывающее адиабатный процесс:

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1},$$

где $\gamma = {i+2}/{i} = 7/5 = 1{,}4$ - показатель адиабаты.

Отсюда
$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}. \qquad (5)$$

После подстановки исходных данных получим T_2= 265 K.

Массу газа найдем из уравнения Менделеева – Клапейрона, записанного для состояния 1:

$$p_1V_1=\frac{m}{M}RT_1,$$

откуда
$$m=\frac{Mp_1V_1}{RT_1}. \qquad (6)$$

Подстановка данных и расчет дает массу газа m=0,0055 кг.

Из уравнения Менделеева – Клапейрона для состояния 2 найдем давление p_2:

$$p_2=\frac{m}{M\cdot V_2}RT_2.$$

После подстановки в это уравнение выражения для массы (6) получим:

$$p_2=\frac{m}{M\cdot V_2}RT_2=\frac{p_1V_1T_2}{V_2T_1}.$$

Подстановка данных и расчет приводят к результату $p_2=0{,}189\cdot10^6$ Па.

Определили термодинамические параметры для состояния 2:

$p_2=0{,}189\cdot10^6$ Па, $V_2=2\cdot10^{-3}$ м^3, T_2=265 K.

Подставив выражения для T_2, m и C_V в уравнение (4), получим

$$\Delta U_{12}=\frac{p_1V_1\cdot i}{2}\cdot\left[\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}-1\right]. \qquad (7)$$

Подстановка в (7) численных значений приводит к результату:

$$\Delta U_{12}=-303 \text{ Дж}.$$

Из (3) следует: $A_{12}=-\Delta U_{12}=303$ Дж.

Итак, для адиабатного процесса, переводящего систему из состояния 1 в состояние 2, получили: $Q_{12}=0$ Дж, $\Delta U_{12}=-303$ Дж, $A_{12}=303$ Дж.

2. Изобарный процесс характеризуется постоянством давления. Для этого процесса первое начало термодинамики имеет вид:

$$Q=\Delta U+A.$$

При изобарном расширении (в нашей задаче это переход из состояния 2 в состояние 3) работа газа, по определению, равна:

$$A_{23}=p_2(V_3-V_2), \qquad (8)$$

где $p_2=0{,}189\cdot10^6$ Па=const. Из условия задачи известны V_2 и V_3. Подстановка численных значений в формулу (8) дает

A_{23}=189 Дж.

Температуру T_3 найдем, воспользовавшись законом Гей - Люссака для изобарного процесса: $\frac{T_3}{T_2}=\frac{V_3}{V_2}$.

Отсюда: $T_3=T_2\frac{V_3}{V_2}$=397 K.

Отметим, что так как процесс $2\Rightarrow3$ - изобарный, следовательно, $p_2=p_3$.

Определили термодинамические параметры для состояния 3:

$p_3 = 0{,}189 \cdot 10^6$ Па, $V_3 = 3 \cdot 10^{-3}$ м^3, T_3=397 К.

Изменение внутренней энергии газа рассчитаем по уже известной формуле:

$$\Delta U_{23} = \frac{m}{M} C_V \Delta T = \frac{m}{M} C_V (T_3 - T_2) = 471 \text{ Дж} . \qquad (9)$$

Количество теплоты Q_{23}, полученное газом в изобарном процессе, найдем согласно (1):

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = 660 \text{ Дж} \qquad (10)$$

Итак, <u>для изобарного процесса, переводящего систему из состояния 2 в состояние 3, получили:</u> A_{23}=189 Дж; $\Delta U_{23} = 471$ Дж; Q_{23}=660 Дж.

3. Изотермический процесс характеризуется постоянством температуры. Для этого процесса первое начало термодинамики имеет вид:

$$Q = A ,$$

так как при постоянной температуре внутренняя энергия системы не изменяется, то есть $\Delta U = 0$.

Следовательно, при изотермическом изменении объема (в нашей задаче это переход из состояния 3 в состояние 4) количество полученной газом теплоты будет совпадать с работой газа, которая, в свою очередь, равна:

$$A_{3,4} = \frac{m}{M} R T_4 \ln(V_4 / V_3) . \qquad (11)$$

Определим параметры 4-го состояния: T_4=T_3, так как процесс - изотермический, V_4=2V_3 – по условию. Давление кислорода p_4 найдем из закона Бойля – Мариотта,:

$$\frac{p_4}{p_3} = \frac{V_3}{V_4} .$$

Отсюда: $p_4 = p_3 \dfrac{V_3}{V_4}$. Подстановка числовых данных и расчет приводят к результату: p_4= $0{,}099 \cdot 10^6$ Па.

Таким образом, <u>термодинамические параметры 4 – го состояния:</u> p_4= $0{,}099 \cdot 10^6$ Па, V_4= $6 \cdot 10^{-3}$ м^3, T_4=397 К.

Теперь, когда известны все необходимые данные, проведем расчет по формуле (11) и получим: $Q_{34} = A_{34} = 393$ Дж.

<u>Для изотермического процесса, переводящего систему из состояния 3 в состояние 4, получили:</u> A_{34}=393 Дж; $\Delta U_{34} = 0$; Q_{34}=393 Дж.

4. Изохорный процесс. Характеризуется неизменностью объема, занимаемого газом. Так как, по определению, работа газом совершается только при изменении его объема, то для изохорного процесса она равна нулю. Это значит, что первое начало термодинамики имеет вид: $Q = \Delta U$.

Или, в наших обозначениях: $Q_{45} = \Delta U_{45}$.

Следовательно, при изохорном процессе количество подведенной к газу теплоты будет совпадать с изменением его внутренней энергии, которое, в свою очередь, равно:

$$\Delta U_{45} = \frac{m}{M} C_V (T_5 - T_4) . \qquad (12)$$

Определим параметры 5-го состояния: T_5=T_4+150=547 К – по условию задачи. Процесс - изохорный, следовательноV_5=V_4 =$6 \cdot 10^{-3}$ м^3. Давление кислорода p_5 найдем из закона Шарля:

$$\frac{p_5}{p_4} = \frac{T_5}{T_4} .$$

Отсюда: $$p_5 = p_4 \frac{T_5}{T_4} = 0{,}136 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Таким образом, <u>термодинамические параметры 5 – го состояния:</u> p_5=$0{,}136 \cdot 10^6$ Па, V_5= $6 \cdot 10^{-3}$ м^3, T_4=547 К.

Проведя уже стандартный расчет по формуле (12) получим:

$$Q_{45} = \Delta U_{45} = 536 \text{ Дж} .$$

<u>Итак, для изохорного процесса, переводящего систему из</u>

состояния 4 в состояние 5, получили: $A_{45}=0$; $\Delta U_{45}=536$ Дж; $Q_{45}=536$ Дж.

Пример 10. Определить изменение энтропии при изотермическом расширении кислорода массой 10 г от объема $V_1=25$ л до объема $V_2=100$ л.

Дано:	СИ:
O_2	
T - const	
m=10 г	0,01 кг
$V_1=25$ л	0,025 $м^3$
$V_2=100$л	0,1 $м^3$
ΔS-?	

Решение

По определению, изменение энтропии при переходе системы из состояния 1 в состояние 2 равно:

$$\Delta S=\int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Найдем этот интеграл с учетом того, что по условию задачи процесс протекал изотермически (T – const). Тогда

$$\Delta S=\frac{1}{T}\int_1^2 dQ=\frac{Q_{12}}{T}, \qquad (1)$$

где Q_{12} - количество теплоты , полученное газом при переходе из состояния 1 в состояние 2. Определим его, используя первое начало термодинамики:

$$Q=\Delta U+A.$$

Для изотермического процесса изменение внутренней энергии $\Delta U=0$, следовательно, $Q_{12}=A$. (2)

Известно, что работа газа A при изотермическом расширении равна:

$$A=\frac{m}{M}RT\cdot\ln\frac{V_2}{V_1}. \qquad (3)$$

С учетом (2) и (3) равенство (1) примет вид:

$$\Delta S=\frac{m}{M}R\cdot\ln\frac{V_2}{V_1}. \qquad (4)$$

Подставив в (4) численные значения и произведя вычисления, получим:

$$\Delta S=\frac{0{,}01\cdot 8{,}31}{0{,}032}\cdot\ln\frac{0{,}1}{0{,}025}=3{,}60\ \text{Дж/К}.$$

Контрольная работа № 1

Таблица выбора вариантов индивидуального задания

Вариант	**Номера задач**									
1	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
2	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
3	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
4	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
5	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
6	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
7	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
8	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
9	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

1. При прямолинейном движении зависимость пройденного телом пути от времени описывается уравнением $S=A+Bt+Ct^2+Dt^3$, где B=2 м/с , C=0,14 м/с^2, D=0,1 м/с^3. Через сколько времени после начала движения ускорение тела будет равно а) 1 м/с^2; б) 6 м/с^2? Чему равна средняя скорость тела за промежуток времени, в течение которого ускорение возросло от 1 м/с^2 до 6 м/с^2?

2. Зависимость координаты тела от времени задана уравнением $x=At+Bt^2+Ct^3$, где A=12 м/с, B=-3 м/с^2, C=-4 м/с^3. Найти в явном виде зависимость скорости и ускорения от времени; расстояние, пройденное телом, мгновенные скорость и ускорение тела через 2 секунды после начала движения; среднюю скорость за промежуток времени от t_1=2с до t_2=5с.

3. Две материальные точки движутся согласно уравнениям: $x_1=A_1t+B_1t^2+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где A_1=4 м/с, B_1=8 м/с^2, C_1=-16 м/с^3; A_2=2 м/с, B_2=-4 м/с^2, C_2=1 м/с^3. В какой момент времени ускорения этих точек будут одинаковы? Найти скорости точек в этот момент. Найти среднюю скорость второй материальной точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства их ускорений.

4. Движения двух материальных точек выражаются уравнениями: $x_1=A_1t+B_1t^2+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где A_1=20 м/с, B_1=2 м/с^2, C_1= -4 м/с^3; A_2=2 м/с, B_2=2 м/с^2, C_2=0,5 м/с^3. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковыми? Определить скорости и ускорения точек в этот момент. Найти среднюю скорость первой точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства их скоростей.

5. Движение материальной точки задано уравнением $x=At+Bt^2$, где A=4 м/с, B=-0,05 м/с^2. Определить момент времени, в который скорость точки равна нулю. Найти путь, пройденный точкой, координату и ускорение точки в этот момент. Найти среднюю скорость точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства ее скорости нулю.

6. Движения двух материальных точек выражаются уравнениями: $x_1=A_1+B_1t^2+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где A_1=-12 м, B_1=-2 м/с^2, C_1= 8 м/с^3; A_2=-4 м/с, B_2=-3 м/с^2, C_2=8 м/с^3. В какой момент времени координаты этих точек будут одинаковыми? Определить скорости и ускорения точек в этот момент. Найти среднюю скорость первой точки за промежуток времени с момента начала движения до момента равенства их координат.

7. Уравнение движения тела имеет вид $x=15t - 0,4t^2$. Определить промежуток времени после начала движения, в течение которого точка вернется в исходное положение. Найти путь, пройденный точкой и ее среднюю скорость за этот промежуток времени.

8. Уравнение движения материальной точки по прямой имеет вид $x=A+Bt+Ct^2$, где A=4 м, B=2 м/с, C=-0,5 м/с^2. Для момента времени t_1=2 секунды определить координату точки и мгновенное ускорение. Найти путь, пройденный точкой, и среднюю скорость за промежуток времени от t_1=2с до t_2=6с.

9. Зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением $S=A-Bt+Ct^2+Dt^3$, где A=6 м, B=3м/с, C=-2 м/с^2, D=0,2 м/с^3. Считая движение прямолинейным, определить для тела в интервале времени от t_1=1 с до t_2=4 с 1) среднюю скорость; 2) путь, пройденный телом; 3) в какой момент времени после начала движения точка вернется в исходное положение?

10. Две материальные точки движутся согласно уравнениям: $x_1=A_1t+C_1t^3$; $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где A_1=14 м/с, C_1=-6 м/с^3; A_2=2 м/с, B_2=4 м/с^2, C_2=-5 м/с^3. В какой момент времени t_1 ускорение первой точки будет вдвое больше ускорения второй? Найти скорости точек в этот момент. Найти среднюю скорость первой точки за промежуток времени с момента начала движения до момента времени t_1.

11. Тело некоторой массы скользит вниз по наклонной плоскости с постоянным ускорением, равным 0,05g. Найти угол наклона этой плоскости, если коэффициент трения равен 0,02.

12. За какое время тело спустится с вершины наклонной плоскости высотой 3 м и углом у основания 60^0, если максимальный угол у основания наклонной плоскости, при котором тело находится на ней в покое, равен 30^0?

13. Тело массой m скользит по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 45^0. Зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением $s=Ct^2$, где C=1,73 м/с^2. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

14. На автомобиль массой 1т во время движения действует сила трения, равная 0,1 действующей на него силы тяжести. Найти силу тяги, развиваемую мотором автомобиля, если автомобиль движется с ускорением 1 м/с^2 в гору с уклоном 1 м на каждые 25 м пути.

15. По наклонной плоскости с углом α наклона к горизонту, равным 30^0, скользит тело. Определить скорость тела в конце второй секунды от начала скольжения, если коэффициент трения μ=0,15.

16. С каким ускорением будет скользить тело по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha=24^0$, если коэффициент трения равен 0,03? Какое время потребуется для прохождения при этих условиях пути 100 м? Какую скорость тело будет иметь в конце пути?

17. С вершины клина, длина которого l=2 м и высота h=1 м, начинает скользить небольшое тело. Коэффициент трения между телом и клином μ=0,15. Определить: 1) ускорение, с которым движется тело; 2) время прохождения тела вдоль клина; 3) скорость тела у основания клина.

18. На автомобиль массой 2т во время движения действует сила трения, равная 0,1 действующей на него силы тяжести. Найти силу тяги, развиваемую мотором автомобиля, если автомобиль движется с постоянной скоростью в гору с уклоном 1 м на каждые 25 м пути.

19. Тело некоторой массы равномерно скользит вниз по наклонной плоскости. Найти угол наклона этой плоскости, если коэффициент трения равен 0,05.

20. Тело скользит по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 45^0. Пройдя путь 36,4 см, тело приобретает скорость 2 м/с. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

21. Маховик, момент инерции которого равен J=63,7 $кг\cdot м^2$, вращается с постоянной угловой скоростью ω=31,4 рад/с. Найти тормозящий момент M, под действием которого маховик останавливается через t=20 с. Маховик считать однородным диском.

22. Определить, какая постоянная касательная сила приложена к ободу однородного сплошного диска радиусом 0,5 м и массой 24 кг, если при вращении на него действует момент сил трения 2 $Н\cdot м$. Угловое ускорение диска постоянно и равно 16 $рад/с^2$.

23. Маховое колесо, имеющее момент инерции 245 $кг\cdot м^2$, вращается, делая 20 об/с. Через минуту после того, как на колесо перестал действовать вращающий момент, оно остановилось. Найти момент сил трения.

24. К ободу однородного сплошного диска радиусом R=0,2 м приложена постоянная касательная сила F=98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения 5 $Н\cdot м$. Найти массу диска, если известно, что диск вращается с постоянным ускорением ε=100 $рад/с^2$.

25. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J=150 $кг\cdot м^2$, вращается с частотой ν=240 об/мин. Через время t=1 мин как на маховик стал действовать момент сил торможения, он остановился. Определить момент сил торможения.

26. Вал массой m=100 кг и радиусом R 5 см вращался с частотой ν=8 $с^{-1}$. К цилиндрической поверхности вала прижали тормозную колодку с силой N=40 Н, под действием которой вал остановился через t=10 с. Определить коэффициент трения.

27. Диск массой m=2 кг и радиусом R=10 см вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Уравнение движения диска имеет вид $\varphi = Ct^3$, где $C = -1 рад/с^3$. Определить вращающий момент M в момент времени t=2 с, если момент сил торможения постоянен и равен 12 $Н \cdot м$.

28. Маховик радиусом 0,5 м, вращаясь равнозамедленно, за 10 секунд изменил частоту вращения от 480 до 120 об/мин. Тормозящий момент постоянен и равен 40 $Н \cdot м$. Определить массу маховика.

29. К шару радиусом 0,2 м приложена касательная сила 100 Н. При вращении вокруг оси, проходящей через центр масс, на шар действует момент сил трения 5 $Н \cdot м$. С каким угловым ускорением вращается шар, если его масса 15 кг?

30. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J=1,5 $кг \cdot м^2$, вращаясь при торможении равнозамедленно, за время t=1 мин уменьшил частоту своего вращения с ν_0=240 об/мин до ν_1=120 об/мин. Определить момент силы торможения.

31. На нитях одинаковой длины, равной 2,5 м, закрепленных в одной точке, подвешены два шарика массами 75 г и 100 г, соответственно. Нить с большим шариком отклонили на угол 60 градусов и отпустили. Считая удар абсолютно неупругим, определить, на какую высоту поднимутся шарики после соударения.

32. Пуля массой 15 г, летящая с горизонтальной скоростью 0,5 км/с, попадает в баллистический маятник[1)] массой 6 кг и застревает в нем. Определить высоту, на которую поднимется маятник, откачнувшись после удара.

33. Два тела массами 3 кг и 5 кг движутся навстречу друг другу со скоростями 7 м/с и 9 м/с. Найти скорость движения тел после соударения и выделившуюся при неупругом ударе энергию.

34. Пуля массой 15 г, летящая горизонтально со скоростью 200 м/с, попадает в баллистический маятник[1)] длиной 1 м и массой 1,5 кг и застревает в нем. Определить угол отклонения маятника.

35. Тело массой 3 кг движется со скоростью 2 м/с и ударяется о неподвижное тело такой же массы. Считая удар центральным и неупругим, определить количество теплоты, выделившееся при ударе.

36. Пуля массой 12 г, летящая с горизонтальной скоростью 0,6 км/с, попадает в мешок с песком массой 10 кг, висящий на длинной нити, и застревает в нем. Определить: 1) высоту, на которую поднимется мешок, отклонившись после удара; 2) энергию, израсходованную на пробивание песка.

37. На нитях одинаковой длины, равной 0,8 м, закрепленных в одной точке, подвешены два шарика массами 40 г и 60 г, соответственно. Нить с меньшим шариком отклонили на угол 60 градусов и отпустили. Считая удар неупругим, определить, какая энергия пошла на нагревание шариков.

38. Пуля массой 9 г, летящая с горизонтальной скоростью 0,6 км/с, попадает в баллистический маятник[1)] массой 8 кг и застревает в нем. Определить выделившуюся при этом энергию.

39. Тело массой 8 кг движется со скоростью 3 м/с и ударяется о движущееся со скоростью 1 м/с в том же направлении тело вдвое большей массы. Считая удар центральным и неупругим, определить количество теплоты, выделившееся при ударе.

40. На нитях одинаковой длины, равной 1,2 м, закрепленных в одной точке, подвешены стальной и пластилиновый шарики одного размера массой 20 г и 8 г, соответственно. Нить со стальным шариком отклонили на угол 45 градусов и отпу-

---

[1)] Баллистический маятник – массивное тело, подвешенное на тонких нерастяжимых нитях длиной L.

стили. Определить, на какую высоту поднимутся шарики после соударения.

41. Частица движется со скоростью v=0,8c, где с – скорость света в вакууме. Определить: 1) отношение массы релятивистской частицы к ее массе покоя; 2) релятивистский импульс и полную энергию, если эта частица – электрон.

42. Определить, на сколько процентов масса релятивистской частицы, вылетающей из ускорителя со скоростью v=0,75c, где с – скорость света в вакууме, больше ее массы покоя. Определить кинетическую энергию этой частицы, если она – протон.

43. Определить скорость движения релятивистской частицы, если ее масса в два раза больше массы покоя. Найти полную энергию этой частицы, если ее масса совпадает с массой покоя ядра атома гелия.

44. Определить релятивистский импульс, полную и кинетическую энергии протона, если скорость его движения v=0,8c, где с – скорость света в вакууме.

45. Полная энергия релятивистской частицы в 8 раз превышает ее энергию покоя. Определить скорость этой частицы и релятивистский импульс, если предположить, что эта частица – нейтрон.

46. Определить скорость и релятивистский импульс электрона, если его кинетическая энергия равна энергии покоя.

47. Определить массу, кинетическую и полную энергии протона, движущегося со скоростью v=0,75c, где с – скорость света в вакууме.

48. Определить релятивистский импульс и полную энергию альфа – частицы, кинетическая энергия которой равна $3{,}6 \cdot 10^{-9}$ Дж.

49. Определить скорость движения протона, при которой его кинетическая энергия равна $7{,}7 \cdot 10^{-11}$ Дж. Найти его релятивистский импульс и полную энергию.

50. Определить релятивистский импульс, кинетическую и полную энергии нейтрона, движущегося со скоростью v=0,95c, где с – скорость света в вакууме.

51. Определить скорость и ускорение материальной точки через 5 с после начала движения, если она совершает гармонические колебания, согласно уравнению $x = 0{,}02\cos(\pi t + \pi/3)$, м. Написать уравнение для силы, вызывающей это движение, если масса точки 11 г.

52. Точка массой 20 г совершает гармонические колебания с амплитудой 10 см и периодом 5 с под действием некоторой периодической силы. Определить для точки максимальные скорость, ускорение и действующую силу.

53. Определить максимальную скорость точки, совершающей гармонические колебания по закону $x = 3\cos(\pi t/2 + \pi/8)$,м. Найти массу этой точки, если максимальная сила, вызывающая эти колебания, равна 12 Н.

54. Скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания, задается уравнением $v(t) = -6\sin(2\pi t)$, м/с. Записать зависимость смещения этой точки от времени. Найти силу, действующую на точку в момент времени t=6 с, если масса точки 4 г.

55. Определить скорость и ускорение материальной точки через 3 с после начала движения, если она совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0{,}02\cos(\pi t + \pi/4)$, м. Найти силу, действующую на точку через 20 с после начала движения, если масса точки 2 г.

56. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки равна 5 см, период - 4 с. Найти максимальные скорость и ускорение колеблющейся точки. Найти силу, действующую на точку через 2 с после начала движения, если масса точки 10 г, а начальная фаза равна 120^0.

57. Уравнение движения материальной точки $x = 2\sin(\pi t/2 + \pi/4)$, см. Найти максимальную скорость точки и ее максимальное ускорение, а также силу, действующую на эту точку в начальный момент времени, если масса точки 7 г.

58. Уравнение движения материальной точки $x = \sin(\pi t/6)$,м. Найти моменты времени, в которые достигаются минимальные по модулю скорость и ускорение. Найти силу, действующую на точку через 10 с после начала движения, если масса точки 12 г.

59. Определить максимальные по модулю значения скорости и ускорения материальной точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой 3 см и угловой частотой $\omega = \pi/2\ c^{-1}$. Найти силу, действующую на точку через 3 с после начала движения, если масса точки 30 г, а начальная фаза колебаний 60^0.

60. Точка совершает колебания по закону $x = A\cos(\omega t)$, где A=5 см, $\omega = 2c^{-1}$. Определить ускорение точки в момент времени, когда ее скорость равна 8 см/с. Написать уравнение для силы, вызывающей это движение, если масса точки 9 г.

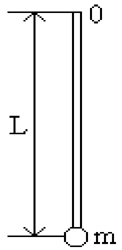
61. На концах тонкого стержня длиной 30 см укреплены одинаковые грузы по одному на каждом конце. Стержень с грузами колеблется около горизонтальной оси, проходящей через точку, удаленную на 10 см от одного из концов стержня. Определить приведенную длину и период колебаний такого физического маятника. Массой стержня пренебречь.

62. На стержне длиной 30 см укреплены два одинаковых груза: один в середине стержня, другой - на одном из его концов. Стержень с грузами колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину и период колебаний такой системы. Массой стержня пренебречь.

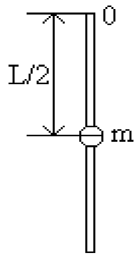
63. Математический маятник длиной 40 см и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной 60 см синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние от центра масс стержня до оси колебаний.

В задачах **64 - 67** физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень массой m с укрепленным на нем маленьким шариком массой m. Маятник совершает колебания около горизонтальной оси, проходящей через точку 0 на стержне. Определить период гармонических колебаний маятника, изображенного на рисунке. Длина стержня L= 1 м. Шарик рассматривать как материальную точку.

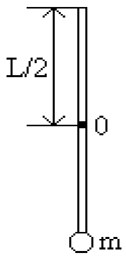
64.



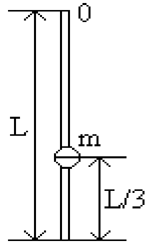
65.



66.

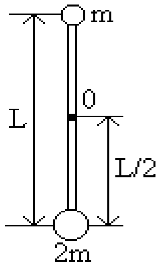


67.

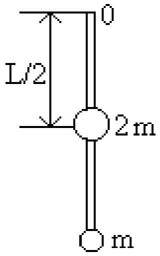


В задачах **68 - 70** физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень массой m с укрепленными на нем двумя маленькими шариками массами m и 2m. Маятник совершает колебания около горизонтальной оси, проходящей через точку 0 на стержне. Определить частоту гармонических колебаний маятника, изображенного на рисунке. Длина стержня L = 1 м. Шарики рассматривать как материальные точки.

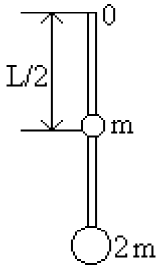
68.



69.



70.



В задачах **71- 80** в сосуде вместимостью $V=0{,}01\,м^3$ содержится смесь двух газов массами m_1 и m_2 при температуре T. Определить давление p , концентрацию n и плотность ρ смеси газов.

71. Кислород m_1=20 г и азот m_2=3 г, T=400 К;
72. Кислород m_1=15 г и водород m_2=2 г, T=300 К;
73. Азот m_1=7 г и водород m_2=1 г, T=280 К;
74. Гелий m_1=6 г и кислород m_2=7 г, T=420 К;
75. Углекислый газ m_1=17 г и кислород m_2=9 г, T=500 К;
76. Гелий m_1=3 г и водород m_2=2 г, T=550 К;
77. Гелий m_1=3 г и азот m_2=30 г, T=700 К;
78. Углекислый газ m_1=25 г и азот m_2=32 г, T=650 К;
79. Углекислый газ m_1=31 г и водород m_2=3 г, T=420 К;
80. Углекислый газ m_1=7 г и гелий m_2=4 г, T=720 К.

81. Азот, находившийся в состоянии 1 с параметрами p_1=0,2 МПа, T_1=450 К, V_1=2л, изотермически перевели в состояние 2 с объемом V_2=6 л. Затем адиабатно объем газа был увеличен до V_3=9 л. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

82. Гелий, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,25 МПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=2,5л, изобарно перевели в состояние 2 с температурой T_2=650 К. Затем адиабатно объем газа был увеличен на 3 л. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

83. Кислород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,25 МПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=2,5л, изохорно перевели в состояние 2 с температурой T_2=650 К. Затем адиабатно давление газа было уменьшено в 2 раза. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

84. Водород, находящийся в состоянии 1 (p_1=0,1 МПа, T_1=300 К, V_1=1л), перевели в состояние 2, адиабатно уменьшив давление на 20%. Затем изобарно объем газа был увеличен до V_3=2 л. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

85. Гелий, находящийся в состоянии 1 (p_1=310 кПа, T_1=400 К, V_1=10л), перевели в состояние 2, адиабатно увеличив давление в два раза. Затем изотермически объем газа был увеличен на 6 литров. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

86. Кислород, находящийся в состоянии 1 (p_1=230 кПа, T_1=450 К, V_1 = 20л), перевели в состояние 2, адиабатно уменьшив объем в три раза. Затем изохорно температура газа была увеличена на 100 К. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

87. Кислород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=250 кПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=12л, изотермически перевели в состояние 2 с объемом V_2=6 л. Затем адиабатно объем газа был уменьшен на два литра. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

88. Азот, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=220 кПа, температуре T_1=430 К и занимающий объем V_1=25л, изобарно перевели в состояние 2, уменьшив объем на семь литров. Затем адиабатно давление газа было уменьшено на 30%. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

89. Гелий, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=150 кПа, температуре T_1=500 К и занимающий объем V_1=12,5л, изотермически перевели в состояние 2 с объемом 6,5 литра. Затем адиабатно температура газа была уменьшена на 100 К. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

90. Водород, находящийся в состоянии 1 при давлении p_1=0,25 МПа, температуре T_1=550 К и занимающий объем V_1=2,5л, изохорно перевели в состояние 2 с давлением p_2=0,5 МПа. Затем адиабатно объем газа был увеличен в 1,5 раза. Определить термодинамические параметры каждого из состояний. Для каждого из описанных процессов найти: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

91. Определить изменение энтропии 14 г азота при изобарном нагревании его от 27^0С до 127^0С.

92. Как изменится энтропия 2 молей углекислого газа при изотермическом расширении, если объем газа увеличился в четыре раза?

93. Найти изменение энтропии при нагревании 2 кг воды от 0 до 100^0С и последующем превращении ее в пар при той же температуре. Удельная теплоемкость воды – 4190 Дж/кг К, удельная теплота парообразования - $2{,}26 \cdot 10^6$ Дж/кг.

94. Определить изменение энтропии при затвердевании 2 кг свинца и дальнейшем его охлаждении от 327 до 0^0С. Удельная теплота плавления свинца – $0{,}25 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплоемкость свинца – 120 Дж/кг К.

95. Определить изменение энтропии при плавлении 1 кг льда, находившегося при температуре 0^0С, и последующем нагревании воды до температуры 57^0С.. Удельная теплота плавления льда – $3{,}35 \cdot 10^5$ Дж/кг, удельная теплоемкость воды – 4190 Дж/кг К

96. В результате изохорного нагревания водорода массой 1 г давление газа увеличилось в два раза. Определить изменение энтропии газа.

97. Найти изменение энтропии при изобарном расширении азота массой 4 г от объема V_1=5 л до объема V_2=9 л.

98. Объем кислорода массой 1 кг был увеличен в 5 раз в результате изотермического расширения. Найти изменение энтропии газа.

99. Объем кислорода массой 2 кг был увеличен в 5 раз в результате адиабатного расширения. Найти изменение энтропии газа.

100. Во сколько раз необходимо увеличить объем 10 г водорода, чтобы при изотермическом расширении его энтропия увеличилась на 57,6 Дж/К?

Приложения

Приложение 1

Физические постоянные

Название физической постоянной	Обозначение и величина
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8$ м / с
Нормальное ускорение свободного падения	$g = 9{,}81$ м/с^2
Гравитационная постоянная	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^3 /(кг $\cdot$ с^2)
Постоянная Авогадро	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8{,}31$ Дж /(К $\cdot$ моль)
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К
Элементарный заряд	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
Удельный заряд электрона	$e / m_e = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл / кг
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1{,}675 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя протона	$m_p = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ кг
Атомная единица массы	1а.е.м. $= 1{,}6606 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса изотопа ${}_1H^1$	$m_H = 1{,}6736 \cdot 10^{-27}$ кг

Приложение 2

Единицы измерения физических величин (СИ) и их связь с внесистемными единицами

Физическая величина	Рекомендуемые символы	Наименование единицы измерения	Обозначение единицы измерения	Некоторые внесистемные единицы
1	2	3	4	5
Основные единицы				
Длина	l,L.	метр	м	1 мм $=10^{-3}$ м 1 см $= 10^{-2}$ м
Масса	m,M	килограмм	кг	1 г $=10^{-3}$ кг 1 т $= 10^3$ кг 1 а.е.м. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	t, τ	секунда	с	1 мин = 60 с 1 час = 3600 с
Сила электрического тока	I,i	Ампер	А	
Термодинамическая температура	Т	Кельвин	К	1^0 С = 1 К
Количество вещества	ν	моль	моль	
Плоский угол	$\alpha, \varphi, \theta.$	радиан	рад	$1^0 = 1{,}75 \cdot 10^{-2}$ рад $1' = 2{,}91 \cdot 10^{-4}$ рад

1	2	3	4	5
Производные единицы				
Скорость	V, v, u	метр в секунду	м/с	$1 км/ч = 0,2(7) м/с$
Ускорение	a	метр на секунду в квадрате	$\frac{м}{с^2}$	
Частота	ν, n, f	герц	Гц	
Частота вращения	n	оборот в секунду	$с^{-1}$	$1 мин^{-1} = 1/60\ с^{-1}$
Циклическая частота	ω	секунда в минус первой степени	$с^{-1}$	$1 мин^{-1} = 1/60\ с^{-1}$
Угловая скорость	ω	радиан в секунду	$\frac{рад}{с}$	
Угловое ускорение	ε	радиан на секунду в квадрате	$\frac{рад}{с^2}$	
Момент инерции	J	килограмм-метр в квадрате	$кг \cdot м^2$	
Импульс	P,p	килограмм-метр в секунду	$кг \cdot \frac{м}{с}$	
Момент импульса	L	килограмм-метр в квадрате в секунду	$кг \cdot \frac{м^2}{с}$	
Сила	F	ньютон	Н	
Момент силы	M	ньютон-метр	$Н \cdot м$	

1	2	3	4	5
Работа, энергия	A,E,U	джоуль	Дж	1 эВ= $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж $1 Втч = 3,6 \cdot 10^3$ Дж
Мощность	P,N	ватт	Вт	1 л.с.=736 Вт
Площадь	S	квадратный метр	$м^2$	$1 мм^2 = 10^{-6} м^2$ $1 см^2 = 10^{-4} м^2$
Объем	V	кубический метр	$м^3$	$1 мм^3 = 10^{-9} м^3$ $1 см^3 = 10^{-6} м^3$ $1 л = 10^{-3} м^3$
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	$кг/м^3$	1 г/см^3 =10^3 кг/м^3
Давление	p	паскаль	Па	1 атм=$1,01 \cdot 10^5$ Па 1 мм.рт.ст.=133Па
Количество теплоты	Q	джоуль	Дж	1 кал=4,19 Дж
Теплоемкость удельная	c	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг К)	
Теплоемкость молярная	C	джоуль на моль-кельвин	$\frac{Дж}{моль \cdot К}$	
Молярная масса	μ, M	килограмм на моль	кг/моль	1 г/моль= =10^{-3} кг/моль

Приложение 3

Справочные таблицы

НЕКОТОРЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Радиус Земли	$6{,}37 \cdot 10^{6}$ м
Радиус Солнца	$6{,}95 \cdot 10^{8}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1{,}49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3{,}84 \cdot 10^{8}$ м

ПОРЯДКОВЫЕ НОМЕРА(Z) И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА(А) НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Z	Элемент	Символ	А	Z	Элемент	Символ	А
1	Водород	H	1,01	16	Сера	S	32,1
2	Гелий	He	4,00	17	Хлор	Cl	35,5
3	Литий	Li	6,94	18	Аргон	Ar	40,0
4	Бериллий	Be	9,01	19	Калий	K	39,1
5	Бор	B	10,8	20	Кальций	Ca	40,1
6	Углерод	C	12,0	24	Хром	Cr	52,0
7	Азот	N	14,0	25	Марганец	Mn	54,9
8	Кислород	O	16.0	26	Железо	Fe	55,9
9	Фтор	F	19,0	27	Кобальт	Co	58,9
10	Неон	Ne	20,2	28	Никель	Ni	58,7
11	Натрий	Na	23,0	29	Медь	Cu	63,5
12	Магний	Mg	24,4	30	Цинк	Zn	65,4
13	Алюминий	Al	27,0	33	Мышьяк	As	74,9
14	Кремний	Si	28,1	35	Бром	Br	79,9
15	Фосфор	P	31,0	47	Серебро	Ag	108

МАССА ПОКОЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ЛЕГКИХ ЯДЕР

Частица	Масса	
	m_0, кг	m_0, а.е.м.
Электрон (позитрон)	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$	0,00055
Протон	$1{,}67 \cdot 10^{-27}$	1,00728
Нейтрон	$1{,}68 \cdot 10^{-27}$	1,00867
Дейтон	$3{,}35 \cdot 10^{-27}$	2,01355
α-частица	$6{,}64 \cdot 10^{-27}$	4,00149

ТАБЛИЦА ДЕСЯТИЧНЫХ ПРИСТАВОК

Приставка	Множитель	Обозначение	Приставка	Множитель	Обозначение
Тера	10^{12}	Т	Санти	10^{-2}	с
Гига	10^{9}	Г	Милли	10^{-3}	м
Мега	10^{6}	М	Микро	10^{-6}	мк
Кило	10^{3}	К	Нано	10^{-9}	н
Деци	10^{-1}	Д	Пико	10^{-12}	п

ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

Альфа	Α α	Эта	Η η	Ню	Ν ν	Тау	Τ τ
Бета	Β β	Тэта	Θ θ	Кси	Ξ ξ	Ипсилон	Υ υ
Гамма	Γ γ	Йота	Ι ι	Омикрон	Ο ο	Фи	Φ φ
Дельта	Δ δ	Каппа	Κ κ	Пи	Π π	Хи	Χ χ
Эпсилон	Ε ε	Ламбда	Λ λ	Ро	Ρ ρ	Пси	Ψ ψ
Дзета	Ζ ζ	Мю	Μ μ	Сигма	Σ σ	Омега	Ω ω

Приложение 4

Приближенные вычисления

Приближенным числом а называется число, незначительно отличающееся от точного *A* и заменяющее последнее в вычислениях.

При записи приближенного числа все сохраняемые десятичные знаки называются значащими цифрами.

Значащей цифрой приближенного числа называется всякая цифра в его десятичном изображении, отличная от нуля, и нуль, если он содержится между значащими цифрами или является представителем сохраненного десятичного разряда.

Точность приближенного числа зависит не от количества значащих цифр, а от количества верных значащих цифр.

Значащая цифра приближенного числа является *верной*, если абсолютная погрешность этого числа не превышает половины единицы разряда, выражаемого n-й значащей цифрой, считая слева направо.

Правила округления

Чтобы округлить число до n значащих цифр, отбрасывают все цифры его, стоящие справа от n-й значащей цифры, или, если это нужно для сохранения разрядов, заменяют их нулями. При этом:

1) если первая из отброшенных цифр меньше 5, то оставшиеся десятичные знаки сохраняются без изменения;

2) если первая из отброшенных цифр больше 5, то к последней оставшейся цифре прибавляется единица;

3) если первая из отброшенных цифр равна 5 и среди остальных отброшенных цифр имеются ненулевые, то последняя оставшаяся цифра увеличивается на единицу;

4) если же первая из отброшенных цифр равна 5 и все остальные отброшенные цифры являются нулями, то последняя оставшаяся цифра сохраняется неизменной, если она четная, и увеличивается на единицу, если она нечетная (правило четной цифры).

Примеры округления до трех значащих цифр:

$1{,}568913 \approx 1{,}57$
$0{,}0783257 \approx 0{,}0783$
$2{,}42501 \approx 2{,}42$
$865913{,}34 \approx 8{,}66 \cdot 10^5$

Воронцов Борис Сергеевич
Новгородова Татьяна Назаровна
Солодовников Вячеслав Михайлович

ФИЗИКА
Часть 1
(Физические основы механики,
основы молекулярной физики и термодинамики)

Методические указания и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения направлений: 150200, 280000, 140000, 190600, 220300, 200000, 190200, 151000, 190600, 050501, 260600, 080000,190700, 220000;
специальностей: 150202, 280100, 140211, 190601, 190603, 220301, 200503,190201, 190202, 151001, 151002, 190601,260601, 080502, 190702, 220200

Редактор Н.М. Кокина

Подписано к печати Формат 60x84 1/16 Бумага тип. № 1
Печать трафаретная Усл.печ.л. 4,25 Уч.-изд. л. 4,25
Заказ Тираж 500 Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.