

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Комин Андрей Эдуардович

Должность: ректор

Дата подписания: 07.02.2019 03:39:18

Уникальный программный ключ:

f6c6d686f0c899fdf76a1fed6b448452eb8cac6fb1af85472b6d40cdf1bdcc60ae2

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВПО

«Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

Институт землеустройства и агротехнологий

Кафедра физики и
высшей математики

ФИЗИКА

Часть 1

Методические указания для практических занятий по дисциплине (модулю) и самостоятельной работы для обучающихся по направлениям подготовки: 20.03.02 «Природообустройство и водопользование», 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», 35.03.06 «Агроинженерия»

Уссурийск, 2015

Составитель: Ивкина Т. Ю., старший преподаватель кафедры физики и высшей математики.

Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: методические указания для практических занятий по дисциплине (модулю) и самостоятельной работы для обучающихся по направлениям подготовки: 20.03.02 «Природообустройство и водопользование», 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», 35.03.06 «Агроинженерия» [Электронный ресурс]: / Т.Ю. Ивкина; ФГБОУ ВПО ПГСХА. - Электрон. текст. дан. – Уссурийск: ПГСХА, 2015. – 85 с. - Режим доступа: [www. de.primacad.ru](http://www.de.primacad.ru).

Рецензент: к.т.н., доцент кафедры физики и высшей математики Корнилов В.С.

Печатается по решению методического совета ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

Содержание

Введение.....	4
Методические указания к решению задач.....	4
Раздел 1. Механика.....	6
Тема 1. Кинематика поступательного движения материальной точки.....	6
Тема 2. Динамики поступательного движения материальной точки.....	14
Тема 3. Динамика вращательного движения твердого тела.....	25
Тема 4. Импульс. Работа. Энергия. Законы сохранения.....	31
Тема 5. Механические колебания и волны.....	38
Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика.....	49
Тема 1. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов.....	49
Тема 2. Основы термодинамики.....	62
Примерный вариант контрольной работы №1.....	75
Решение типового варианта контрольной работы №1.....	76
Приложения.....	82
Литература.....	84

Введение

При изучении курса физики большое значение имеет практическое применение теоретических знаний, главное из которых – умение решать задачи. Решение физических задач способствует приобщению студентов к самостоятельной творческой работе, учит анализировать изучаемые явления, выделять главные факторы, обуславливающие то или иное явление.

Цель издания – формировать навыки работы над задачами, на примере решения задач показать связь физики с другими отраслями знания и производством.

Данные методические указания предназначены для решения задач по разделам «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика». Все темы построены по одной схеме: вопросы теории; тестовые задания для самоконтроля студентов при подготовке к практическим занятиям; примеры решения задач; задачи для решения в аудитории и домашнее задание.

Значком * обозначены задания повышенной сложности. Задания этого уровня могут быть использованы для работы со студентами, проявляющими повышенный интерес к физике.

Методические указания к решению задач

Решение задачи необходимо начинать с ее анализа.

Практически любая задача по физике содержит описание одного или нескольких процессов (или состояний). Поэтому, прежде всего, следует, как правило, выяснить, что является объектом изучения. Далее необходимо выявить какие тела или системы охватывают исследуемый процесс, какие величины его определяют и т.п. Только после этого можно установить, каким физическим законам подчиняются описываемые явления.

При решении задач следует руководствоваться следующими правилами.

- Внимательно прочитать условие задачи и записать его кратко в принятом стандартном буквенном обозначении. Величины, приведенные в условии задачи, выразить в системе единиц СИ.
- Проведя анализ задачи, выписать формулы и законы, на основании которых следует производить решение задачи.
- Если это необходимо, сделать схематический чертеж (рисунок, график, схему), поясняющий содержание задачи. Например, изобразить тело с приложенными к нему силами.
- Решить задачу в общем (буквенном) виде. В большинстве случаев решение сводится к составлению алгебраических уравнений, отражающих заданный физический процесс. Ответ, полученный в общем виде, позволяет сделать анализ решения при изменении исходных данных.
- Произвести вычисления, подставив в расчетную формулу числовые значения величин, приведенных в условии задачи. При этом необходимо руководствоваться правилами действия с приближенными числами.
- Получив численный ответ, проанализировать результат и оценить его правдоподобность.

Раздел 1. МЕХАНИКА

Тема 1. Кинематика поступательного движения материальной точки

Теоретический минимум

1. Механическое движение. Материальная точка. Система отсчета.
2. Характеристики поступательного движения материальной точки: средняя скорость, вектор средней скорости, мгновенная скорость, вектор мгновенной скорости, ускорение, мгновенное ускорение, тангенциальное и нормальное ускорение.
3. Прямолинейное движение материальной точки. Закон пути, закон скорости для равнопеременного прямолинейного движения.
4. Свободное падение тела. Движение тела, брошенного под углом к горизонту.

Вопросы для самоконтроля

1. Объектом изучения физики является
 - a) движение тел
 - b) материальные тела
 - c) свойства материи
 - d) окружающий человека мир
2. Видами материи являются Указать все правильные ответы.
 - a) время
 - b) поле
 - c) пространство
 - d) вещество
3. Основными свойствами материи являются Указать все правильные ответы.
 - a) существование в пространстве и времени
 - b) способность исчезать и снова возникать
 - c) движение
 - d) превращение из одной формы в другую
4. Механика изучает
 - a) формы материи, их движение и взаимные превращения
 - b) движение и равновесие тел
 - c) свойства материальных тел

d) окружающий человека мир

5. Движение в механике понимается как Указать все правильные ответы.

a) изменение положения тел

b) изменение чего-либо с течением времени

c) превращение одной формы материи в другую

d) изменение положения частей тела относительно друг друга

6. основоположником классической механики считается

a) И. Ньютон

b) Р. Декарт

c) Г. Галилей

d) Демокрит

7. Основная задача механики –

a) изучение причин движения тел

b) определение состояния системы в последовательные моменты времени

c) изучение форм движения материи

d) изучение физических свойств материальных тел

8. Кинематика

a) это раздел физики, посвящённый изучению движения тел в связи с вызывающими его причинами

b) занимается описанием положения механической системы как функции времени

c) занимается изучением движения и условий равновесия тел

d) это раздел физики, посвящённый изучению свойств тел

9. Движение тела на рис. 1 является

a) вращательным

c) поступательным

b) колебательным

d) криволинейным

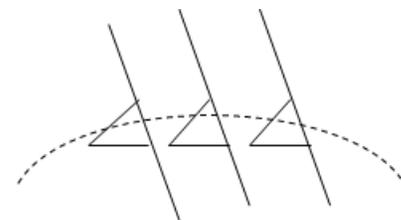


Рис. 1

10. Вращение тела – это такое движение, при котором все его точки движутся

a) по окружностям

b) по окружностям, одинакового радиуса

- c) вокруг одной оси
- d) вокруг оси, необязательно одной для всех точек

11. Непрерывное движение характеризуется

- a) средней скоростью
- b) мгновенной скоростью
- c) средним ускорением
- d) мгновенным ускорением

12. Средняя скорость находится как

- a) отношение пути, пройденного материальной точкой, к промежутку времени
- b) производная от радиус-вектора точки по времени
- c) производная от пути по времени
- d) вектор, равный отношению вектора перемещения к промежутку времени

13. Скорость материальной точки – это

- a) производная от пути по времени
- b) отношение пути, пройденного материальной точкой, к промежутку времени
- c) производная от радиус-вектора точки по времени
- d) вектор, равный отношению вектора перемещения к промежутку времени

14. Ускорение Указать все правильные ответы.

- a) это производная от скорости точки по времени
- b) это вторая производная от пути по времени
- c) в каждой точке траектории имеет такое же направление, как и вектор скорости в той же точке
- d) направлено вдоль траектории движения материальной точки

15. По отношению к траектории движения вектор ускорения раскладывают на ... компоненты. Указать все правильные ответы.

- a) вертикальную
- b) горизонтальную
- c) нормальную
- d) тангенциальную
- e) нормальную

с) линейную

ф) вращательную

16. Соотношения $a_\tau = const$, $a_n = 0$ справедливы для

- а) равномерного движения по окружности
- б) прямолинейного равномерного движения
- с) криволинейного равномерного движения
- д) прямолинейного равнопеременного движения

17. Соотношения $a_\tau = 0$, $a_n \neq 0$ справедливы для

- а) равномерного движения по окружности
- б) прямолинейного равномерного движения
- с) криволинейного равномерного движения
- д) прямолинейного равнопеременного движения

18. В случае прямолинейного равнопеременного движения материальной точки

- а) $S = V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$ б) $V = \frac{S}{t}$ с) $V = V_0 + a \cdot t$ д) все варианты верны

19. Представленные графики зависимостей кинематических величин от времени иллюстрируют

- а) прямолинейное неравномерное движение
- б) прямолинейное равномерное движение
- с) прямолинейное равноускоренное движение
- д) криволинейное равноускоренное движение

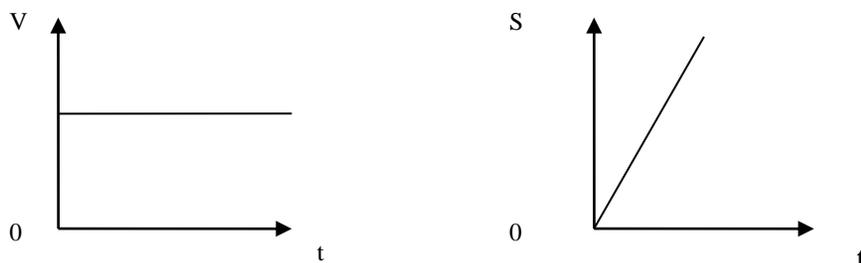


Рис. 2

20. Представленные графики зависимостей кинематических величин от времени иллюстрируют

- a) прямолинейное неравномерное движение
- b) прямолинейное равномерное движение
- c) прямолинейное равноускоренное движение
- d) криволинейное равноускоренное движение

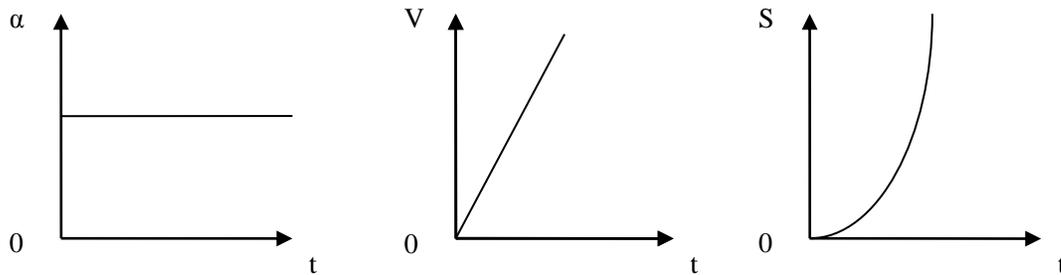


Рис. 3

21. График, изображенный на рис. 4, описывает

- a) равноускоренное движение
- b) равномерное движение
- c) равнозамедленное движение
- d) нет правильного ответа

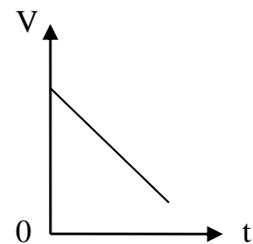


Рис. 4

Примеры решения задач

Пример 1. Зависимость пройденного пути от времени дается уравнением $S = A + B \cdot t + C \cdot t^3$, где $A=2$ м/с, $B=3$ м/с², $C=4$ м/с³. Найти расстояние, скорость и ускорение точки в момент времени $t=2$ с.

Решение. Расстояние найдем, подставив в уравнение движения числовые значения коэффициентов A , B , C и времени t :

$$S = 2 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 2^3 = 40 \text{ м.}$$

Мгновенная скорость есть первая производная пути по времени:

$$v = \frac{dS}{dt} = B + 3Ct^2.$$

В момент времени $t=2$ с:

$$v = 3 + 3 \cdot 4 \cdot 2^2 = 51 \text{ м/с.}$$

Ускорение точки получим как первую производную скорости по времени:

$$a = \frac{dV}{dt} = 6Ct$$

Тогда в момент времени $t=2$ с:

$$a = 6 \cdot 4 \cdot 2 = 48 \text{ м/с}^2.$$

Пример 2. Тело брошено вверх под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 12 м/с. Определить: 1) продолжительность полета; 2) максимальную высоту, на которую поднимется тело; 3) дальность полета. Сопротивление воздуха не учитывать.

Решение.

В обозначенной на рис. 5 системе координат разложим вектор начальной скорости на горизонтальную и вертикальную составляющие:

$$V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha; \quad (1)$$

$$V_{0y} = V_0 \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

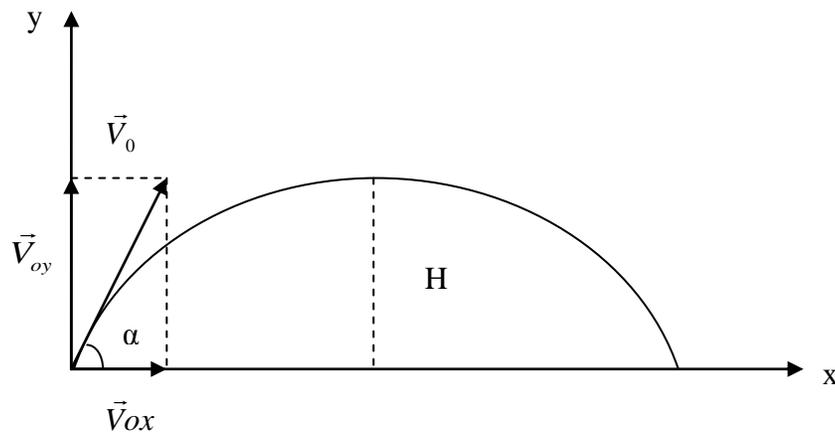


Рис. 5

Продолжительность полета:

$$t = 2 \cdot t_1; \quad (3)$$

где t_1 - время подъема.

Найдем наибольшую высоту, на которую поднимется тело $S_{y \max}$:

$$V_y = V_{0y} - q \cdot t_1 = V_0 \cdot \sin \alpha - q \cdot t_1; \quad (4)$$

$$S_y = V_{0y} \cdot t_1 - \frac{q \cdot t_1^2}{2} = V_0 \cdot t_1 \cdot \sin \alpha - \frac{q \cdot t_1^2}{2} \quad (5)$$

В верхней точке $V_y=0$, и получим:

$$V_0 \cdot \sin \alpha = q \cdot t_1 \quad (6)$$

Откуда

$$t_1 = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{q}; \quad (7)$$

$$S_{y \max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{q} - \frac{q \cdot V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot q^2} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot q} \quad (8)$$

Таким образом, максимальная высота подъема:

$$H_{\max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot q} \quad (9)$$

Движение по горизонтали является равномерным и поэтому:

$$S_{x \max} = V_x \cdot t,$$

$$V_x = V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha,$$

$$S_{x \max} = V_0 \cdot t \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

Пользуясь уравнением (3), (7), (9), (10), вычислим искомые величины:

$$t = \frac{2 \cdot 12 \cdot \sin 30^\circ}{9,8} = 1,22 \text{ с};$$

$$H = \frac{12^2 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 9,8} = 1,84 \text{ м}; \quad S = 12 \cdot 1,22 \cdot 0,867 = 12,7 \text{ м}.$$

Задачи для решения в аудитории

1. Автомобиль движется 10 с со скоростью 2 м/с, 2 с – со скоростью 10 м/с, 5 с – со скоростью 9 м/с. С какой средней скоростью движется автомобиль?
2. Зависимость пройденного пути S от времени дается уравнением $S=A-Bt^2+Ct^3$, где $A=2$ м/с, $B=3$ м/с², $C=4$ м/с³. Найти: 1) зависимость скорости и ускорения от времени; 2) расстояние, пройденное телом, скорость, ускорение тела через 2 с после движения.
3. Автомобиль, имея скорость 70 м/с, стал двигаться равнозамедленно и через 10 с снизил скорость до 52 м/с. С каким ускорением двигался автомобиль на данном участке? Какое он при этом прошел расстояние?
4. Тело падает вертикально с высоты 19,6 м с нулевой начальной скоростью. За какое время тело пройдет: 1) первый 1 м своего пути; 2) последний 1 м своего пути?
5. С башни брошен камень в горизонтальном направлении с начальной скоростью 40 м/с. Какова скорость камня через 3 с после начала движения?
6. Камень брошен горизонтально со скоростью $V_x=15$ м/с. Найти нормальное, тангенциальное ускорения камня через 1 с после начала движения.
7. Тело брошено под углом 45^0 к горизонту. Определить наибольшую высоту подъема и дальность полета, если начальная скорость тела 20 м/с.
8. * Камень, брошенный вертикально вверх, достиг максимальной высоты 3 м. В этот момент был брошен второй камень с той же скоростью. На какой высоте и через какое время (считая от момента бросания второго камня) они встретились?

Ответ: 2,25 м; 0,39 с.

Домашнее задание

1. Три четверти своего пути автомобиль прошел со скоростью 60 км/ч, остальную часть пути - со скоростью 80 км/ч. Какова средняя путевая скорость автомобиля?

2. Движение материальной точки задано уравнением $S=At+Bt^2$, где $A=4$ м/с, $B=-0,05$ м/с². Определить момент времени, в который скорость точки равна нулю. Найти координату и ускорение в этот момент.
3. Тело брошено под углом 30° к горизонту. Найти тангенциальное и нормальное ускорения в начальный момент движения.
4. * Под каким углом к горизонту надо бросить тело, чтобы горизонтальная дальность его полета была наибольшей?

Ответ: 45° .

Тема 2. Динамика поступательного движения материальной точки

Теоретический минимум

1. Первый закон Ньютона. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета.
2. Масса и сила. Второй закон Ньютона.
3. Третий закон Ньютона.
4. Силы в природе.
5. Механическая система. Закон сохранения импульса.
6. механическая энергия. Закон сохранения и превращения механической энергии.

Вопросы для самоконтроля

1. Динамика – это раздел физики, посвящённый изучению
 - a) изменения состояния тел в пространстве и времени
 - b) причин, вызывающих движение тел и обуславливающих их равновесие
 - c) движения тел в связи с вызывающими его причинами
 - d) свойств систем взаимодействующих тел
2. Законы Ньютона
 - a) были выведены из уравнений кинематики

- b) являются доказанными математически теоремами
- c) являются следствием уравнений кинематики и динамики
- d) являются обобщением опытных фактов

3. Первый закон Ньютона можно сформулировать следующим образом

- a) Во всех инерциальных системах отсчёта все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях
- b) Силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению
- c) Скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе
- d) Всякое тело в отсутствии взаимодействия покоится или движется равномерно и прямолинейно

4. Инерциальной называется система отсчёта

- a) в которой выполняется первый закон Ньютона
- b) в которой все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях
- c) в которой выполняется второй закон Ньютона
- d) которая движется равномерно и прямолинейно

5. Масса тела является характеристикой его Указать все правильные ответы.

- a) динамических свойств
- b) кинематических свойств
- c) гравитационного взаимодействия
- d) взаимодействия с другими телами при их столкновениях

6. Масса тела определяется

- a) силой, с которой тело притягивается к Земле
- b) его объёмом и плотностью
- c) его формой и плотностью
- d) его способностью взаимодействовать с другими телами

7. Плотность вещества – это

- a) масса единичного объёма вещества
- b) мера инертности тела
- c) произведение массы тела на его объём
- d) его способность сохранять форму в условиях внешних воздействий

8. Второй закон Ньютона можно сформулировать следующим образом

- a) Скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе
- b) Во всех инерциальных системах отсчёта все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях
- c) Всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока взаимодействие с другими телами не заставит его изменить это состояние
- d) Силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению

9. Из представленных равенств выберите второй закон Ньютона

a) $\vec{a} = K \cdot \frac{\vec{F}}{m}$ b) $\vec{a} = \frac{\sum_i^n \vec{F}_i}{m}$ c) $m \cdot \vec{V} = \vec{p}$ d) $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

10. Третий закон Ньютона можно сформулировать следующим образом

- a) Силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению
- b) Скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе
- c) Во всех инерциальных системах отсчёта все механические явления протекают одинаково при одинаковых начальных условиях
- d) Всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока взаимодействие с другими телами не заставит его изменить это состояние

11. Существуют следующие типы фундаментальных взаимодействий. Указать все правильные ответы.

- a) гравитационное c) магнитное e) квантовое g) слабое
b) электрическое d) электромагнитное f) сильное

12. Основную роль в задачах классической механики играют следующие фундаментальные взаимодействия: Указать все правильные ответы.

- a) электромагнитное c) упругое e) неупругое
b) гравитационное d) сильное f) слабое

13. Силы трения покоя и скольжения обусловлены ... взаимодействием между молекулами

- a) гравитационным b) электромагнитным c) тепловым d) механическим

14. Силы упругости обусловлены ... взаимодействием между молекулами

- a) гравитационным b) электромагнитным c) тепловым d) механическим

15. В механике различают следующие виды сил Указать все правильные ответы

- a) стационарные и нестационарные
b) классические, квантовые и релятивистские
c) векторные и скалярные
d) потенциальные и кинетические
e) центральные и нецентральные
f) консервативные и неконсервативные

16. Гравитационные силы Указать все правильные ответы.

- a) являются центральными
b) являются консервативными
c) могут быть силами притяжения и отталкивания
d) могут быть только силами притяжения

17. Сила тяжести – это сила

- a) гравитационного взаимодействия между телом и Землёй

- b) с которой тело действует на опору или подвес
- c) с которой опора или подвес действует на тело
- d) гравитационного взаимодействия двух тел

18. Вес тела – это сила

- a) с которой тело действует на опору или подвес
- b) гравитационного взаимодействия между телом и Землёй
- c) с которой опора или подвес действует на тело
- d) с которой взаимодействуют два тела

19. Вес покоящегося относительно Земли тела

- a) в два раза больше силы тяжести
- b) равен силе тяжести
- c) в два раза меньше силы тяжести
- d) равен силе тяжести по величине и противоположен по направлению

20. Вес тела, неподвижного относительно Земли, и сила тяжести Указать все правильные ответы.

- a) приложены к одному телу и уравновешивают друг друга
- b) приложены к разным телам
- c) одинаковы по величине и направлению
- d) отличаются направлением

21. По своей природе различают следующие силы сопротивления движению тела в газе и жидкости. Указать все правильные ответы.

- a) вязкое трение
- b) трение скольжения
- c) трение качения
- d) трение покоя
- e) силы сопротивления среды

22. Различают следующие внешние силы трения Указать все правильные ответы.

- a) вязкое трение
- b) силы сопротивления среды
- c) силы трения скольжения
- d) силы трения качения

23. Изобразите все силы, действующие на тело в каждом из случаев

- a) тело движется по горизонтальной поверхности под действием внешней силы
- b) тело соскальзывает с наклонной плоскости
- c) тело подвешено на нити
- d) тело колеблется в вертикальной плоскости

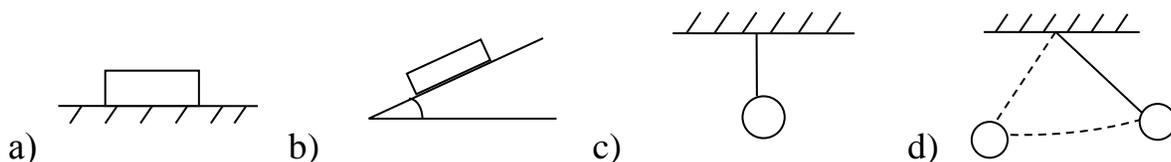


Рис. 6

Примеры решения задач

Алгоритм решения задачи на применение законов динамики

1. Выполнить чертеж к задаче, на котором:
 - a) выбрать систему координат;
 - б) изобразить векторы скоростей и ускорение;
 - в) указать все силы, действующие на каждое тело.
2. Записать второй закон Ньютона в векторной форме для каждого тела

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m \cdot \vec{a}.$$
3. Представить полученные уравнения в виде проекций на координатные оси.
4. Записать недостающие формулы сил природы.
5. Составить систему уравнений и решить её в общем виде, затем подставить числовые значения.

Примечание: если взаимодействуют несколько тел, то уравнение движения составляется для каждого из них в отдельности, причем число независимых уравнений должно быть равно числу неизвестных, тогда задача имеет решение.

Пример. Два груза массами $m_2=3$ кг и $m_3=2$ кг, лежащие на горизонтальном столе, соединены нитью, параллельной плоскости стола. На нити, прикрепленной к грузу m_2 и перекинутой через неподвижный блок, подвешен груз с массой $m_1=2$ кг. Определить: 1) ускорение системы грузов; 2) силы натяжения нити между первым и

вторым, вторым и третьим грузами. Коэффициент трения второго и третьего грузов о стол одинаков и равен 0,2.

Решение. Рассмотрим силы, действующие на каждое тело в отдельности и обозначим их на чертеже.

Запишем второй закон Ньютона для каждого тела в отдельности.

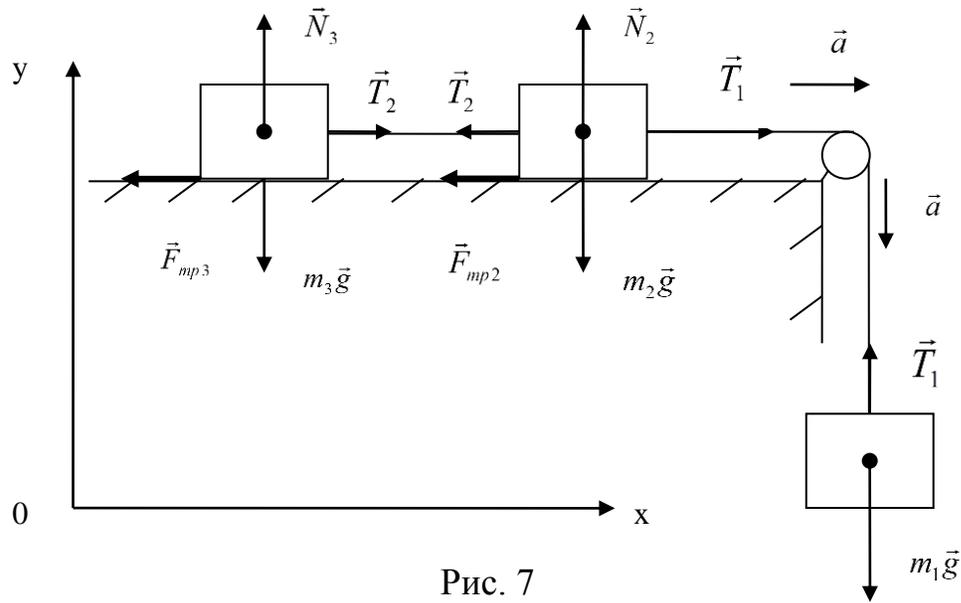


Рис. 7

На первое тело действуют сила тяжести $m_1 \cdot \vec{q}$ и сила натяжения нити \vec{T}_1 .

Равнодействующая этих сил сообщает телу ускорение \vec{a} :

$$m_1 \cdot \vec{q} + \vec{T}_1 = m_1 \cdot \vec{a} \quad (1)$$

На второе тело действуют сила тяжести $m_2 \cdot \vec{q}$, сила реакции стола \vec{N}_2 , сила трения \vec{F}_{mp2} , сила натяжения нити \vec{T}_1 и сила натяжения второй нити \vec{T}_2 .

Равнодействующая этих сил сообщает телу m_2 ускорение \vec{a} :

$$m_2 \cdot \vec{q} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{mp2} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = m_2 \cdot \vec{a} \quad (2)$$

На третье тело действуют также сила тяжести $m_3 \cdot \vec{q}$, сила реакции стола \vec{N}_3 , сила трения \vec{F}_{mp3} и сила натяжения нити \vec{T}_2 . Запишем второй закон Ньютона для тела m_3 :

$$m_3 \cdot \vec{q} + \vec{N}_3 + \vec{F}_{mp3} + \vec{T}_2 = m_3 \cdot \vec{a} \quad (3)$$

Перепишем каждое из полученных уравнений в скалярном виде, проектируя на направление движения:

$$\begin{cases} m_1 \cdot q - T_1 = m_1 \cdot a, (OY) \\ T_1 - T_2 - F_{mp2} = m_2 \cdot a, (OX) \\ T_2 - \vec{F}_{mp3} = m_3 \cdot a, (OX) \end{cases}$$

Решим данную систему уравнений, учитывая, что

$$F_{mp} = K \cdot N$$

По третьему закону Ньютона $\vec{N} = -\vec{P}$, т.е.

$$N = m \cdot q.$$

Следовательно,

$$F_{mp} = K \cdot m \cdot q.$$

Таким образом, имеем систему

$$\begin{cases} m_1 \cdot q - T_1 = m_1 \cdot a, \\ T_1 - T_2 - K \cdot m_2 \cdot q = m_2 \cdot a, \\ T_2 - K \cdot m_3 \cdot q = m_3 \cdot a, \end{cases}$$

решая которую получим:

$$a = \frac{q \cdot (m_1 - K \cdot m_2 - K \cdot m_3)}{m_1 + m_2 + m_3};$$

$$T_1 = m_1 \cdot (q - a);$$

$$T_2 = m_3 \cdot (a + K \cdot q).$$

Вычислим:

$$a = \frac{9,8 \cdot (2 - 0,2 \cdot 3 - 0,2 \cdot 2)}{2 + 3 + 2} = 1,4 \text{ м/с}^2,$$

$$T_1 = 2 \cdot (9,8 - 1,4) = 16,8 \text{ Н}, \quad T_2 = 2 \cdot (1,4 + 0,2 \cdot 9,8) = 6,72 \text{ Н}$$

Задачи для решения в аудитории

1. Тело массой 0,5 кг движется прямолинейно, причем зависимость пройденного пути от времени дается уравнением $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$, где $C = 5 \text{ м/с}^2$, $D = 1 \text{ м/с}^3$. Найти силу, действующую на тело в конце первой секунды движения.
2. Автомобиль весом в 10^4 Н останавливается при торможении за 5 с, пройдя при этом равнозамедленно расстояние 25 м. Найти: 1) начальную скорость автомобиля; 2) силу торможения.
3. К нити подвешен груз весом 9,8 Н. Найти натяжение нити, если нить с грузом: 1) поднимать с ускорением 5 м/с^2 ; 2) опускать с тем же ускорением.
4. К саням массой 350 кг приложена сила 500 Н. Определить коэффициент трения саней о лед, если сани движутся с ускорением $0,8 \text{ м/с}^2$.
5. Два груза ($m_1 = 500 \text{ г}$, $m_2 = 700 \text{ г}$) связаны невесомой нитью и лежат на гладкой горизонтальной поверхности. К грузу m_1 приложена горизонтально направленная сила 6 Н. Пренебрегая трением, определите: 1) ускорение грузов; 2) силу натяжения нити.

6.

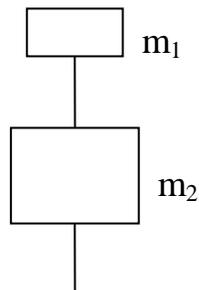


Рис. 8

Два груза, связанные нитью, движутся вниз с ускорением $2g$ (рис. 8). Во сколько раз сила натяжения нити, за которую тянут оба груза, больше силы натяжения нити, связывающей грузы. Масса нижнего груза в три раза больше массы верхнего.

7. К концам нити, перекинутой через блок, подвешены два тела массой 200 г и 150 г (рис. 9). Определить, за какое время тела пройдут расстояние 1 м.

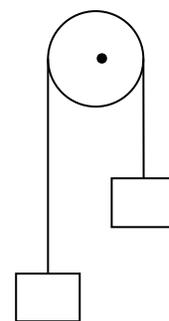


Рис. 9

8. Грузы одинаковой массы 0,5 кг соединены нитью и перекинуты через невесомый блок, укрепленный на конце стола (рис. 10). Коэффициент трения груза о стол 0,15. Определить ускорение грузов, силу натяжения нити.

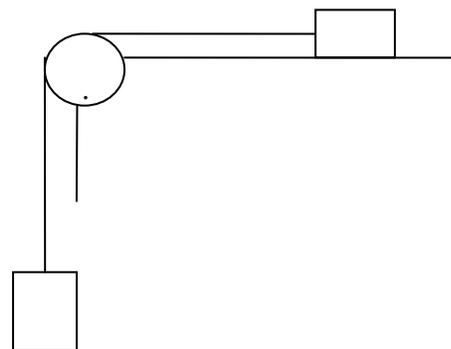


Рис. 10

9. Два груза массами 2 кг и 3 кг, лежащие на горизонтальном столе, соединены нитью, параллельной плоскости стола (рис. 11). На нити, прикрепленной ко второму грузу и перекинутой через неподвижный блок, подвешен груз массой 2 кг.

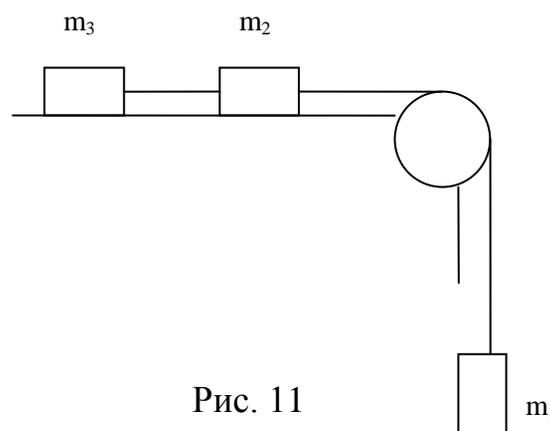


Рис. 11

Определить: 1) ускорение системы грузов; 2) силы натяжения нити между первым и вторым, вторым и третьим грузами. Коэффициент трения грузов о стол 0,2.

10. В установке (рис. 12) угол $\alpha=20^\circ$, массы тел $m_1=200$ г и $m_2=150$ г. Определить ускорение, с которым будут двигаться тела, если m_2 опускается. Трением пренебречь.

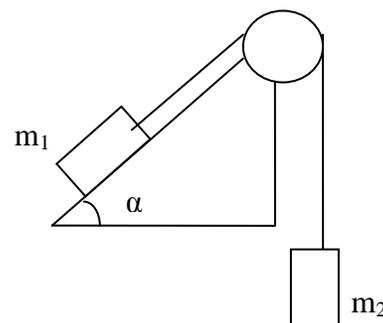


Рис. 12

11. В установке (рис. 13) углы α и β наклонных плоскостей с горизонтом соответственно равны 30° и 15° , массы тел $m_1=0,45$ кг и $m_2=0,5$ кг. Пренебрегая силами трения, определите: 1) ускорение, с которым движутся тела; 2) силу натяжения нити.

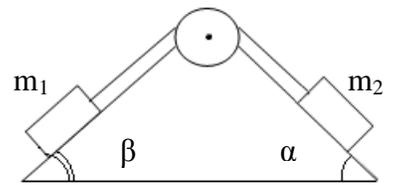


Рис. 13

Домашнее задание

1. Вес лифта с пассажирами равен 7,84 кН. Найти, с каким ускорением и в каком направлении движется лифт, если известно, что натяжение троса, поддерживающего лифт, равно: 1) 11,76 кН; 2) 5,88 кН.
2. Автомобиль массой 1800 кг, двигаясь из состояния покоя по горизонтальному пути, через 10 с от начала движения достигает скорости 30 м/с. Определить силу тяги двигателя. Сопротивлением движению пренебречь.

3.

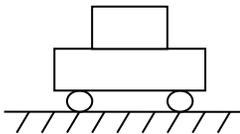


Рис. 14

По горизонтальной поверхности движется тележка с грузом (рис. 14). Масса груза 4 кг, масса тележки 2 кг. К тележке приложили силу тяги 50 Н. Сила трения тележки равна нулю, коэффициент трения скольжения груза по поверхности тележки 0,3. Определить ускорение тележки и груза.

4. Две гири с массами 2 кг и 1 кг соединены нитью и перекинуты через блок. Найти: 1) ускорение, с которым движутся гири; 2) натяжение нити. Трением пренебречь.

5.

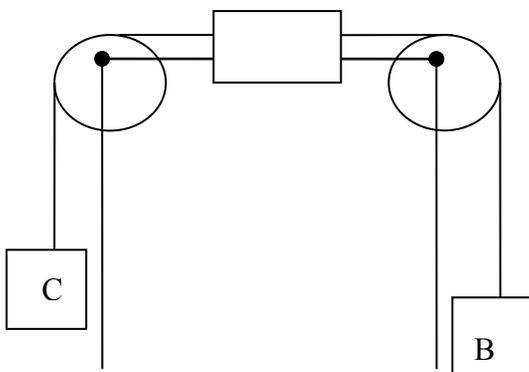


Рис. 15

Тело массой 2 кг находится на горизонтальном столе и соединено нитями посредством блоков 0,5 кг и 0,3 кг соответственно (рис 15). Пренебрегая трением, определить: 1) ускорение, с которым будут двигаться тела; 2) разность сил натяжения нитей.

6.

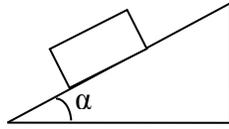


Рис. 16

На наклонную плоскость поместили кубик (рис 16). Коэффициент трения кубика о плоскость 0,5. Угол наклона плоскости 30° . Определить ускорение кубика.

Тема 3. Динамика вращательного движения твердого тела

Теоретический минимум

1. Кинематика вращательного движения. Связь между линейными и угловыми величинами.
2. Момент силы. Момент инерции. Момент импульса. Основной закон динамики вращательного движения.
3. Закон сохранения момента импульса.
4. Кинетическая энергия вращающегося тела. Кинетическая энергия вращающегося и движущегося поступательного тела.

Вопросы для самоконтроля

1. Материальная точка вращается вокруг вертикальной оси против часовой стрелки. Какое из указанных направлений определяет направление вектора угловой скорости?

- | | |
|------|------|
| a) 1 | b) 3 |
| c) 2 | d) 4 |

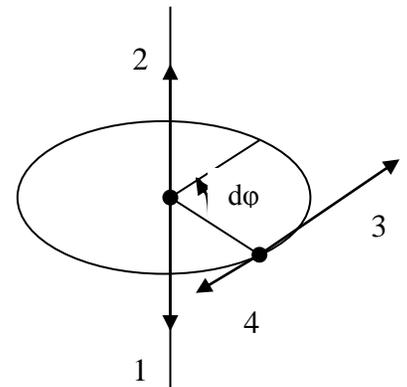


Рис. 17

2. Какое из представленных равенств определяет угловое ускорение

- | | | | |
|--|---|--|-----------------------------|
| a) $\vec{\beta} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$ | b) $\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$ | c) $\vec{\beta} = \frac{d\vec{\varphi}}{d\varphi}$ | d) $a_\tau = \beta \cdot R$ |
|--|---|--|-----------------------------|

3. Величинами, характеризующими динамику вращательного движения являются

- a) масса и сила
- b) момент вращающей силы
- c) момент инерции
- d) момент импульса

4. Уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси описывается следующей формулой

a) $M = F \cdot R$ b) $M = I \cdot \beta$ c) $L = I \cdot \omega$ d) $M = \frac{dL}{dt}$

5. Момент силы относительно оси вращения – это

- a) векторное произведение силы на радиус-вектор точки её приложения
- b) скалярная величина, аналог силы в уравнении динамики вращательного движения
- c) производная от силы по времени
- d) сила, делённая на радиус вращения

6. Момент силы относительно точки определяется выражением

a) $M = [R; F]$ b) $M = J \cdot \beta$ c) $M = \frac{v^2}{R}$ d) $M = \beta \cdot R$

7. Аналогом массы в уравнении динамики вращательного движения является

- a) момент инерции
- b) момент вращения
- c) угловой момент
- d) момент движения

8. Момент инерции материальной точки относительно фиксированной оси вращения определяется следующим выражением

a) $J = \int R^2 dm$ b) $J = \int mR^2 dR$ c) $\frac{R}{m}$ d) $J = R^2 \cdot m$

9. Момент инерции абсолютно твёрдого тела относительно неподвижной оси вращения зависит от ... Указать все правильные ответы

- a) положения оси вращения
- b) углового ускорения
- c) распределения масс по объёму тела
- d) момента приложенной силы

10. Момент инерции твёрдого тела относительно фиксированной оси вращения равен

a) $J = \int R^2 dm$ b) $J = \int mR^2 dR$ c) $\frac{R}{m}$ d) $J = R^2 \cdot m$

11. Теорему Штейнера можно сформулировать следующим образом

- a) Момент силы, приложенной к телу, равен производной по времени из произведения момента инерции на угловое ускорение
- b) Момент инерции относительно произвольной оси равен сумме момента инерции относительно оси параллельной данной и проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями
- c) Момент силы равен произведению силы на плечо силы
- d) Путём преобразования системы координат можно получить тензор момента инерции диагонального вида

12. Если тело участвует одновременно в поступательном и вращательном движении, то его кинетическая энергия равна

a) $E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}$ b) $E_k = \frac{I \cdot W^2}{2}$ c) $E_k = \frac{m \cdot V^2}{2} - \frac{I \cdot W^2}{2}$ d) $E_k = \frac{m \cdot V^2}{2} + \frac{I \cdot W^2}{2}$

13. Какое из представленных равенств определяет момент импульса материальной точки?

a) $\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]$ b) $\vec{L} = m[\vec{r}, \vec{V}]$ c) $L = \sum_{i=1}^n m_i \cdot V_i \cdot R_i$ d) $L = I \cdot \omega$

14. Какое из представленных равенств определяет момент импульса твёрдого тела?

a) $\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]$ b) $\vec{L} = m[\vec{r}, \vec{V}]$ c) $L = \sum_{i=1}^n m_i \cdot V_i \cdot R_i$ d) $L = I \cdot \omega$

15. Гироскоп – это

- a) прибор для определения скорости движущегося объекта
- b) массивное тело, движущееся с большой скоростью вокруг оси, относительно которой оно обладает максимальным моментом инерции

- с) прибор для определения ориентации движущегося объекта
- д) массивное тело, вращающееся с большой скоростью вокруг своей оси симметрии

16. Гироскопы используют для

- а) создания гирокомпасов
- б) измерения ускорений
- с) измерения скоростей
- д) измерения сил

Примеры решения задач

Пример 1. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10$ рад, $B = 20$ рад/с, $C = -2$ рад/с². Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии 0,1 м от оси вращения, для момента времени $t = 4$ с.

Решение. Полное ускорение можно найти, зная его составляющие – тангенциальное и нормальное ускорение:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2};$$

$$a_t = \beta \cdot R, \quad a_n = \omega^2 \cdot R.$$

Таким образом,

$$a = \sqrt{\beta^2 \cdot R^2 + \omega^4 \cdot R^2} = R \cdot \sqrt{\beta^2 + \omega^4}.$$

Угловую скорость найдем как производную угла поворота по времени, а угловое ускорение – как производную угловой скорости по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2 \cdot C \cdot t; \quad \beta = \frac{d\omega}{dt} = 2 \cdot C.$$

В момент времени $t = 4$ с получим:

$$\omega = 20 + 2 \cdot (-2) \cdot 4 = 4 \text{ рад/с};$$

$$\beta = 2 \cdot (-2) = -4 \text{ рад/с}^2.$$

Тогда

$$a = 0,1 \cdot \sqrt{(-4)^2 + 4^4} = 1,65 \text{ м/с}^2.$$

Пример 2. Тонкий стержень массой 300 кг и длиной 50 см вращается с угловой скоростью 10 с^{-1} в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину стержня. Продолжая вращаться в той же плоскости, стержень перемещается так, что ось вращения теперь проходит через конец стержня. Найти угловую скорость во втором случае.

Решение. Согласно закону сохранения момента импульса:

$$L = \text{const}; \quad (1)$$

$$L = I \cdot \omega, \quad I \cdot \omega = \text{const}, \quad (2)$$

то есть

$$I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2. \quad (3)$$

Момент инерции стержня относительно оси, проходящей через центр масс и перпендикулярной стержню (первый случай), равен

$$I_1 = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2. \quad (4)$$

По теореме Штейнера

$$I_2 = I_1 + m \cdot a^2, \quad (5)$$

где a - расстояние от центра масс до выраженной оси вращения.

Тогда

$$I_2 = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 + m \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot l\right)^2 = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2 \quad (6)$$

Пользуясь формулой (3), получим

$$\frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 \cdot \omega_1 = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2 \cdot \omega_2,$$

откуда

$$\omega_2 = \frac{1}{4} \cdot \omega_1.$$

Вычислим

$$\omega_2 = \frac{1}{4} \cdot 10 = 2,5 \text{ с}^{-1}.$$

Задачи для решения в аудитории

1. Уравнение вращения твердого тела $\varphi = 3t^2 + t$. Определить угловую скорость и угловое ускорение через 10 с после начала движения.
2. Диск радиусом 10 см, находящийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением, равным 0,5 рад/с. Найти тангенциальное, нормальное и полное ускорение точек на окружности диска в конце второй секунды после начала движения.
3. Однородный стержень длиной 1 м и весом 4,9 Н вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину стержня. С каким угловым ускорением вращается стержень, если вращающий момент равен $9,8 \cdot 10^{-2}$ Н·м?
4. Однородный диск радиусом 0,2 м и весом 49 Н вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Зависимость угловой скорости вращения диска от времени дается уравнением $\omega = A + Bt$, где $A = 4$ рад/с, $B = 8$ рад/с². Найти величину касательной силы, приложенной к ободу диска.
5. К ободу однородного диска радиусом 0,2 м приложена постоянная касательная сила 98 Н. При вращении на диск действует момент сил трения 4,9 Н·м. Найти массу диска, если известно, что диск вращается с постоянным угловым ускорением 100 рад/с².
6. Диск массой 2 кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости со скоростью 4 м/с. Найти кинетическую энергию диска.
7. * На сплошной цилиндрический вал радиусом 0,5 м намотан трос, к концу которого прикреплен груз массой 10 кг. Найти момент инерции вала и его массу, если известно, что груз опускается с ускорением 2,04 м/с².

Ответ: 76 кг.

Домашнее задание

1. Точка движется по окружности радиусом 2 см. Зависимость пути от времени дается уравнением $S=C \cdot t^3$, где $C=0,1 \text{ см/с}^3$. Найти нормальное и тангенциальное ускорение точки в момент, когда линейная скорость точки равна 0,3 м/с.
2. Маховик, момент инерции которого $63,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, вращается с постоянной угловой скоростью 31,4 рад/с. Найти тормозящий момент, под действием которого маховик останавливается через 20 с.
3. Снаряд массой 20 кг имеет вид цилиндра радиусом 5 см. Снаряд летит со скоростью 300 м/с и вращается вокруг оси с частотой 200 с^{-1} . Вычислить кинетическую энергию снаряда.
4. Шар и полый цилиндр одинаковой массы катятся равномерно без скольжения по горизонтальной поверхности и обладают одинаковой кинетической энергией. Во сколько раз отличаются их линейные скорости?
5. * Барабан молотилки, вращаясь, совершает 1200 об/мин. При торможении он останавливается, сделав при этом 60 полных оборотов. Определить тормозящий момент, если момент инерции барабана $5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Ответ: 1045 Н·м.

Тема 4. Импульс. Работа. Энергия. Законы сохранения

Теоретический минимум

1. Импульс тела. Закон сохранения импульса.
2. Закон сохранения момента импульса.
3. Энергия. Работа постоянной и переменной силы.
4. Механическая энергия.
5. Закон сохранения и превращения механической энергии.

Вопросы для самоконтроля

1. Импульс тела – это
 - a) произведение массы тела на его скорость
 - b) произведение массы тела на квадрат его скорости, делённый на два
 - c) отношение силы, действующей на тело к его массе
 - d) кинетическая энергия движения тела
2. Механическая система называется замкнутой если
 - a) в ней действуют только внутренние силы
 - b) на её элементы не действуют никакие силы
 - c) на неё действуют только внешние силы
 - d) в ней действуют только внутренние консервативные силы
3. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса выполняются
 - a) независимо от скоростей движения и инерциальности системы отсчёта
 - b) только при нерелятивистских скоростях движения
 - c) только при нерелятивистских скоростях движения в инерциальных системах отсчёта
 - d) только в инерциальных системах отсчёта
4. Значение законов сохранения состоит в том, что Указать все правильные ответы.
 - a) они задают уравнения, решая которые можно описать движение тела
 - b) они ограничивают область допустимых значений динамических переменных
 - c) их использование позволяет облегчить решение некоторых задач
 - d) они позволяют найти, как изменяются координаты и скорости тел, не решая уравнений движения
5. Относительно консервативных сил можно утверждать, что Указать все правильные ответы.
 - a) они не зависят от координат тел, на которые действуют

- b) законы сохранения энергии, импульса и момента импульса выполняются только в случае действия в замкнутой системе консервативных сил
- c) они создают поле, каждой точке которого можно сопоставить потенциальную энергию тела
- d) они не зависят от скоростей движения тел, на которые они действуют

6. Кинетическая энергия частицы, представляемой материальной точкой, Указать все правильные ответы.

- a) равна произведению её массы на скорость
- b) сохраняет свою величину при столкновениях с другими частицами
- c) равна квадрату её импульса, делённому на удвоенную массу
- d) сохраняет своё значение при движении в поле консервативных сил

7. Относительно потенциальной энергии тела можно утверждать что Указать все правильные ответы.

- a) она равна силе, действующая на тело в данной точке пространства
- b) она не зависит от его координат
- c) её изменение, при перемещении из одной точки пространства в другую, равно работе консервативных сил, совершаемой над телом
- d) она не зависит от скорости его движения

8. Механическая энергия включает в себя Указать все правильные ответы.

- a) кинетическую энергию
- b) потенциальную энергию взаимодействия тел
- c) энергию упругой деформации
- d) энергию пластической деформации

9. Энергия деформации сжатой пружины определяется формулой

a) $E = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2}$ b) $E = k \cdot \Delta x^2$ c) $E = mgh$ d) $E = \frac{m \cdot v^2}{2}$

10. Механическая работа, совершаемая при перемещении тела, в общем случае определяется как

- a) интеграл вдоль пути движения от скалярного произведения силы на элементарное перемещение тела
- b) произведение силы на величину пути, пройденного телом
- c) разность потенциальных энергий тела в начальной и конечной точках движения
- d) разность механических энергий тела в начальной и конечной точках движения

11. Относительно сохранения механической энергии справедливо следующее утверждение. Указать все правильные ответы.

- a) Механическая энергия замкнутой системы остаётся постоянной.
- b) Механическая энергия замкнутой консервативной системы остаётся постоянной.
- c) Механическая энергия тела остаётся постоянной при взаимодействиях.
- d) Механическая энергия тела не изменяется под действием консервативных сил.

12. Закон сохранения импульса можно сформулировать следующим образом

- a) Импульс замкнутой системы материальных тел остаётся постоянным
- b) Импульс замкнутой консервативной системы материальных тел остаётся постоянным
- c) Импульс консервативной системы материальных тел остаётся постоянным
- d) Импульс тела не изменяется при взаимодействии

13. В случае абсолютно упругого соударения двух тел Указать все правильные ответы.

- a) Сохраняются кинетическая и потенциальная энергии каждого тела
- b) Их механическая энергия может переходить в другие виды энергии
- c) Их механическая энергия не переходит в другие виды энергии
- d) Сохраняется кинетическая энергия каждого из взаимодействующих тел

14. В случае неупругого соударения двух тел Указать все правильные ответы.
- a) Сохраняется механическая энергия, и не сохраняется кинетическая энергия каждого тела
 - b) Сохраняется импульс каждого тела
 - c) Не сохраняется общий импульс взаимодействующих тел
 - d) Их механическая энергия тел частично переходит в другие виды энергии
 - e) Механическая энергия взаимодействующих тел полностью переходит в другие виды энергии
15. В общем случае при абсолютно неупругом соударении двух тел
- a) сохраняется механическая энергия, и не сохраняется кинетическая энергия каждого тела
 - b) их механическая энергия полностью переходит в другие виды энергии
 - c) не сохраняется их общий импульс
 - d) после взаимодействия они движутся как единое целое
16. Из представленных утверждений выберите закон сохранения импульса
- a) Момент импульса замкнутой консервативной системы остаётся постоянным
 - b) Момент импульса замкнутой системы остаётся постоянным
 - c) Момент импульса консервативной механической системы остаётся постоянным
 - d) Момент импульса инерциальной системы остаётся постоянным

Задачи для решения в аудитории

1. На рельсах стоит платформа весом $P_1=9800$ Н. На платформе закреплено орудие весом $P_2=4900$ Н, из которого производится выстрел вдоль рельсов. Вес снаряда $P_3=980$ Н, его начальная скорость относительно орудия $V_0=500$ м/с. Определить скорость платформы в первый момент после выстрела, если: 1) платформа двигалась со скоростью 18 км/ч, и выстрел был произведен в направлении и ее

движения; 2) платформа двигалась со скоростью 18 км/ч, и выстрел был произведен в направлении, противоположном направлению ее движения.

2. Три лодки массы M движутся друг за другом с одинаковыми скоростями V . Из средней лодки в крайние одновременно перебрасываются грузы массы m каждый со скоростью U относительно лодок. Какие скорости U_1, U_2, U_3 будут иметь лодки после перебрасывания грузов?
3. Человек, масса которого 70 кг, прыгает с неподвижной тележки со скоростью 7 м/с. Определить силу трения тележки о землю, если тележка после толчка остановилась после 5 с. Перед прыжком тележка была неподвижна.
4. Какую работу надо совершить, чтобы заставить движущееся тело массой 2 кг увеличить свою скорость от 2 м/с до 5 м/с?
5. Тело массой 5 кг падает с высоты 20 м. Определить сумму потенциальной и кинетической энергии тела в точке, находящейся на высоте 5 м от поверхности Земли. Сравните эту энергию с первоначальной энергией тела.
6. Камень брошен под углом 60° к горизонту со скоростью $V_0=15$ м/с. Вычислить кинетическую, потенциальную и полную энергию камня: 1) спустя 1 с после начала движения; 2) в высшей точке траектории. Масса камня 0,2 кг. Сопротивлением воздуха пренебречь.
7. К сжатой пружине длиной 5 м приставлены два шара массой 1 кг каждый. Пружина, распрямляясь, отбрасывает шары. С какой скоростью движутся шары, если в момент отделения их от пружины ее длина была 11 см, а коэффициент упругости пружины 800 Н/м?
8. Автомобиль на горизонтальном участке дороги развивает скорость 108 км/ч, мощность мотора 70 л. с. Определить тяговое усилие, считая его постоянным.
9. Диск массой 1 кг и диаметром 60 см вращается вокруг оси, проходящей через центр перпендикулярно его плоскости, делая 20 об/с. Какую работу надо совершить, чтобы остановить диск?

10. Горизонтальная платформа массой 25 кг и радиусом 0,8 м вращается с частотой 18 мин^{-1} . В центре стоит человек и держит в расставленных руках гири. Считая платформу диском, определите частоту вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от $3,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ до $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Домашнее задание

1. Конькобежец, стоящий на льду, бросает в горизонтальном направлении камень 1 кг. Через 4 с камень падает, пролетев 20 м. С какой скоростью скользит при этом конькобежец, если его масса 75 кг? Трением пренебречь.
2. Два неупругих шара с массами 6 кг и 4 кг движутся со скоростями 8 м/с и 3 м/с соответственно вдоль одной прямой. С какой скоростью они будут двигаться после абсолютно неупругого удара, если: 1) первый шар догоняет второй; 2) шары движутся навстречу друг другу?
3. Тело массой 5 кг поднимают с ускорением 2 м/с^2 . Определите работу силы в течение первых пяти секунд.
4. Определить потенциальную энергию растянутой на 10 см пружины, если известно, что под действием силы 30 Н пружина растягивается на 1 см.
5. Тело массой 5 кг ударяется о неподвижное тело массой 2,5 кг. Кинетическая энергия системы этих двух тел непосредственно после удара стала равна 5 Дж. Считая удар центральным и неупругим, найти кинетическую энергию первого тела до удара.
6. Горизонтальная платформа массой 100 кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, делая 10 об/мин. Человек массой 60 кг стоит при этом на краю платформы. С какой частотой начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу круглым однородным диском, а человека – точечной массой.

Тема 5. Механические колебания. Волновой процесс

Теоретический минимум

1. Колебательный процесс. Гармонические колебания. Уравнение гармонических колебаний.
2. Скорость и ускорение гармонически колеблющейся точки. Энергия гармонических колебаний.
3. Свободные, затухающие и вынужденные колебания. Явление резонанса.
4. Сложение гармонических колебаний.
5. Волны. Продольные и поперечные волны. Уравнение волны.
6. Интерференция волн. Условия минимума и максимума интерференции.

Вопросы для самоконтроля

1. Процесс, при котором система, многократно отклоняясь от своего состояния равновесия, каждый раз вновь возвращается к нему, называется
 - a) гармоническим
 - b) волновым
 - c) колебательным
 - d) вынужденным
2. Промежуток времени, через который повторяются значения колеблющихся величины, называется
 - a) периодом
 - b) амплитудой
 - c) частотой
 - d) фазой
3. Колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса (косинуса), называется
 - a) механическим
 - b) электромагнитным
 - c) гармоническим
 - d) затухающим
4. Гармоническим колебаниям уделяют особое внимание потому, что Указать все правильные ответы.
 - a) процессы в природе часто близки к гармоническим
 - b) сумма и разность гармонических колебаний так же являются гармоническими колебаниями
 - c) любое незатухающее колебание является гармоническим
 - d) любые колебания можно рассматривать как суперпозицию гармонических

5. Фаза колебаний – это

- a) аргумент периодической функции, описывающей колебания
- b) текущий момент времени
- c) параметр колебательной системы
- d) определённый повторяющийся момент колебаний

6. Фаза колебания

- a) имеет размерность времени
- b) имеет размерность угла
- c) не имеет размерности
- d) имеет размерность длины

7. Математический маятник – это

- a) физическое тело, совершающее колебания под действием силы тяжести
- b) материальное тело, подвешенное на невесомой упругой нити
- c) груз, закреплённый на пружине
- d) материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити

8. Физический маятник – это

- a) материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити
- b) материальное тело, подвешенное на невесомой упругой нити
- c) груз, закреплённый на пружине
- d) физическое тело, совершающее колебания под действием силы тяжести

9. Колебания, совершающиеся за счет первоначальной сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему, называются

- a) свободными
- b) вынужденными
- c) гармоническими
- d) затухающими

10. Колебания с уменьшающейся амплитудой называется

- a) свободными
- b) вынужденными
- c) гармоническими
- d) затухающими

11. Колебания, происходящие под действием внешних сил, называют

- a) свободными
- b) вынужденными
- c) гармоническими
- d) затухающими

12. Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, когда частота вынужденных колебаний близка к частоте собственных колебаний системы, называется

- a) интерференцией b) сложением c) резонансом d) когерентностью

13. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой 4 см и периодом 2 с. Если смещение точки в момент времени, принятый за начальный, равно нулю, то точка колеблется в соответствии с уравнением

- a) $x = 0,04 \sin \pi t$ b) $x = 0,04 \cos \pi t$ c) $x = 0,04 \sin \pi 2t$ d) $x = 0,04 \cos \pi 2t$

14. На рис. 18 изображены зависимости от времени координаты и ускорения материальной точки, колеблющейся по гармоническому закону.

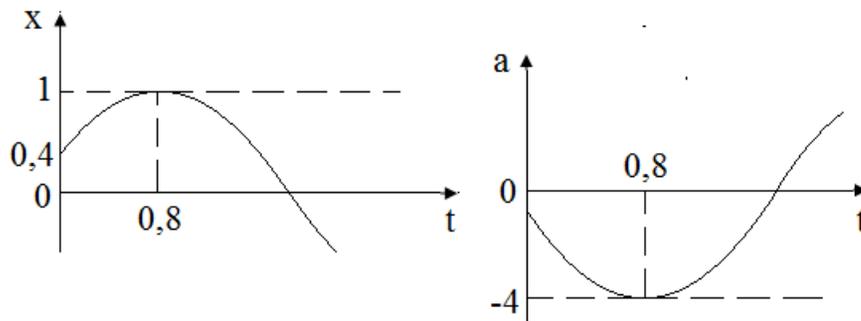


Рис. 18

Циклическая частота колебаний точки равна

- a) 2 с^{-1} b) 4 с^{-1} c) 1 с^{-1} d) 3 с^{-1}

15. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами и равными амплитудами A_0 . При разности фаз $\Delta\varphi = \frac{3 \cdot \pi}{2}$ амплитуда результирующего колебания равна

- a) 0 b) $2A_0$ c) $\frac{5}{2}A_0$ d) $A_0\sqrt{2}$

16. В случае волнового процесса

- a) происходит распространение колебаний в сплошной среде
b) частицы среды движутся вместе с волной

- c) частицы среды колеблются около своих положений равновесия
 d) происходит перенос энергии без переноса вещества
17. Переменными функции, описывающей распространение волны, являются
 Указать все правильные ответы.
- a) время c) частота e) длина волны
 b) амплитуда d) координата f) период
18. Уравнение плоской волны имеет вид $x = 0,01\sin(10^3t - 2y)$. Тогда скорость распространения волны (в м/с) равна
- a) 2 b) 500 c) 1000 d) 1500
19. По направлению колебаний различают следующие типы волн. Указать все правильные ответы.
- a) бегущие c) плоские e) поперечные
 b) стоячие d) сферические f) продольные
20. Продольные колебания происходят
- a) параллельно направлению распространения волны
 b) перпендикулярно направлению распространения волны
 c) в произвольном направлении по отношению к направлению распространения волны
 d) по поверхности постоянной фазы
21. Поперечные колебания происходят в направлении
- a) параллельном направлению распространения волны
 b) перпендикулярном волновой поверхности
 c) перпендикулярном поверхности постоянной фазы
 d) перпендикулярном направлению распространения волны
22. Звуковая волна – это
- a) направленное движение частиц среды
 b) процесс, происходящий с некоторой долей повторяемости

- с) повторяющееся согласованное движение частиц среды
- д) колебания частиц среды

23. Волновая поверхность – это

- а) передняя граница волны
- б) график волновой функции
- с) геометрическое место точек волны, имеющих одинаковую фазу
- д) плоскость, в которой происходят колебания частиц среды

24. Фронт волны – это

- а) геометрическое место точек волны, имеющих одинаковую фазу
- б) передняя волновая поверхность, наиболее удалённая от источника волны
- с) график волновой функции
- д) плоскость, в которой происходят колебания частиц среды

25. По характеру движения волновой поверхности различают следующие типы волн.

Указать все правильные ответы

- а) бегущие
- б) плоские
- с) сферические
- д) стоячие
- е) звуковые
- ф) поперечные
- г) продольные

26. Следующие типы волн могут распространяться только в материальной среде.

Указать все правильные ответы

- а) электромагнитные
- б) звуковые
- с) поперечные
- д) волны температуры

27. Для точки А оптическая разность хода лучей от двух когерентных источников

S_1 и S_2 равна 1,2 мкм. Если длина волны 600 нм, то в точке А будет наблюдаться

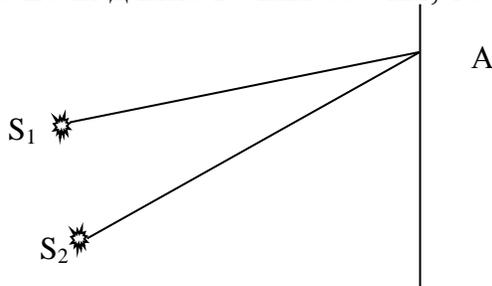


Рис. 19

- a) максимум интерференции, т.к. разность хода равна четному числу полуволен
- b) максимум интерференции, т.к. разность хода равна нечетному числу полуволен
- c) минимум интерференции, т.к. разность хода равна четному числу полуволен
- d) минимум интерференции, т.к. разность хода равна нечетному числу полуволен

28. При распространении волн наблюдаются следующие эффекты не характерные для потока классических материальных частиц Указать все правильные ответы

- a) отражение
- b) рассеяние
- c) преломление
- d) дифракция
- e) интерференция

Примеры решения задач

Пример 1. Складываются два колебания одинакового направления, выраженные уравнениями $x_1 = A_1 \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot (t + \tau_1)$, $x_2 = A_2 \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot (t + \tau_2)$, где $A_1=3$ см, $A_2=2$ см, $\tau_1 = \frac{1}{6}c$, $\tau_2 = \frac{1}{3}c$, $T=2$ с.

Построить векторную диаграмму сложения этих колебаний и составить уравнение результирующего колебания.

Решение: Построим векторную диаграмму для момента времени $t=0$.

Перепишем уравнения колебаний в виде $x_1 = A_1 \cdot \cos \left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \tau_1 \right)$,
 $x_2 = A_2 \cdot \cos \left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \tau_2 \right)$.

Отсюда видно, что складываемые колебания имеют одинаковую циклическую частоту:

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

Начальные фазы колебаний соответственно равны

$$\varphi_1 = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \tau_1; \varphi_2 = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \tau_2.$$

Вычислим:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{2} = 3,14c^{-1},$$

$$\varphi_1 = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \frac{1}{6} = 30^\circ; \varphi_2 = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \frac{1}{3} = 60^\circ.$$

Изобразим векторы A_1 и A_2 . Для этого отложим отрезки длиной $A_1=3$ см, $A_2=2$ см под углами $\varphi_1=30^\circ$ и $\varphi_2=60^\circ$ к оси ox . Результирующее колебание будет происходить с той же частотой и амплитудой, определяемой соотношениями:

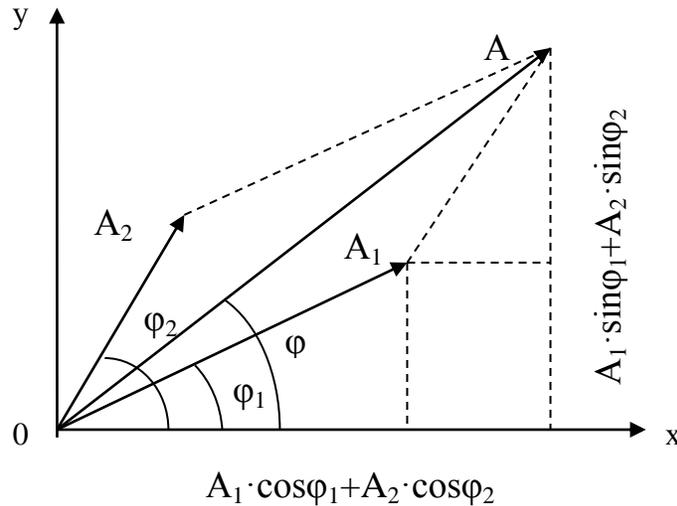


Рис. 20

$$\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2,$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

Из рисунка видно, что фаза результирующего колебания равна:

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 \cdot \sin \varphi_1 + A_2 \cdot \sin \varphi_2}{A_1 \cdot \cos \varphi_1 + A_2 \cdot \cos \varphi_2}.$$

Вычислим:

$$A = \sqrt{0,03^2 + 0,02^2 + 2 \cdot 0,02 \cdot 0,03 \cdot \cos(60^\circ - 30^\circ)} = 0,05 \text{ м},$$

$$\varphi = \arctg \frac{0,03 \cdot \sin 30^\circ + 0,02 \cdot \sin 60^\circ}{0,03 \cdot \cos 30^\circ + 0,02 \cdot \cos 60^\circ} = \arctg 0,988 = 0,735 \text{ рад}.$$

Так как результирующее колебание является гармоническим и имеет ту же частоту, что и слагаемые колебания, то его уравнение:

$$x = 0,05 \cdot \cos(3,14 \cdot t + 0,735).$$

Пример 2. Колеблющиеся точки, находящиеся на одном луче, удалены от источника колебания на 6 и 8,7 м и колеблются с разностью фаз $\frac{3}{4} \cdot \pi$. Период колебаний источника 10^{-2} с. Чему равна длина и скорость распространения волны в данной среде? Составить уравнение волны.

Решение: Уравнение волны записывается в виде:

$$x = A \cdot \sin \omega \left(t - \frac{y}{V} \right) \quad (1)$$

или

$$x = A \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right) \quad (2).$$

Разность фаз колеблющихся точек:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2 \cdot \pi \frac{y_2 - y_1}{\lambda}.$$

Скорость распространения волны равна:

$$V = \frac{\lambda}{T}.$$

Вычислим:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (8,7 - 6)}{\frac{3}{4} \cdot 3,14} = 7,2 \text{ м},$$

$$V = \frac{7,2}{10^{-2}} = 720 \text{ м/с}.$$

Подставляя числовые значения в уравнение (2), запишем уравнение волны:

$$x = 0,5 \cdot \sin 2 \cdot \pi \left(10^2 \cdot t - \frac{y}{7,2} \right).$$

Задачи для решения в аудитории

1. Гармонические колебания величины S описываются уравнением $S = 0,02 \cos(6\pi + \frac{\pi}{3})$. Определить: 1) амплитуду колебаний; 2) циклическую частоту; 3) частоту колебаний; 4) период колебаний.
2. Составить уравнение гармонического колебательного движения с амплитудой 0,1 м, периодом 6 с и начальной фазой, равной нулю.
3. Составить уравнение гармонического колебательного движения точки, совершающей колебания с амплитудой 9 см, если за 1 мин совершается 120 колебаний и начальная фаза колебаний равна 45° . Найти смещение материальной точки от положения равновесия при $t=0$ и при $t=2$ с.
4. Точка совершает гармонические колебания с периодом 6 с и с начальной фазой, равной нулю. Определить, за какое время, считая от начала движения, точка сместится от положения равновесия на половину амплитуды.
5. Уравнение движения точки в виде $x = \sin \frac{\pi}{6} t$. Найти моменты времени, в которые достигаются максимальные скорость и ускорение.
6. Определить максимальные значения скорости и ускорения точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой 3 см и циклической частотой $\omega = \frac{\pi}{2} \text{ с}^{-1}$.
7. Максимальная скорость точки, совершающей гармонические колебания, равна 10 см/с, максимальное ускорение равно 100 см/с^2 . Найти циклическую частоту

- колебаний, их период и амплитуду. Составить уравнение колебаний, приняв начальную фазу равной нулю.
8. Колебания материальной точки массой 0,1 г происходят согласно уравнению $x = A \sin \omega t$, где $A = 5$ см, $\omega = 20$ с⁻¹. Определить максимальные значения возвращающей силы и кинетической энергии.
 9. Груз, подвешенный на спиральной пружине, колеблется по вертикали с амплитудой 8 см. Определить жесткость пружины, если известно, что максимальная кинетическая энергия груза составляет 0,8 Дж.
 10. Два одинаково направленных гармонических колебания одинакового периода с амплитудами 4 см и 8 см имеют разность фаз 45°. Определить амплитуду результирующего колебания.
 11. Разность фаз двух одинаково направленных гармонических колебаний одинакового периода 4 с и одинаковой амплитуды 5 см составляет $\pi/4$. Составить уравнение движения, получающегося в результате сложения этих колебаний, если начальная фаза одного из них равна нулю.
 12. Плоская звуковая волна имеет период равный 3 м/с, амплитуду 0,2 мм и длину волны 1,2 м. Для точек среды, удаленных от источника колебаний на расстояние 2 м, найти: 1) смещение в момент времени 7 с; 2) скорость и ускорение для того же момента времени. Начальную фазу принять равной нулю.
 13. Волна с периодом колебаний 1,2 с и амплитудой 2 см распространяется со скоростью 15 м/с. Определить смещение точки, находящейся на расстоянии 45 м от источника волн, в тот момент, когда от начала колебаний источника прошло время 4 с?
 14. Две точки находятся на расстоянии 50 см друг от друга. Волна распространяется со скоростью 50 м/с вдоль прямой, соединяющей эти точки. Период колебаний равен 0,05 с. Найти разность фаз колебаний в этих точках.

15. Два когерентных источника посылают поперечные волны в одинаковых фазах. Периоды колебаний 0,2 с, скорость распространения в среде 800 м/с. Определить, при какой разности хода в случае наложения волн будет наблюдаться: 1) ослабление колебаний; 2) усиление колебаний.

16. * На пружине подвешен груз массой m . Период колебания системы 0,5 с. При добавлении одного груза массой Δm период колебания возрастает до 0,6 с. Определить удлинение пружины под действием дополнительного груза.

Ответ: 27,5 мм.

17. * Расстояние l_1 от точки А до точки С равно 12 м, а расстояние l_2 от точки В до точки С равно 15 м. Из точек А и В одновременно и в одинаковых фазах идут по направлению к точке С волны со скоростью 330 м/с и

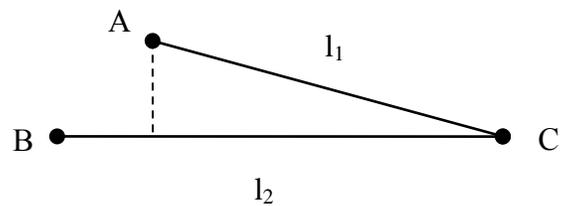


Рис. 21

частотой 550 Гц. Амплитуды волн равны $A_1=4$ см, $A_2=8$ см. Какова амплитуда А колебания в точке С?

Ответ: 12 см.

Домашнее задание

1. Через сколько времени от начала движения точка, совершая колебания по уравнению $x=7\sin 0,5\pi t$, проходит путь от положения равновесия до максимального смещения?
2. Частота колебаний струны 200 Гц, амплитуда колебаний $5 \cdot 10^{-3}$ м. Определить максимальную скорость струны.
3. Скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания, задается уравнением $V(t)=-6\sin 2\pi t$. Найти зависимость этой точки от времени.
4. Материальная точка массой $m=20$ г совершает гармонические колебания по закону $x = 0,1\cos\left(4\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$. Определить полную энергию этой точки.

5. Найти разность фаз колебаний двух точек, находящихся на расстоянии соответственно 10 м и 16 м от источника колебаний. Период колебаний 0,04 с, и скорость распространения 300 м/с.
6. Найти длину волн колебания, период которого 10^{-14} с. Скорость распространения колебаний $3 \cdot 10^8$ м/с.
7. Звуковые колебания с частотой 450 Гц и амплитудой 0,3 мм распространяются в упругой среде. Длина волны 80 см. Определить: 1) скорость распространения волн; 2) максимальную скорость частиц среды.

Раздел 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Тема 1. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов

Теоретический минимум

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории.
2. Идеальный газ. Его законы.
3. Уравнение состояния идеального газа.
4. Основное уравнение кинетической теории идеального газа. Энергия молекул.
5. Распределение молекул по скоростям Максвелла.
6. Число степеней свободы молекулы.
7. Внутренняя энергия идеального газа.

Вопросы для самоконтроля

1. Состояние системы, при котором все ее параметры имеют определенные значения, остающиеся при неизменных внешних условиях постоянными сколь угодно долго, называется
 - a) исходным
 - b) изолированным
 - c) равновесным
 - d) неравновесным

2. К основным положениям молекулярно-кинетической теории относятся следующие утверждения.

- a) Все тела состоят из молекул
- b) Молекулы представляются материальными точками, не взаимодействующими между собой
- c) Между молекулами тела действуют силы взаимного притяжения и отталкивания
- d) Молекулы постоянно хаотически движутся
- e) Молекулы оказывают давление на стенки сосуда
- f) Температура является мерой средней кинетической энергии движения молекул

3. Идею о молекулярном строении вещества одним из первых высказал

- a) М.В. Ломоносов
- b) Пифагор
- c) Демокрит
- d) Архимед

4. Косвенными свидетельствами молекулярного строения вещества являются

Указать все правильные ответы.

- a) диффузия
- b) упругие свойства твёрдого тела
- c) внутреннее трение
- d) броуновское движение

5. Следующие особенности делают практически неосуществимым полное механическое описание систем многих частиц. Указать все правильные ответы.

- a) Малые начальные отклонения механических характеристик оказывают большое влияние на конечное состояние системы.

- b) Значительные начальные отклонения механических характеристик оказывают малое влияние на конечное состояние системы.
- c) Законы механики неприменимы для полного описания систем многих частиц.
- d) Для полного механического описания систем многих частиц необходим слишком большой объём расчётов.

6. Статистический метод

- a) заключается в использовании малого числа параметров, описывающих систему многих частиц, и средних значений механических величин
- b) представляет собой аксиоматическую теорию, основанную на постулатах термодинамики
- c) основан на замене взаимодействующих молекул не взаимодействующими между собой материальными точками
- d) предполагает полное описание механических характеристик частиц системы

7. Особенность термодинамического подхода состоит в том, что он

- a) учитывает тепловое движение частиц вещества
- b) основан на представлениях о молекулярном строении вещества
- c) основан на статистических методах рассмотрения систем многих частиц
- d) не связан с представлениями о молекулярной структуре вещества

8. Единицей измерения количества вещества является

- a) килограмм
- b) масса
- c) молекула
- d) моль

9. Единица количества вещества

- a) содержит столько же молекул как 12 г изотопа ^{12}C
- b) весит столько же, как и один моль молекул водорода
- c) весит столько же, как и один моль изотопа ^{12}C
- d) содержит столько же молекул, как и один грамм молекул водорода

10. Молярная масса – это

- a) количество вещества, содержащегося в одном моле
- b) количество вещества, содержащегося в одном килограмме
- c) количество молей вещества, содержащихся в одном килограмме
- d) масса одного моля вещества

11. Число Авогадро

- a) равно числу частиц в одном моле вещества
- b) это коэффициент пропорциональности в уравнении состояния идеальных газов
- c) это коэффициент пропорциональности между средней кинетической энергией молекулы и температурой идеального газа
- d) равно одной двенадцатой части массы изотопа углерода ^{12}C

12. Изолированной называется система

- a) элементы которой не взаимодействуют друг с другом и внешними телами
- b) имеющая границу, отделяющую её от внешней среды
- c) имеющая ограниченный объём
- d) не взаимодействующая с внешними телами

13. Термодинамическими параметрами Указать все правильные ответы.

- a) называются экспериментально измеримые физические величины, задающие состояние системы
- b) является совокупность координат и импульсов частиц системы
- c) называются характеристики системы, которые могут меняться в результате внешних воздействий и внутренних процессов
- d) являются количество тепла и работа

14. Уравнение состояния

- a) показывает, как изменяются термодинамические параметры системы со временем

- b) устанавливает взаимосвязь между микро- и макроскопическими параметрами термодинамической системы
- c) показывает, как зависит состояние системы от внешних воздействий
- d) устанавливает взаимосвязь между термодинамическими параметрами

15. Модель идеального газа заключается в том что Указать все правильные ответы.

- a) размеры молекул малы по сравнению с межмолекулярным расстоянием
- b) движением молекул можно пренебречь
- c) взаимодействием молекул можно пренебречь
- d) молекулы представляются твёрдыми шариками, двигающимися хаотически и испытывающими абсолютно упругие столкновения

16. Поведение реального газа приближается к поведению идеального газа

- a) в пределе высоких давлений и высоких температур
- b) в пределе низких давлений и низких температур
- c) ниже критической температуры
- d) в пределе низких давлений и высоких температур

17. Уравнением состояния идеального газа являются

- a) $F(p, V, T) = 0$
- b) $\frac{p \cdot V}{T} = const$
- c) $p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$
- d) $p = n \cdot k \cdot T$

18. Круговой процесс – это такой

- a) произвольный процесс, в котором начальное и конечное состояния системы совпадают
- b) процесс, который допускает возвращение системы в первоначальное состояние без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения
- c) равновесный процесс, в котором начальное и конечное состояния системы совпадают

d) процесс, который может быть проведён в обратном направлении и при этом в окружающей среде не останется каких-либо изменений

19. Температура – это

- a) термодинамический параметр состояния системы
- b) характеристика энергии взаимодействия молекул
- c) мера теплоты, которой обладает тело
- d) мера внутренней энергии тела

20. Два одинаковых тела находятся одновременно в термодинамическом равновесии с третьим телом, температура которого составляет 20°C . После того как эти тела приводятся в тепловой контакт друг с другом и изолируются от других тел, их равновесные температуры становятся равными

- a) 0°C и 40°C
- b) 10°C
- c) 40°C
- d) 20°C

21. Давление – это

- a) средняя сила, с которой молекулы газа действуют на поверхность единичной площади
- b) мера средней кинетической энергии движения молекул
- c) средняя сила, с которой молекулы газа взаимодействуют между собой
- d) внешний термодинамический параметр, определяющий состояние системы

22. На рис. 22 изображен график изменения состояния идеального газа в координатах V, T . Как будут выглядеть эти процессы на графике в координатах p, T ?

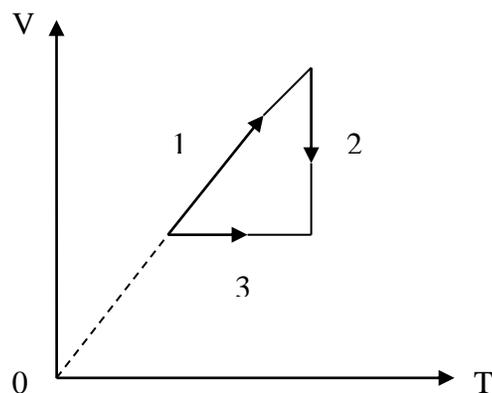


Рис. 22

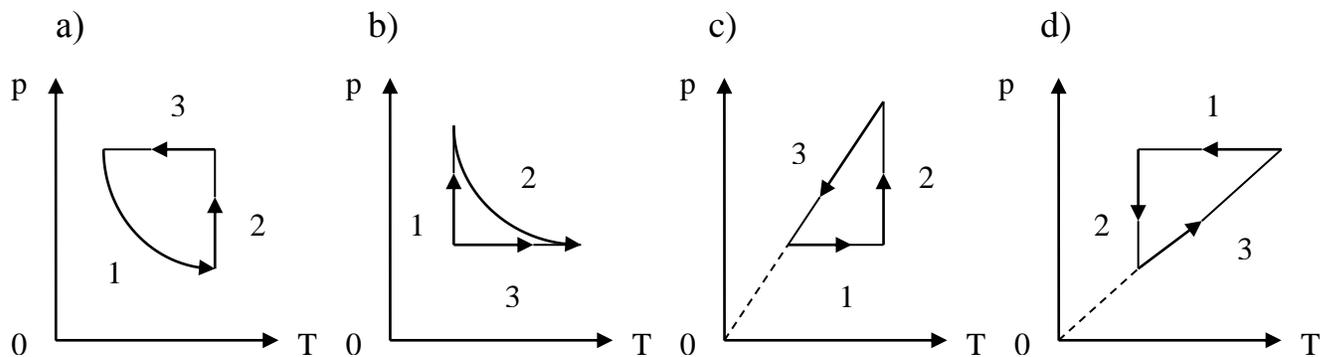


Рис. 23

23. Согласно основному уравнению молекулярно-кинетической теории идеальных газов

a) $p = \frac{2}{3} \cdot n_0 \langle E_k \rangle$

c) $f(v) = \frac{dN}{N \cdot dv}$

b) $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$

d) $T = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{k} \langle E_k \rangle$

24. На рис. 24 представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределения Максвелла). Для этой функции верным является утверждение

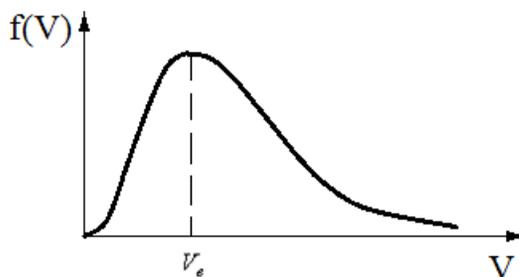


Рис. 24

- a) с ростом температуры величина максимума растет
- b) с ростом температуры максимум кривой смещается вправо
- c) с ростом температуры площадь под кривой растет
- d) площадь под всей кривой равна единице

25. Число степеней свободы молекулы

- a) совпадает с числом независимых координат, необходимых для задания положения атомов молекулы в пространстве
- b) равно числу независимых координат, которые необходимо ввести, чтобы задать положение в пространстве молекулы как целого
- c) для одноатомных – 3, для двухатомных – 5, для многоатомных – 7.
- d) равно числу атомов в молекуле умноженному на три минус число связей между атомами

26. Средняя кинетическая энергия молекул газа зависит от

- a) температуры
- b) давления
- c) концентрации
- d) числа степеней свободы

27. Средняя кинетическая энергия молекул азота равна

- a) $\frac{5}{2} \cdot k \cdot T$
- b) $\frac{1}{2} \cdot k \cdot T$
- c) $\frac{3}{2} \cdot k \cdot T$
- d) $\frac{7}{2} \cdot k \cdot T$

28. Внутренняя энергия газа Указать все правильные ответы.

- a) является суммой энергий всех его молекул
- b) является суммой кинетических энергий всех его молекул
- c) равна работе, которую может совершить газ при бесконечном расширении
- d) равна количеству теплоты, которое надо отнять у газа, чтобы охладить его до температуры абсолютного нуля

29. У идеального газа равна нулю

- a) энергия взаимодействия молекул
- b) энергия связи молекул
- c) кинетическая энергия движения молекул
- d) внутренняя энергия движения молекул

30. Определенное количество газа переведем из состояния (p_0, V_0) в состояние $(2p_0, V_0)$. При этом его внутренняя энергия

- a) уменьшилась
- b) увеличилась

- c) не изменилась d) нельзя дать ответ

31. Теплоёмкость

- a) равна отношению изменения температуры системы к количеству тепла, вызвавшего это изменение температуры
b) это количество тепла, которое надо отнять у системы, чтобы охладить её до температуры абсолютного нуля
c) показывает, какое количество тепла надо подвести к системе, чтобы изменить её температуру на один градус
d) это количество тепла, которое можно подвести к системе в изотермическом процессе

32. Удельная теплоёмкость – это

- a) теплоёмкость одного моля вещества
b) теплоёмкость всей системы
c) средняя теплоёмкость вещества, из которого состоит система
d) теплоёмкость единицы массы вещества

33. Молярная теплоёмкость – это

- a) теплоёмкость единицы массы вещества
b) теплоёмкость всей системы
c) средняя теплоёмкость вещества, из которого состоит система

34. Молярная теплоемкость водорода при постоянном давлении равна

- a) $41,5 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ c) $4 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$
b) $400 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ d) нет правильного ответа

35. Для теплоемкостей при постоянном объеме и постоянном давлении справедливо соотношение

- a) $C_p > C_v$ c) $C_p = C_v$
b) $C_p < C_v$ d) $C_p \leq C_v$

Примеры решения задач

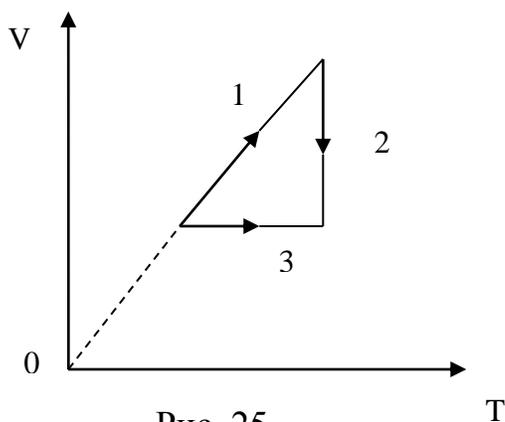


Рис. 25

- 1 – изобарический;
- 2 – изотермический;
- 3 – изохорический.

Пример 1. На рис. 25 изображен график изменения состояния идеального газа в координатах V, T. Представьте эти процессы на графике в координатах p, V. Назовите эти процессы.

Решение:

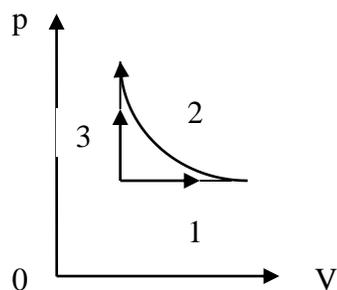


Рис. 26

Пример 2. Баллон содержит 80 г кислорода и 320 г аргона. Давление смеси 1 МПа, температура 300 К. Принимая данные газы за идеальные, определить объем баллона.

Решение: Согласно закону Дальтона:

$$p = p_1 + p_2$$

Парциальные давления p_1 и p_2 получим, пользуясь уравнением Менделеева – Клапейрона:

$$p_1 = \frac{m_1 \cdot R \cdot T}{M_1 \cdot V}, \quad p_2 = \frac{m_2 \cdot R \cdot T}{M_2 \cdot V}$$

Тогда

$$p = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \cdot \frac{R \cdot T}{V},$$

откуда объем баллона

$$V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \cdot \frac{R \cdot T}{p}$$

Вычислим:

$$M_1 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}, M_2 = 40 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$V = \left(\frac{0,08}{32 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,32}{40 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot \frac{8,31 \cdot 300}{10^6} = 0,0262 \text{ м}^3 = 26,2 \text{ л}$$

Задачи для решения в аудитории

1. Определите число атомов в 1 кг водорода и массу одного атома водорода.
2. В сосуде вместимостью 1 л находится кислород массой 1 г. Определите концентрацию молекул кислорода в сосуде.
3. Определите количество вещества и число молекул одноатомного газа, содержащегося в колбе вместимостью 240 см³ при температуре 17 °С и давлении 50 кПа.
4. Азот массой 7 г находится под давлением 0,1 МПа и температуре 290 К. Вследствие изобарного нагревания азот занял объем 10 л. Определите: 1) объем до расширения; 2) температуру после расширения.
5. В закрытом сосуде вместимостью 20 л находится водород массой 6 г и азот массой 12 г. Определите: 1) давление; 2) молярную массу газовой смеси в сосуде, если температура смеси 300 К.
6. В сосуде емкостью 8,3 л находится воздух при нормальном давлении и температуре 300 К. В сосуд вводят 3,6 г воды и закрывают крышкой. Определить давление в сосуде при 400 К, если вся вода при этой температуре превращается в пар.

7. В сосуде вместимостью 0,3 л при температуре 290 К находится некоторый газ. На сколько понизится давление газа в сосуде, если из него из-за утечки выйдет 10^{19} молекул?
8. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа при нормальных условиях равна 480 м/с. Сколько молекул содержит 1 г этого газа?
9. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекулы водорода равна 2,5 см при температуре 68 °С? Диаметр молекулы водорода принять равным $2,3 \cdot 10^{-10}$ м.
10. Найти плотность азота, если молекула за 1 с испытывает $2,05 \cdot 10^8$ с⁻¹ столкновений при температуре 280 К.
11. Определить коэффициент внутреннего трения для водорода, имеющего температуру 27 °С.
12. Определить коэффициент диффузии азота, находящегося при температуре 300 К под давлением 10^5 Па.
13. Вычислить массу льда, образующегося в течение часа в бассейне, площадь которого 10 м². Толщина льда 15 см, температура воздуха -10 °С, коэффициент теплопроводности льда 2,1 Вт/(м·К).
14. Определите среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы кислорода при температуре 400 К.
15. Определите среднюю энергию поступательного движения молекул водяного пара массой 18 г при температуре 16 °С.
16. Определите энергию вращательного движения молекулы кислорода при температуре -173 °С.
17. Определите полную кинетическую энергию молекул, содержащихся в 1 кмоль азота, при температуре 7 °С.
18. Определите наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет $0,35$ кг/м³.

19. * Определите длину ребра кубического сосуда, содержащего 10^7 молекул идеального газа при нормальных условиях.

Ответ: $7,2 \cdot 10^{-7}$ м.

20. * При какой температуре средняя кинетическая энергия теплового движения молекулы кислорода будет достаточна для того, чтобы молекула кислорода, содержащегося в лунной поре, преодолела лунное тяготение и навсегда покинула пределы Луны? Ускорение свободного падения на поверхности Луны $1,61 \text{ м/с}^2$, радиус $1,74 \cdot 10^6$ м.

Ответ: $2,16 \cdot 10^3$ К.

Домашнее задание

1. Определите плотность смеси газов водорода массой 8 г и кислорода массой 64 г при температуре 290 К и давлении 0,1 МПа.
2. В сосуде вместимостью 5 л при нормальных условиях находится азот. Определите: 1) количество вещества; 2) массу азота; 3) концентрацию его молекул в сосуде.
3. В цилиндре двигателя внутреннего сгорания давление в конце сжатия равно 1,1 МПа, а температура составляет 350 °С. Каким станет давление после сгорания газовой смеси, если температура при этом достигнет 2000 °С, а объем останется неизменным?
4. Определить среднюю длину свободного пробега молекулы и число соударений за 1 с, происходящих между всеми молекулами кислорода, находящегося в сосуде ёмкостью 2 л при температуре 27 °С и давлении 100 кПа.
5. Определить кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы аммиака при 100°С, а также полную кинетическую энергию молекул, содержащихся в одном моле аммиака при той же температуре.

6. Вычислить энергию вращательного и поступательного движений молекул, содержащихся в 1 кг кислорода при 7°C .
7. Сколько степеней свободы имеет молекула, обладающая кинетической энергией $9,7 \cdot 10^{-21}$ Дж при 7°C ?
8. Найти отношение средних квадратичных скоростей молекул гелия и азота при одинаковых температурах.
9. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа равна 450 м/с. Давление газа равно $0,5 \cdot 10^5$ Н/м². Найти плотность газа при этих условиях.

Тема 2. Основы термодинамики

Теоретический минимум

1. Первое начало термодинамики. Его применение к изопроцессам.
2. Теплоемкость. Удельная и молярная теплоемкость. Молярные теплоемкости C_p и C_v . Уравнение Майера.
3. Адиабатический процесс. Первое начало термодинамики для него. Закон Пуассона.
4. Второе начало термодинамики.
5. Цикл Карно. КПД тепловой машины.
6. Энтропия.

Вопросы для самоконтроля

1. Первое начало термодинамики можно сформулировать следующим образом
 - а) Невозможен самопроизвольный переход тепла от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой
 - б) Количество тепла, сообщённое системе, идёт на приращение внутренней энергии системы и совершение системой работы над внешними телами
 - в) Никакая машина, не может совершить работу большую, чем полученная извне теплота

d) Вечный двигатель первого рода невозможен

2. Уравнение, выражающее первое начало термодинамики выглядит следующим образом

a) $Q = \Delta U + A$

c) $dQ = TdS$

b) $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

d) $S = k \ln \Omega$

3. Первое начало термодинамики

a) устанавливает эквивалентность теплоты и работы как двух видов передачи энергии в термодинамических процессах

b) выражает закон сохранения энергии в изолированной системе

c) констатирует неэквивалентность различных видов энергии и постулирует направление протекания тепловых процессов

d) выражает закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам

4. Особенности работы и теплоты как двух форм передачи энергии в термодинамическом процессе заключаются в том, что Указать все правильные ответы.

a) теплота описывает макроскопический процесс обмена механической энергией между системой и внешней средой, а работа описывает микроскопический процесс обмена энергией, протекающий при непосредственном соударении молекул

b) работа описывает макроскопический процесс обмена механической энергией между системой и внешней средой, а теплота описывает микроскопический процесс обмена энергией, протекающий при непосредственном соударении молекул

c) в круговом процессе полный поток тепла и работа могут быть положительными, отрицательными и нулевыми

d) в круговом процессе полный поток тепла и работа должны быть нулевыми

е) в круговом процессе работа может быть положительной, отрицательной и нулевой, а полный поток тепла должен быть нулевым

ф) в круговом процессе полный поток тепла может быть положительным, отрицательным и нулевым, а работа должна быть нулевой

5. Работа, совершаемая при изменении объема газа, определяется формулой

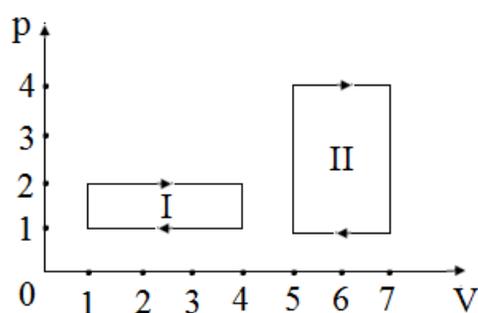
a)
$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

b)
$$A = R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}, \text{ при } T = \text{const}$$

c)
$$A = p \cdot (V_2 - V_1), \text{ при } p = \text{const}$$

d) нет правильного ответа

6. На рис. 27 изображены два циклических процесса. Отношение работ,



совершенных в каждом цикле, $\frac{A_I}{A_{II}}$ равно

a) 2 c) 1

b) $\frac{1}{2}$ d) -2

Рис. 27

7. Адиабатический процесс протекает в ... термодинамической системе.

a) произвольной

b) изолированной

c) теплоизолированной

d) термостатированной

8. Объем паров углекислого газа при адиабатном сжатии уменьшился в два раза. Как изменилось давление?

a) уменьшилось в 2 раза

- b) увеличилось в 2 раза
- c) увеличилось в 4 раза
- d) уменьшилось в 4 раза

9. Обратимым называют процесс

- a) изменения состояния системы за время большее времени релаксации
- b) в котором количество тепла, сообщённое системе, идёт на приращение внутренней энергии системы и совершение системой работы над внешними телами
- c) при котором термодинамическая система циклически возвращается в исходное состояние
- d) допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без того, чтобы в окружающей среде остались какие-либо изменения

10. Обратимый и равновесный процессы соотносятся между собой следующим образом

- a) всякий обратимый процесс является равновесным
- b) обратимым может быть лишь равновесный процесс
- c) всякий равновесный процесс обратим
- d) равновесным может быть лишь обратимый процесс

11. Смысл второго начала термодинамики заключается в том, что оно

- a) выражает закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам
- b) постулирует направление протекания тепловых процессов
- c) устанавливает эквивалентность теплоты и работы как двух видов передачи энергии в термодинамических процессах
- d) выражает закон сохранения энергии в изолированной системе

12. Формулировка Клаузиуса второго начала термодинамики заключается в следующем

- a) Теплота не может самопроизвольно переходить от тела более нагретого к менее нагретому
- b) Количество тепла, сообщённое системе, идёт на приращение внутренней энергии системы и совершение системой работы над внешними телами
- c) Любая термодинамическая изолированная система со временем приходит в состояние равновесия, характеризуемое некоторой температурой
- d) Теплота не может самопроизвольно переходить от тела менее нагретого к более нагретому

13. Формулировка Томсона второго начала термодинамики заключается в следующем

- a) Теплота не может самопроизвольно переходить от тела более нагретого к менее нагретому
- b) Количество тепла, сообщённое системе, идёт на приращение внутренней энергии системы и совершение системой работы над внешними телами
- c) Невозможен самопроизвольный переход тепла от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой
- d) Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы совершение работы за счёт охлаждения теплового резервуара

14. Вечный двигатель второго рода отличается от вечного двигателя первого рода тем, что он позволил бы совершать работу

- a) только за счёт охлаждения теплового резервуара
- b) без потребления энергии из внешних источников
- c) без изменений во внешней среде
- d) при передаче тепла от тела более нагретого к более холодному

15. Тепловой двигатель имеет следующие отличительные особенности. Указать все правильные ответы.

- a) В нём осуществляется обратимый термодинамический процесс

- b) Он позволяет переносить теплоту от тела менее нагретого к более нагретому за счёт работы внешних сил
- c) Он позволяет совершать работу за счёт теплоты, полученной от внешнего источника
- d) В нём осуществляется циклический термодинамический процесс
- e) В процессе его работы тепло передаётся в окружающую среду

16. При рассмотрении теплового двигателя как термодинамической системы, выделяют следующие его элементы. Указать все правильные ответы.

- a) нагреватель
- b) топливо
- c) рабочее тело
- d) холодильник

17. В вечном двигателе второго рода упускается из вида необходимость использования ... для получения работы за счёт тепловой энергии.

- a) рабочего тела
- b) нагревателя
- c) холодильника
- d) топлива

18. Цикл Карно состоит из двух

- a) изотерм и двух изобар
- b) изохор и двух изобар
- c) изотерм и двух адиабат
- d) изохор и двух адиабат

19. Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу Карно

- a) всегда больше, чем КПД любого другого цикла с теми же температурами нагревателя и холодильника
- b) зависит только от свойств рабочего тела и не зависит от температур нагревателя и холодильника
- c) зависит от свойств рабочего тела и разности температур нагревателя и холодильника

d) не зависит от свойств рабочего тела и температур нагревателя и холодильника

20. Вторую теорему Карно можно сформулировать следующим образом

a) КПД любого цикла не может быть больше, чем КПД цикла Карно с теми же температурами нагревателя и холодильника

b) Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур нагревателя и холодильника

c) Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от свойств рабочего тела и не зависит от температур нагревателя и холодильника

d) Любой циклический процесс можно рассматривать как совокупность циклов Карно

21. Выражение для КПД цикла Карно выглядит следующим образом

a) $\eta = 1 - \frac{T_{\max}}{T_{\min}}$

c) $\eta = \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$

b) $\eta = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$

d) $\eta = \frac{T_{\max}}{T_{\min}} - 1$

22. На рис. 28 изображен цикл Карно. Теплота подводится к системе на участке

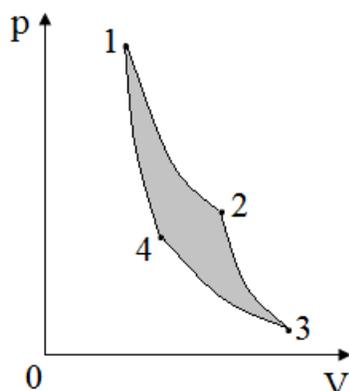


Рис. 28

a) 1-2

b) 2-3

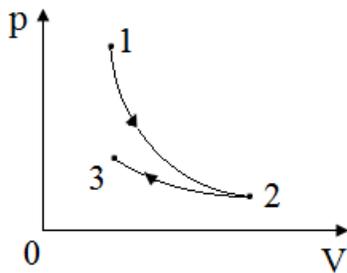
c) 3-4

d) 4-1

23. Тепловая машина работает по циклу Карно. Если температуру нагревателя увеличить, то КПД цикла

- a) не изменится
- b) увеличится
- c) уменьшится

24. На рис. 29 изображены две кривые изотерма и адиабата. Участок 1-2 соответствует



- a) изотермическому сжатию
- b) изотермическому расширению
- c) адиабатическому расширению
- d) адиабатическому сжатию

Рис. 29

25. Энтропия – это функция состояния

- a) элементарное приращение которой складывается из сообщённого системе элементарного количества тепла и совершённой над ней работы: $\delta S = \delta Q + \delta A$
- b) элементарное приращение которой равно отношению элементарного количества тепла к вызванному им приращению температуры: $\delta S = \delta Q / dT$
- c) дифференциал которой равен произведению элементарного теплового эффекта в равновесном процессе и температуры: $dS = \delta Q / T$
- d) дифференциал которой связан с элементарным тепловым эффектом в обратимом процессе соотношением: $\delta Q = T dS$

26. При приближении к абсолютному нулю температуры энтропия системы в состоянии равновесия

- a) становится неопределённой
- b) стремится к максимуму
- c) стремится к нулю

d) стремится к бесконечности

27. Энтропия связана со статистическим весом термодинамического состояния системы следующим соотношением

a) $S = \exp \Omega$ c) $S = \frac{1}{\exp \Omega}$

b) $S = \frac{k}{\exp \Omega}$ d) $S = k \ln \Omega$

28. При протекании необратимых процессов энтропия изолированной термодинамической системы

- a) убывает
- b) остаётся постоянной
- c) становится неопределённой
- d) возрастает

29. При достижении равновесного состояния энтропия термодинамической системы становится

- a) равной нулю
- b) равной единице
- c) максимальной
- d) минимальной

30. При протекании обратимых процессов энтропия изолированной термодинамической системы

- a) остаётся постоянной
- b) возрастает
- c) убывает
- d) может возрастать или убывать в зависимости от вида процесса

Примеры решения задач

Пример. В цилиндре под поршнем находится водород массой 0,02 кг при температуре 300 К. Водород сначала расширился адиабатно, увеличив свой объем в 5 раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в 5 раз. Найти температуру в конце адиабатного расширения и работу, совершенную газом при этих процессах. Изобразить процесс графически.

Решение: Температуры и объемы газа, совершающего адиабатный процесс, связаны между собой законом Пуассона:

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

Отсюда

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

Работа газа при адиабатном расширении может быть определена по формуле:

$$A_1 = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_1 - T_2)$$

Работа газа при изотермическом процессе может быть выражена в виде:

$$A_2 = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln \frac{V_3}{V_2}$$

Произведем вычисления. Водород двухатомный газ, поэтому для него $i=5$.

Откуда

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = 1,4$$

$$T_2 = \frac{300}{5^{1,4-1}} = \frac{300}{5^{0,4}} = \frac{300}{1,91} = 157K$$

$$A_1 = \frac{0,02 \cdot 5 \cdot 8,31}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 2} \cdot (300 - 157) = 29,8 \text{кДж}$$

$$A_2 = \frac{0,02}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 157 \cdot \ln \frac{1}{5} = -21 \text{ кДж}$$

Знак “ – ” показывает, что при сжатии работа газа совершается внешними силами. График процесса приведен на рис. 30.

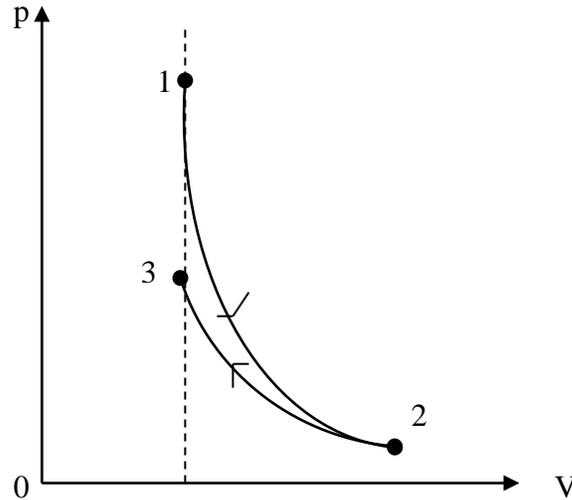


Рис. 30

Задачи для решения в аудитории

1. Кислород подвергся адиабатному расширению. В результате последующего изотермического процесса газ сжимают до первоначального давления. Постройте график процесса.
2. Идеальный газ подвергли изохорному нагреванию. После этого газ подвергли изотермическому расширению до начального давления, а затем он в результате изобарного сжатия возвращен в первоначальное состояние. Постройте график цикла.
3. Найти идеальную теплоемкость кислорода: 1) при постоянном объеме; 2) при постоянном давлении.
4. Найти для кислорода отношение удельной теплоемкости при постоянном давлении к удельной теплоемкости при постоянном объеме.

5. Определите удельные теплоемкости C_p и C_v , если известно, что некоторый газ при нормальных условиях имеет удельный объем $0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$.
6. Азот массой 5 кг , нагретый на 150 К , сохраняя неизменный объем. Найти: 1) количество теплоты; 2) изменение внутренней энергии; 3) совершенную газом работу.
7. Для нагревания водорода массой 20 г при постоянном давлении затрачена теплота $3,94 \text{ кДж}$. Как изменится температура газа?
8. Расширяясь, водород, совершил работу 6 кДж . Определить количество теплоты, подведенное к газу, если процесс протекал: 1) изобарно; 2) изотермически.
9. 1 л гелия, находящийся при нормальных условиях, изотермически расширяется за счет тепла до объема 2 л . Найти: 1) работу, совершенную газом при расширении; 2) количество теплоты, сообщенное газу.
10. До какой температуры охладится воздух, находящийся при температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$, если он расширяется адиабатно от объема V_1 до объема $V_2=2V_1$?
11. При адиабатном расширении 2 моль кислорода, находящегося при нормальных условиях, его объем увеличился в 3 раза. Определите: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу расширения газа.
12. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу $73,5 \text{ кДж}$. Температура нагревателя $100 \text{ }^\circ\text{C}$, температура холодильника $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Найти: 1) КПД машины; 2) количество теплоты, получаемое за один цикл от нагревателя; 3) количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику.
13. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, 70% количества теплоты, полученного от нагревателя, отдает холодильнику. Количество теплоты, получаемое от нагревателя, равно 5 кДж . Определите: 1) КПД цикла; 2) работу, совершаемую при полном цикле.

14. Идеальный газ совершает цикл Карно, КПД которого 0,4. Определите работу изотермического сжатия газа, если работа изотермического расширения 400 Дж.
15. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура охладителя равна 290 К. Во сколько раз увеличится КПД цикла, если температура нагревателя повысится от 400 К до 600К?
16. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя 500 К, холодильника 300 К. Работа изотермического расширения 2 кДж. Определите: 1) КПД; 2) количество теплоты, отданное при изотермическом сжатии холодильнику.
17. Найти изменение энтропии при превращении 10 г льда при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в пар при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.
18. Найти изменение энтропии при переходе 8 г кислорода от объема 10 л при температуре $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ к объему 40 л при температуре $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Домашнее задание

1. Идеальный газ совершает цикл, состоящий из последовательных процессов изобарного расширения, адиабатного расширения и изотермического сжатия. Построить график цикла.
2. Считая азот идеальным газом, определите его удельную теплоемкость для изохорного процесса и для изобарного процесса.
3. 10 г кислорода находятся под давлением 0,3 МПа при температуре $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. После нагревания при постоянном давлении газ занял объем 10 л. Найти: 1) количество теплоты, полученное газом; 2) изменение внутренней энергии газа; 3) работу, совершенную газом при расширении.
4. При адиабатическом сжатии кислорода массой 1 кг совершена работа 100 кДж. Определить конечную температуру газа, если до сжатия кислород находился при температуре 300 К.

5. Азот массой 1 кг находится при температуре 300 К. В результате адиабатического сжатия давление газа увеличилось в 3 раза. Определите изменение внутренней энергии газа.
6. На нагревание кислорода массой 160 г на 12 К было затрачено количество теплоты 1,76 кДж. Как протекал процесс при постоянном объеме или при постоянном давлении?
7. Газ совершает цикл Карно. Термодинамическая температура нагревателя в два раза выше температуры охладителя. Определить КПД цикла.
8. Совершая цикл Карно, газ получил от нагревателя теплоту 1 кДж. Сколько теплоты было отдано охладителю, если КПД идеальной машины 20%.
9. Определить изменение энтропии при изотермическом расширении кислорода массой 10 г от объема 25 л до объема 100 л.

Примерный вариант контрольной работы № 1

1. Прямолинейное движение точки описывается уравнением $S=2t^2-t+4$. Найти скорость точки в момент за первые две секунды.
Ответ: 25 м/с; 6 м/с.
2. Две гири весом 2 кг и 1 кг соединены нитью и перекинуты через невесомый блок. Найти: 1) ускорение, с которым движутся гири; 2) натяжение нити. Трением в блоке пренебречь.
Ответ: 1) 3,27 м/с²; 2) 13 Н.
3. Снаряд, летевший со скоростью 400 м/с, разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого 40 % от массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью 150 м/с. Определить скорость большого осколка.
Ответ: 207 м/с.

4. Максимальная скорость точки, совершающей гармонические колебания, равна 10 см/с, максимальное ускорение частоту колебаний, их период и амплитуду. Написать уравнение колебаний, приняв начальную фазу равной нулю.

Ответ: 10 с^{-1} ; 62,8 с; 1 м.

5. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре 286 К.

Ответ: $3.95 \cdot 10^{-21}$ Дж

6. Определить работу изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, КПД которого 0,4, если работа изотермического расширения равна 8 Дж.

Ответ: 13.3 Дж

Решение типового варианта контрольной работы № 1

Задача №1. Прямолинейное движение точки описывается уравнением $S=3t^3-2t+1$. Найти скорость и ускорение точки в момент времени 4 с.

1. В лодке массой 240 кг стоит человек массой 60 кг. Лодка плывет со скоростью 2 м/с. Человек прыгает с лодки в горизонтальном направлении со скоростью 4 м/с в сторону противоположную движению лодки. Найти скорость лодки после прыжка человека.

2. Тело совершает гармонические колебания. Период колебаний 0,15 с, максимальная скорость 8 м/с. Определить амплитуду колебаний. Написать уравнение процесса, если начальная фаза равна нулю.

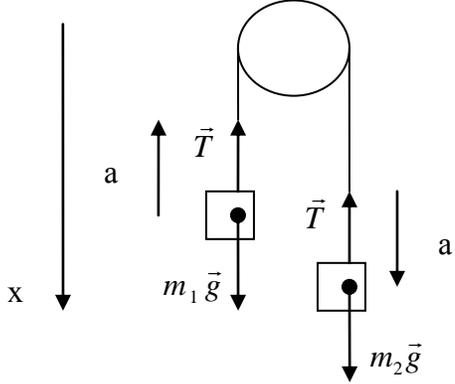
3. Найти кинетическую энергию вращательного движения всех молекул кислорода, при температуре 300 К, если его масса равна 4 г.

4. Какое количество теплоты нужно сообщить 1 кмоль кислорода, чтобы он совершил работу 1000 Дж при изотермическом процессе?

№	Алгоритм	Применение алгоритма к решению данной задачи
1	Краткое условие задачи	$S(t) = 3t^3 - 2t + 1$ $t = 4 \text{ с}$ <hr/> $V - ?$ $a - ?$
2	Формулы и законы, применимые к решению задачи	1) $V(t) = S'(t)$ 2) $a(t) = V'(t) = S''(t)$
3	Чертеж, рисунок, схема	
4	Решение задачи в общем виде	1) $V(t) = S'(t) = (3t^3 - 2t + 1)' = 9t^2 - 2$ 2) $a(t) = V'(t) = S''(t) = (9t^2 - 2)' = 18t$
5	Вычисления	$V(4) = 9 \cdot 16 - 2 = 142 \text{ (м/с)}$ $A(4) = 18 \cdot 4 = 72 \text{ (м/с}^2\text{)}$
6	Ответ	142 м/с; 72 м/с ²

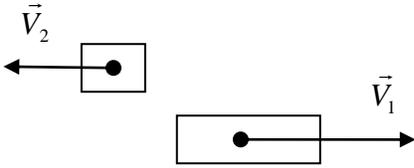
Задача №2. Через блок в виде сплошного диска перекинута нить, к концам которой подвешены грузы с массами 100 г и 200 г. Определить ускорение, с которыми будут двигаться грузы, если их предоставить самим себе.

1	Краткое условие задачи	СЛ: $m_1 = 100 \text{ г} \quad \quad 0,1 \text{ кг}$ $m_2 = 200 \text{ г} \quad \quad 0,2 \text{ кг}$ <hr/> $a - ?$
2	Формулы и законы, применимые к решению задачи	$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m \cdot \vec{a}$

3	Чертеж, рисунок, схема	 <p style="text-align: center;">Рис. 33</p>
4	Решение задачи в общем виде	<p>Второй закон Ньютона для тела m_1:</p> $\vec{T} + m_1 \cdot \vec{g} = m_1 \cdot \vec{a}$ <p>Второй закон Ньютона для тела m_2:</p> $\vec{T} + m_2 \cdot \vec{g} = m_2 \cdot \vec{a}$ <p>В проекциях на ось x:</p> $-T + m_1 \cdot g = -m_1 \cdot a;$ $-T + m_2 \cdot g = m_2 \cdot a.$ $a = \frac{(m_2 - m_1) \cdot g}{m_2 + m_1}$
5	Вычисления	$a = \frac{(0,2 - 0,1) \cdot 9,8}{0,2 + 0,1} = 3,27 \text{ (м/с}^2\text{)}$
6	Ответ	$3,27 \text{ м/с}^2$

Задача №3. В лодке массой 240 кг стоит человек массой 60 кг. Лодка плывет со скоростью 2 м/с. Человек прыгает с лодки в горизонтальном направлении со скоростью 4 м/с в сторону, противоположную движению лодки. Найти скорость лодки после прыжка человека.

1	Краткое условие задачи	$M = 240 \text{ кг}$ $M = 60 \text{ кг}$	
---	------------------------	---	--

		$V=2 \text{ м/с}$ $V_1=4 \text{ м/с}$ <hr/> $V_2=?$
2	Формулы и законы, применимые к решению задачи	1) $p=\text{const}, p_1=p_2$ 2) $p=m \cdot V$ 3) $(M+m) \cdot V=m \cdot V_1+M \cdot V_2$
3	Чертеж, рисунок, схема	 <p style="text-align: center;">Рис. 34</p>
4	Решение задачи в общем виде	$(M+m) \cdot V=-m \cdot V_1+M \cdot V_2$ $V_2 = \frac{(M+m) \cdot V + m \cdot V_1}{M}$
5	Вычисления	$V_2 = \frac{(240+60) \cdot 2 + 60 \cdot 4}{240} = 3,5 \text{ (м/с)}$
6	Ответ	3,5 м/с

Задача №4. Тело совершает гармонические колебания. Период колебаний 0,15 с, максимальная скорость 8 м/с. Определить амплитуду колебаний. Составить уравнение процесса, если начальная фаза равна нулю.

1	Краткое условие задачи	$T=0,15 \text{ с}$ $V_{\text{max}}=8 \text{ м/с}$ <hr/> $\varphi=0$ $A=?$ $S(t)-?$
---	------------------------	--

2	Формулы и законы, применимые к решению задачи	$V=A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t+\varphi+\frac{\pi}{2})$ $V_{\max}=A \cdot \omega$ $\omega=\frac{2\pi}{T}$ $S(t)=A \cdot \cos(\omega \cdot t+\varphi)$
3	Чертеж, рисунок, схема	
4	Решение задачи в общем виде	$V_{\max}=A \cdot \omega$ $A=\frac{V_{\max}}{\omega}=\frac{T \cdot V_{\max}}{2\pi}$ $S(t)=A \cdot \cos(\frac{2\pi}{T} \cdot t+\varphi)$
5	Вычисления	$A=\frac{0,15 \cdot 8}{2 \cdot 3,14}=0,19 \text{ (м)}$ $S(t)=0,19 \cdot \cos(\frac{2\pi}{0,15} \cdot t+0)$ $S(t)=0,19 \cdot \cos(0,3\pi \cdot t)$
6	Ответ	0,19 м; $S(t)=0,19 \cdot \cos(0,3\pi \cdot t)$

Задача №5. Найти кинетическую энергию вращательного движения всех молекул кислорода при температуре 300 К, если его масса равна 4 г.

1	Краткое условие задачи	<div style="text-align: right;">СЛ:</div> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">O₂</td> <td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">T=300 К</td> <td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">m=4 г</td> <td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px; vertical-align: middle;">4 · 10⁻³ кг</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\langle E_{\text{вр}} \rangle$-?</td> <td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> </table>	O ₂			T=300 К			m=4 г		4 · 10 ⁻³ кг	$\langle E_{\text{вр}} \rangle$ -?		
O ₂														
T=300 К														
m=4 г		4 · 10 ⁻³ кг												
$\langle E_{\text{вр}} \rangle$ -?														

2	Формулы и законы, применимые к решению задачи	$U = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot T$ $\langle E_{ep} \rangle = \frac{m}{M} \cdot \frac{i_{ep}}{2} \cdot R \cdot T$
3	Чертеж, рисунок, схема	
4	Решение задачи в общем виде	$i=5$ $i_{вр}=2$ $E_{ep} = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$
5	Вычисления	$E_{ep} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 300 = 312 \text{ (Дж)}$
6	Ответ	312 Дж

Задача №6. Какое количество теплоты нужно сообщить 1 кмоль кислорода, чтобы он совершил работу 1000 Дж при изотермическом процессе?

1	Краткое условие задачи	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> $\nu=1 \text{ кмоль}$ $A=1000 \text{ Дж}$ $T=\text{const}$ <hr style="width: 100%;"/> $Q=?$ </div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 10px;"> СЛ: 1000 моль </div> </div>
2	Формулы и законы, применимые к решению задачи	$dQ=dU+dA$ $T=\text{const}$
3	Чертеж, рисунок, схема	
4	Решение задачи в общем виде	$T=\text{const} \Rightarrow dU=0$ $dQ=dA$
5	Вычисления	$Q=A=1000 \text{ Дж}$
6	Ответ	1000 Дж

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Молярная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	V_{o_m}	$22,4 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Стефана - Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	\hbar	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Радиус Бора	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Комптоновская длина волны электрона	Λ	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23}$ А·м ²
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж (13,6эВ)
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,660 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

Таблица 2

Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение	Наименование	Значение
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м	Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг		

Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8$ м		
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг	Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3,84 \cdot 10^8$ м
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м		
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг		

Таблица 3

Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность кг/м ³	Твердое тело	Плотность кг/м ³	Твердое тело	Плотность кг/м ³
Алюминий	$2,70 \cdot 10^3$	Железо	$7,88 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Барий	$3,50 \cdot 10^3$	Литий	$0,53 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$	Медь	$8,93 \cdot 10^3$	Цезий	$1,90 \cdot 10^3$
Висмут	$9,80 \cdot 10^3$	Никель	$8,90 \cdot 10^3$	Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

Таблица 4

Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³	Жидкость	Плотность, кг/м ³
Вода (при 4 °С)	$1,00 \cdot 10^3$	Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	Спирт	$0,80 \cdot 10^3$
Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$		

Таблица 5

Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м ³	Газ	Плотность, кг/м ³
Водород	0,09	Гелий	0,18
Воздух	1,29	Кислород	1,43

Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей

Жидкость	Коэффициент, мН/м	Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	72	Ртуть	500
Мыльная вода	40	Спирт	22

Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м	Газ	Диаметр, м
Азот	$3,0 \cdot 10^{-10}$	Гелий	$1,9 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2,3 \cdot 10^{-10}$	Кислород	$2,7 \cdot 10^{-10}$

Литература

1. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие для технич. вузов / В.С. Волькенштейн. – М. – А.: Физматгиз, 2006. – 456 с.: ил.
2. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике: учеб. Пос. - 3-е изд., перераб. – М: Наука, 2007.-416 с.
3. Сборник задач по физике: учеб пособие/Л.Л. Баканин, В.Е. Беннучкин, С.М. Козел, И.П. Мазанько; под ред. С.М. Козела. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, 2000.- 352с.
4. Сборник задач по физике : учеб пособие для с/х вузов/Под ред. Р.И. Грабовского. – М.: Высш. шк., 2005. – 127 с.: ил.
5. Трофимова, Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями: Учеб. пособие для студ. вузов/Т.И. Трофимова, З.Г. Павлова. – М.: Высш. шк., 2005.- 591 с.: ил.

Ивкина Татьяна Юрьевна

Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: методические указания для практических занятий по дисциплине (модулю) и самостоятельной работы для обучающихся по направлениям подготовки: 20.03.02 «Природообустройство и водопользование», 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», 35.03.06 «Агроинженерия» [Электронный ресурс]: / Т.Ю. Ивкина; ФГБОУ ВПО ПГСХА. - Электрон. текст. дан. – Уссурийск: ПГСХА, 2015. – 85 с. - Режим доступа: www.de.primacad.ru.

Подписано в печать _____ Формат 60x84 1/16.

Бумага писчая. Печать офсетная. Уч.-изд.л. 4,6.

Тираж _____ экз. Заказ _____.

ФГОУ ВПО "Приморская государственная сельскохозяйственная академия".

692510. г. Уссурийск, пр. Блюхера, 44.

Участок оперативной полиграфии ФГОУ ВПО ПГСХА.

692508. г. Уссурийск, ул. Раздольная, 8.