

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**Л. В. РАБЧУК, М. Т. ХАТМУЛЛИНА**

**КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА»**

*Часть 1*

**МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**



**Уфа 2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Л. В. РАБЧУК, М. Т. ХАТМУЛЛИНА

## **КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА»**

В двух частях

*Допущено Редакционно-издательским советом УГАТУ  
в качестве практикума для студентов очной и заочной форм обучения  
по направлению подготовки 15.00.00 Физика*

*2-е издание, переработанное и дополненное*

*Часть 1*

**МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

Учебное электронное издание сетевого доступа

© УГАТУ

ISBN 978-5-4221-1496-2

ISBN 978-5-4221-1497-9 (Ч. 1)

Уфа 2021

*Рецензенты:*

*кафедра общей и теоретической физики Стерлитамакского филиала БашГУ  
канд. физ.-мат. наук З. А. Ягафарова;  
кафедра информационных технологий и компьютерной математики БашГУ  
канд. физ.-мат. наук В. И. Ткачев*

**Рабчук Л. В., Хатмуллина М. Т.**

Контрольно-измерительные материалы по дисциплине «Физика» :  
практикум : в 2 частях [Электронный ресурс]. – 2-е изд., перераб. и доп. /  
Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2021.

ISBN 978-5-4221-1496-2

**Часть 1.** Механика. Молекулярная физика и термодинамика /  
Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – URL: [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El\\_izd/2021-107.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2021-107.pdf)

ISBN 978-5-4221-1497-9

Содержит тестовые задания и задачи, на базе которых формируются контрольно-измерительные материалы для проверки освоения студентами раздела «Механика. Молекулярная физика и термодинамика» для двух- и трехсеместрового курсов изучения дисциплины «Физика».

Предназначен для аудиторной и внеаудиторной работы преподавателей и студентов технических университетов.

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Авторы: *Рабчук Людмила Васильевна*  
*Хатмуллина Маргарита Талгатовна*

Редактирование и верстка: *О. А. Соколова*  
Программирование и компьютерный дизайн: *М. В. Южакова*

Подписано к использованию: 30.07.2021  
Объем: 3 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.  
Тел.: +7-908-35-05-007  
e-mail: rik@ugatu.su

Все права на размножение, распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Нелегальное копирование, использование данного продукта запрещено.

## ВВЕДЕНИЕ

Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования предъявляют высокие требования к уровню фундаментальной подготовки студентов технических университетов, поскольку именно фундаментальные исследования обеспечивают темп развития производства, возникновение новых отраслей техники, средств измерений, контроля, моделирования, автоматизации.

В соответствии с этими стандартами, студенты в процессе изучения дисциплины «Физика» должны понять и усвоить физические законы и явления, овладеть основными теоретическими и экспериментальными методами физических исследований, быть способными на практике применять базовые знания, иметь представления о материалах и методах, используемых в современной технике, уметь самостоятельно приобретать новые знания в областях физики, актуальных для развития современных технологий.

Переход к новым учебным программам, разработанным в соответствии с требованиями ФГОС 3+, привел к изменению трудоемкости естественно-научных дисциплин, изучаемых в технических вузах. Перераспределены часы, выделенные на изучение дисциплины «Физика»: сокращено число часов на аудиторные занятия, но увеличено время, отведенное на самостоятельную работу студентов (СРС) и контролируемую работу студентов (КСР). В связи с этим, чтобы стать квалифицированными специалистами, студенты должны уметь заниматься самостоятельно.

Практикум представляет собой переработанный и существенно расширенный вариант изданного в 2014 году пособия «Контрольно-измерительные материалы по дисциплине «Физика» (авторы М. Т. Хатмуллина, Л. В. Рабчук, Э. В. Сагитова, В. Р. Строкина).

В практикуме представлены тестовые задания и задачи, на базе которых формируются контрольно-измерительные материалы для проверки усвоения студентами раздела «Механика. Молекулярная физика и термодинамика» для двух- и трехсеместрового курсов изучения дисциплины «Физика».

По темам «Кинематика поступательного и вращательного движения», «Динамика поступательного движения. Механическая энергия», «Динамика вращательного движения», «Механические колебания и волны», «Молекулярная физика» и «Термодинамика»

предложено по 100 тестовых заданий и 50 задач, по теме «Релятивистская механика» – 50 тестовых заданий и 25 задач.

Для облегчения самостоятельной работы студентов перед каждой темой приведены основные формулы. Содержание тестовых заданий и задач направлено на формирование у студентов знаний физических явлений, законов, формул, единиц измерения физических величин, умения применять законы для решения качественных и расчетных задач, графически представить физические явления и законы, анализировать их.

В практикуме приведены 36 вариантов индивидуальных заданий для самостоятельной работы студентов. Номера вариантов и темы заданий определяет преподаватель. К выполнению индивидуальных заданий рекомендуется приступать после изучения материала, соответствующего данному разделу программы.

Задания и контрольные работы выполняются в обычной школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения:

- Ф.И.О. студента,
- группа,
- номер варианта.

Для замечаний преподавателя в тетради оставляются поля. Условия задач переписываются полностью, без сокращений. Все величины, входящие в условие задачи, должны быть выражены в единицах одной системы (преимущественно СИ) и для наглядности выписаны столбиком.

Во всех случаях, когда это возможно, должен быть представлен чертеж, поясняющий задачу. Решение задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями. В решении должны быть указаны основные законы и формулы, на которых базируется решение тестового задания или задачи, даны словесные формулировки этих законов, разъяснен смысл символов, употребляемых в записи формул. Если при решении задачи применена формула, справедливая для частного случая, не выражающая какой-либо физической закон или не являющаяся определением физической величины, то она должна быть выведена.

Самостоятельная работа с практикумом поможет студентам освоить темы раздела «Механика. Молекулярная физика и термодинамика» дисциплины «Физика», подготовиться к зачету или экзамену, а также будет способствовать более глубокому изучению

данного раздела курса общей физики. Работа с практикумом позволит каждому студенту, при его желании, строить индивидуальную образовательную траекторию, ритмично работать в течение семестра, формировать способность к самообразованию, создать условия для развития интеллекта, обеспечить глубокую естественно-научную подготовку.

# 1. КИНЕМАТИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

## Основные формулы:

Радиус-вектор  $\vec{r}$ , определяющий положение материальной точки относительно заданной системы координат

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k},$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы (орты), совпадающие с положительными направлениями осей  $X, Y, Z$  соответственно.

Модуль радиус-вектора

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

Вектор перемещения материальной точки из точки 1 в точку 2

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \Delta r_x \vec{i} + \Delta r_y \vec{j} + \Delta r_z \vec{k} = \Delta x \vec{i} + \Delta y \vec{j} + \Delta z \vec{k}.$$

Модуль вектора перемещения

$$|\Delta\vec{r}| = \sqrt{\Delta r_x^2 + \Delta r_y^2 + \Delta r_z^2} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}.$$

Путь, пройденный телом, при прямолинейном движении без изменения направления движения

$$S = |\Delta\vec{r}|.$$

Мгновенная скорость  $\vec{v}$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k},$$

где  $v_x, v_y, v_z$  – проекции вектора мгновенной скорости на оси  $X, Y, Z$  соответственно.

Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории.

Модуль вектора мгновенной скорости

$$v = |\vec{v}| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}.$$

Вектор средней скорости  $\vec{v}_{cp}$  за промежуток времени  $\Delta t$

$$\vec{v}_{cp} = \langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t},$$

где  $\Delta\vec{r}$  – вектор перемещения.

Направление вектора средней скорости  $\vec{v}_{cp}$  совпадает с направлением вектора перемещения  $\Delta\vec{r}$ .

Средняя скорость неравномерного движения (средняя путевая скорость) за промежуток времени  $\Delta t$

$$v_{\text{cp}} = \langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

где  $\Delta S$  – путь, проходимый телом за промежуток времени  $\Delta t$ .

Мгновенное ускорение

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z}{dt} \vec{k} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}.$$

Модуль вектора мгновенного ускорения

$$a = \sqrt{\left(\frac{dv_x}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dv_y}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dv_z}{dt}\right)^2} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Среднее ускорение неравномерного движения

$$\vec{a}_{\text{cp}} = \langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t},$$

где  $\vec{v}_1$  – начальная скорость,  $\vec{v}_2$  – конечная скорость,  $\Delta t$  – промежуток времени, за который произошло это изменение скорости.

Вектор среднего ускорения  $\vec{a}_{\text{cp}}$  совпадает по направлению с вектором изменения скорости  $\Delta \vec{v}$ .

Для прямолинейного равномерного движения

$$v = \frac{S}{t} = \text{const}, \quad a = 0.$$

Скорость и ускорение прямолинейного движения

$$v = \frac{dS}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2}.$$

При прямолинейном движении путь, пройденный телом за время  $\Delta t$ , и скорость

$$S = \int_t^{t+\Delta t} v dt,$$

$$v = \int_t^{t+\Delta t} a dt.$$

Для прямолинейного равнопеременного движения

$$a = \text{const},$$

$$v = v_0 + at,$$

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

где  $a$  – ускорение точки,  $v_0$  – скорость точки в момент  $t = 0$ .

В уравнениях ускорение  $a$  положительно при равноускоренном движении и отрицательно при равнозамедленном.

При криволинейном движении полное ускорение материальной точки

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau,$$

где  $\vec{a}_n$  – нормальное (центростремительное) ускорение,  $\vec{a}_\tau$  – тангенциальное (касательное) ускорение.

Модуль полного ускорения

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}.$$

Тангенциальное ускорение

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

Нормальное ускорение

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

где  $v$  – скорость движения,  $R$  – радиус кривизны траектории в данной точке.

Вектор нормального ускорения  $\vec{a}_n$  всегда направлен к центру кривизны траектории. Вектор тангенциального ускорения  $\vec{a}_\tau$  сонаправлен с вектором мгновенной скорости  $\vec{v}$  при ускоренном движении и противоположен ей при замедленном движении.

Кинематические характеристики вращательного движения:

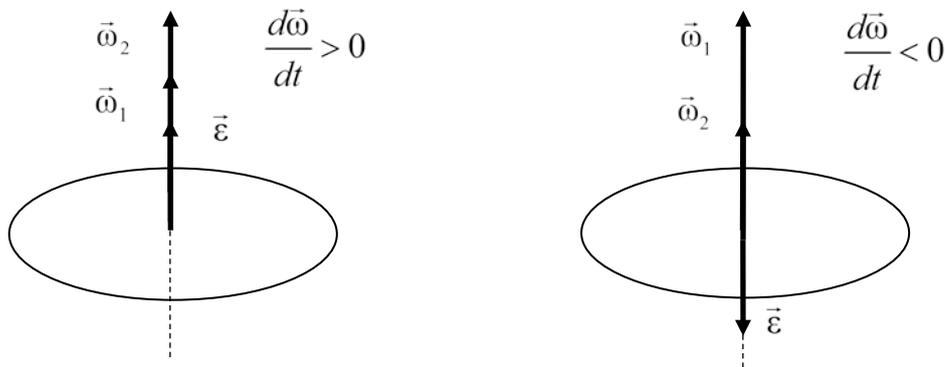
$$\varphi - \text{угол поворота,}$$

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} - \text{угловая скорость,}$$

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2} - \text{угловое ускорение.}$$

Вектор угловой скорости  $\vec{\omega}$  направлен по оси вращения в сторону, определяемую по правилу правого винта.

При ускоренном движении направление вектора  $\vec{\varepsilon}$  совпадает с  $\vec{\omega}$ . При замедленном движении эти вектора направлены противоположно.



При равномерном вращательном движении

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n,$$

где  $T$  – период вращения,  $n$  – частота вращения, т.е. число оборотов в единицу времени.

Угловая скорость и угол поворота

$$\omega = \int_0^t \varepsilon dt,$$

$$\varphi = \int_0^t \omega dt.$$

Для вращательного равнопеременного движения ( $\varepsilon = \text{const}$ )

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

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

где  $\omega_0$  – угловая скорость в момент времени  $t = 0$ ,  $\varepsilon$  – угловое ускорение.

Связь между линейными и угловыми величинами

$$S = R\varphi, \quad v = \omega R, \quad a_\tau = \varepsilon R, \quad a_n = \omega^2 R.$$

## Тестовые задания

### 1.1. Вектор скорости ...

- 1) является количественной мерой изменения положения материальной точки
- 2) всегда направлен по касательной к траектории в той точке, через которую проходит движущееся тело
- 3) всегда направлен вдоль вектора перемещения
- 4) всегда направлен вдоль вектора ускорения
- 5) направлен перпендикулярно радиус-вектору материальной точки

### 1.2. Вектор средней скорости материальной точки совпадает по направлению с ...

- 1) касательной к траектории
- 2) радиус-вектором, определяющим положение точки
- 3) вектором полного ускорения
- 4) вектором нормального ускорения
- 5) вектором перемещения

### 1.3. Материальная точка движется равномерно по окружности радиусом $R$ с периодом $T$ . Модуль вектора средней скорости за четверть оборота равен ...

- 1)  $\frac{2\pi R}{T}$       2)  $\frac{R\sqrt{2}}{T}R$       3)  $\frac{4R\sqrt{2}}{T}$       4)  $\frac{\pi R}{T}$       5)  $\frac{2R}{T}$

### 1.4. Два автомобиля движутся по прямому шоссе навстречу друг другу, скорость второго автомобиля в 3 раза больше первого. Скорость второго автомобиля относительно первого равна ...

- 1)  $2\vec{v}$       2)  $-2\vec{v}$       3)  $4\vec{v}$       4)  $-4\vec{v}$       5)  $3\vec{v}$

### 1.5. Материальная точка движется равномерно по окружности со скоростью $v$ . Модуль изменения вектора скорости за время, равное половине периода $T$ , равен ...

- 1) 0      2)  $\frac{1}{2}v$       3)  $v$       4)  $\sqrt{2}v$       5)  $2v$

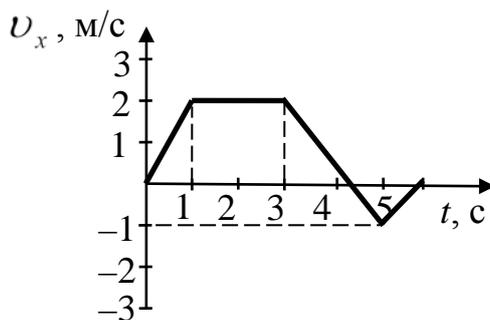
**1.6.** Материальная точка движется равномерно по окружности радиусом  $R$  со скоростью  $v$ . Модуль изменения вектора скорости за время, равное  $1/4$  периода  $T$ , равен ...

- 1) 0                      2)  $\frac{1}{2}v$                       3)  $v$                       4)  $\sqrt{2}v$                       5)  $2v$

**1.7.** Материальная точка движется равномерно по окружности радиусом  $R$  со скоростью  $v$ . Модуль изменения вектора ускорения за время, равное половине периода  $T$ , равен ...

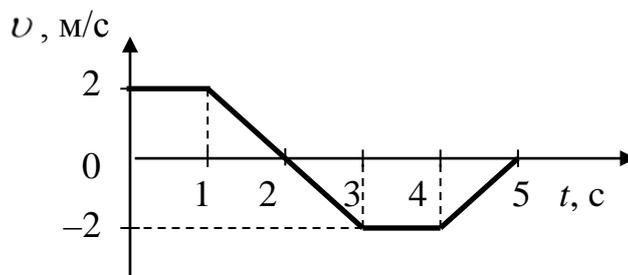
- 1)  $\frac{2v^2}{R}$                       2) 0                      3)  $\frac{v^2}{2R}$                       4)  $\frac{v^2}{R}$                       5)  $\frac{\sqrt{2}v^2}{R}$

**1.8.** Зависимость проекции скорости движения материальной точки по прямой от времени дана на рисунке. Перемещение материальной точки за первые 5 с движения, равно ... м.



- 1) 6                      2) 5,5                      3) 7                      4) 5                      5) 8

**1.9.** Зависимость скорости движения материальной точки по прямой от времени дана на рисунке. Среднее значение модуля скорости движения материальной точки в интервале времени  $t$  от 0 до 5 с равно ... м/с.



- 1) 1,5                      2) 0,25                      3) 2,5                      4) 0,2                      5) 1,4

**1.10.** Поезд движется на подъеме со скоростью  $v$ , а на спуске со скоростью  $2v$ . Средняя скорость поезда на всем пути, если длина спуска равна длине подъема, определяется формулой ...

- 1)  $3v$                       2)  $\frac{1}{3}v$                       3)  $\frac{3}{4}v$                       4)  $\frac{4}{3}v$                       5)  $\frac{3}{2}v$

**1.11.** Зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением  $S = At + Bt^2$  ( $A = 2$  м/с,  $B = 1$  м/с<sup>2</sup>). Средняя скорость тела за вторую секунду его движения равна ... м/с.

- 1) 11                      2) 5                      3) 5,5                      4) 6                      5) 7

**1.12.** Радиус-вектор частицы определяется выражением  $\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt^2\vec{j} + C\vec{k}$  ( $A = 3$  м/с<sup>2</sup>,  $B = 4$  м/с<sup>2</sup>,  $C = 7$  м). Путь, пройденный частицей за первые 2 с движения, равен ... м.

- 1) 15                      2) 20                      3) 21                      4) 35                      5) 42

**1.13.** Частица движется со скоростью  $\vec{v} = 2t\vec{i} + 3t\vec{j} + 4t\vec{k}$ , м/с. Путь, пройденный частицей за первые три секунды, равен ... м.

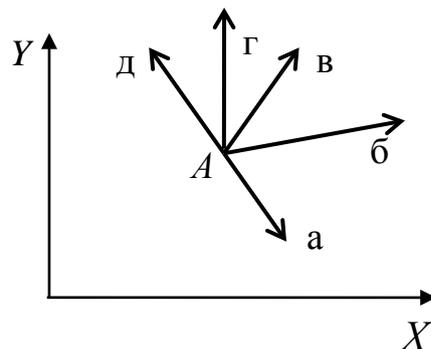
- 1) 13,5                      2) 5,38                      3) 24,3                      4) 24                      5) 9

**1.14.** Материальная точка движется так, что радиус-вектор меняется со временем по закону  $\vec{r} = 5t^2\vec{i} + 6t^2\vec{j} + 8t\vec{k}$ , м. Скорость точки  $\vec{v}$  определяется выражением ...

- 1)  $v = \sqrt{100t^2 + 144t^2 + 64}$   
 2)  $\vec{v} = 5t\vec{i} + 6t\vec{j} + 8\vec{k}$   
 3)  $\vec{v} = 10t\vec{i} + 12t\vec{j} + 8\vec{k}$   
 4)  $\vec{v} = 5t^3\vec{i} + 2t^3\vec{j} + 4t^2\vec{k}$   
 5)  $\vec{v} = \sqrt{25t^2 + 36t^2 + 64}$

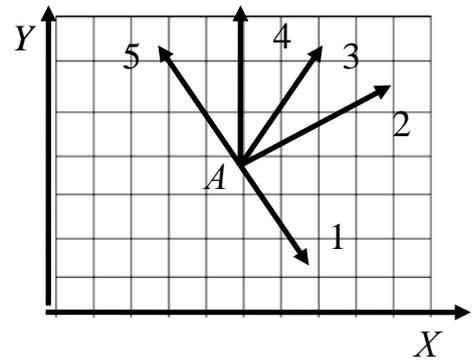
**1.15.** Радиус-вектор частицы изменяется со временем по закону  $\vec{r} = -2t\vec{i} + 3t^2\vec{j}$ . В момент времени  $t = 1$  с частица оказалась в точке  $A$ . Скорость частицы в этот момент времени имеет направление ...

- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г                      5) д



**1.16.** Радиус-вектор частицы изменяется со временем по закону  $\vec{r} = 2t\vec{i} - 0,5t^5\vec{j}$ , м. В момент времени  $t = 1$  с частица оказалась в точке  $A$ . Скорость частицы в этот момент времени имеет направление ...

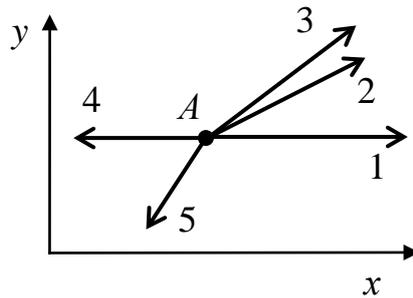
- 1) 1      2) 2      3) 3      4) 4      5) 5



**1.17.** Радиус вектор точки изменяется со временем по закону  $\vec{r} = 2t^3\vec{i} + t^2\vec{j} + \vec{k}$ , м. Скорость  $v$  точки в момент  $t = 2$  с по модулю равна ... м/с.

- 1) 12,2      2) 24,1      3) 24,3      4) 26      5) 5

**1.18.** Радиус-вектор частицы изменяется со временем по закону  $\vec{r} = 2t^2\vec{i} + 2t\vec{j}$ . В момент времени  $t = 1$  с частица оказалась в некоторой точке  $A$ . Ускорение частицы в этот момент времени имеет направление ...



- 1) 1      2) 2      3) 3      4) 4      5) 5

**1.19.** Материальная точка движется согласно уравнению  $\vec{r} = 4t^3\vec{i} + 3t\vec{j} + 1\vec{k}$ , м. Ускорение точки  $a$  в момент времени  $t = 2$  с равно ... м/с<sup>2</sup>.

- 1) 48      2) 24      3) 5      4) 2      5) 0

**1.20.** Из точек  $A$  и  $B$  навстречу друг другу движутся два тела. Уравнения движения тел имеют вид:  $x_1 = At + Bt^2$  ( $A = 2$  м/с,  $B = 2,5$  м/с<sup>2</sup>) и  $x_2 = C - Dt$  ( $C = 300$  м,  $D = 3$  м/с). Тела встретятся через время ... с после начала движения.

- 1) 5      2) 11,2      3) 10      4) 7,8      5) 5,6

**1.21.** Материальная точка движется вдоль оси  $OX$ . Если движение материальной точки описывается уравнением  $x = A + Bt + Ct^2$ , где  $A = 3$  м,  $B = -4$  м/с,  $C = 1$  м/с<sup>2</sup>, то ее скорость через  $t = 5$  с равна ... м/с.

- 1) 5                      2) 9                      3) 10                      4) 46                      5) 18

**1.22.** Материальная точка движется вдоль оси  $OX$  по закону  $x = A + Bt + Ct^2$ , где  $A = 5$  м,  $B = 4$  м/с,  $C = -2$  м/с<sup>2</sup>. Координата, в которой материальная точка остановится, равна ... м.

- 1) 5                      2) 10                      3) 7                      4) -10                      5) -5

**1.23.** Две материальные точки движутся согласно уравнениям:  $x_1 = A_1t + B_1t^2 + C_1t^3$ , где  $A_1 = 4$  м/с,  $B_1 = 8$  м/с<sup>2</sup>,  $C_1 = -16$  м/с<sup>3</sup>;  $x_2 = A_2t + B_2t^2 + C_2t^3$ , где  $A_2 = 2$  м/с,  $B_2 = -4$  м/с<sup>2</sup>,  $C_2 = 1$  м/с<sup>3</sup>. Их ускорения равны в момент времени ... с.

- 1) 0,941                      2) 0,542                      3) 0,653                      4) 0,235                      5) 0,824

**1.24.** Две материальные точки движутся согласно уравнениям:  $x_1 = A_1t + B_1t^2 + C_1t^3$ , где  $A_1 = 4$  м/с,  $B_1 = 8$  м/с<sup>2</sup>,  $C_1 = -16$  м/с<sup>3</sup>;  $x_2 = A_2t + B_2t^2 + C_2t^3$ , где  $A_2 = 2$  м/с,  $B_2 = -4$  м/с<sup>2</sup>,  $C_2 = 1$  м/с<sup>3</sup>. В момент времени, когда ускорения этих тел будут одинаковы, скорости тел будут равны ... м/с.

- 1) 0,5; -0,5                      2) 0,5; 6,75                      3) 6,75; -6,75  
4) 2,81; 3,19                      5) 5,1; 0,29

**1.25.** Материальная точка движется согласно уравнению  $x = At + Bt^2 + Ct^3$ , где  $A = 4$  м/с,  $B = 8$  м/с<sup>2</sup>,  $C = -2$  м/с<sup>3</sup>. Ускорение точки определяется выражением ...

- 1)  $a = 16 - 12t$                       2)  $a = 4 + 16t - 6t^2$                       3)  $a = 16t - 12t^2$   
4)  $a = 4 + 16t$                       5)  $a = 4 - 6t^2$

**1.26.** Материальная точка движется по прямой траектории. Уравнение ее движения  $S = At^4 + Bt^2$ , где  $A = 1$  м/с<sup>4</sup>,  $B = 2$  м/с<sup>2</sup>. Путь  $S$ , пройденный точкой за вторую секунду движения, равен ... м.

- 1) 3                      2) 18                      3) 21                      4) 24                      5) 34

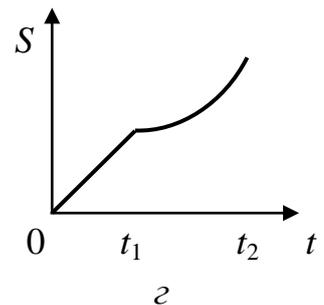
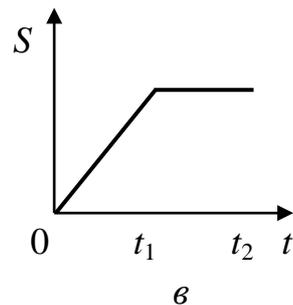
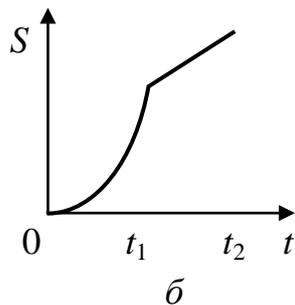
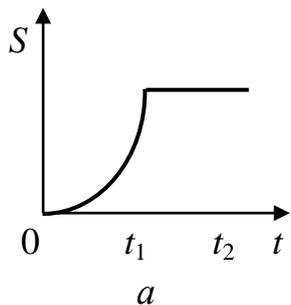
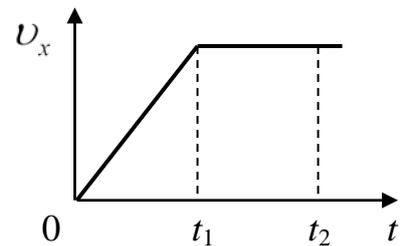
**1.27.** Три четверти своего пути автомобиль проехал со скоростью  $v_1 = 60$  км/ч, остальную часть пути – со скоростью  $v_2 = 80$  км/ч. Средняя путевая скорость автомобиля  $v_{cp}$  равна ... км/ч.

- 1) 68                      2) 78                      3) 70                      4) 76                      5) 64

**1.28.** Зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением  $S = At + Bt^2$ ,  $A = 2$  м/с,  $B = 1$  м/с<sup>2</sup>. Средняя скорость  $v_{cp}$  тела за вторую секунду его движения равна ... м/с.

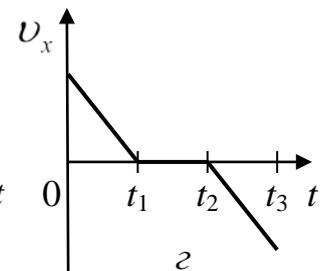
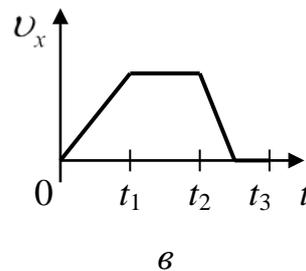
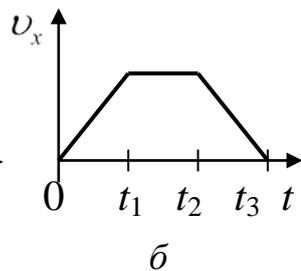
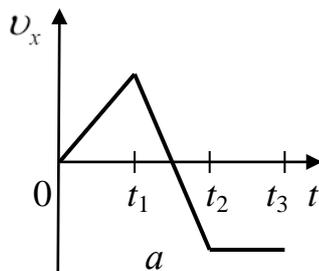
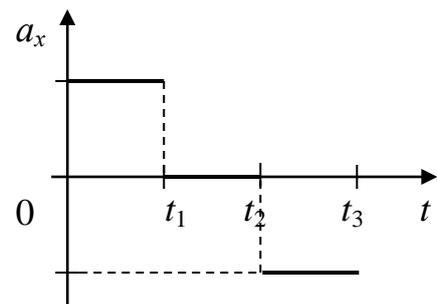
- 1) 11                      2) 5                      3) 5,5                      4) 6                      5) 7

**1.29.** На рисунке приведен график зависимости скорости тела от времени. Зависимость пути, пройденного телом от времени представлена на графике ...



- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г

**1.30.** На рисунке приведен график зависимости ускорения тела  $a_x$  от времени. График зависимости скорости тела  $v_x$  от времени имеет вид ...



- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г

**1.31.** Через  $\Delta t = 40$  с после отхода теплохода вдогонку за ним от той же пристани отправился глассер с постоянным ускорением  $a = 0,5 \text{ м/с}^2$ . Если теплоход двигался равномерно со скоростью  $v = 18 \text{ км/ч}$ , то глассер догонит теплоход, находясь в пути в течение ... с.

- 1) 20                      2) 30                      3) 40                      4) 50                      5) 60

**1.32.** Тело начинает двигаться из состояния покоя с постоянным ускорением  $a = 2 \text{ см/с}^2$ . За третью секунду своего движения оно пройдет путь  $S$  ... см.

- 1) 9                      2) 2                      3) 3                      4) 4                      5) 5

**1.33.** По наклонной плоскости пустили катиться снизу-вверх шарик. На расстоянии  $l = 30$  см от начального положения шарик побывал дважды: через  $t_1 = 1$  с и через  $t_2 = 3$  с после начала движения. Если движение шарика считать прямолинейным и равноускоренным, то он смог откатиться вверх на максимальное расстояние ... см.

- 1) 10                      2) 20                      3) 30                      4) 40                      5) 50

**1.34.** Материальная точка начинает двигаться вдоль прямой так, что ее ускорение прямо пропорционально квадрату времени ( $a = kt^2$ , где  $k$  – известная постоянная). Путь, пройденный телом, зависит от времени как ...

1) от времени не зависит

- 2)  $S = 2kt$                       3)  $S = \frac{kt^4}{2}$                       4)  $S = \frac{kt^4}{12}$                       5)  $S = \frac{kt^3}{2}$

**1.35.** От движущегося поезда отцепляют последний вагон, который вследствие трения останавливается, а поезд продолжает двигаться с прежней скоростью  $v_0$ . Отношение путей, пройденных поездом и вагоном в момент остановки вагона, равно ...

- 1) 2                      2) 4                      3) 1                      4) 0,5                      5) 0,1

**1.36.** Вертолет поднимается вертикально вверх со скоростью  $v = 10 \text{ м/с}$ . На высоте  $h = 100$  м из него выбрасывается вверх предмет со скоростью  $u = 2 \text{ м/с}$  относительно вертолета. Предмет упадет на землю через ... с. ( $g = 10 \text{ м/с}^2$ )

- 1) 4,5                      2) 5,3                      3) 5,6                      4) 5,8                      5) 6,0

**1.37.** Из одной и той же точки с интервалом  $\Delta t = 2$  с брошены вертикально вверх два шарика с одинаковыми скоростями  $v_0 = 30$  м/с. Они столкнутся через время  $t \dots$  с после броска первого шарика. ( $g = 10$  м/с<sup>2</sup>)

- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4                      5) 5

**1.38.** Камень падает с высоты  $h = 1200$  м. За последнюю секунду своего падения камень прошел путь  $S$ , равный  $\dots$  м. ( $g = 10$  м/с<sup>2</sup>)

- 1) 1050                  2) 150                    3) 300                    4) 450                    5) 600

**1.39.** Камень падает с высоты  $h = 200$  м. Последний метр своего пути камень проходит за время  $t \dots$  с.

- 1) 6,32                  2) 5,88                  3) 0,45                    4) 0,19                    5) 0,016

**1.40.** Если  $\vec{a}_\tau$  и  $\vec{a}_n$  – тангенциальная и нормальная составляющие ускорения, то для прямолинейного равнопеременного, равномерного криволинейного и прямолинейного равномерного движения выполняются соответственно соотношения  $\dots$

А.  $a_\tau = 0$  и  $a_n = 0$

Б.  $a_\tau = 0$  и  $a_n = \text{const}$

В.  $a_\tau = \text{const}$  и  $a_n = 0$

Г.  $a_\tau = 0$  и  $a_n \neq \text{const}$

Д.  $a_\tau \neq \text{const}$  и  $a_n = 0$

- 1) В; Д; А              2) Д; В; Б              3) В; Г; А              4) Д; Б; А              5) Г; В; Б

**1.41.** Если  $\vec{a}_\tau$  и  $\vec{a}_n$  – тангенциальная и нормальная составляющие ускорения, то соотношения  $a_\tau = a = \text{const}$ , а  $a_n = 0$  справедливы для  $\dots$

1) равномерного криволинейного движения

2) равномерного движения по окружности

3) прямолинейного равномерного движения

4) прямолинейного равноускоренного движения

5) движения с переменным ускорением

**1.42.** Мяч брошен под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. Скорость  $v$  мяча через  $t = 0,2$  с после броска равна ... м/с.

- 1) 2                      2) 8,4                      3) 8,7                      4) 9,0                      5) 12,5

**1.43.** Камень брошен с башни в горизонтальном направлении. Через  $t = 3$  с вектор скорости камня составил угол в  $\alpha = 45^\circ$  с горизонтом. Начальная скорость  $v_0$  камня равна ... м/с.

- 1) 10                      2) 15                      3) 3                      4) 20                      5) 30

**1.44.** С вышки бросили камень в горизонтальном направлении. Через  $t = 2$  с камень упал на землю на расстоянии  $L = 40$  м от основания вышки. Конечная скорость  $v$  камня равна ... м/с.

- 1) 20                      2) 28,3                      3) 23                      4) 40                      5) 17,3

**1.45.** Расстояние между двумя бумажными дисками  $l = 30$  см. Диски насажены на общую горизонтальную ось и вращаются с частотой  $n = 25$  об/с. Пуля, летящая горизонтально на расстоянии  $r = 12$  см от оси, пробивает оба диска, причем пробоина во втором диске смещена по сравнению с пробойной на первом диске на  $\Delta r = 5$  см (по дуге окружности). Средняя скорость пули в промежутке между дисками равна ... м/с.

- 1) 500                      2) 250                      3) 113                      4) 105                      5) 65

**1.46.** Тело брошено с земли с начальной скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Высота подъема тела в момент времени  $t$  определяется выражением ...

- 1)  $h = v_0 \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$                       2)  $h = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$                       3)  $h = v_0 \cos \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$   
4)  $h = v_0 \cos \alpha - \frac{gt^2}{2}$                       5)  $h = v_0 \sin \alpha \cdot t$

**1.47.** Тело брошено с начальной скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Время  $t$  достижения телом верхней точки траектории определяется выражением ...

- 1)  $\frac{v_0 \sin \alpha}{2g}$                       2)  $\frac{v_0 \sin \alpha}{g}$                       3)  $\frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$                       4)  $\frac{v_0 \cos \alpha}{g}$                       5)  $\frac{v_0}{2g}$

**1.48.** Тело брошено под углом  $\alpha$  к горизонту. Чтобы максимальная высота подъема тела была равна дальности полета, угол  $\alpha$  должен быть равен ... град.

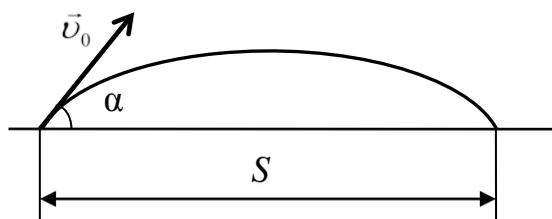
- 1) 30                      2) 60                      3) 45                      4) 76                      5) 84

**1.49.** Камень, брошенный под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту, находился в полете  $t = 2$  с. Скорость  $v$ , с которой камень упал на землю, равна ... м/с.

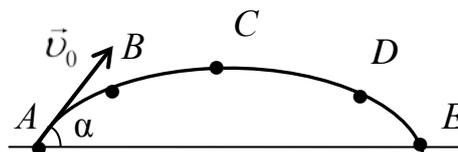
- 1) 10                      2) 20                      3) 15                      4) 5                      5) 1

**1.50.** Два тела брошены под одним и тем же углом к горизонту с начальными скоростями  $v_0$  и  $3v_0$ . Если сопротивлением воздуха пренебречь, то соотношение дальностей полета  $S_2 / S_1$  равно ...

- 1)  $\sqrt{3}$                       2) 3                      3)  $3\sqrt{3}$                       4) 9                      5) 27

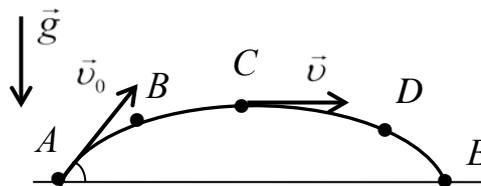


**1.51.** Камень бросили под углом к горизонту со скоростью  $v_0$ . Его траектория в однородном поле силы тяжести изображена на рисунке. Модуль нормального  $a_n$  и тангенциального  $a_\tau$  ускорения на участке  $A-B-C$  соответственно ...



- 1) увеличивается; увеличивается
- 2) уменьшается; уменьшается
- 3) увеличивается; уменьшается
- 4) уменьшается; увеличивается
- 5) уменьшается; не изменяется

**1.52.** Камень бросили под углом к горизонту со скоростью  $v_0$ . Его траектория в поле силы тяжести изображена на рисунке. Модуль полного ускорения камня ...



- 1) максимален в точках  $A$  и  $E$

- 2) максимален в точках  $B$  и  $D$
- 3) во всех точках одинаков
- 4) максимален в точке  $C$

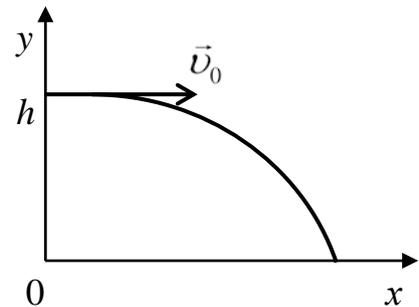
**1.53.** Тело брошено под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . В момент максимального подъема тела тангенциальное ускорение равно ...

- 1)  $\frac{v_0 \cos \alpha}{g}$
- 2)  $\frac{v_0^2}{g}$
- 3)  $\frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$
- 4)  $\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$
- 5) 0

**1.54.** Тело брошено под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . В момент максимального подъема тела центростремительное ускорение равно ...

- 1)  $g \cos \alpha$
- 2)  $g \sin \alpha$
- 3)  $g$
- 4)  $0,5g$
- 5) 0

**1.55.** Тело брошено с высоты  $h$  с горизонтальной скоростью  $v_0$ . Уравнение траектории тела в системе отсчета, показанной на рисунке, имеет вид  $y = 40 - 0,1x^2$ . Радиус кривизны траектории в начальной точке равен ... м.



- 1) 40
- 2) 20
- 3) 5
- 4) 2,5
- 5) 1

**1.56.** Тело брошено под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . В момент максимального подъема тела радиус кривизны траектории равен ...

- 1) 0
- 2)  $\frac{v_0 \cos \alpha}{g}$
- 3)  $\frac{v_0^2}{g}$
- 4)  $\frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$
- 5)  $\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$

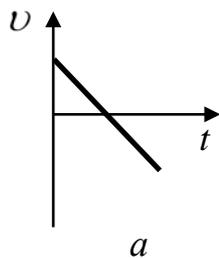
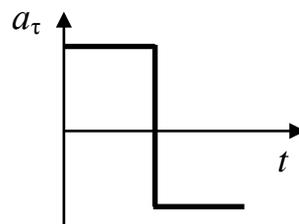
**1.57.** Тело брошено под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . В тот момент, когда скорость тела становится равной  $v$ , радиус кривизны траектории определяется выражением ...

- 1)  $\frac{v^3}{g v_0 \cos \alpha}$
- 2)  $\frac{v^3}{g v_0 \sin \alpha}$
- 3)  $\frac{g v^2}{v_0 \sin \alpha}$
- 4)  $\frac{v^2}{v_0 \cos \alpha}$
- 5)  $\frac{v}{g v_0 \sin \alpha}$

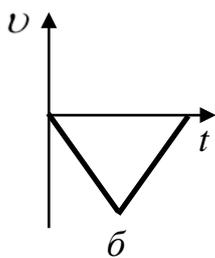
**1.58.** Скорость камня в точке его падения составила с горизонтом угол  $\alpha$ . Нормальное ускорение камня в момент падения равно ...

- 1)  $g$             2)  $g \cos \alpha$             3)  $g \sin \alpha$             4)  $g \operatorname{tg} \alpha$             5)  $g \operatorname{ctg} \alpha$

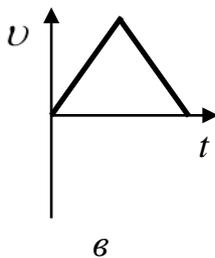
**1.59.** Тангенциальное ускорение точки меняется согласно графику. Такому движению может соответствовать зависимость скорости от времени ...



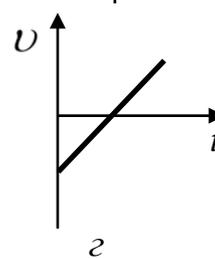
*a*



*б*



*в*



*г*

- 1) *a*                                    2) *б*                                    3) *в*                                    4) *г*

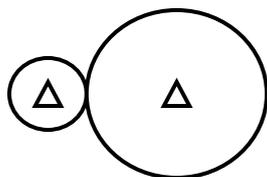
**1.60.** Равномерно двигаясь по окружности, тело проходит путь  $l$  за время  $t$ , а вектор его скорости поворачивается на угол  $\alpha$ . Модуль вектора ускорения тела равен ...

- 1)  $\frac{l}{\alpha t^2}$             2)  $\frac{\alpha l}{t^2}$             3)  $\frac{2l}{t^2}$             4)  $\frac{\alpha l}{t}$             5)  $\frac{l}{t^2}$

**1.61.** Две стрелки движутся по циферблату в одном направлении. Период вращения первой составляет  $T_1 = 240$  с, а второй  $T_2 = 30$  с. За время между двумя последовательными совпадениями стрелок первая стрелка успевает повернуться на угол ... град.

- 1) 48            2) 51            3) 54            4) 57            5) 60

**1.62.** Две шестерни, сцепленные друг с другом, вращаются вокруг неподвижных осей так, как показано на рисунке. Большая шестерня радиусом  $R_1 = 20$  см делает  $N = 20$  оборотов за  $t = 10$  с. Период обращения  $T$  шестерни радиусом  $R_2 = 8$  см равен ... с.



- 1) 0,2            2) 2            3) 3,2            4) 4            5) 8

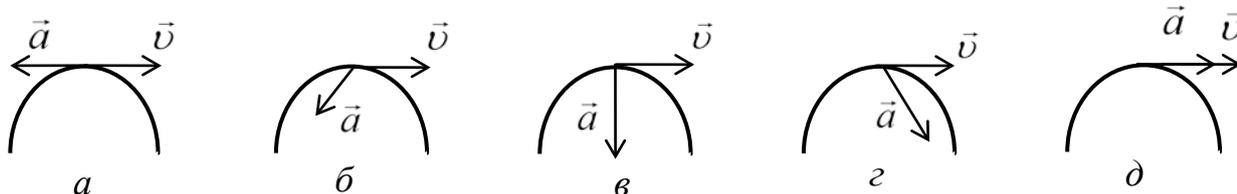
**1.63.** Маховое колесо вращается с угловой скоростью  $\omega = 10$  рад/с. Если модуль линейной скорости некоторой точки маховика равен  $v_1 = 2$  м/с, то модуль линейной скорости точки  $v_2$ , находящейся дальше от оси маховика на  $l = 0,1$  м, равен ... м/с.

- 1) 2                      2) 3                      3) 9                      4) 10                      5) 20

**1.64.** Материальная точка движется по окружности с постоянной по величине скоростью. Линейную скорость точки увеличили в 2 раза и период обращения увеличили в 2 раза. При этом центростремительное ускорение точки ...

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

**1.65.** Материальная точка движется замедленно по криволинейной траектории. Направление скорости показано на рисунке. Направление векторов полного и тангенциального ускорений правильно изображено на рисунках соответственно ...



- 1) в; г                      2) а; б                      3) б; а                      4) а; в                      5) г; а

**1.66.** Материальная точка  $M$  движется по окружности со скоростью  $v$ . На рис. 1 показан график зависимости скорости  $v_\tau$  от времени. На рис. 2 укажите направление вектора полного ускорения в точке  $M$  в момент времени  $t_3$ .

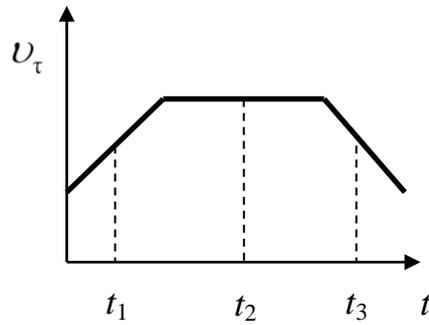


Рис. 1

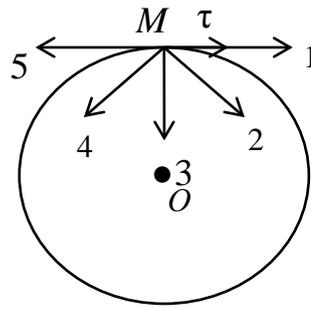
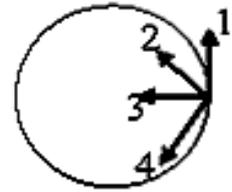


Рис. 2

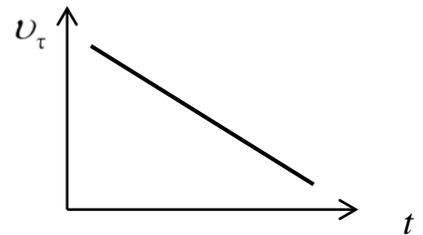
- 1) 5                      2) 1                      3) 2                      4) 3                      5) 4

**1.67.** При равнозамедленном движении материальной точки по окружности по часовой стрелке вектор ее полного ускорения  $a$  имеет направление, указанное на рисунке цифрой ...



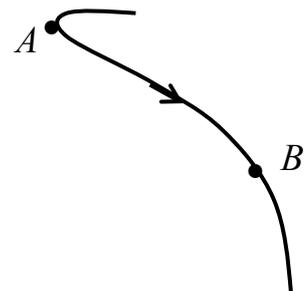
- 1) 1            2) 2            3) 3            4) 4            5) равен нулю

**1.68.** Материальная точка движется по окружности со скоростью  $v$ . На рисунке показан график зависимости проекции скорости  $v_\tau$  от времени ( $\tau$  – единичный вектор положительного направления,  $v_\tau$  – проекция  $v$  на это направление). При этом движении для нормального  $a_n$  и тангенциального  $a_\tau$  ускорений выполняются условия ...



- 1)  $a_n$  уменьшается,  $a_\tau$  постоянно
- 2)  $a_n$  постоянно,  $a_\tau$  постоянно
- 3)  $a_n$  уменьшается,  $a_\tau$  уменьшается
- 4)  $a_n$  постоянно,  $a_\tau$  уменьшается
- 5)  $a_n$  уменьшается,  $a_\tau$  равно нулю

**1.69.** Тело движется с постоянным нормальным ускорением по изображенной на рисунке траектории. Для скоростей тела  $v_A$  в точке  $A$  и  $v_B$  в точке  $B$  справедливо соотношение ...



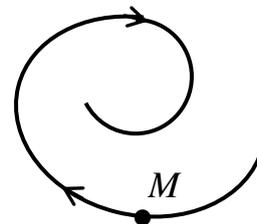
- 1)  $v_A = v_B = 0$
- 2)  $v_A > v_B$
- 3)  $v_A = v_B \neq 0$
- 4)  $v_A < v_B$
- 5)  $v_A > v_B = 0$

**1.70.** Тело движется с постоянным нормальным ускорением по траектории, изображенной на рисунке. При движении в направлении, указанном стрелкой, величина скорости  $v$  тела ...



- 1) не изменяется                      2) увеличивается                      3) уменьшается

**1.71.** Точка  $M$  движется по спирали с постоянной по величине скоростью в направлении, указанном стрелками. Полное ускорение  $a$  при таком движении ...



- 1) уменьшается  
2) не изменяется  
3) увеличивается

**1.72.** На вал радиуса  $R = 10$  см намотана нить, к концу которой привязана гиря. Опускаясь равноускоренно, гиря прошла расстояние  $S = 5$  см за  $t = 2$  с. Тангенциальное ускорение  $a_t$  точки, лежащей на поверхности вала, равно ... см/с<sup>2</sup>.

- 1) 25                      2) 0,5                      3) 5                      4) 2,5                      5) 3,5

**1.73.** Шкив радиусом  $R$  вращается под действием груза, подвешенного на нити. Ускорение груза  $a$ . В момент, когда груз прошел расстояние  $S$ , полное ускорение произвольной точки на ободе шкива определяется выражением ...

- 1)  $\sqrt{a^2 + \frac{4a^2 S^2}{R^2}}$                       2)  $\sqrt{\frac{a^2 + 2a^2 S^2}{R^2}}$                       3)  $a + \frac{2aS}{R}$   
4)  $a - \frac{2aS}{R}$                       5)  $\frac{2aS}{R}$

**1.74.** Точка движется по окружности радиусом  $R = 4$  м по закону  $S = A - Bt^2$ , где  $A = 8$  м,  $B = 2$  м/с<sup>2</sup>. Ее нормальное ускорение будет равно  $a_n = 9$  м/с<sup>2</sup> в момент времени ... с.

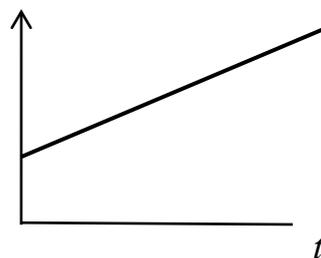
- 1) 0,5                      2) 1,0                      3) 1,5                      4) 2,0                      5) 2,5

**1.75.** Точка движется по окружности радиусом  $R = 2$  м согласно уравнению  $l = At^3$ ,  $A = 2$  м/с<sup>3</sup>,  $l$  – длина дуги от начала движения.

Нормальное ускорение равно тангенциальному в момент времени ... с.

- 1) 2                    2) 0,874                    3) 0,760                    4) 0,667                    5) 0,3

**1.76.** Угловая скорость  $\omega$  движущейся по окружности точки изменяется так, как показано на рисунке. Угол между векторами скорости  $\omega$  и ускорения  $\varepsilon$  со временем ...



- 1) увеличивается  
2) уменьшается  
3) не изменяется

**1.77.** Движение точки по окружности описывается уравнением  $S = At^3$ , где  $A = 2 \text{ м/с}^3$ . Угол между векторами полного и тангенциального ускорения со временем ...

- 1) увеличивается                    2) уменьшается                    3) не изменяется

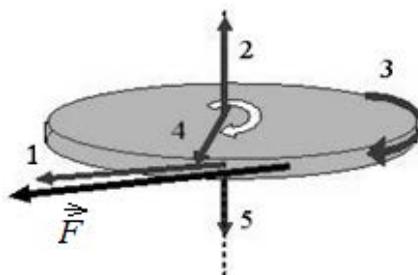
**1.78.** Две материальные точки начинают двигаться по окружности из одной начальной точки: первая с угловым ускорением  $\varepsilon_1 = 0,10 \text{ рад/с}^2$ , вторая – с угловым ускорением  $\varepsilon_2 = 0,15 \text{ рад/с}^2$ . Впервые после начала движения они встретятся через ... с.

- 1) 0,2                    2) 31,7                    3) 47,5                    4) 15,8                    5) 75,0

**1.79.** Частица движется вдоль окружности радиусом  $R = 1 \text{ м}$  в соответствии с уравнением  $\varphi(t) = 2\pi(t^2 - 6t + 12)$ , где  $\varphi$  – в радианах,  $t$  – в секундах. Скорость частицы будет равна нулю в момент времени, равный ... с.

- 1) 1                    2) 2                    3) 2,5                    4) 3                    5) 4

**1.80.** Колесо вращается так, как показано на рисунке белой стрелкой. К ободу колеса приложена сила  $F$ , направленная по касательной. Правильно изображает направление угловой скорости колеса вектор ...



1) 5

2) 4

3) 1

4) 3

5) 2

**1.81.** Материальная точка движется равнозамедленно по окружности, лежащей в вертикальной плоскости, по часовой стрелке. Вектора угловой скорости и углового ускорения направлены соответственно ...

1) к нам; от нас

2) по касательной к траектории; к нам

3) к нам; по радиусу от центра

4) от нас; по касательной к траектории

5) от нас; к нам

**1.82.** Материальная точка движется равноускоренно по окружности, лежащей в горизонтальной плоскости, по часовой стрелке. Если смотреть сверху, то вектор угловой скорости  $\vec{\omega}$  направлен ...

1) по касательной

2) вдоль радиуса окружности

3) вниз по оси вращения

4) вверх по оси вращения

5) среди ответов 1–4 нет верного

**1.83.** Материальная точка движется равнозамедленно по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки. Если смотреть сверху, то вектор угловой скорости  $\vec{\omega}$  направлен по ...

1) касательной к окружности

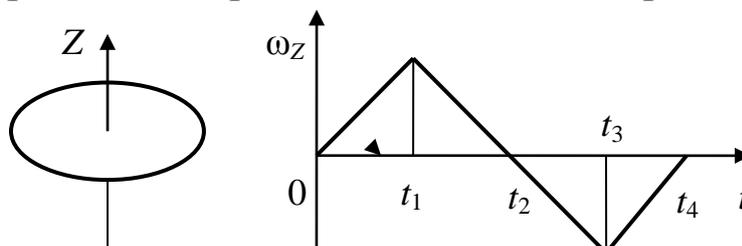
2) радиусу окружности

3) оси вращения вверх

4) оси вращения вниз

5) направлению угловой скорости

**1.84.** Диск вращается вокруг своей оси, изменяя проекцию своей угловой скорости  $\omega_z(t)$  так, как показано на рисунке. Вектор углового ускорения  $\vec{\epsilon}$  направлен по оси  $Z$  в интервале времени ...



- 1) от 0 до  $t_1$  и от  $t_3$  до  $t_4$
- 2) от  $t_1$  до  $t_2$  и от  $t_3$  до  $t_4$
- 3) от 0 до  $t_1$  и от  $t_1$  до  $t_2$
- 4) от  $t_2$  до  $t_3$  и от  $t_3$  до  $t_4$
- 5) от  $t_1$  до  $t_2$  и от  $t_2$  до  $t_3$

**1.85.** Закон изменения угла поворота  $\varphi$  со временем имеет вид  $\varphi = 3t^3 + 5t^2 + 7$ , рад. Угловая скорость  $\omega$  и угловое ускорение  $\varepsilon$  в момент времени  $t = 2$  с соответственно равны ... рад/с и ... рад/с<sup>2</sup>

- 1) 19; 56      2) 56; 46      3) 88; 56      4) 86; 19      5) 76; 29

**1.86.** Диск радиусом  $R = 10$  см вращается согласно уравнению  $\varphi = 3 + 2t + 2t^3$ , рад. Полное ускорение точек, лежащих на ободу диска, в момент времени  $t = 2$  с равно ... м/с<sup>2</sup>.

- 1) 3,54      2) 54,2      3) 2,4      4) 67,6      5) 26

**1.87.** Точка вращается по окружности радиуса  $R$  согласно уравнению  $\varphi = 7t^3 + 8t^2 + 4t$ . Тангенциальная составляющая ускорения точки определяется выражением ...

- 1)  $(21t^2 + 16t + 4) \cdot R^2$       2)  $(7t^3 + 8t^2 + 4t) \cdot R$       3)  $(42t + 16) \cdot R$   
 4)  $\frac{42t + 16}{R}$       5)  $\frac{7t^3 + 8t^2 + 4t}{R}$

**1.88.** Точка вращается по окружности радиусом  $R$  согласно уравнению  $\varphi = At^3 + Bt^2 + Ct$ , где  $A = 7$  рад/с<sup>3</sup>,  $B = 8$  рад/с<sup>2</sup>,  $C = 4$  рад/с. Нормальное ускорение точки  $a_n$  и касательное ускорение  $a_\tau$  определяются соответственно выражениями ...

- А.  $(42t + 16)^2 \cdot R$       Б.  $(7t^3 + 8t^2 + 4t) \cdot R$       В.  $(21t^2 + 16t + 4) \cdot R^2$   
 Г.  $(42t + 16) \cdot R$       Д.  $(21t^2 + 16t + 4)^2 \cdot R$

- 1) А; Г      2) В; А      3) Д; Г      4) Д; Б      5) А; Б

**1.89.** Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону  $\varphi = A + Bt - Ct^2$ , где  $A = 8$  рад,  $B = 20$  рад/с,  $C = 2$  рад/с<sup>2</sup>. Тангенциальное ускорение точки, находящейся на расстоянии  $R = 0,1$  м от оси вращения, в момент времени  $t = 4$  с равно ... м/с<sup>2</sup>.

- 1) 3,20      2) 1,65      3) 1,60      4) 0,40      5) 0

**1.90.** Колесо радиусом  $R = 20$  см вращается с угловым ускорением  $\varepsilon = 3,14$  рад/с<sup>2</sup>. К концу первой секунды от начала движения тангенциальное ускорение  $a_\tau$  точек обода колеса равно ... м/с<sup>2</sup>.

- 1) 3,140      2) 0,628      3) 1,972      4) 2,070      5) 2,600

**1.91.** Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности радиусом  $R = 1$  м с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon = 2$  рад/с<sup>2</sup>. Отношение нормального ускорения к тангенциальному через одну секунду равно ...

- 1) 8      2) 2      3) 1      4) 4      5) 3

**1.92.** Закон изменения угловой скорости материальной точки имеет вид  $\omega = A + Bt$ , где  $A = 10$  рад/с,  $B = 6$  рад/с<sup>2</sup>. Угол поворота  $\varphi$  в момент времени  $t = 5$  с равен ... рад.

- 1) 6      2) 40      3) 65      4) 80      5) 125

**1.93.** Материальная точка вращается в горизонтальной плоскости относительно неподвижной оси с угловым ускорением  $\varepsilon = At^2$ , где  $A = 2$  рад/с<sup>4</sup>. Если в момент времени  $t = 0$  материальная точка покоилась, то угловая скорость изменяется по закону ...

- 1)  $\omega = 2t^3$       2)  $\omega = \frac{2}{3}t^3$       3)  $\omega = 4t$       4)  $\omega = 4t^3$       5)  $\omega = \frac{3}{2}t^3$

**1.94.** Материальная точка вращается в горизонтальной плоскости относительно неподвижной оси с угловым ускорением  $\varepsilon = At^2$ , где  $A = 3$  рад/с<sup>4</sup>. Если в момент времени  $t = 0$  материальная точка покоилась, то угол поворота изменяется по закону ...

- 1)  $\varphi = t^3$       2)  $\varphi = 6t$       3)  $\varphi = \frac{3t^4}{4}$       4)  $\varphi = \frac{t^4}{4}$       5)  $\varphi = \frac{t^4}{12}$

**1.95.** Материальная точка вращается в горизонтальной плоскости относительно неподвижной оси с угловой скоростью  $\omega = At^2$ , где  $A = 2$  рад/с<sup>3</sup>. Если в момент времени  $t = 0$  угол поворота  $\varphi_0 = 0$ , то угол поворота изменяется по закону ...

- 1)  $\varphi = \frac{2}{3}t^3$       2)  $\varphi = 6t$       3)  $\varphi = \frac{3t^4}{4}$       4)  $\varphi = \frac{t^4}{4}$       5)  $\varphi = \frac{t^4}{12}$

**1.96.** Частица движется вдоль окружности радиусом  $R = 1$  м в соответствии с уравнением  $\varphi(t) = 3\pi(2t^2 - 8t)$ , рад. Скорость частицы будет равна нулю в момент времени, равный ... с.

- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4                      5) 2,5

**1.97.** Маховик вращается равнозамедленно с угловым ускорением  $\varepsilon = 2$  рад/с<sup>2</sup>. Угол поворота  $\varphi$  при изменении частоты вращения от  $n_1 = 240$  мин<sup>-1</sup> до  $n_2 = 90$  мин<sup>-1</sup> равен ... рад.

- 1) 4                      2) 1479                      3) 136                      4) 22                      5) 5

**1.98.** Шарик движется по окружности по закону  $\varphi = At - Bt^2$ , где  $A = 63$  рад/с,  $B = 1,6$  рад/с<sup>2</sup>. До остановки он сделает ... оборотов.

- 1) 49                      2) 63                      3) 99                      4) 198                      5) 396

**1.99.** Тело движется по окружности так, что его угловая скорость изменяется по закону  $\omega = \pi(10 - 2t)$ , рад/с. До остановки оно сделает ... оборотов.

- 1) 4                      2) 5                      3) 6,28                      4) 10                      5) 12,5

**1.100.** Маховик, вращавшийся с угловой скоростью  $\omega_0$ , был отключен от двигателя и, сделав  $N$  оборотов, остановился. Угловое ускорение  $\varepsilon$  маховика равно по модулю ...

- 1)  $\frac{\omega_0^2}{2N}$                       2)  $\frac{\omega_0^2}{N}$                       3)  $\frac{\omega_0^2}{4\pi N}$                       4)  $\frac{\omega_0^2}{2\pi N}$                       5)  $\omega_0^2 2\pi N$

### Задачи

**1.101.** Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону  $\vec{r} = t^3\vec{i} + 3t^2\vec{j}$ , м. Определить для момента времени  $t = 1$  с: 1) модуль скорости; 2) модуль ускорения. [ $v = 6,7$  м/с;  $a = 8,48$  м/с<sup>2</sup>]

**1.102.** Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону  $\vec{r} = 4t^2\vec{i} + 3t\vec{j} + 2\vec{k}$ , м. Определить модуль скорости в момент времени  $t = 2$  с. [ $v = 16,3$  м/с]

**1.103.** Велосипедист проехал первую половину времени своего движения со скоростью  $v_1 = 16$  км/ч, вторую половину времени – со скоростью  $v_2 = 12$  км/ч. Определить среднюю скорость движения велосипедиста. [ $v_{cp} = 14$  км/ч]

**1.104.** Велосипедист проехал первую половину пути со скоростью  $v_1 = 16$  км/ч, вторую половину пути – со скоростью  $v_2 = 12$  км/ч. Определить среднюю скорость движения велосипедиста. [ $v_{cp} = 13,7$  км/ч]

**1.105.** Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью  $v_1 = 16$  км/ч. Далее половину оставшегося времени он ехал со скоростью  $v_2 = 12$  км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью  $v_3 = 5$  км/ч. Определить среднюю скорость движения студента на всем пути. [ $v_{cp} = 11,1$  км/ч]

**1.106.** Тело движется равноускоренно с начальной скоростью  $v_0$ . Определить ускорение тела, если за время  $t = 2$  с оно прошло путь  $S = 16$  м и его скорость  $v = 3v_0$ . [ $a = 4$  м/с<sup>2</sup>]

**1.107.** В течение времени  $\tau$  скорость тела задается уравнением вида  $v = A + Bt + Ct^2$  ( $0 \leq t \leq \tau$ ). Определить среднюю скорость за промежуток времени  $\tau$ . [ $\langle v \rangle = A + \frac{B\tau}{2} + \frac{C\tau^2}{3}$ ]

**1.108.** Зависимость пройденного телом пути  $S$  от времени  $t$  выражается уравнением  $S = At - Bt^2 + Ct^3$ , где ( $A = 2$  м/с,  $B = 3$  м/с<sup>2</sup>,  $C = 4$  м/с<sup>3</sup>). Записать выражения для скорости и ускорения. Определить для момента времени  $t = 2$  с после начала движения: 1) пройденный путь; 2) скорость; 3) ускорение. [ $S = 24$  м;  $v = 38$  м/с;  $a = 42$  м/с<sup>2</sup>]

**1.109.** Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением  $S = A - Bt + Ct^2 + Dt^3$  ( $A = 6$  м,  $B = 3$  м/с,  $C = 2$  м/с<sup>2</sup>,  $D = 1$  м/с<sup>3</sup>). Определить для тела в интервале времени от  $t_1 = 1$  с до

$t_2 = 4$  с: 1) среднюю скорость; 2) среднее ускорение. [ $v_{\text{cp}} = 28$  м/с;  $a_{\text{cp}} = 19$  м/с<sup>2</sup>]

**1.110.** Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением  $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  ( $C = 0,1$  м/с<sup>2</sup>,  $D = 0,03$  м/с<sup>3</sup>). Определить: 1) через какое время после начала движения ускорение тела будет равно  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>; 2) среднее ускорение  $\langle a \rangle$  тела за этот промежуток времени. [ $t = 10$  с;  $\langle a \rangle = 1,1$  м/с<sup>2</sup>]

**1.111.** Два автомобиля, выехав одновременно из населенного пункта, движутся прямолинейно в одном направлении. Зависимость пройденного ими пути задается уравнениями  $S_1 = At + Bt^2$  и  $S_2 = Ct + Dt^2 + Ft^3$ . Определить относительную скорость  $u$  автомобилей. [ $u = A - C + 2(B - D)t - Ft^2$ ]

**1.112.** Диск радиусом  $R = 10$  см вращается согласно уравнению  $\varphi = A + Bt + Ct^2$ , где  $A = 3$  рад,  $B = -1$  рад/с,  $C = 1$  рад/с<sup>2</sup>. Определить тангенциальное  $a_{\tau}$ , нормальное  $a_n$  и полное  $a$  ускорения точек на окружности диска для момента времени  $t = 1$  с. [ $a_{\tau} = 1,2$  м/с<sup>2</sup>;  $a_n = 0,9$  м/с<sup>2</sup>;  $a = 1,5$  м/с<sup>2</sup>]

**1.113.** Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид  $x_1 = A_1t + B_1t^2 + C_1t^3$  и  $x_2 = A_2t + B_2t^2 + C_2t^3$ , где  $B_1 = 4$  м/с<sup>2</sup>,  $C_1 = -3$  м/с<sup>3</sup>,  $B_2 = -2$  м/с<sup>2</sup>,  $C_2 = 1$  м/с<sup>3</sup>. Определить момент времени, когда ускорения этих точек будут равны. [ $t = 0,5$  с]

**1.114.** По гладкой наклонной доске пустили катиться снизу вверх маленький брусок. На расстоянии  $l = 30$  см брусок побывал дважды: через  $t_1 = 1$  с и через  $t_2 = 2$  с после начала движения. Определите начальную скорость бруска  $v_0$ . [ $v_0 = 0,45$  м/с]

**1.115.** При падении камня в колодец его удар о поверхность воды доносится через  $t = 5$  с. Принимая скорость звука  $v = 330$  м/с, определить глубину колодца. [ $h = 109$  м]

**1.116.** Тело падает с высоты  $h = 1$  км с нулевой начальной скоростью. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, какой путь пройдет тело: 1) за первую секунду своего падения; 2) за последнюю секунду своего падения. [ $S_1 = 4,9$  м;  $S_2 = 132$  м]

**1.117.** Тело падает с высоты  $h = 1$  км с нулевой начальной скоростью. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, какое время понадобится телу для прохождения: 1) первых 10 м своего пути; 2) последних 10 м своего пути. [ $t_1 = 1,43$  с;  $t_2 = 0,1$  с]

**1.118.** Материальная точка движется вдоль прямой так, что ее ускорение линейно растет, и за первые  $\tau = 10$  с достигает значения  $a = 5$  м/с<sup>3</sup>. Определить в конце десятой секунды: 1) скорость точки; 2) пройденный точкой путь. [ $v = 25$  м/с;  $S = 83,3$  м]

**1.119.** Капля дождя при скорости ветра  $v_1 = 11$  м/с падает под углом  $\alpha = 30^\circ$  к вертикали. Определить, при какой скорости ветра  $v_2$  капля будет падать под углом  $\beta = 45^\circ$ . [ $v_2 = 19$  м/с]

**1.120.** С башни высотой  $h = 40$  м брошено тело со скоростью  $v = 20$  м/с под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) время  $t$  движения тела; 2) на каком расстоянии  $S$  от основания башни тело упадет на Землю; 3) скорость  $v$  падения тела на Землю; 4) угол  $\varphi$ , который составит траектория тела с горизонтом в точке его падения. [ $t = 4,64$  с;  $S = 65,7$  м;  $v = 34,4$  м/с;  $\varphi = 65,7^\circ$ ]

**1.121.** С башни высотой  $h = 30$  м в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. Определить: 1) уравнение траектории тела  $y(x)$ ; 2) скорость  $v$  тела в момент падения на Землю; 3) угол  $\varphi$ , который образует эта скорость с горизонтом в точке его падения. [ $y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$ ;  $v = 26,2$  м/с;  $\varphi = 67,8^\circ$ ]

**1.122.** С башни в горизонтальном направлении брошен камень с начальной скоростью  $v_0 = 40$  м/с. Вычислить скорость камня через  $t = 3$  с после начала движения. Какой угол образует вектор скорости камня с плоскостью горизонта в этот момент? [ $v = 50$  м/с;  $\varphi = 36,87^\circ$ ]

**1.123.** Тело брошено горизонтально со скоростью  $v_0 = 15$  м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить радиус кривизны траектории тела через  $t = 2$  с после начала движения. [ $R = 102$  м]

**1.124.** Тело брошено со скоростью  $v_0 = 15$  м/с под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) высоту  $h$  подъема тела; 2) дальность полета  $S$  (по горизонтали) тела; 3) время  $t$  его движения. [ $h = 2,87$  м;  $S = 19,9$  м;  $t = 1,53$  с]

**1.125.** Тело брошено под углом к горизонту. Оказалось, что максимальная высота подъем  $h = \frac{1}{4}S$ , где  $S$  – дальность полета тела. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить под каким углом  $\alpha$  к горизонту брошено тело. [ $\alpha = 45^\circ$ ]

**1.126.** Тело брошено со скоростью  $v_0 = 20$  м/с под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени  $t = 1,5$  с после начала движения: 1) нормальное ускорение  $a_n$ ; 2) тангенциальное ускорение  $a_\tau$ . [ $a_n = 9,47$  м/с<sup>2</sup>;  $a_\tau = 2,58$  м/с<sup>2</sup>]

**1.127.** Мяч брошен со скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Найдите скорость мяча  $v_0$  и угол броска  $\alpha$ , если максимальная высота подъема мяча  $h = 3$  м, радиус кривизны траектории мяча в этой точке  $R = 3$  м. [ $v_0 = 9,49$  м/с;  $\alpha = 54,7^\circ$ ]

**1.128.** Снаряд вылетел со скоростью  $v_0 = 30$  м/с под углом  $\varphi = 60^\circ$  к горизонту. Чему равен радиус кривизны  $R$  траектории снаряда через  $t = 2$  с после выстрела? [ $R = 29,4$  м]

**1.129.** Под каким углом  $\alpha$  к горизонту надо бросить тело, чтобы центр кривизны его траектории в вершине находился на земле? [ $\alpha = 54,7^\circ$ ]

**1.130.** Движение точки по кривой задано уравнениями  $x = A_1 \cdot t^3$  и  $y = A_2 \cdot t$ , где  $A_1 = 1$  м/с<sup>3</sup>,  $A_2 = 2$  м/с. Найдите уравнение траектории  $y = f(x)$  точки, ее скорость  $v$  и полное ускорение  $a$  в момент времени  $t = 0,8$  с. [ $y^3 - 8x = 0$ ;  $v = 2,77$  м/с;  $a = 4,8$  м/с<sup>2</sup>]

**1.131.** Линейная скорость  $v_1$  точки, находящейся на ободу вращающегося диска, в три раза больше, чем линейная скорость  $v_2$  точки, находящейся на расстоянии  $x = 6$  см ближе к его оси. Определить радиус  $R$  диска. [ $R = 9$  см]

**1.132.** Найти линейную скорость  $v$  вращения точек земной поверхности на широте Санкт-Петербурга ( $\varphi = 60^\circ$ ). [ $v = 231$  м/с]

**1.133.** Точка движется по окружности радиусом  $R = 2$  см. Зависимость пути от времени дается уравнением  $S = At^3$ , где  $A = 0,1$  см/с<sup>3</sup>. Найдите нормальное  $a_n$  и тангенциальное  $a_\tau$  ускорения точки в момент, когда линейная скорость точки  $v = 0,3$  м/с. [ $a_n = 4,5$  м/с<sup>2</sup>;  $a_\tau = 0,06$  м/с<sup>2</sup>]

**1.134.** Точка движется по окружности радиусом  $R = 2$  м согласно уравнению  $S = At^3$ , где  $A = 2$  м/с<sup>3</sup>. В какой момент времени  $t$  нормальное ускорение  $a_n$  будет равно тангенциальному  $a_\tau$ ? Определите полное ускорение  $a$  в этот момент времени. ( $S$  – путь, проходимый телом). [ $t = 0,874$  с;  $a = 14,8$  м/с<sup>2</sup>]

**1.135.** Точка движется по окружности радиуса  $R = 4$  м. Начальная скорость  $v_0 = 3$  м/с, тангенциальное ускорение  $a_\tau = 1$  м/с<sup>2</sup>. Для момента времени  $t = 2$  с определить: 1) длину пути  $S$ , пройденного точкой; 2) модуль перемещения  $|\Delta\vec{r}|$ ; 3) среднюю путевую скорость  $v_{cp}$ ; 4) модуль вектора средней скорости  $|\langle\vec{v}\rangle|$ . [ $S = 8$  м;  $|\Delta\vec{r}| = 6,73$  м;  $v_{cp} = 4$  м/с;  $|\langle\vec{v}\rangle| = 3,36$  м/с]

**1.136.** Зависимость пройденного телом пути по окружности радиусом  $r = 3$  м задается уравнением  $S = At^2 + Bt$ , где  $A = 0,4$  м/с<sup>2</sup>,  $B = 0,1$  м/с. Определить для момента времени  $t = 1$  с после начала движения ускорения: 1) нормальное  $a_n$ ; 2) тангенциальное  $a_\tau$ ; 3) полное  $a$ . [ $a_n = 0,27$  м/с<sup>2</sup>;  $a_\tau = 0,8$  м/с<sup>2</sup>;  $a = 0,84$  м/с<sup>2</sup>]

**1.137.** Нормальное ускорение точки, движущейся по окружности радиусом  $r = 4$  м, задается уравнением  $a_n = A + Bt + Ct^2$ , где  $A = 1$  м/с<sup>2</sup>,  $B = 6$  м/с<sup>3</sup>,  $C = 9$  м/с<sup>4</sup>. Определить: 1) тангенциальное ускорение точки  $a_\tau$ ; 2) путь  $S$ , пройденный точкой за время  $t_1 = 5$  с после начала

движения; 3) полное ускорение  $a$  для момента времени  $t_2 = 1$  с. [ $a_\tau = 6$  м/с<sup>2</sup>;  $S = 85$  м;  $a = 17,5$  м/с<sup>2</sup>]

**1.138.** Диск радиусом  $R = 10$  см вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением  $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ , где  $B = 1$  рад/с,  $C = 1$  рад/с<sup>2</sup>,  $D = 1$  рад/с<sup>3</sup>. Определить для точек на ободе диска к концу второй секунды после начала движения: 1) тангенциальное ускорение  $a_\tau$ ; 2) нормальное ускорение  $a_n$ ; 3) полное ускорение  $a$ . [ $a_\tau = 1,4$  м/с<sup>2</sup>;  $a_n = 28,9$  м/с<sup>2</sup>;  $a = 28,9$  м/с<sup>2</sup>]

**1.139.** Зависимость угла поворота от времени для точки, лежащей на ободе колеса радиусом  $R$ , задается уравнением  $\varphi = At^3 + Bt^2 + Ct + D$ , где  $A = 1$  рад/с<sup>3</sup>,  $B = 0,5$  рад/с<sup>2</sup>,  $C = 2$  рад/с,  $D = 1$  рад. К концу третьей секунды нормальное ускорение равно  $a_n = 153$  м/с<sup>2</sup>. Определите радиус колеса. [ $R = 0,149$  м]

**1.140.** Диск радиусом  $R = 10$  см, находившийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon = 0,5$  рад/с<sup>2</sup>. Найдите касательное  $a_\tau$ , нормальное  $a_n$  и полное  $a$  ускорения точек на окружности диска в конце второй секунды после начала вращения. [ $a_\tau = 5$  см/с<sup>2</sup>;  $a_n = 10$  см/с<sup>2</sup>;  $a = 11,2$  см/с<sup>2</sup>]

**1.141.** Материальная точка начинает двигаться по окружности радиусом  $r = 12,5$  см с постоянным тангенциальным ускорением  $a_\tau = 0,5$  см/с<sup>2</sup>. Определить: 1) момент времени  $t$ , при котором вектор ускорения  $a$  образует с вектором скорости  $v$  угол  $\alpha = 45^\circ$ ; 2) путь  $S$ , пройденный за это время движущейся точкой. [ $t = 5$  с;  $S = 6,25$  см]

**1.142.** Колесо вращается с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon = 3$  рад/с<sup>2</sup>. Определить радиус колеса  $R$ , если через  $t = 1$  с после начала движения полное ускорение колеса  $a = 7,5$  м/с<sup>2</sup>. [ $R = 79$  см]

**1.143.** Автомобиль движется по закруглению шоссе, имеющему радиус кривизны  $R = 10$  м. Уравнение движения автомобиля  $\zeta = 10 + 10t - 0,5t^2$ , м ( $\zeta$  – означает криволинейную координату, отсчитанную от некоторой начальной точки на окружности). Найдите полное ускорение  $a$  в момент времени  $t = 5$  с. [ $a = 2,69$  см/с<sup>2</sup>]

**1.144.** Велосипедное колесо вращается с частотой  $n = 5 \text{ с}^{-1}$ . Под действием сил трения оно остановилось через интервал времени  $\Delta t = 1$  мин. Определить угловое ускорение колеса  $\varepsilon$  и число оборотов  $N$ , которое оно сделало за это время. [ $\varepsilon = -0,523 \text{ рад/с}^2$ ,  $N = 150$ ]

**1.145.** Определить отношение нормального ускорения  $a_n$  точки, лежащей на ободу вращающегося колеса, к ее тангенциальному ускорению  $a_\tau$  для момента, когда вектор полного ускорения точки составляет угол  $\alpha = 30^\circ$  с вектором ее линейной скорости? [ $\frac{a_n}{a_\tau} = 0,58$ ]

**1.146.** Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением  $\varphi = At^2$  ( $A = 0,1 \text{ рад/с}^2$ ). Определить полное ускорение  $a$  точки на ободу диска к концу второй секунды после начала движения, если линейная скорость этой точки в этот момент  $v = 0,4 \text{ м/с}$ . [ $a = 0,2 \text{ м/с}^2$ ]

**1.147.** Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время  $t = 2$  мин оно изменило частоту вращения от  $n_1 = 240 \text{ мин}^{-1}$  до  $n_2 = 60 \text{ мин}^{-1}$ . Определить: 1) угловое ускорение колеса  $\varepsilon$ ; 2) число полных оборотов  $N$ , сделанных колесом за это время. [ $\varepsilon = 0,157 \text{ рад/с}^2$ ;  $N = 300$ ]

**1.148.** Якорь электродвигателя, имеющий частоту вращения  $n = 50 \text{ с}^{-1}$ , после выключения тока, сделав  $N = 628$  оборотов, остановился. Определить угловое ускорение  $\varepsilon$  якоря. [ $\varepsilon = 12,5 \text{ рад/с}^2$ ]

**1.149.** Точка движется по окружности радиусом  $R = 15 \text{ см}$  с постоянным тангенциальным ускорением  $a_\tau$ . К концу четвертого оборота после начала движения линейная скорость точки  $v = 15 \text{ см/с}$ . Определить нормальное ускорение  $a_n$  точки через  $t = 16 \text{ с}$  после начала движения. [ $a_n = 1,5 \text{ см/с}^2$ ]

**1.150.** Точка движется по окружности радиусом  $R = 10 \text{ см}$  с постоянным тангенциальным ускорением  $a_\tau$ . Найдите тангенциальное ускорение  $a_\tau$  точки, если известно, что к концу пятого оборота после начала движения линейная скорость точки  $v = 79,2 \text{ см/с}$ . [ $a_\tau = 10 \text{ см/с}^2$ ]

## 2. ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

### Основные формулы:

Импульс материальной точки

$$\vec{p} = m\vec{v},$$

где  $m$  – масса,  $\vec{v}$  – скорость материальной точки.

Импульс системы материальных точек (тела)

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i,$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -той материальной точки,  $\vec{v}_i$  – скорость  $i$ -той материальной точки

Закон сохранения импульса для изолированной системы тел (материальных точек)

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const.}$$

Основной закон динамики поступательного движения (второй закон Ньютона)

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt},$$
$$\vec{F} dt = d\vec{p} = d(m\vec{v}),$$

где  $\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$  – результирующая сила, действующая на материальную точку.

Если масса  $m$  постоянна, то

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a},$$

где  $\vec{a}$  – ускорение, которое приобретает тело массой  $m$  под действием силы  $\vec{F}$ .

Импульс силы

$$\vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1,$$

где  $\vec{p}_1$  и  $\vec{p}_2$  – импульсы тела в начале и в конце движения соответственно.

Сила упругости

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -kx \cdot \vec{i},$$

$$F_{\text{упр}} = kx,$$

где  $k$  – коэффициент упругости (жесткость),  $x$  – величина деформации,  $\vec{i}$  – вектор, указывающий направление деформации.

Сила гравитационного взаимодействия

$$\vec{F}_{\text{грав}} = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^3} \cdot \vec{r}_{12},$$

$$F_{\text{грав}} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

где  $G$  – гравитационная постоянная,  $r$  – расстояние между частицами,  $m_1$  и  $m_2$  – массы частиц,  $\vec{r}_{12}$  – радиус-вектор, проведенный от второй частицы к первой.

Сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu F_n,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения,  $F_n$  – сила нормального давления ( $\vec{F}_n = -\vec{N}$ , где  $N$  – сила реакции опоры).

Сила сопротивления среды (действует на тело при его поступательном движении в газе или жидкости) при малых скоростях тела

$$\vec{F}_c = -b\vec{v}$$

где  $b$  – положительный коэффициент, характерный для данного тела и данной среды.

Основное уравнение динамики тела переменной массы (уравнение Мещерского)

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F} + \vec{u} \frac{dm}{dt},$$

где  $\vec{F}$  – сила, действующая на тело со стороны окружающих тел;  $\vec{u}$  – относительная скорость отделяемого вещества;  $\mu = \frac{dm}{dt}$  – масса, теряемая (приобретаемая) движущимся телом за одну секунду.

## Формула Циолковского

$$v = u \ln \frac{m_c}{m_c - \mu t},$$

где  $v$  – скорость ракеты в момент времени  $t$ ,  $u$  – скорость истечения продуктов сгорания (газов),  $m_c$  – стартовая масса ракеты,  $\mu$  – массовый расход топлива (скорость расхода топлива).

Центр масс (инерции) системы материальных точек

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

где  $\vec{r}_i$  – радиус-вектор  $i$ -той материальной точки системы.

Скорость центра масс (инерции) системы материальных точек

$$\vec{v}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

где  $\vec{v}_i$  – скорость  $i$ -той материальной точки системы.

Работа, совершаемая постоянной силой

$$A = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \alpha$$

где  $\alpha$  – угол между направлениями вектора силы  $\vec{F}$  и вектора перемещения  $\Delta \vec{r}$ .

Работа, совершаемая переменной силой

$$A = \int_L F \cos \alpha dr = \int_L \vec{F} d\vec{r},$$

где интегрирование ведется вдоль траектории, обозначаемой  $L$ .

Средняя мощность

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

Мгновенная мощность

$$N = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \vec{v} = Fv \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол между  $\vec{F}$  и  $\vec{v}$ .

Кинетическая энергия материальной точки (тела) при поступательном движении

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

где  $m$  – масса материальной точки (тела),  $v$  – скорость.

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

Потенциальная энергия упругодеформированного тела (сжатой или растянутой пружины)

$$E_{\text{п}} = \Pi = \frac{kx^2}{2},$$

где  $k$  – коэффициент жесткости упругого тела,  $x$  – смещение тела от положения равновесия.

Потенциальная энергия материальной точки в однородном поле силы тяжести

$$E_{\text{п}} = \Pi = mgh,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $h$  – высота тела над точкой, в которой потенциальная энергия принимается равной нулю.

Связь между потенциальной энергией тела и силой, действующей на тело в данной точке поля

$$\vec{F} = -\text{grad}\Pi,$$

$$\vec{F} = -\left(\frac{d\Pi}{dx}\vec{i} + \frac{d\Pi}{dy}\vec{j} + \frac{d\Pi}{dz}\vec{k}\right).$$

Закон сохранения полной механической энергии консервативной системы частиц или тел

$$E = E_{\text{п}} + E_k = \Pi + K = \text{const}.$$

Модуль работы сил сопротивления равен убыли полной энергии системы

$$|A_{\text{сопр}}| = E_1 - E_2.$$

## Тестовые задания

### 2.1. Масса тела это ...

- 1) мера потенциальной энергии тела
- 2) количество вещества в теле
- 3) мера инертности тела
- 4) отношение веса тела к ускорению свободного падения
- 5) мера гравитационного взаимодействия тел

### 2.2. Силой называется ...

- 1) способность тела совершать работу
- 2) причина, поддерживающая движение тела
- 3) мера взаимодействия тел или частей тела
- 4) причина ускорения тела
- 5) мера инертности тела

### 2.3. Законы Ньютона применимы для описания движения тел ...

- 1) в инерциальных и неинерциальных системах отсчета
- 2) только в инерциальных системах отсчета
- 3) только при движении со скоростями, много меньшими скорости света в любых системах отсчета
- 4) в инерциальных системах отсчета при движении тел с любыми скоростями
- 5) в инерциальных системах отсчета при движении со скоростями, много меньшими скорости света

### 2.4. Второй закон Ньютона в форме $m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$ , где $\vec{F}_i$ – силы,

действующие на тело со стороны других тел, справедлив ...

- 1) в любой системе отсчета
- 2) для тел с переменной массой
- 3) для тел как с постоянной, так и с переменной массой
- 4) при скоростях движения тел как малых, так и сопоставимых со скоростью света в вакууме
- 5) только для тел с постоянной массой в инерциальных системах отсчета

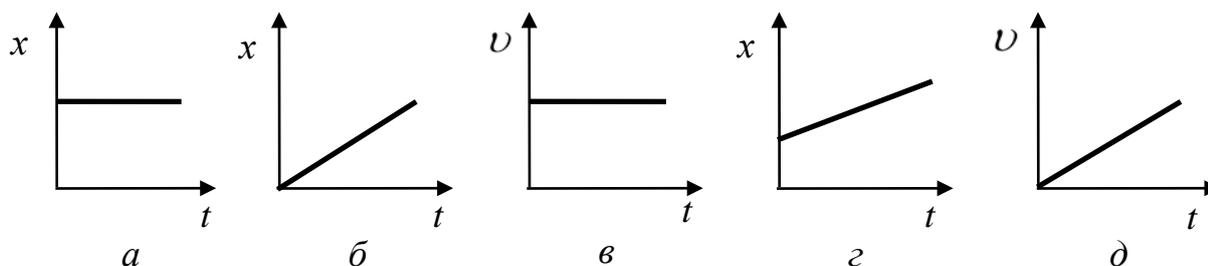
**2.5.** Для пассажира, стоящего на железнодорожной платформе, поезд можно считать инерциальной системой отсчета в случае, когда поезд ...

- 1) движется с постоянной скоростью по закруглению
- 2) движется с постоянным ускорением по прямолинейному участку пути
- 3) движется с постоянной скоростью по прямолинейному участку пути
- 4) трогается с места
- 5) свободно скатывается под уклон

**2.6.** Инерциальной системой отсчета является система отсчета, которая относительно другой инерциальной системы отсчета движется ...

- 1) прямолинейно с переменным ускорением
- 2) прямолинейно с постоянным ускорением
- 3) прямолинейно и равномерно
- 4) равномерно по окружности
- 5) равномерно по произвольной криволинейной траектории

**2.7.** Тело массой  $m$  движется под действием постоянной по модулю и направлению силы  $\vec{F}$ . График, соответствующий движению этого тела, имеет вид ...



- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г                      5) д

**2.8.** Материальная точка движется по окружности со скоростью  $v$ . На рис. 1 показан график зависимости скорости  $v_\tau$  от времени ( $\vec{\tau}$  – единичный вектор положительного направления,  $v_\tau$  – проекция  $\vec{v}$  на это направление). На рис. 2 укажите направление силы, действующей на точку в момент времени  $t_1$ .

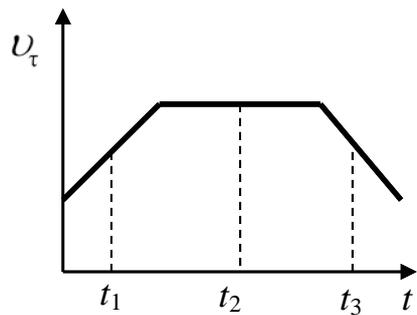


Рис. 1

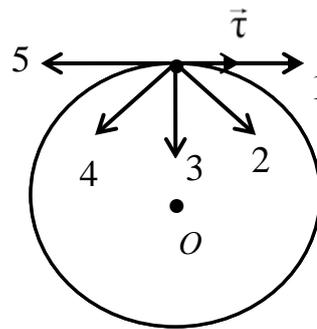
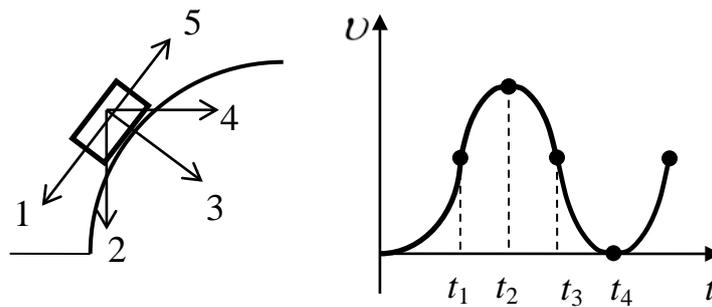


Рис. 2

- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4                      5) 5

**2.9.** Скорость автомобиля изменялась со временем, как показано на графике зависимости  $v(t)$ . В момент времени  $t_1$  автомобиль поднимался по участку дуги. Направление результирующей всех сил, действующих на автомобиль в этот момент времени, правильно отображает вектор ...



- 1) 5                      2) 1                      3) 2                      4) 3                      5) 4

**2.10.** Автомобиль движется равномерно и прямолинейно со скоростью  $v$ . Равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль, ...

- 1) изменяется со временем по величине
- 2) не изменяется со временем и действует по направлению движения
- 3) не изменяется со временем и действует против направления движения
- 4) не изменяется со временем по величине и направлению
- 5) равна нулю

**2.11.** Небольшое тело, подвешенное на невесомой и нерастяжимой нити, совершает колебания. Ускорение тела ...

- 1) зависит от массы тела
- 2) равно нулю в положении равновесия (нижней точке)
- 3) равно нулю в крайних точках
- 4) равно нулю в положении равновесия и в крайних точках
- 5) ни в одной точке не равно нулю

**2.12.** К телу, находящемуся в состоянии покоя на гладком горизонтальном столе, приложена постоянная горизонтально направленная сила. Во время действия этой силы не будет изменяться ...

- 1) положение тела
- 2) ускорение тела
- 3) скорость тела
- 4) импульс тела
- 5) кинетическая энергия тела

**2.13.** Тело массой  $m = 2$  кг движется по плоскости таким образом, что зависимость проекций скорости тела от времени имеет вид:  $v_x = 3t + 4$  и  $v_y = 4t + 3$ , м/с. При этом модуль равнодействующей сил  $F$ , приложенных к телу, равен ... Н.

- 1) 2                      2) 6                      3) 8                      4) 10                      5) 14

**2.14.** Тело движется вдоль оси  $x$  согласно уравнению  $x = A + Bt - Ct^3$ . Модуль силы  $F$ , действующей на тело, со временем ...

- 1) равен нулю
- 2) возрастает
- 3) убывает
- 4) не изменяется
- 5) сначала возрастает, затем убывает

**2.15.** Тело, массой  $m = 2$  кг движется прямолинейно по закону  $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$ , где  $C = 2$  м/с<sup>2</sup>,  $D = 0,4$  м/с<sup>3</sup>. Сила  $F$ , действующая на тело в конце первой секунды движения, равна ... Н.

- 1) 3,2                      2) 2,4                      3) 1,6                      4) 3,6                      5) 2,8

**2.16.** Импульс частицы дается уравнением  $\vec{p} = 4t^2\vec{i} - 2,6\vec{j} - 3,9\vec{k}$ . Сила  $F$ , действующая на частицу, зависит от времени как ...

- 1)  $4t^2$     2)  $4t^2 - 6,5$     3)  $8t$   
 4)  $\sqrt{(4t^2)^2 + 2,6^2 + 3,9^2}$     5) от времени не зависит

**2.17.** Маленький шарик массой  $m$  падает с постоянной скоростью  $v$  в покоящейся вязкой жидкости, сила сопротивления которой по модулю  $F_{\text{сопр}} = \alpha v$  ( $\alpha = \text{const}$ ). Равнодействующая всех сил  $F$ , действующих на шарик, равна ...

- 1)  $mg$                           2)  $F_{\text{сопр}}$                           3)  $mg + F_{\text{сопр}}$                           4)  $mg - F_{\text{сопр}}$                           5) 0

**2.18.** При падении тела в воздухе на него действует сила сопротивления  $F = kv^2$ , где  $v$  – скорость тела. Уравнение движения тела в проекции на направление движения имеет вид ...

- 1)  $m \frac{dv}{dt} = mg - kv^2$     2)  $m \frac{dv}{dt} = mg + kv^2$     3)  $ma = kv^2$

**2.19.** Камень брошен вертикально вверх. Если учесть силу сопротивления воздуха, то камень движется с ускорением ...

- 1) при подъеме – меньшим  $g$ , при спуске – большим  $g$   
 2) при подъеме – большим  $g$ , при спуске – меньшим  $g$   
 3) равным  $g$  в течение всего времени движения  
 4) меньшим  $g$   
 5) большим  $g$

**2.20.** Тело, брошенное вверх, возвращается в исходную точку. Время подъема  $t_1$  и время спуска  $t_2$  с учетом силы сопротивления воздуха соотносятся как ...

- 1)  $t_1 > t_2$     2)  $t_1 < t_2$     3)  $t_1 = t_2$

**2.21.** Человек входит в лифт, который затем начинает двигаться равномерно вверх, при этом вес человека ...

- 1) увеличится  
 2) будет зависеть от скорости движения лифта  
 3) уменьшится  
 4) не изменится  
 5) станет равным нулю

**2.22.** Вес тела массой  $m$  в лифте, поднимающемся ускоренно вверх с ускорением  $a$ , равен ...

- 1)  $P = ma$     2)  $P = m(g - a)$     3)  $P = mg$     4)  $P = m(g + a)$     5)  $P = 0$

**2.23.** Лифт движется вниз с ускорением  $a > g$ , при этом ...

- 1) тело прижмется к полу лифта  
2) с телом ничего не произойдет  
3) тело прижмется к потолку лифта  
4) тело будет находиться в невесомости

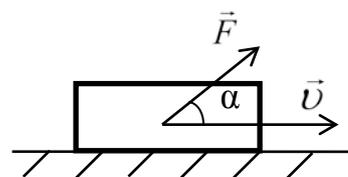
**2.24.** На шероховатой горизонтальной поверхности лежит тело массы  $m = 2$  кг. Если коэффициент трения скольжения тела о поверхность равен  $\mu = 0,3$ , то при действии на тело горизонтальной силы, равной по модулю  $F = 4$  Н, ускорение  $a$  тела равно ... м/с<sup>2</sup>.

- 1) 0                    2) 1                    3) 2                    4) 4                    5) 6

**2.25.** При выполнении лабораторной работы студент равномерно перемещал брусок с помощью динамометра по горизонтальному столу. Масса бруска  $m = 150$  г. Динамометр, расположенный параллельно столу, показывал  $F = 0,5$  Н. Коэффициент трения скольжения  $\mu$  равен ...

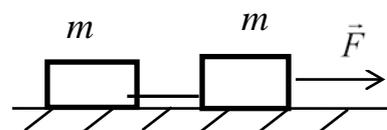
- 1) 1                    2)  $\frac{2}{3}$                     3)  $\frac{1}{3}$                     4) 1,5                    5) 0,3

**2.26.** Брусок массой  $m$  движется по горизонтальной поверхности стола под действием силы  $F$ , направленной под углом  $\alpha$  к вектору скорости  $v$ . Коэффициент трения скольжения бруска о поверхность стола равен  $\mu$ . Сила трения  $F_{\text{тр}}$ , действующая на брусок, равна ...



- 1)  $\mu mg$     2)  $\mu F \sin \alpha$     3)  $\mu F \cos \alpha$     4)  $F \cos \alpha$     5)  $\mu(mg - F \sin \alpha)$

**2.27.** Два одинаковых бруска, связанные нитью, движутся по горизонтальной плоскости под действием горизонтальной силы  $\vec{F}$ . Зависит ли сила натяжения нити  $F_{\text{нат}}$ :



- а) от массы  $m_1$  и  $m_2$  брусков;

б) от коэффициента трения  $\mu$  брусков о плоскость.

1) а – да, б – да

2) а – нет, б – нет

3) а – да, б – нет

4) а – нет, б – да

**2.28.** Два одинаковых тела связаны нитью и лежат на гладком горизонтальном столе. Нить выдерживает нагрузку  $F = 20$  Н. Сила  $F_1$ , которую нужно приложить к одному из тел, чтобы нить оборвалась, равна ... Н.

1) 20

2) 30

3) 40

4) 10

5) 50

**2.29.** Деревянный брусок соскальзывает с наклонной плоскости с постоянной скоростью. Угол наклона плоскости составляет  $\varphi = 15^\circ$ . Коэффициент трения  $\mu$  между бруском и плоскостью равен ...

1)  $\arctg 15^\circ$

2)  $\cos 15^\circ$

3)  $\tg 15^\circ$

4)  $\arcsin 15^\circ$

5)  $\arccos 15^\circ$

**2.30.** Тело массой  $m$  движется по наклонной плоскости, расположенной под углом  $\alpha$  к горизонту. Коэффициент трения между телом и плоскостью равен  $\mu$ . Сила трения  $F_{\text{тр}}$  определяется по формуле ...

1)  $F_{\text{тр}} = \mu mg \sin \alpha$

2)  $F_{\text{тр}} = \mu mg \tg \alpha$

3)  $F_{\text{тр}} = mg \cos \alpha$

4)  $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$

5)  $F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha$

**2.31.** Груз поднимают с помощью ленточного транспортера, расположенного под углом  $\alpha$  к горизонту. Если коэффициент трения между лентой транспортера и грузом равен  $\mu$ , то максимальное ускорение  $a$ , с которым может подниматься груз, равно ...

1)  $\mu g \cos \alpha$

2)  $\mu g \sin \alpha$

3)  $\mu g \tg \alpha$

4)  $g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)$

5)  $g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$

**2.32.** Велосипедист массой  $m = 60$  кг проезжает со скоростью  $v = 10$  м/с середину вогнутого моста. Радиус кривизны  $R = 20$  м. Сила давления  $P$  велосипедиста на мост равна ... Н. ( $g = 10$  м/с<sup>2</sup>).

1) 300

2) 500

3) 1200

4) 900

5) 600

**2.33.** Велосипедист массой  $m = 60$  кг проезжает со скоростью  $v = 10$  м/с середину выпуклого моста. Радиус кривизны  $R = 20$  м. Сила давления  $P$  велосипедиста на мост равна ... Н. ( $g = 10$  м/с<sup>2</sup>)

- 1) 300                      2) 500                      3) 1200                      4) 900                      5) 600

**2.34.** Самолет движется в воздухе в горизонтальной плоскости по окружности с постоянной скоростью  $v = 360$  км/ч. Подъемная сила всегда перпендикулярна плоскости крыльев самолета. Если эта плоскость составляет угол  $\varphi = 45^\circ$  с горизонтом, то радиус окружности  $R$  виража самолета равен ... м.

- 1) 400                      2) 600                      3) 800                      4) 1000                      5) 1200

**2.35.** Сила притяжения Юпитера к Солнцу в 11,8 раз больше, чем сила притяжения Земли к Солнцу. Расстояние между Юпитером и Солнцем в 5,2 раза больше, чем расстояние между Солнцем и Землей. Масса Юпитера больше массы Земли в ... раз.

- 1) 319                      2) 61,4                      3) 27                      4) 2,27                      5) 0,44

**2.36.** Радиус некоторой планеты больше радиуса Земли в  $n$  раз, а плотность больше плотности Земли в  $k$  раз. Ускорение силы тяжести на поверхности Земли  $g$ . Ускорение силы тяжести на поверхности планеты равно ...

- 1)  $g\sqrt{\frac{k}{n}}$                       2)  $g\sqrt{\frac{n}{k}}$                       3)  $g\sqrt{kn}$                       4)  $gkn$                       5)  $g\frac{k}{n}$

**2.37.** Радиус Земли равен  $R$ ,  $g$  – ускорение свободного падения у ее поверхности. Радиус круговой орбиты искусственного спутника, который движется по ней со скоростью  $v$ , равен ...

- 1)  $\frac{2gR^2}{v^2}$                       2)  $\frac{gR}{v^2}$                       3)  $\frac{v^2}{gR}$                       4)  $\frac{v^2R}{2g}$                       5)  $\frac{gR^2}{v^2}$

**2.38.** Два спутника движутся вокруг Земли по круговым орбитам. Скорость одного в два раза больше скорости другого. Отношение периодов обращения  $\frac{T_1}{T_2}$  первого и второго спутников равно ...

1)  $\frac{1}{8}$

2)  $\frac{1}{4}$

3)  $\frac{1}{2}$

4) 2

5) 4

**2.39.** К телу приложена постоянная по модулю и направлению сила  $F = 10$  Н. За время  $t = 10$  с модуль приращения импульса тела составит ... кг·м/с.

1) 1

2) 2

3) 10

4) 20

5) 100

**2.40.** Импульс тела  $\vec{p}_1$  изменился под действием кратковременного удара и стал равным  $\vec{p}_2$ , как показано на рисунке.

В момент удара сила  $\vec{F}$  действовала в направлении ...

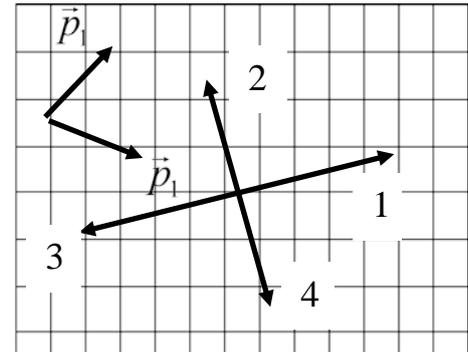
1) 4

2) 1

3) 2

4) 3

5) сила равна нулю



**2.41.** Зависимость проекции силы  $F_x$ , действующей на тело, от времени представлена на рисунке. Изменение проекции импульса  $p_x$  тела за первые 4 с движения равно ... кг·м/с.

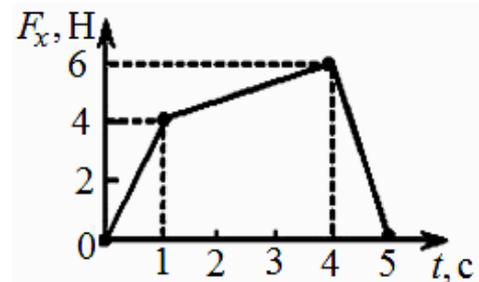
1) 15

2) 1

3) 18

4) 22

5) 25



**2.42.** На рисунке представлен график зависимости модуля равнодействующей силы  $F$ , действующей на тело массой  $m = 3$  кг, от времени  $t$ . Изменение скорости тела за первые 3 с равно ... м/с.

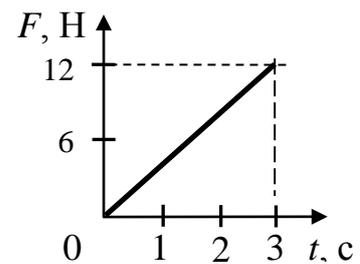
1) 6

2) 9

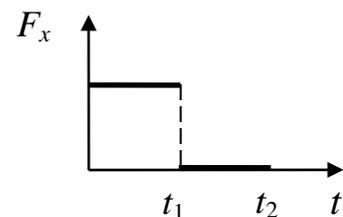
3) 12

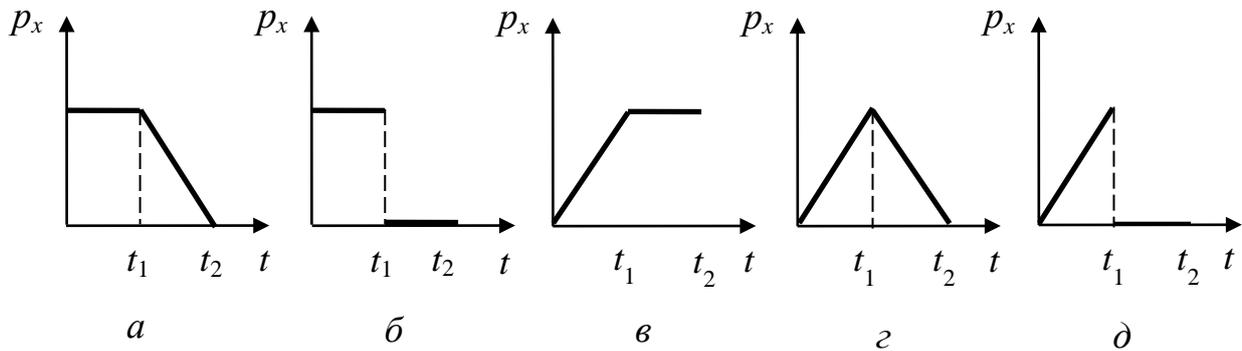
4) 18

5) 36



**2.43.** Материальная точка начинает двигаться под действием силы  $\vec{F}$ , график зависимости проекции которой на ось  $X$  от времени приведен на рисунке. Зависимость величины проекции импульса материальной точки  $p_x$  от времени  $t$  правильно представлена на графике ...





- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г                      5) д

**2.44.** Свободно падающий шарик массы  $m = 200$  г ударился о пол со скоростью  $v = 5$  м/с и подпрыгнул на высоту  $h = 80$  см. Модуль изменения импульса  $|\Delta \vec{p}|$  шарика при ударе равен ... кг·м/с.

- 1) 0,2                      2) 0,8                      3) 1,3                      4) 1,8                      5) 2,0

**2.45.** Пластилиновый шарик массы  $m$ , летящий горизонтально со скоростью  $v$ , ударяется о массивную вертикальную стену и прилипает к ней. При этом стена получила импульс  $p$ , равный ...

- 1)  $\frac{1}{2}mv$                       2)  $2mv$                       3)  $\frac{1}{4}mv$                       4) 0                      5)  $mv$

**2.46.** Тело массой  $m$  падает под углом  $\varphi = 45^\circ$  на опору и упруго отскакивает. Если скорость тела перед ударом  $v$ , то полученный опорой импульс  $p$  равен ...

- 1)  $2mv$                       2)  $\frac{1}{2}mv$                       3)  $\sqrt{2}mv$                       4)  $\frac{\sqrt{2}}{2}mv$                       5)  $2mv$

**2.47.** Молекула массы  $m$ , летящая со скоростью  $v$ , ударяется о стенку сосуда под углом  $\alpha$  к нормали и упруго отскакивает от нее без потери скорости. Импульс силы  $F\Delta t$ , полученный стенкой во время удара, равен ...

- 1)  $2mv \sin \alpha$                       2)  $mv$                       3)  $mv \cos \alpha$                       4)  $2mv \cos \alpha$                       5)  $mv \sin \alpha$

**2.48.** На неподвижный бильярдный шар налетел другой такой же со скоростью  $v = 10$  м/с. После упругого удара шары разлетелись так, что импульс одного шара стал  $p_1 = 0,3$  кг·м/с, а другого  $p_2 = 0,4$  кг·м/с. Массы  $m$  шаров равны ... г.

1) 100

2) 10

3) 20

4) 40

5) 50

**2.49.** На плот массы  $M$ , движущийся по реке со скоростью  $v_1$ , с берега бросают груз массой  $m$  перпендикулярно направлению движения плота со скоростью  $v_2$ . Скорость плота  $v$  с грузом относительно земли сразу после падения груза на плот равна ...

1)  $\frac{Mv_1 + mv_2}{M - m}$

2)  $\frac{Mv_1 + mv_2}{M + m}$

3)  $\frac{Mv_1 - mv_2}{M + m}$

4)  $\sqrt{\frac{(Mv_1)^2 + (mv_2)^2}{M + m}}$

5)  $\frac{\sqrt{(Mv_1)^2 + (mv_2)^2}}{M + m}$

**2.50.** Два шара массами  $m_1 = 2$  м/с и  $m_2 = 3$  кг движутся в горизонтальной плоскости со скоростями  $v_1 = 6$  м/с и  $v_2 = 4$  м/с соответственно. Направления движения шаров составляет угол  $\varphi = 60^\circ$ . Шары неупруго соударяются. Скорость шаров  $u$  после удара равна ... м/с.

1) 2,40

2) 4,80

3) 4,16

4) 3,39

5) 2,59

**2.51.** Масса газов, мгновенно выброшенных из ракеты, стартующей с поверхности Земли, составляет 20% от первоначальной массы ракеты. Если скорость выброса газов равна  $u = 1$  км/с, то ракета получает скорость  $v$  относительно Земли ... м/с.

1) 800

2) 250

3) 350

4) 400

5) 500

**2.52.** Положение центра масс системы двух частиц, изображенных на рисунке, относительно точки  $O$  определяется радиус-вектором  $\vec{r}_c$  ...

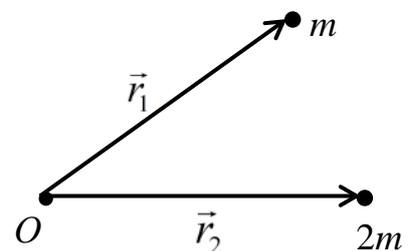
1)  $\vec{r}_c = (\vec{r}_1 + 2\vec{r}_2) / 3$

2)  $\vec{r}_c = (2\vec{r}_1 + \vec{r}_2) / 3$

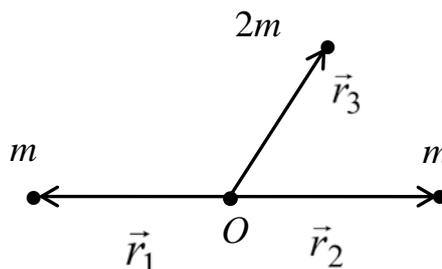
3)  $\vec{r}_c = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$

4)  $\vec{r}_c = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$

5)  $\vec{r}_c = \vec{r}_1 + 2\vec{r}_2$



**2.53.** На рисунке изображена система из трех частиц, причем модули векторов  $\vec{r}_1$ ,  $\vec{r}_2$  и  $\vec{r}_3$  равны. Положение центра масс системы относительно точки  $O$  определяется радиус-вектором  $\vec{r}_C$  ...

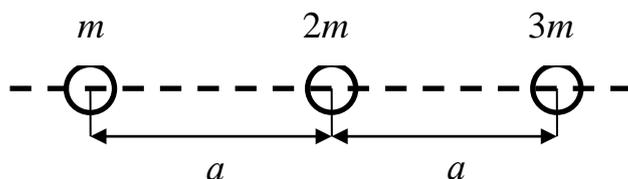


- 1)  $\vec{r}_C = 2\vec{r}_3$
- 2)  $\vec{r}_C = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + 2\vec{r}_3$
- 3)  $\vec{r}_C = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3$
- 4)  $\vec{r}_C = 0$
- 5)  $\vec{r}_C = \frac{\vec{r}_3}{2}$

**2.54.** Два шарика массами  $m_1 = 200$  г и  $m_2 = 300$  г находятся на расстоянии  $r = 2$  м друг от друга. Центр масс системы расположен на расстоянии  $l$ , равном ... см от шарика меньшей массы.

- 1) 180
- 2) 80
- 3) 100
- 4) 120
- 5) 150

**2.55.** Три маленьких шарика массами  $m$ ,  $2m$  и  $3m$  расположены на одной прямой так, как показано на рисунке. Расстояние между шариками равно  $a = 30$  см. Центр масс системы находится на расстоянии  $l$ , равном ... см от первого шарика.

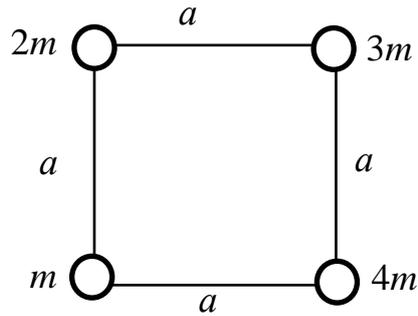


- 1) 50
- 2) 10
- 3) 20
- 4) 30
- 5) 40

**2.56.** Четыре шарика расположены вдоль прямой. Массы шариков слева направо:  $m_1 = 1$  г,  $m_2 = 2$  г,  $m_3 = 3$  г,  $m_4 = 4$  г. Расстояния между соседними шариками по  $r = 10$  см. Центр масс системы расположен от первого шарика на расстоянии  $l$ , равном ... см.

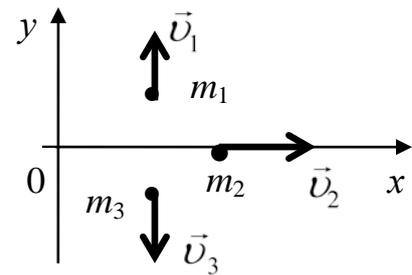
- 1) 15
- 2) 18
- 3) 20
- 4) 23
- 5) 25

**2.57.** Центр масс системы из четырех шариков, массы которых  $m$ ,  $2m$ ,  $3m$  и  $4m$ , образующих квадрат со стороной  $a$ , находится на расстоянии  $l$  ... от шарика массой  $m$ .



- 1)  $0,58a$       2)  $0,73a$       3)  $0,87a$       4)  $0,37a$       5)  $0,67a$

**2.58.** Система состоит из трех шаров с массами  $m_1 = 1$  кг,  $m_2 = 2$  кг и  $m_3 = 3$  кг, которые движутся так, как показано на рисунке. Если скорости шаров равны  $v_1 = 3$  м/с,  $v_2 = 2$  м/с,  $v_3 = 1$  м/с, то величина скорости центра масс  $v_C$  этой системы равна ... м/с

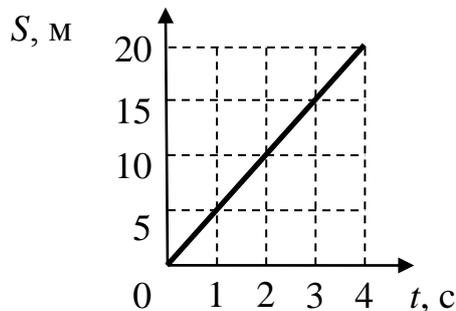


- 1) 3      2)  $2/3$       3) 4      4)  $5/3$       5) 10

**2.59.** Если центр масс системы материальных точек движется прямолинейно и равномерно, то импульс этой системы ...

- 1) равен нулю
- 2) равномерно увеличивается
- 3) не изменяется
- 4) равномерно убывает
- 5) сначала увеличивается, затем уменьшается

**2.60.** Зависимость пути  $S$ , пройденным телом массы  $m = 4$  кг от времени представлена на рисунке. Кинетическая энергия  $K$  тела в момент времени  $t = 3$  с равна ... Дж.



- 1) 15      2) 20      3) 25      4) 40      5) 50

**2.61.** Кинетическая энергия  $K$  тела массой  $m = 5$  кг, движущегося вдоль оси  $x$  по закону  $x = A + Bt + Ct^2$ , где  $A = 8$  м,  $B = 6$  м/с,  $C = 6$  м/с<sup>2</sup>, в момент времени  $t = 2$  с равна ... Дж.

- 1) 1000            2) 1300            3) 1450            4) 2250            5) 2200

**2.62.** Мячик, летящий со скоростью  $v_0$ , отбрасывается ракеткой в противоположную сторону со скоростью  $v$ . Если изменение кинетической энергии мячика равно  $\Delta W$ , то модуль изменения импульса  $|\Delta \vec{p}|$  тела равен ...

- 1)  $\frac{\Delta W}{2(v_0 - v)}$     2)  $\frac{2\Delta W}{v_0 + v}$     3)  $\frac{2\Delta W}{v_0 - v}$     4)  $\frac{2\Delta W}{v_0^2 + v^2}$     5)  $\frac{\Delta W}{2(v_0 + v)}$

**2.63.** Потенциальная энергия тела, находящегося на высоте  $h = 6$  м от поверхности Земли, при уменьшении высоты на  $\Delta h = 4$  м ... (Считать потенциальную энергию тела на Земле равной нулю)

- 1) уменьшится в 4 раза  
2) не изменится  
3) уменьшится в 2 раза  
4) уменьшится в 3 раза  
5) уменьшится в 1,5 раза

**2.64.** Потенциальная энергия тела равна  $E_n = -3kx^3$ , где  $k = \text{const}$ ,  $x$  – координата. Сила  $F$ , действующая на тело, равна ...

- 1)  $12kx^2$             2)  $9kx^2$             3)  $\frac{3kx^4}{4}$             4)  $-\frac{kx^5}{5}$             5)  $4kx^3$

**2.65.** Потенциальная энергия тела равна  $E_n = kx^4$ , где  $k = \text{const}$ ,  $x$  – координата. Сила, действующая на тело, равна ...

- 1)  $12kx^2$             2)  $-4kx^3$             3)  $\frac{kx^5}{5}$             4)  $-\frac{kx^5}{5}$             5)  $4kx^3$

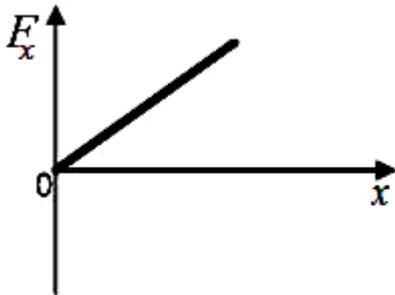
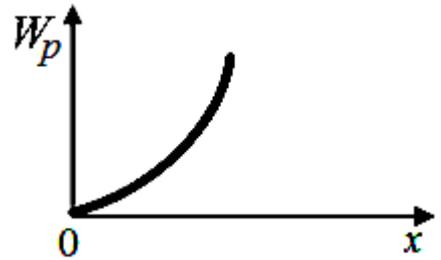
**2.66.** Потенциальная энергия частицы имеет вид  $E_n = \frac{\alpha}{r}$  ( $\alpha = \text{const}$ ,  $r$  – модуль радиус-вектора  $\vec{r}$ ). Сила  $F$ , действующая на частицу, равна ...

- 1)  $-\frac{\alpha}{r}$       2)  $-\frac{\alpha}{r^2}$       3)  $\frac{\alpha}{r}$       4)  $\frac{\alpha}{r^2}$       5)  $\alpha r$

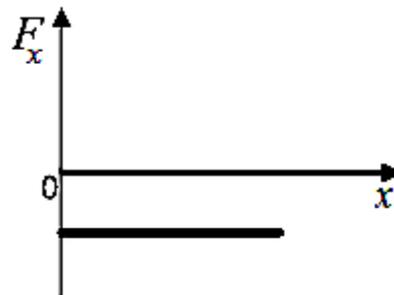
**2.67.** Потенциальная энергия частицы массой  $m$ , находящейся в центральном силовом поле, имеет вид  $E_n = \frac{\alpha}{r^2}$ , ( $\alpha = \text{const}$ ,  $r$  – модуль радиус-вектора  $\vec{r}$  частицы). Ускорение частицы  $a$  равно ...

- 1)  $\frac{2\alpha}{r^3}$       2)  $\frac{\alpha^2}{mr^4}$       3)  $\frac{\alpha}{mr^2}$       4)  $\frac{\alpha \cdot m}{r^2}$       5)  $\frac{2\alpha}{mr^3}$

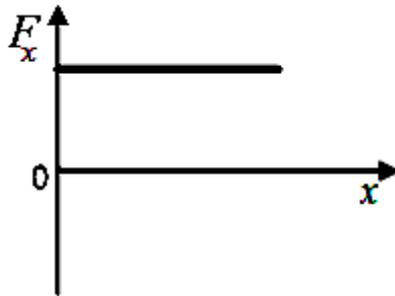
**2.68.** В потенциальном поле сила  $F$  пропорциональна градиенту потенциальной энергии  $W_p$ . Если график зависимости потенциальной энергии  $W_p$  от координаты  $x$  имеет вид, представленный на рисунке, то зависимость проекции силы  $F_x$  на ось  $x$  будет соответствовать график ...



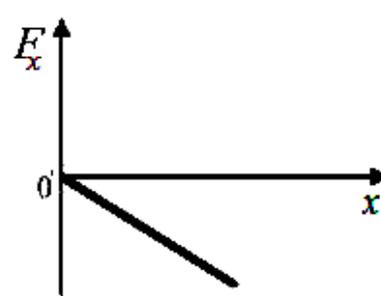
1)



2)



3)



4)

**2.69.** Потенциальная энергия тела в силовом поле определяется по формуле  $E_n = (20x^2 - 8x - 3)$ , Дж. В равновесии оно будет находиться в точке с координатой  $x$ , равной ... м.

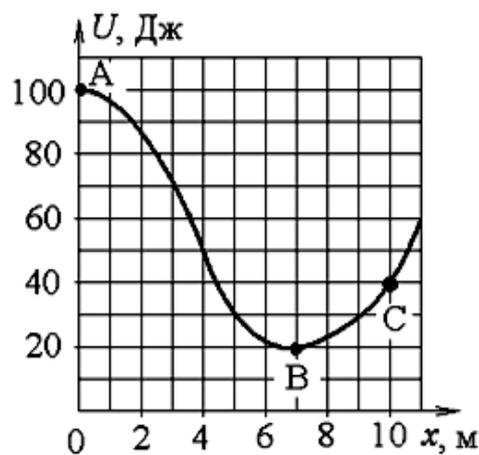
- 1) 1                      2) - 0,6                      3) 0,2                      4) - 3                      5) 0

**2.70.** Тело массой  $m = 2$  кг поднято над Землей. Его потенциальная энергия  $\Pi = 400$  Дж. Если на поверхности Земли потенциальная энергия равна нулю и силами сопротивления воздуха можно пренебречь, то скорость, с которой оно упадет на Землю, составит ... м/с.

- 1) 10                      2) 14                      3) 20                      4) 40                      5) 50

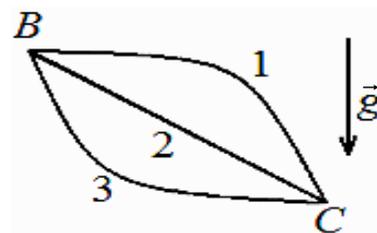
**2.71.** Небольшая шайба начинает движение без начальной скорости по гладкой ледяной горке из точки  $A$ . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии шайбы от координаты  $x$  изображена на графике. Кинетическая энергия  $K$  шайбы в точке  $C$  ...

- 1) в 1,33 раза больше, чем в точке  $B$
- 2) в 2 раза больше, чем в точке  $B$
- 3) в 1,33 раза меньше, чем в точке  $B$
- 4) в 2 раза меньше, чем в точке  $B$
- 5) такая же, как и в точке  $B$

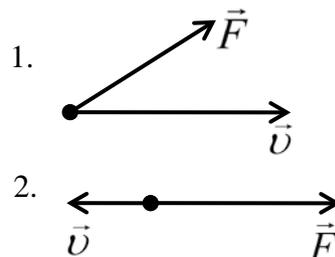


**2.72.** Соотношение работ силы тяжести  $A_1, A_2$  и  $A_3$  при движении тела из точки  $B$  в точку  $C$  по разным траекториям имеет вид ...

- 1)  $A_1 = A_2 = A_3 \neq 0$
- 2)  $A_1 > A_2 > A_3$
- 3)  $A_1 = A_2 = A_3 = 0$
- 4)  $A_1 = A_2 > A_3$
- 5)  $A_1 < A_2 < A_3$



**2.73.** На рисунке представлены два случая взаимного расположения векторов силы  $\vec{F}$  и скорости  $\vec{v}$  при движении тела. Для работы,



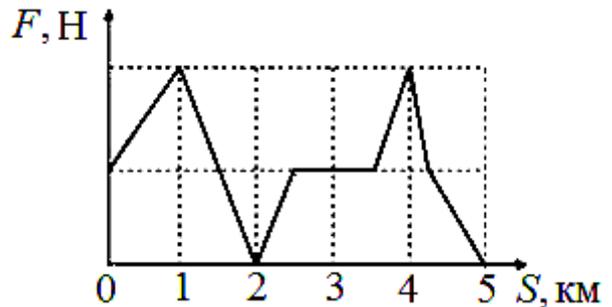
совершаемой силой  $\vec{F}$  за одно и то же время, справедливы утверждения ...

- 1)  $A_1 > 0, A_2 > 0$
- 2)  $A_1 > 0, A_2 < 0$
- 3)  $A_1 > 0, A_2 = 0$
- 4)  $A_1 < 0, A_2 = 0$
- 5)  $A_1 = 0, A_2 < 0$

**2.74.** На частицу, находящуюся в начале координат, действует сила, вектор которой определяется выражением  $\vec{F} = 4\vec{i} + 3\vec{j}$ , где  $\vec{i}$  и  $\vec{j}$  – единичные векторы декартовой системы координат. Работа  $A$ , совершенная этой силой при перемещении частицы в точку с координатами (4; 3) равна ... Дж.

- 1) 9
- 2) 12
- 3) 16
- 4) 20
- 5) 25

**2.75.** Изменение силы тяги  $F$  на различных участках пути представлено на графике. Работа  $A$  максимальна на участке...



- 1) 0-1
- 2) 1-2
- 3) 2-3
- 4) 3-4
- 5) 4-5

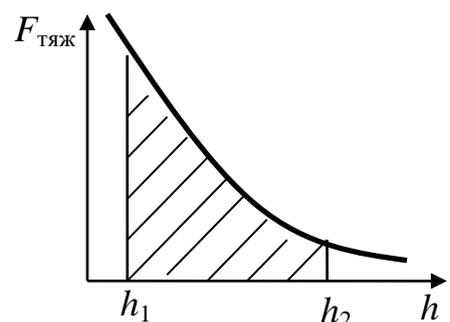
**2.76.** Находясь под действием постоянных взаимно-перпендикулярных сил величиной  $F_1 = 6$  Н и  $F_2 = 8$  Н, тело прошло путь  $S = 2$  м. Над телом совершена работа  $A$ , равная ... Дж.

- 1) 48,0
- 2) -9,8
- 3) 9,8
- 4) 20,0
- 5) 28,3

**2.77.** Работа силы  $A$ , равномерно возрастающей от  $F_1 = 10$  Н до  $F_2 = 46$  Н на пути  $S = 12$  м, равна ... Дж.

- 1) 120
- 2) 552
- 3) 460
- 4) 432
- 5) 336

**2.78.** В гравитационном поле сила тяжести убывает, как показано на рисунке. При подъеме тела из точки с координатой  $h_1$  в точку с координатой  $h_2$  заштрихованная площадь на графике равна ...



- 1) уменьшению полной энергии тела
- 2) увеличению полной энергии тела
- 3) увеличению кинетической энергии тела
- 4) увеличению потенциальной энергии тела
- 5) уменьшению потенциальной энергии тела

**2.79.** Тело массы  $m = 1$  кг соскользнуло по наклонной плоскости длиной  $l = 5$  м, затем двигалось по горизонтальной поверхности  $S = 3$  м, было поднято на высоту  $h = 3$  м и горизонтально возвращено в исходную точку. Полная работа силы тяжести  $A$  над телом на всем пути движения равна ... Дж.

- 1) 210                      2) 0                              3) 30                              4) 60                              5) 80

**2.80.** Работа силы тяжести  $A$ , совершаемая над искусственным спутником массы  $m$ , движущимся по круговой орбите радиуса  $R$  вокруг Земли со скоростью  $v$ , за один полный оборот равна ...

- 1)  $\frac{mv^2}{2}$                       2)  $\frac{mv^2}{R}$                       3)  $2\pi mgR$                       4)  $\pi mgR$                       5) 0

**2.81.** Подвешенный к пружине с жесткостью  $k$  груз удлинил ее на  $x$ . Наименьшая работа  $A$ , совершенная при приподнятии груза до уменьшения  $x$  в 2 раза, равна ...

- 1)  $\frac{kx^2}{8}$                       2)  $\frac{kx^2}{4}$                               3)  $\frac{kx^2}{2}$                               4)  $\frac{5kx^2}{8}$                               5)  $kx^2$

**2.82.** На пружине с жесткостью  $k$  висит груз массой  $m$ . Наименьшая работа  $A$ , которую нужно совершить, чтобы приподнять груз до уменьшения деформации пружины вдвое, равна ...

- 1)  $\frac{(mg)^2}{k}$                       2)  $\frac{(mg)^2}{2k}$                               3)  $\frac{(mg)^2}{4k}$                               4)  $\frac{(mg)^2}{8k}$                               5)  $\frac{5(mg)^2}{8k}$

**2.83.** Тело массой  $m$  равномерно движется по горизонтальной плоскости под действием силы тяги  $F$ , направленной вверх под углом  $\alpha$  к направлению движения тела. Коэффициент трения скольжения  $\mu$ , величина перемещения  $S$ . Работа силы трения  $A$ , выраженная через заданные единицы, равна ...

- 1)  $\mu FS \cos \alpha$                       2)  $\mu FS \sin \alpha$                       3)  $\mu(F \sin \alpha - mg)S$   
 4)  $\mu(mg - F \sin \alpha)S$                       5)  $\mu(F \cos \alpha - mg)S$

**2.84.** При выстреле из винтовки пуля массой  $m = 10$  г вылетела вертикально вверх со скоростью  $v = 300$  м/с и достигла высоты  $h = 4$  км. Работа силы трения  $A$  равна ... Дж.

- 1) 50                      2) 500                      3) 4500                      4) 45000                      5) 90000

**2.85.** Вагон массой  $m$ , двигавшийся равномерно со скоростью  $v$  под действием силы трения  $F_{\text{тр}}$  через некоторое время остановился. Работа  $A$  силы трения равна ...

- 1) 0                      2)  $-F_{\text{тр}} \cdot v$                       3)  $F_{\text{тр}} \cdot v$                       4)  $-\frac{mv^2}{2}$                       5)  $\frac{mv^2}{2}$

**2.86.** Тело массой  $m$  бросили с башни высотой  $h$  со скоростью  $v_0$ . На землю оно упало со скоростью  $v$ . Работа  $A$  силы сопротивления равна ...

- 1)  $\frac{m}{2}(v^2 - v_0^2)$                       2)  $\frac{m}{2}(v_0^2 - v^2) + mgh$                       4)  $mgh$   
 3)  $\frac{m}{2}(v^2 - v_0^2) - mgh$                       5)  $\frac{m}{2}(v_0^2 - v^2)$

**2.87.** Оконная квадратная штора массой  $m = 1$  кг и длиной  $l = 2$  м свертывается в тонкий валик наверху окна. При этом совершается работа  $A$ , равная ... Дж.

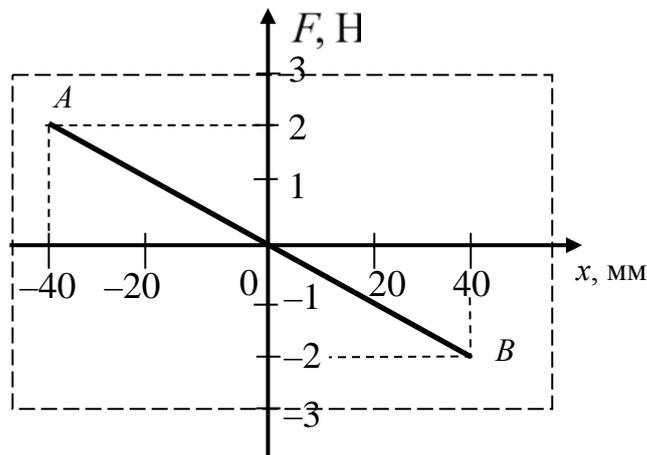
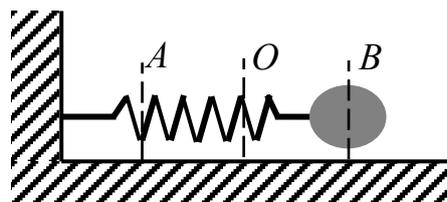
- 1) 5                      2) 10                      3) 15                      4) 20                      5) 0

**2.88.** На горизонтальной поверхности стоит однородный цилиндр, масса которого  $m$ , радиус основания,  $R$  высота  $H$ . Наименьшая работа  $A$ , совершаемая при его опрокидывании, равна ...

- 1)  $mgH$                       2)  $mg\sqrt{R^2 + H^2}$                       3)  $mgR$   
 4)  $0,5mg\left(\sqrt{4R^2 + H^2} - H\right)$                       5)  $mg\left(\sqrt{4R^2 + H^2} - H\right)$

**2.89.** Шарик, прикрепленный к пружине и насаженный на горизонтальную направляющую, совершает гармонические

колебания относительно равновесного положения ( $O$ ). На графике представлена проекция силы упругости пружины на положительное направление оси  $X$  в зависимости от координаты шарика. Работа силы упругости  $A$  на участке  $O-A-O$  равна ... Дж.

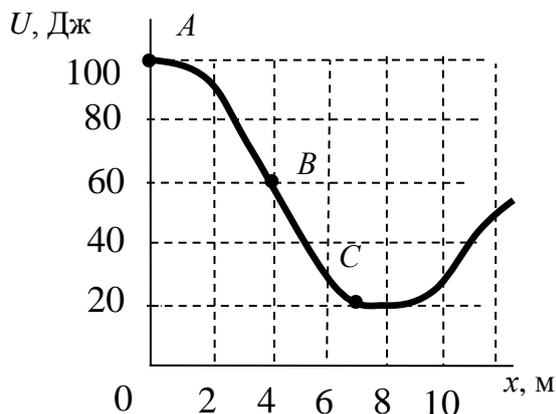


- 1)  $4 \cdot 10^{-2}$       2) 0      3)  $8 \cdot 10^{-2}$       4)  $-4 \cdot 10^{-2}$       5)  $-8 \cdot 10^{-2}$

**2.90.** Конькобежец массой  $m_1 = 60$  кг, стоя на льду, бросил горизонтально гирию массой  $m_2 = 3$  кг со скоростью  $v_2 = 10$  м/с. Конькобежец откатился назад со скоростью  $v_1$ , равной ... м/с.

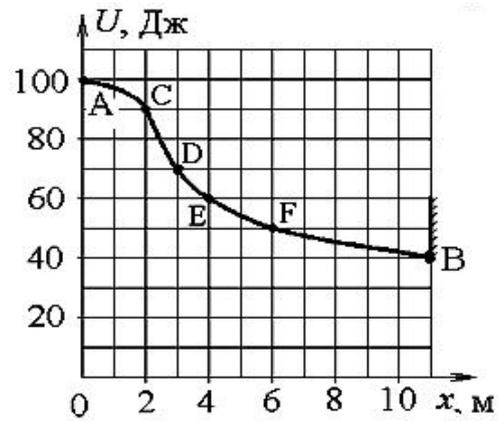
- 1) 0,5      2) 1      3) 2      4) 3      5) 5

**2.91.** Небольшая шайба начинает движение без начальной скорости по гладкой ледяной горке из точки  $A$ . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии  $U$  шайбы от координаты  $x$  изображена на графике. Скорость шайбы  $v$  в точке  $C$  ...



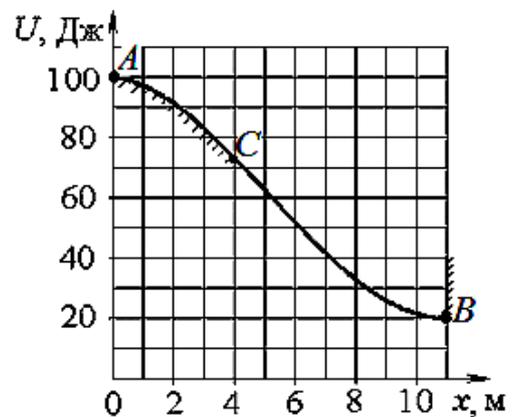
- 1) в  $\sqrt{2}$  раз больше, чем в точке  $B$   
 2) в 3 раза больше, чем в точке  $B$   
 3) в 3 раза меньше, чем в точке  $B$   
 4) в  $\sqrt{3}$  раз больше, чем в точке  $B$   
 5) в 2 раза больше, чем в точке  $B$

**2.92.** Небольшая шайба начала движение без начальной скорости по гладкой ледяной горке из точки  $A$ . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии  $U$  шайбы от координаты  $x$  изображена на графике. В точке  $B$  шайба, потеряв  $\Delta T = 10$  Дж кинетической энергии при столкновении со стеной, повернула назад. Шайба остановилась в точке ...



- 1)  $C$                                       2)  $D$                                       3)  $F$                                       4)  $E$

**2.93.** С ледяной горки с небольшим шероховатым участком  $AC$  из точки  $A$  без начальной скорости скатывается тело. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии шайбы  $U$  от координаты  $x$  изображена на графике. При движении тела сила трения совершила работу  $A_{тр} = 20$  Дж. После абсолютно неупругого удара со стеной в точке  $B$  выделилось количество теплоты  $Q$ , равное ... Дж.



- 1) 60                                      2) 100                                      3) 80                                      4) 120                                      5) 20

**2.94.** Тело массой  $m$  бросили со скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Мощность  $N$  силы тяжести в верхней точке траектории равна ...

- 1) 0            2)  $m g v_0$             3)  $m g v_0 \cos \alpha$             4)  $m g v_0 \sin \alpha$             5)  $m g v_0 \operatorname{tg} \alpha$

**2.95.** При движении корабля в воде сила сопротивления  $F_{сопр}$  возрастает пропорционально квадрату его скорости. Чтобы скорость корабля возросла в 3 раза, мощность судового двигателя нужно увеличить в ... раз.

- 1) 27                                      2) 9                                      3) 3                                      4) 30                                      5) 18

**2.96.** Автомобиль, имеющий массу  $m$ , трогается с места и, двигаясь прямолинейно, проходит путь  $S$  за время  $t$ . Двигатель автомобиля развивает максимальную мощность  $N$ , равную ...

- 1)  $\frac{2mS^2}{t^2}$       2)  $\frac{2mS^2}{t}$       3)  $\frac{4mS^2}{t^3}$       4)  $\frac{4mS^3}{t^3}$       5)  $\frac{4mS^3}{t}$

**2.97.** Полезная мощность насоса  $N = 10$  кВт. С глубины  $h = 18$  м в течение  $t = 30$  мин этот насос может поднять воду объемом  $V$ , равным ... м<sup>3</sup>. (Плотность воды принять равной  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>)

- 1) 100      2) 200      3) 50      4) 120      5) 180

**2.98.** Шайба массой  $m$ , пущенная по льду с начальной скоростью  $v_0$ , остановилась через время  $t$ . Средняя мощность  $N$  силы трения за время движения шайбы равна ...

- 1)  $\frac{mv_0}{t}$       2)  $\frac{mv_0^2}{2t}$       3)  $\frac{mv_0^2}{t}$       4)  $\frac{2mv_0^2}{t}$       5)  $\frac{mv_0^2}{4t}$

**2.99.** Подъемный кран равномерно поднимает груз массой  $m = 2$  т. Мощность двигателя крана  $N = 7,4$  кВт. Если КПД установки  $\eta = 60\%$ , то скорость  $v$  подъема груза равна ... м/с.

- 1) 0,37      2) 0,29      3) 0,22      4) 0,18      5) 0,11

**2.100.** Автомобиль массой  $m$ , трогаясь с места и двигаясь равноускоренно, за время  $t$  проходит путь  $S$ . Если КПД мотора  $\eta = 50\%$ , то его средняя мощность  $N$  равна ...

- 1)  $\frac{mS^2}{t^3}$       2)  $\frac{4mS^2}{t^3}$       3)  $\frac{2mS^3}{t^2}$       4)  $\frac{mS^3}{t^2}$       5)  $\frac{mS^2}{t^2}$

### Задачи

**2.101.** Металлический шарик массы  $m = 200$  г падает вертикально на мраморный пол с высоты  $h_1 = 80$  см и отскакивает от него на высоту  $h_2 = 72$  см. Определите импульс  $p$ , полученный мраморным полом за время удара. [ $p = 1,54$  кг·м/с]

**2.102.** Шар массой  $m = 0,3$  кг, двигаясь со скоростью  $v = 10$  м/с, упруго ударяется о гладкую неподвижную стенку так, что скорость

его направлена под углом  $\alpha = 30^\circ$  к нормали. Определить импульс, полученный стеной. [ $p = 5,20 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ ]

**2.103.** Стальной шарик  $m = 20 \text{ г}$ , падая с высоты  $h_1 = 1 \text{ м}$  на стальную плиту, отскакивает от нее на высоту  $h_2 = 81 \text{ см}$ . Найдите импульс силы  $F \cdot \Delta t$ , полученный плитой за время удара, количество теплоты  $Q$ , полученное телами при ударе, и время подъема шарика. [ $F \cdot \Delta t = 0,17 \text{ Н} \cdot \text{с}$ ;  $Q = 37 \text{ мДж}$ ;  $t = 0,4 \text{ с}$ ]

**2.104.** Теннисный мяч, летевший со скоростью  $v_1 = 13 \text{ м/с}$ , отражается ракеткой в противоположном направлении со скоростью  $v_2 = 15,3 \text{ м/с}$ . Определить импульс силы  $F \Delta t$ , приложенный к мячу во время удара, если его кинетическая энергия изменилась на  $\Delta E = 11,8 \text{ Дж}$ . [ $F \cdot \Delta t = 10,3 \text{ Н} \cdot \text{с}$ ]

**2.105.** Молекула массой  $m = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ , летящая со скоростью  $v = 600 \text{ м/с}$ , ударяется упруго о стенку сосуда под углом  $\alpha = 60^\circ$  к нормали и отскакивает от нее. С какой силой  $F$  стенка действовала на молекулу, если столкновение происходит за время  $t = 0,01 \text{ с}$ . [ $F = 2,79 \cdot 10^{-21} \text{ кН}$ ]

**2.106.** Молот массой  $m = 17 \text{ кг}$  поднят на высоту  $h = 1,7 \text{ м}$  и свободно падает на наковальню. Найти среднюю силу удара молота  $F$  о наковальню, если удар неупругий и длится  $\Delta t = 5,6 \text{ мс}$ ? [ $F = 17,5 \text{ кН}$ ]

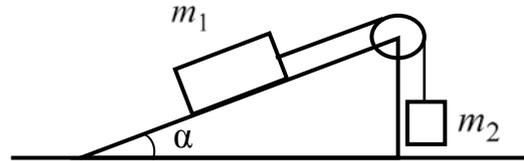
**2.107.** Шайба, пущенная по поверхности льда с начальной скоростью  $v = 20 \text{ м/с}$ , остановилась через время  $t = 40 \text{ с}$ . Найдите коэффициент трения  $\mu$  шайбы об лед. [ $\mu = 0,051$ ]

**2.108.** Покоящийся брусок массой  $m_1 = 5 \text{ кг}$  может скользить по горизонтальной поверхности без трения. На нем лежит брусок массой  $m_2 = 2 \text{ кг}$ . Коэффициент трения между брусками  $\mu = 0,3$ . При какой минимальной силе, приложенной к нижнему бруску, верхний начнет соскальзывать с него? [ $F = 20,6 \text{ Н}$ ]

**2.109.** На наклонной плоскости находится груз массой  $m_1 = 5 \text{ кг}$ , связанный нитью, перекинутой через блок, с другим грузом массой

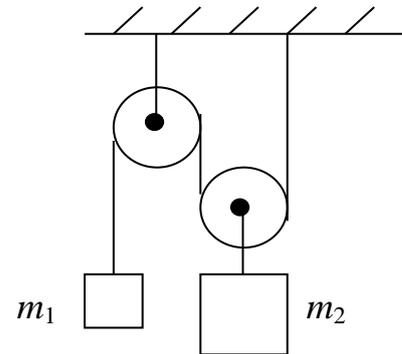
$m_2 = 2$  кг. Коэффициент трения между первым грузом и плоскостью  $\mu = 0,1$ . Угол наклона плоскости к горизонту  $\alpha = 37^\circ$ . Определите ускорения  $a$  грузов. При каких значениях массы  $m_2$  система будет находиться в равновесии? [ $a = 0,84$  м/с<sup>2</sup>;  $2,6 \leq m_2 \leq 3,4$  кг]

**2.110.** На наклонной плоскости с углом наклона к горизонту  $\alpha = 30^\circ$  находится груз, связанный с другим грузом перекинутой через блок нитью. При каком соотношении масс



$\frac{m_2}{m_1}$  грузы будут неподвижны? При каком соотношении груз на плоскости будет двигаться вниз и при каком – вверх? Коэффициент трения груза о плоскость  $\mu = 0,1$ . Массой блока пренебречь. [ $0,413 < \frac{m_2}{m_1} < 0,587$ ;  $\frac{m_2}{m_1} \leq 0,413$ ;  $\frac{m_2}{m_1} \geq 0,587$ ]

**2.111.** Грузы массами  $m_1 = 3$  кг и  $m_2 = 5$  кг движутся как показано на рисунке. Определить силу натяжения нити  $T_2$ , на которой подвешен второй груз. [ $T_2 = 53$  Н]



**2.112.** К потолку лифта на нити длиной  $l = 40$  см прикреплен шар массой  $m = 800$  г, который вращается с частотой  $n = 90$  об/мин вокруг вертикальной оси. Найти угол наклона нити  $\varphi$  к вертикали, когда лифт движется вверх с ускорением  $a = 3$  м/с<sup>2</sup>. [ $\varphi = 54^\circ$ ]

**2.113.** Гири массой  $m = 0,5$  кг, привязанная к резиновому шнуру длиной  $l_0$ , описывает в горизонтальной плоскости окружность. Частота вращения гири  $n = 2$  об/с, угол отклонения резинового шнура от вертикали  $\alpha = 30^\circ$ , жесткость шнура  $k = 0,6$  кН/м. Найдите длину  $l_0$  нерастянутого резинового шнура. [ $l_0 = 6,3$  см]

**2.114.** Самолет описывает петлю Нестерова радиусом  $R = 200$  м. Во сколько раз сила  $P$ , с которой летчик давит на сиденье в нижней точке, больше силы тяжести  $F$  летчика, если скорость самолета  $v = 100$  м/с? [в 6,1 раза]

**2.115.** Определить период обращения  $T$  искусственного спутника Земли, если известно, что он вращается по круговой орбите радиусом  $R = 7800$  км. [ $T = 1,9$  часа]

**2.116.** Космический корабль на скорости  $v = 10$  км/с попадает в неподвижное облако метеоритов с плотностью вещества  $\rho = 20$  мг/м<sup>3</sup>. На сколько должна возрасти сила тяги  $F$  двигателя, чтобы скорость корабля не изменилась, если его лобовое поперечное сечение  $S = 50$  м<sup>2</sup>. Удар метеоритов об обшивку корабля считать неупругим. [ $\Delta F = 100$  кН]

**2.117.** Вертолет массой  $m = 3,5$  т с ротором, диаметр которого равен  $d = 18$  м, «висит» в воздухе. С какой скоростью  $v$  ротор отбрасывает вертикально вниз струю воздуха? Диаметр струи считать равным диаметру ротора. Плотность воздуха  $\rho = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>. [ $v = 10,2$  м/с]

**2.118.** Снаряд массой  $m = 10$  кг выпущен из зенитного орудия вертикально вверх со скоростью  $v = 800$  м/с. Считая силу сопротивления пропорциональной скорости, определить время  $t$  подъема снаряда до высшей точки. Коэффициент сопротивления  $k = 0,25$  кг/с. [ $t = 44,5$  с]

**2.119.** Парашютист, масса которого  $m = 80$  кг, совершает затяжной прыжок. Считая, что сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости, определить, через какой промежуток времени  $\tau$  скорость движения парашютиста будет равна 0,9 от скорости установившегося движения. Начальная скорость парашютиста равна нулю. Коэффициент сопротивления  $k = 10$  кг/с. [ $\tau = 18,4$  с]

**2.120.** Ракета массой  $m = 1$  т, запущенная с поверхности Земли вертикально вверх, поднимается с ускорением  $a = 20$  м/с<sup>2</sup>. Скорость струи газов, вырывающихся из сопла, равна  $u = 1200$  м/с. Найдите

массу горючего, расходуемого за секунду. Действием силы тяжести пренебречь.  $\left[\frac{\Delta m}{\Delta t} = 16,7 \text{ кг/с}\right]$

**2.121.** Ракета массой  $m = 1 \text{ т}$ , запущенная с поверхности Земли вертикально вверх, поднимается с ускорением  $a = 2g$ . Скорость струи газов, вырывающихся из сопла, равна  $u = 1200 \text{ м/с}$ . Найдите расход горючего  $\mu$ .  $[\mu = 24,5 \text{ кг/с}]$

**2.122.** Ракета с начальной массой  $m = 1,5 \text{ кг}$  выбрасывает непрерывную струю газов с постоянной относительно ракеты скоростью  $u = 800 \text{ м/с}$ . Расход газа  $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 300 \text{ г/с}$ . Пренебрегая

сопротивлением воздуха и внешним силовым полем, определите, какую скорость  $v$  относительно Земли приобретет ракета через  $t = 1 \text{ с}$  после начала движения, если ее начальная скорость равна нулю.  $[v = 178 \text{ м/с}]$

**2.123.** Какую часть веса одноступенчатой ракеты должен составлять вес горючего, если ракета, взлетая вертикально, приобретет в конце работы двигателя первую космическую скорость, равную  $v = 7,9 \text{ км/с}$ ? Сопротивлением воздуха пренебречь. Скорость истечения газов из сопла ракеты  $u = 3440 \text{ м/с}$ .  $[\text{более } 89,9 \text{ \%}]$

**2.124.** Шар массой  $m = 1,8 \text{ кг}$  сталкивается с покоящимся шаром большей массой  $M$ . В результате прямого упругого удара шар потерял  $\Delta E = 0,36E$  своей кинетической энергии  $E$ . Определить массу большего шара.  $[M = 16,2 \text{ кг}]$

**2.125.** Пуля массы  $m = 10 \text{ г}$  застревает в первоначально покоящемся бруске, масса которого  $M = 0,1 \text{ кг}$ . Какая доля  $\omega$  механической энергии потеряна при ударе?  $\left[\omega = \frac{\Delta E}{E} = 0,91\right]$

**2.126.** Граната, летящая со скоростью  $v = 10 \text{ м/с}$ , разорвалась на два осколка. Большой осколок, масса которого составляла  $0,6$  массы всей гранаты, продолжал двигаться в том же направлении, но с

увеличенной скоростью  $u = 25$  м/с. Найти скорость меньшего осколка  $u'$ . [ $u' = -12,5$  м/с]

**2.127.** Снаряд, выпущенный со скоростью  $v = 100$  м/с под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту, разорвался в верхней точке траектории на два одинаковых осколка. Один осколок упал на землю прямо под точкой разрыва со скоростью  $v_1 = 97$  м/с. С какой скоростью  $v_2$  упал на землю второй осколок? [ $v_2 = 222,3$  м/с]

**2.128.** Лодка массой  $M = 150$  кг и длиной  $l = 2,8$  м стоит неподвижно в стоячей воде. Рыбак массой  $m = 90$  кг переходит в лодке с носа на корму. Пренебрегая сопротивлением воды, определите, на какое расстояние  $S$  сдвинется лодка. [ $S = 1,05$  м]

**2.129.** Потенциальная энергия частицы имеет вид  $U = \frac{\alpha}{r}$ , где  $r$  – модуль радиус-вектора частицы,  $\alpha$  – константа. Найти силу  $\vec{F}$ , действующую на частицу, и работу  $A$ , совершаемую этой силой над частицей при ее переходе из точки с координатами  $(1, 2, 3)$  в точку с координатами  $(2, 3, 4)$ . [ $\vec{F} = \frac{\alpha}{r^2} \vec{e}_r$ ;  $A = 0,082$  Дж]

**2.130.** Найдите изменение потенциальной энергии  $\Delta\Pi$  тела при его перемещении из точки  $A$   $(1; 2; 3)$  в точку  $B$   $(2; 3; 1)$  при действии силы  $\vec{F} = 2x^2\vec{i} + 3y\vec{j} - z^3\vec{k}$ . [ $\Delta\Pi = 32,16$  Н]

**2.131.** С башни высотой  $h = 20$  м в горизонтальном направлении со скоростью  $v_0 = 10$  м/с брошен камень массы  $m = 400$  г. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени  $t = 1$  с после начала движения кинетическую  $K$  и потенциальную  $\Pi$  энергии. [ $K = 39,2$  Дж;  $\Pi = 59,2$  Дж]

**2.132.** На нити длиной  $l = 2,7$  м висит груз массы  $m = 254$  г. Какую начальную скорость  $v_0$  нужно сообщить грузу в нижней точке, чтобы он смог сделать полный оборот, если массой нити можно пренебречь? [ $v_0 > 11,5$  м/с]

**2.133.** С поверхности идеально гладкой полусферы радиусом  $R = 23,5$  см соскальзывает частица. Найти высоту  $h$  относительно земли, с которой частица оторвется от полусферы. [ $h = 15,7$  см]

**2.134.** Движущееся тело массой  $m_1$  ударяется о неподвижное тело массой  $m_2$ . Каким должно быть отношение масс  $m_1/m_2$ , чтобы при центральном упругом ударе скорость первого тела уменьшилась в 1,5 раза? С какой кинетической энергией  $E_2$  начинает двигаться при этом второе тело, если первоначальная кинетическая энергия первого тела  $E_1 = 1$  кДж? [ $\frac{m_1}{m_2} = 5$ ;  $E_2 = 0,56$  кДж]

**2.135.** Маленькому шарик, подвешенному на нити длиной  $l = 1$  м, сообщили такую начальную скорость, что когда нить отклонилась на угол  $\varphi = 60^\circ$  от вертикали, ускорение шарика оказалось направленным горизонтально. Найдите начальную скорость  $v_0$  шарика. [ $v_0 = 5$  м/с]

**2.136.** Два шара массой  $m_1 = 2$  кг и  $m_2 = 3$  кг подвешены на невесомых нитях длиной  $l = 70$  см. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем меньший шар отклонили на угол  $\alpha = 60^\circ$  и отпустили. Считая удар центральным и неупругим, определить высоту  $h$ , на которую поднимутся шары после удара, и энергию  $Q$ , израсходованную на деформацию шаров. [ $h = 5,6$  см;  $Q = 4,12$  Дж]

**2.137.** Пуля массой  $m = 10$  г, летевшая со скоростью  $v = 600$  м/с, попала в баллистический маятник массы  $M = 5$  кг под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту и застряла в нем. На какую высоту  $h$  поднялся маятник, откачнувшись после удара? [ $h = 5,4$  см]

**2.138.** Пуля, летящая горизонтально, попадает в шар, подвешенный на жестком стержне пренебрежимо малой массой и застревает в нем. Масса пули в 100 раз меньше массы шара. Расстояние от центра шара до точки подвеса стержня  $l = 1$  м. Найдите скорость  $v$  пули, если известно, что стержень с шаром отклонился от удара пули на угол  $\alpha = 60^\circ$ . [ $v = 316$  м/с]

**2.139.** При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх пуля массой  $m = 20$  г поднялась на высоту  $h = 5$  м. Определить жесткость  $k$  пружины пистолета, если она была сжата на  $\Delta x = 10$  см. Массой пружины пренебречь. [ $k = 190$  Н/м]

**2.140.** Акробат прыгает на сетку с высоты  $h = 8$  м. На какой предельной высоте  $x$  над полом надо натянуть сетку, чтобы акробат не ударился о пол при прыжке? Известно, что сетка прогибается на  $x_0 = 0,5$  м, если акробат прыгает на нее с высоты  $h_1 = 0,5$  м. [ $x = 1,54$  м]

**2.141.** Легкий шарик из материала, плотность которого  $\rho_1 = 720$  кг/м<sup>3</sup>, падает с высоты  $h = 2,46$  м в жидкость плотностью  $\rho_2 = 1050$  кг/м<sup>3</sup>. Найти глубину  $H$  и время  $t$  погружения шарика в жидкость. [ $H = 5,37$  м;  $t = 1,31$  с]

**2.142.** С незакрепленной горки (клина) массой  $M = 1$  кг соскальзывает тело массой  $m = 500$  г. Угол наклона горки меняется и у основания равен нулю. Высота горки  $h = 0,5$  м. Определить скорость  $v$  тела после соскальзывания. Трением пренебречь. [ $v = 9,36$  км/ч]

**2.143.** Шайба массой  $m = 400$  г скользит с наклонной ледяной горки высотой  $h = 10$  см и длиной  $l = 1$  м. Коэффициент трения на всем пути  $\mu = 0,04$ . Определить кинетическую энергию  $K$  шайбы у основания плоскости и путь  $S$ , пройденный шайбой на горизонтальном участке, до остановки. [ $K = 0,236$  Дж;  $S = 1,5$  м]

**2.144.** На толкание ядра, брошенного с высоты  $h = 1,8$  м под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту, затрачена работа  $A = 216$  Дж. Через какое время  $t$  и на каком расстоянии  $S$  от места бросания ядро упадет на землю? Масса ядра  $m = 2$  кг. [ $t = 1,7$  с;  $S = 21,9$  м]

**2.145.** Найдите работу  $A$  по подъему груза массой  $m = 100$  кг по наклонной плоскости длиной  $l = 8$  м с углом наклона к горизонту  $\alpha = 30^\circ$ . Коэффициент трения  $\mu = 0,1$ , а время подъема  $t = 5$  с. [ $A = 5,1$  кДж]

**2.146.** Какую минимальную работу  $A$  необходимо совершить, чтобы передвинуть по горизонтальной плоскости груз массой  $m = 10$  кг на расстояние  $\Delta x = 1$  м с помощью невесомого резинового жгута с жесткостью  $k = 10$  Н/м. Жгут тянут горизонтально, в начальный момент он не растянут. Коэффициент трения груза о плоскость равен  $\mu = 0,1$ . [ $A = 15$  Дж]

**2.147.** Конькобежец, стоя на льду, бросил вперед гирию массой  $m = 5$  кг и вследствие отдачи покатился назад со скоростью  $v = 1$  м/с. Масса конькобежца  $M = 60$  кг. Определить работу  $A$ , совершенную конькобежцем при бросании гири. [ $A = 390$  Дж]

**2.148.** Определить мощность  $N$  Ниагарского водопада, если его высота  $h = 50$  м, а среднегодовой расход воды  $Q = 5900$  м<sup>3</sup>/с. [ $N = 2,89$  ГВт]

**2.149.** Масса вертолета  $m = 3$  т. На его подъем тратится 30% мощности мотора. Определить мощность  $N$  мотора вертолета, если он может подняться на высоту  $h = 1,5$  км за  $t = 2$  мин. Движение вертолета считать равномерным. [ $N = 1,25$  МВт]

**2.150.** Молотком, масса которого  $m_1 = 1$  кг, забивают в стену гвоздь массой  $m_2 = 75$  г. Определить КПД  $\eta$  удара молотка при данных условиях [ $\eta = 0,93$ ]

### 3. ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

#### Основные формулы:

Момент инерции материальной точки относительно оси

$$J = mr^2,$$

где  $m$  – масса материальной точки и  $r$  – ее расстояние до оси.

Момент инерции тела относительно оси

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

где  $m_i$  – масса  $i$ -й материальной точки тела,  $r_i$  – расстояние от этой материальной точки до оси.

Если представить тело состоящим из малых частей объемом  $dV$  и массы  $dm$  ( $dm = \rho dV$ ), то его момент инерции

$$J = \int_m r^2 dm,$$

где  $r$  – расстояние от элемента тела объемом  $dV$  до оси, относительно которой рассчитывается момент инерции.

Моменты инерции некоторых твердых тел относительно оси проходящей через их центры симметрии:

Тело	Положение оси $O$	Момент инерции $J_0$
Прямой тонкий стержень длиной $l$ и массой $m$ (карандаш, линейка, стержень, бревно)	Ось перпендикулярна к стержню (карандашу, линейке, стержню, бревну) и проходит через его середину	$\frac{1}{12}ml^2$
Сплошной цилиндр радиусом $R$ и массой $m$ (диск, вал, маховик)	Ось цилиндра (диска, вала, маховика)	$\frac{1}{2}mR^2$
Полый тонкостенный цилиндр радиусом $R$ и массой $m$ (обруч, кольцо)	Ось цилиндра (обруча, кольца)	$mR^2$
Сплошной шар радиусом $R$ и массой $m$	Ось проходит через центр шара	$\frac{2}{5}mR^2$

Если ось не проходит через центр масс, для расчета момента инерции используют теорему Штейнера

$$J = J_0 + ma^2,$$

где  $J$  – момент инерции тела относительно данной оси,  $J_0$  – момент инерции этого тела относительно оси, параллельной данной и проходящей через центр масс,  $m$  – масса тела,  $a$  – расстояние между осями.

Момент импульса материальной точки относительно неподвижной точки  $O$

$$\vec{L} = [\vec{r} \times \vec{p}],$$

где  $\vec{p}$  – импульс материальной точки,  $\vec{r}$  – радиус-вектор материальной точки, проведенный из точки  $O$ .

Модуль момента импульса материальной точки относительно неподвижной точки  $O$

$$L = pr \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол между направлениями радиус-вектора  $\vec{r}$  и импульса  $\vec{p}$ .

Момент импульса твердого тела относительно неподвижной оси

$$\vec{L} = J \vec{\omega},$$

где  $J$  – момент инерции тела относительно данной оси,  $\vec{\omega}$  – угловая скорость его вращения.

Закон сохранения момента импульса: в замкнутой системе частиц или тел полный момент импульса системы не меняется со временем

$$\sum_{i=1}^n \vec{L}_i = \text{const}.$$

Момент силы относительно неподвижной точки  $O$

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}],$$

где  $\vec{r}$  – радиус-вектор, проведенный из этой точки в точку приложения силы  $\vec{F}$ .

Модуль момента силы относительно неподвижной точки

$$M = Fr \sin \alpha = Fl,$$

где  $\alpha$  – угол между направлениями радиус-вектора  $\vec{r}$  и силы  $\vec{F}$ ,  $l = r \sin \alpha$  – плечо силы (длина перпендикуляра, опущенного из точки  $O$  на прямую, вдоль которой действует вектор силы).

## Основное уравнение динамики вращательного движения

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt},$$

где  $\vec{M}$  – суммарный момент сил, действующий на тело, относительно данной оси,  $\vec{L}$  – момент импульса тела ( $J$  – момент инерции твердого тела относительно оси вращения,  $\vec{\omega}$  – его угловая скорость).

Если  $J = \text{const}$

$$\vec{M} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt} = J\vec{\varepsilon},$$

где  $\vec{\varepsilon}$  – угловое ускорение, приобретаемое телом под действием момента сил  $\vec{M}$ .

Кинетическая энергия вращающегося тела

$$E_k = \frac{J\omega^2}{2},$$

где  $J$  – момент инерции тела,  $\omega$  – его угловая скорость.

Кинетическая энергия катящегося тела

$$E_k = \frac{m v_0^2}{2} + \frac{J_0 \omega^2}{2},$$

где  $m$  – масса тела,  $v_0$  – скорость поступательного движения центра масс,  $J_0$  – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс,  $\omega$  – угловая скорость вращения тела.

Работа при вращательном движении

$$A = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi.$$

Работа, совершаемая при вращении тела и изменение его кинетической энергии связаны соотношением

$$A = \Delta E = \frac{J\omega_2^2}{2} - \frac{J\omega_1^2}{2}.$$

Средняя мощность

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

Мгновенная мощность

$$N = \frac{dA}{dt} = \frac{Md\varphi}{dt} = M\omega.$$

## Тестовые задания

**3.1.** Момент инерции тела  $J$  относительно любой оси измеряется в ...

- 1) кг·м                      2) Н·м                      3) кг·м<sup>2</sup>                      4) Н·с                      5) кг·м/с<sup>2</sup>

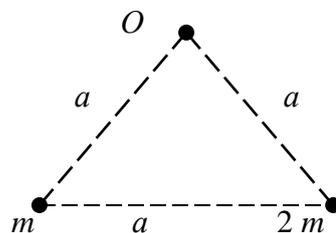
**3.2.** По формуле  $\rho \int_V r^2 dV$  ( $\rho$  – плотность тела,  $V$  – его объем,  $r$  – расстояние от оси вращения до элемента  $dV$ ) можно рассчитать ...

- 1) объем тела  
2) массу вращающегося тела  
2) момент силы, действующий на тело  
3) момент импульса тела  
4) момент инерции любого тела относительно данной оси

**3.3.** Для расчета момента инерции  $J$  тела с непрерывным распределением массы применяется формула ...

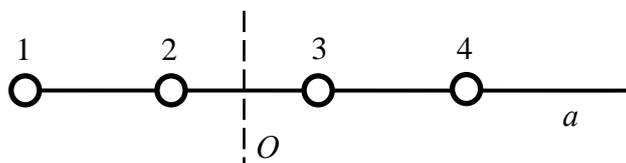
- 1)  $J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$                       2)  $J = \int_m r^2 dm$                       3)  $J = J_0 + ma^2$   
4)  $J = mr^2$                       5)  $J = \frac{M}{\varepsilon}$

**3.4.** Момент инерции  $J$  системы точечных масс  $m$  и  $2m$ , расположенных на расстоянии  $a$  друг от друга, относительно точки  $O$ , удаленной от обеих масс на расстояние  $a$ , равен ...



- 1)  $ma^2$                       2)  $2ma^2$                       3)  $3ma^2$                       4)  $4ma^2$                       5)  $1,5ma^2$

**3.5.** Четыре шарика расположены вдоль прямой  $a$ . Расстояния между соседними шариками одинаковы. Массы шариков слева направо: 1 г, 2 г, 3 г, 4 г. Если поменять местами шариками 1 и 3, то момент инерции этой системы  $J$  относительно оси  $O$ , перпендикулярной прямой  $a$  и проходящей через середину системы ...

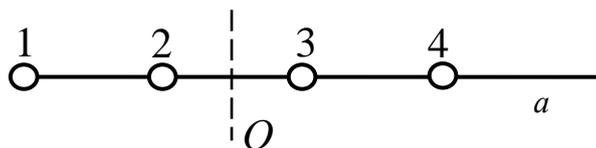


1) уменьшится

2) увеличится

3) не изменится

**3.6.** Четыре шарика расположены вдоль прямой  $a$ . Расстояния между соседними шариками одинаковы. Массы шариков слева направо:  $m_1 = 1$  г,  $m_2 = 2$  г,  $m_3 = 3$  г,  $m_4 = 4$  г. Если поменять местами шарики 2 и 4, то момент инерции  $J$  этой системы относительно оси  $O$ , перпендикулярной прямой  $a$  и проходящей через середину системы ...



1) уменьшится

2) не изменится

3) увеличится

**3.7.** Четыре маленьких шарика одинаковой массы  $m$ , жестко закрепленные невесомыми стержнями, образуют квадрат. Отношение моментов инерции системы  $J_1/J_2$  относительно оси, совпадающей со стороной квадрата ( $J_1$ ) и с его диагональю ( $J_2$ ), равно ...

1) 1/2

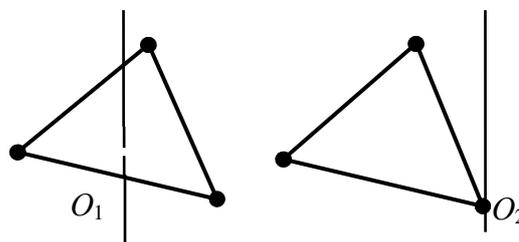
2) 1/4

3) 2

4) 4

5) 1

**3.8.** Три маленьких шарика расположены в вершинах правильного треугольника. Момент инерции этой системы относительно оси  $O_1$ , перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через его



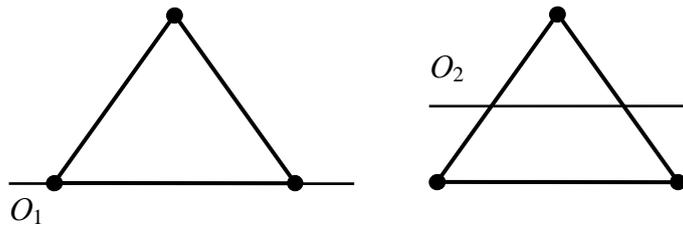
центр равен  $J_1$ . Момент инерции этой же системы относительно оси  $O_2$ , перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через один из шариков  $J_2$ . Справедливо утверждение ...

1)  $J_1 > J_2$

2)  $J_1 < J_2$

3)  $J_1 = J_2$

**3.9.** Три маленьких шарика расположены в вершинах правильного треугольника. Момент инерции этой системы относительно оси  $O_1$ , проходящей через два шарика, равен  $J_1$ . Момент инерции этой системы относительно оси  $O_2 - J_2$ . Справедливо утверждение ...

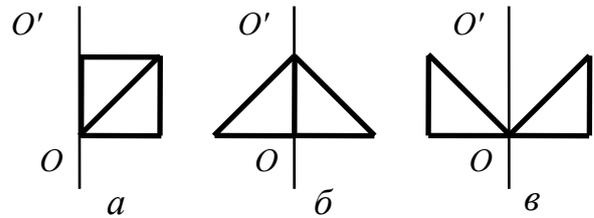


1)  $J_1 = J_2$

2)  $J_1 > J_2$

3)  $J_1 < J_2$

**3.10.** На рисунках изображены тела, составленные из одинаковых однородных треугольных пластин. Фигуры с минимальным  $J_{\min}$  и максимальным  $J_{\max}$  моментами инерции относительно оси  $OO'$  ...



1) в, а

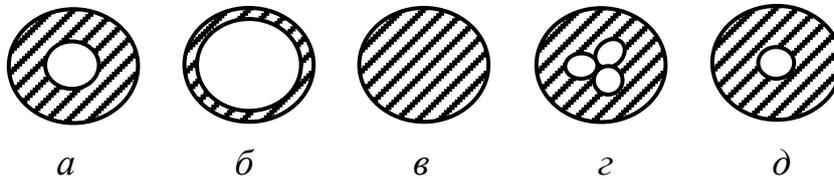
2) а, б

3) а, в

4) б, в

5) в, б

**3.11.** Из цилиндрических тел одинаковой массой  $m$  и радиусом  $R$ , показанных на рисунках, наибольший  $J_{\max}$  и наименьший  $J_{\min}$  момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс, будет в случаях ... соответственно



1) в, г

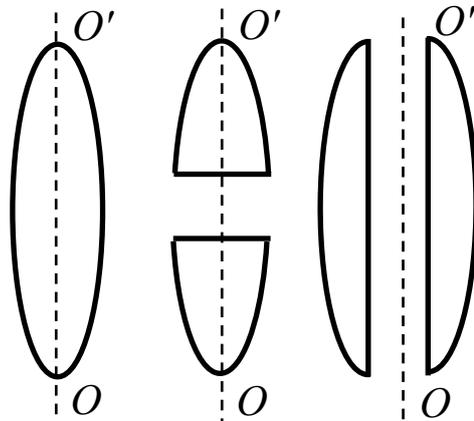
2) б, в

3) а, д

4) в, б

5) г, б

**3.12.** Из жести вырезали три одинаковых детали в виде эллипса. Две детали разрезали пополам вдоль разных осей симметрии. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковое расстояние, и расставили симметрично относительно оси  $OO'$ . Для моментов инерции  $J_1, J_2, J_3$  относительно  $OO'$  справедливо соотношение ...



1)  $J_1 < J_2 = J_3$

2)  $J_1 = J_2 < J_3$

3)  $J_1 < J_2 < J_3$

4)  $J_1 > J_2 > J_3$

5)  $J_1 = J_2 = J_3$

**3.13.** Карандаш массой  $m$  и длиной  $l$ , поставленный вертикально, начинает падать на стол, так что его нижний конец не проскальзывает. Момент инерции  $J$  карандаша относительно оси вращения равен ...

- 1)  $\frac{1}{12} m l^2$       2)  $\frac{1}{3} m l^2$       3)  $\frac{2}{5} m l^2$       4)  $\frac{1}{2} m l^2$       5)  $m l^2$

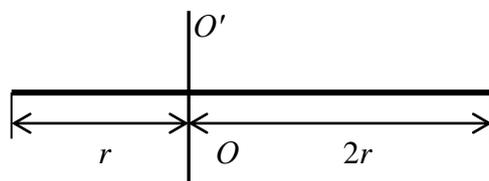
**3.14.** Момент инерции  $J$  тонкого однородного стержня длины  $l$  и массой  $m$  относительно перпендикулярной к стержню оси, делящей его в соотношении 1:3, равен ...

- 1)  $\frac{1}{12} m l^2$       2)  $\frac{7}{48} m l^2$       3)  $\frac{1}{3} m l^2$       4)  $\frac{1}{9} m l^2$       5)  $\frac{19}{36} m l^2$

**3.15.** Момент инерции  $J$  тонкого однородного стержня длиной  $l = 30$  см и массой  $m = 100$  г относительно оси, перпендикулярной ему и проходящей через точку, отстоящую от конца на  $\frac{1}{3}$  его длины, равен ... кг·м<sup>2</sup>.

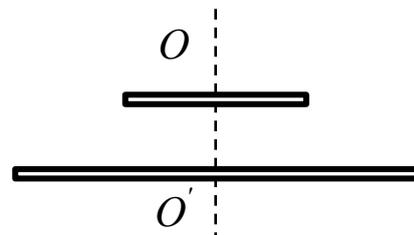
- 1)  $7,5 \cdot 10^{-4}$       2)  $5 \cdot 10^{-4}$       3)  $10^{-3}$       4)  $2 \cdot 10^{-3}$       5)  $3 \cdot 10^{-3}$

**3.16.** Момент инерции  $J$  однородного тонкого стержня массой  $m$  относительно оси  $OO'$  равен ...



- 1)  $3 m r^2$       2)  $m r^2$       3)  $\frac{1}{3} m r^2$       4)  $\frac{1}{4} m r^2$       5)  $\frac{4}{3} m r^2$

**3.17.** Тонкий однородный стержень разрезали на две части, так что их длины соотносятся как 1:2. Отношение моментов инерции стержней  $J_2/J_1$  относительно оси  $OO'$  равно ...



- 1) 2      2) 3      3) 4      4) 8      5) 9



**3.23.** Из приведенных ниже формул для вычисления момента инерции  $J$  шара радиусом  $R$  относительно оси, проходящей через центр масс, верной является ...

- 1)  $m R^2$       2)  $\frac{1}{2} m R^2$       3)  $\frac{1}{3} m R^2$       4)  $\frac{1}{12} m R^2$       5)  $\frac{2}{5} m R^2$

**3.24.** Момент инерции  $J$  шара массой  $m$  и радиусом  $R$  относительно оси, касательной к поверхности шара, равен ...

- 1)  $\frac{2}{5} m R^2$       2)  $\frac{1}{2} m R^2$       3)  $m R^2$       4)  $\frac{7}{5} m R^2$       5)  $\frac{3}{2} m R^2$

**3.25.** Момент инерции шара  $J$  массой  $m$  и радиусом  $R$  относительно оси, удаленной от поверхности шара на расстояние  $2R$ , равен ...

- 1)  $9,4 m R^2$       2)  $0,4 m R^2$       3)  $4 m R^2$       4)  $4,4 m R^2$       5)  $4,5 m R^2$

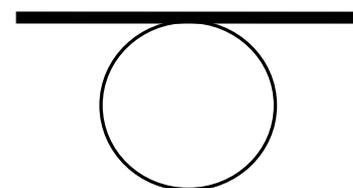
**3.26.** Через один конец стержня массой  $M$  и длиной  $l$  проходит ось вращения, на другом конце закреплен маленький шарик массы  $m$ . Момент инерции  $J$  стержня с шариком относительно оси вращения равен ...

- 1)  $\left(\frac{1}{12} M + \frac{1}{3} m\right) l^2$       2)  $\left(\frac{1}{3} M + \frac{1}{2} m\right) l^2$       3)  $\left(\frac{1}{3} M + m\right) l^2$   
 4)  $\left(\frac{1}{3} M + \frac{2}{5} m\right) l^2$       5)  $\left(\frac{1}{12} M + \frac{1}{2} m\right) l^2$

**3.27.** На боковую поверхность сплошного металлического цилиндра массой  $m$  и радиусом  $R$  напылили тонкий слой серебра (толщина слоя много меньше радиуса шара). Чему стал равен момент инерции  $J$  цилиндра с покрытием относительно оси симметрии цилиндра, если на напыление израсходовано  $0,01m$  серебра (т.е. 1% от массы цилиндра)?

- 1)  $1,01 m R^2$     2)  $0,41 m R^2$     3)  $0,505 m R^2$     4)  $0,510 m R^2$     5)  $1,050 m R^2$

**3.28.** Момент инерции  $J$  системы, состоящей из тонкого стержня массой  $m$  и длиной  $l$  и тонкого кольца с такой же массой и радиусом  $R$  относительно оси, проходящей через середину



стержня и перпендикулярной плоскости рисунка, равен ...

1)  $\frac{1}{3}ml^2 + mR^2$

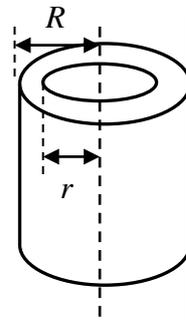
2)  $\frac{1}{3}ml^2 + \frac{1}{2}mR^2$

3)  $\frac{1}{12}ml^2 + mR^2$

4)  $\frac{1}{12}ml^2 + \frac{3}{2}mR^2$

5)  $\frac{1}{12}ml^2 + 2mR^2$

**3.29.** Если из сплошного цилиндра массой  $M$  и радиусом  $R$  вырезать цилиндр массой  $m$  и радиусом  $r$ , как показано на рисунке, то момент инерции  $J$  полого (не тонкостенного) цилиндра относительно оси, касательной к его поверхности, станет равным ...



1)  $\frac{3}{2}MR^2 - m\left(\frac{r^2}{2} + R^2\right)$

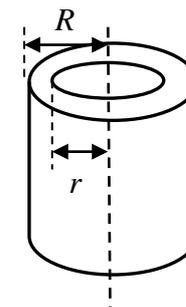
2)  $\frac{1}{2}(MR^2 + mr^2)$

3)  $\frac{1}{2}(MR^2 - mr^2)$

4)  $\frac{3}{2}(MR^2 + mr^2)$

5)  $\frac{3}{2}R^2(M - m)$

**3.30.** В однородном цилиндре просверлили соосное отверстие с радиусом сечения вдвое меньшим, чем радиус цилиндра. В результате момент инерции  $J$  тела относительно оси симметрии уменьшился в ... раз.



1) 1,14

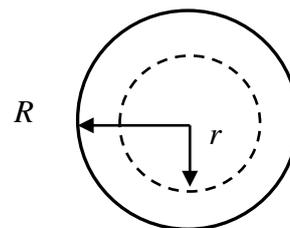
2) 2

3) 3

4) 3,14

5) 1,07

**3.31.** Из диска массой  $m$  и радиусом  $R$  вырезали круг радиусом  $r = 0,5R$  так, как показано на рисунке. Момент инерции  $J$  диска с отверстием относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через центр масс, равен ...



1)  $\frac{3}{8}mR^2$

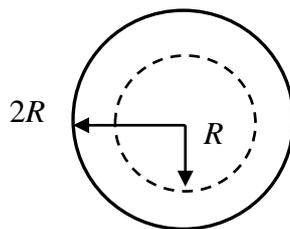
2)  $\frac{1}{4}mR^2$

3)  $\frac{3}{4}mR^2$

4)  $\frac{15}{16}mR^2$

5)  $\frac{15}{32}mR^2$

**3.32.** Из однородного шара массой  $m$  и радиусом  $2R$  вырезали шар радиусом  $R$ . Момент инерции  $J$  полого шара относительно оси, проходящей через центр масс, стал равен ...



1)  $3mR^2$

2)  $0,2mR^2$

3)  $0,4mR^2$

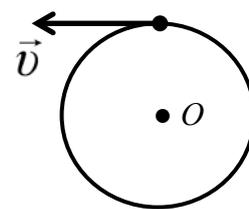
4)  $mR^2$

5)  $1,55mR^2$

**3.33.** Однородный диск вращается в горизонтальной плоскости по направлению движения часовой стрелки вокруг оси, проходящей через центр масс. Вектор момента импульса  $\vec{L}$  направлен ...

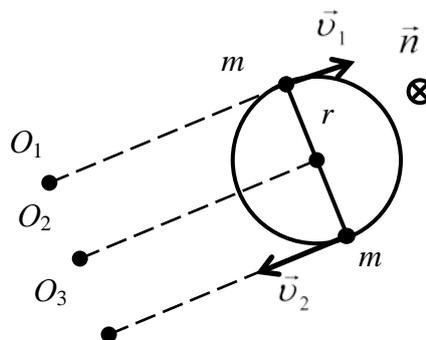
- 1) вдоль радиуса диска в сторону от оси вращения
- 2) вдоль радиуса диска в сторону к оси вращения
- 3) совпадает с направлением вектора скорости точек обода диска
- 4) вверх по оси вращения
- 5) вниз по оси вращения

**3.34.** Материальная точка массой  $m$  начинает двигаться по окружности радиусом  $R$  с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon$ . Вектор момента импульса  $\vec{L}$  материальной точки относительно точки  $O$  через время  $t$  после начала движения направлен ... и равен по модулю ...



- 1) по касательной;  $m \varepsilon t R$
- 2) по радиусу к центру;  $m \varepsilon t R$
- 3) по радиусу от центра;  $m \varepsilon t R^2$
- 4) к нам;  $m \varepsilon t R^2$
- 5) от нас;  $m \varepsilon t R^2$

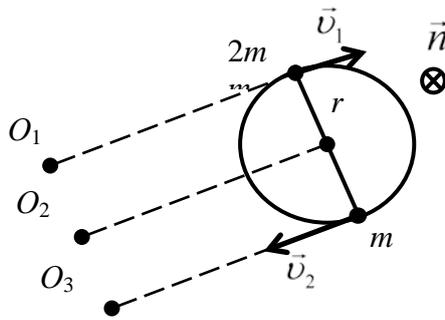
**3.35.** Две частицы одинаковой массы, находящиеся все время на противоположных концах диаметра, движутся по окружности радиусом  $r$  с одинаковыми по модулю скоростями. Момент импульса  $L$  этой системы относительно точек  $O_1$  и  $O_3$  соответственно равен ...



А.  $mvr\vec{n}$       Б.  $2mvr\vec{n}$       В.  $-mvr\vec{n}$       Г. 0      Д.  $-2mvr\vec{n}$

- 1) Д; Б
- 2) А; В
- 3) Г; Б
- 4) Б; Д
- 5) Б; Б

**3.36.** Две частицы массами  $m$  и  $2m$ , находящиеся все время на противоположных концах диаметра, движутся по окружности радиусом  $r$  с одинаковыми по модулю скоростями. Момент импульса  $\vec{L}$  этой системы относительно точки  $O_2$  равен ...



- 1)  $mvr\vec{n}$       2)  $2mvr\vec{n}$       3)  $3mvr\vec{n}$       4) 0      5)  $-2mvr\vec{n}$

**3.37.** Две материальные точки одинаковой массой движутся с одинаковой угловой скоростью по окружностям радиусами  $R_1 = 2R_2$  и  $R_2$ . Отношение моментов импульса точек  $L_1/L_2$  равно ...

- 1)  $\sqrt{2}$       2) 2      3) 4      4) 0,25      5) 0,5

**3.38.** Шар массой  $m = 5$  кг и радиусом  $R = 0,5$  м вращается вокруг оси, проходящей через центр масс, согласно уравнению  $\varphi = 10 + 5t + 6t^2$ , рад. В момент времени  $t = 5$  с его момент импульса  $L$  равен ... кг·м<sup>2</sup>/с.

- 1) 16,25      2) 32,5      3) 65,0      4) 81,25      5) 92,5

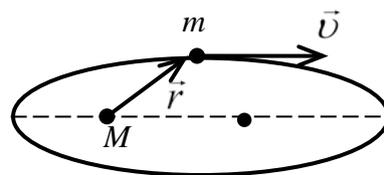
**3.39.** Человек массой  $m = 60$  кг стоит в центре горизонтальной платформы радиусом  $R = 1$  м и массой  $M = 120$  кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой  $n = 2$  с<sup>-1</sup>. Если человека принять за материальную точку, то момент импульса  $L$  системы равен ... кг·м<sup>2</sup>/с.

- 1) 240      2) 754      3) 1130      4) 1510      5) 360

**3.40.** Наиболее полной формулировкой закона сохранения момента импульса является ...

- 1) в замкнутой системе момент импульса не изменяется со временем
- 2) полный момент импульса всех тел не изменяется по направлению
- 3) полный момент импульса всех тел не изменяется по модулю
- 4) момент импульса системы есть величина постоянная
- 5) в замкнутой системе момент импульса всех тел не убывает

**3.41.** Планета массой  $m$  движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится звезда массой  $M$ . Если  $\vec{r}$  – радиус-вектор планеты, то справедливы утверждения ...



А. момент импульса планеты относительно центра звезды равен  $L = m v r$

Б. момент импульса планеты относительно центра звезды равен  $L = m v r \sin \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{r}$  и  $\vec{v}$ .

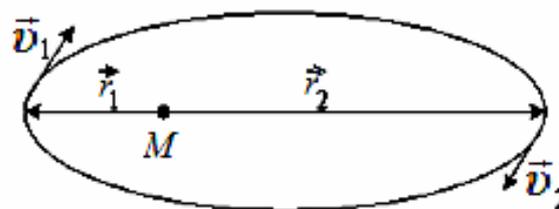
В. момент импульса  $L$  планеты относительно центра звезды при движении по орбите не изменяется

Г. момент импульса  $L$  планеты относительно центра звезды при движении по орбите изменяется

Д. момент импульса  $L$  планеты относительно центра звезды равен нулю

- 1) А, В                      2) А, Г                      3) Б, В                      4) Б, Г                      5) Б, Д

**3.42.** Планета массой  $m$  движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится звезда массой  $M$ . Если  $\vec{r}$  – радиус-вектор планеты, то справедливы утверждения ...



А. момент силы тяготения, действующий на планету, относительно центра звезды, отличен от нуля

Б. момент импульса планеты относительно центра звезды при движении по орбите периодически изменяется

В. для планеты выполняется закон сохранения момента импульса

Г. соотношение, связывающее скорости планеты  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  в точках минимального и максимального ее удаления от звезды с

расстояниями  $r_1$  и  $r_2$ , имеет вид  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_2}{r_1}$

- 1) А, Б                      2) В, Г                      3) А, Б, В, Г                      4) Б, В, Г                      5) А, В, Г

**3.43.** Человек стоит на скамье Жуковского и ловит мяч, летящий в горизонтальном направлении. Траектория мяча проходит на

расстоянии  $l$  от вертикальной оси вращения скамьи. Момент импульса  $L$  системы относительно этой оси ...

- 1) увеличивается
- 2) не изменяется
- 3) уменьшается
- 4) сначала увеличивается, затем уменьшается
- 5) нельзя дать однозначного ответа

**3.44.** Однородный диск может свободно вращаться вокруг вертикальной неподвижной оси, проходящей через его центр. Масса диска равна  $M$ , радиус  $R$ . В диск попадает горизонтально летящая пуля массой  $m$  со скоростью  $v$  и моментально застревает в нем. Траектория пули проходит на расстоянии  $l$  от оси диска. Момент импульса  $L$  диска с пулей относительно этой оси после удара равен ...

- 1)  $(\frac{1}{2} M R^2 + m l^2) v$       2)  $m v$       3)  $m v l$       4)  $m l^2 v$       5)  $\frac{1}{2} M R^2 v$

**3.45.** Человек, стоящий на вращающейся платформе, имеющей форму диска, повернул длинный шест из вертикального положения в горизонтальное. Угловая скорость  $\omega$  вращения скамьи и момент инерции системы  $J$  при этом соответственно ...

- 1)  $\omega$  увеличилась,  $J$  уменьшился
- 2)  $\omega$  уменьшилась,  $J$  уменьшился
- 3)  $\omega$  не изменилась,  $J$  уменьшился
- 4)  $\omega$  уменьшилась,  $J$  увеличился
- 5)  $\omega$  не изменилась,  $J$  не изменился

**3.46.** Человек сидит в центре вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси карусели и держит в руках горизонтально длинный шест за его середину. Если он повернет шест, установив его по оси вращения, то частота вращения  $\nu$  в конечном состоянии ...

- 1) уменьшится                      2) увеличится                      3) не изменится

**3.47.** Человек, вращающийся на скамье Жуковского, уменьшает момент инерции системы в 4 раза. Угловая скорость  $\omega$  вращения скамьи ...

- 1) уменьшается в 16 раз

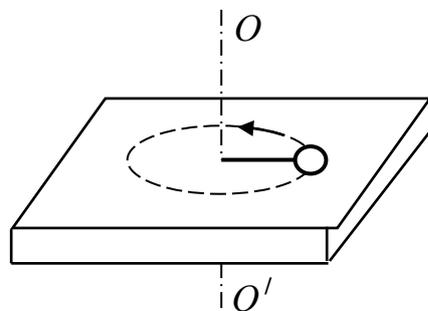
- 2) увеличивается в 4 раза
- 3) уменьшается в 4 раза
- 4) не изменяется
- 5) увеличивается в 16 раз

**3.48.** Фигурист, вращаясь, вытягивает ногу и раскидывает руки, увеличивая таким образом момент инерции своего тела относительно оси вращения в 2 раза. Угловая скорость  $\omega$  его вращения при этом ...

- 1) уменьшается в 4 раза
- 2) увеличивается в 2 раза
- 3) уменьшается в 2 раза
- 4) не изменяется
- 5) увеличивается в 4 раза

**3.49.** Шарик, привязанный к нити, вращается, находясь на горизонтальной поверхности. Подтянув нить к оси вращения, ее укоротили в 2 раза. Угловая скорость  $\omega$  шарика ...

- 1) уменьшилась в 2 раза
- 2) увеличилась в 2 раза
- 3) не изменилась
- 4) увеличилась в  $\sqrt{2}$  раза
- 5) увеличилась в 4 раза

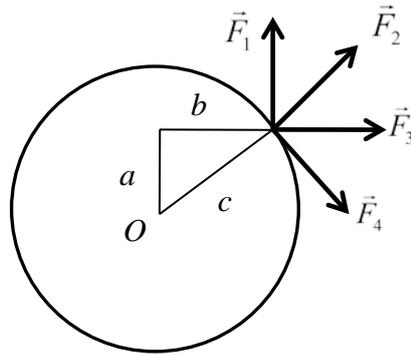


**3.50.** Из приведенных ниже формул к основному закону динамики вращательного движения относятся ...

А.  $\vec{F} = m\vec{a}$     Б.  $\vec{M} = J\epsilon$     В.  $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$     Г.  $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$     Д.  $\vec{M} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt}$

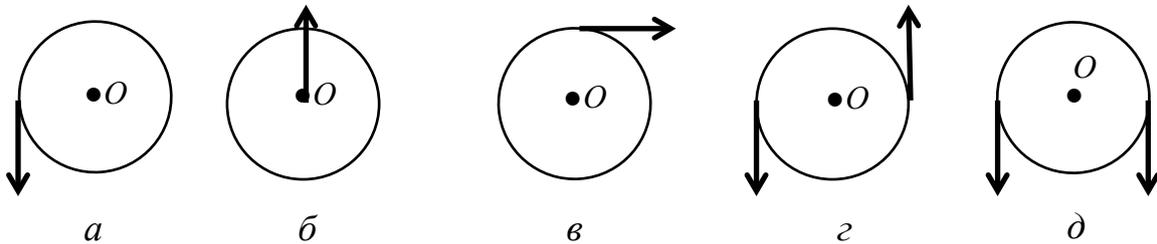
- 1) А, В
- 2) В, Г
- 3) А, Б, В
- 4) Б, Г, Д
- 5) Б, В

**3.51.** К точке, лежащей на внешней поверхности диска, приложены четыре силы. Если ось вращения проходит через центр  $O$  диска перпендикулярно плоскости рисунка, то плечо  $l$  силы  $F_1$  равно ...



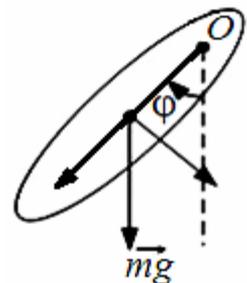
- 1) 0                      2)  $a$                       3)  $b$                       4)  $c$                       5)  $a + b$

**3.52.** На рисунке к диску, который может свободно вращаться вокруг оси, проходящей через точку  $O$ , прикладывают одинаковые по величине силы. Момент силы  $M$  будет максимальным в положении ...



- 1) д                      2) а                      3) б                      4) в                      5) г

**3.53.** Физический маятник совершает колебания вокруг оси, проходящей через точку  $O$  и перпендикулярной плоскости рисунка. Для данного положения маятника момент  $\vec{M}$  силы тяжести относительно точки  $O$  направлен ...



- 1) в плоскости рисунка вверх
- 2) перпендикулярно плоскости рисунка к нам
- 3) перпендикулярно плоскости рисунка от нас
- 4) в плоскости рисунка вниз
- 5) равен нулю

**3.54.** Суммарный момент сил  $M$ , действующих на тело, равен нулю. При этом выполняются условия ...

- 1)  $\omega = \text{const}, \varepsilon = \text{const}$                       2)  $\omega = 0, \varepsilon = \text{const}$                       3)  $\omega = \text{const}, \varepsilon = 0$

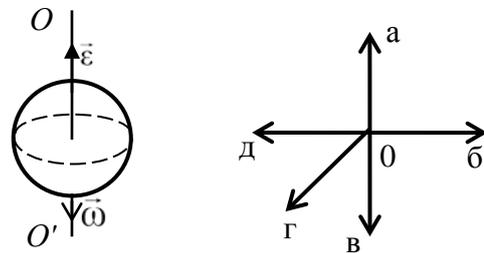
**3.55.** Тело вращается под действием постоянного момента сил  $M$ . Движение тела соответствует условию ...

- 1)  $\frac{d\omega}{dt} = \text{const}$     2)  $\omega = \text{const}$     3)  $\frac{d\omega}{dt} > 0$     4)  $\frac{d\omega}{dt} = 0$     5)  $\frac{d\omega}{dt} < 0$

**3.56.** На тело действует постоянный вращающий момент сил. Из перечисленных ниже величин по линейному закону со временем изменяются ...

- 1) момент инерции  $J$
- 2) угловое ускорение  $\varepsilon$
- 3) кинетическая энергия  $K$
- 4) момент импульса тела  $L$
- 5) угловая скорость  $\omega$

**3.57.** На рисунке показаны направления угловой скорости  $\omega$  и углового ускорения  $\varepsilon$  вращающегося шара. Момент силы  $\vec{M}$  имеет направление ...



- 1) а    2) б    3) в    4) г    5) д

**3.58.** Диск вращается в вертикальной плоскости по часовой стрелке, так что угловая скорость  $\omega$  с течением времени уменьшается. Момент сил  $\vec{M}$ , действующих на диск, направлен ...

- 1) от нас
- 2) по касательной к его поверхности
- 3) вверх
- 4) вниз
- 5) к нам

**3.59.** Однородное колесо вращается равномерно в горизонтальной плоскости по направлению движения часовой стрелки. Вектор момента силы  $\vec{M}$ , приложенный по касательной к ободу колеса, направлен ...

- 1) по касательной к траектории движения колеса
- 2) вдоль радиуса в сторону оси вращения
- 3) равен нулю
- 4) вверх вдоль оси вращения
- 5) вниз вдоль оси вращения

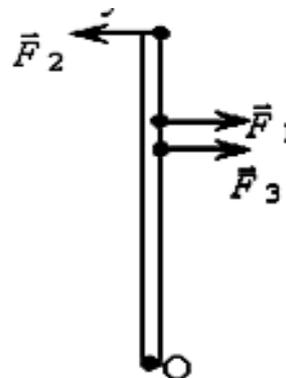
**3.60.** Однородное колесо вращается ускоренно в горизонтальной плоскости против направления движения часовой стрелки. Момент силы  $\vec{M}$ , приложенной по касательной к ободу колеса, направлен ...

- 1) вдоль радиуса в сторону, противоположную оси вращения
- 2) по касательной к траектории движения колеса
- 3) вверх вдоль оси вращения
- 4) вниз вдоль оси вращения
- 5) вдоль радиуса в сторону оси вращения

**3.61.** Диск вращается в вертикальной плоскости по часовой стрелке, так что угловая скорость с течением времени уменьшается. Момент сил  $\vec{M}$ , действующих на диск, направлен ...

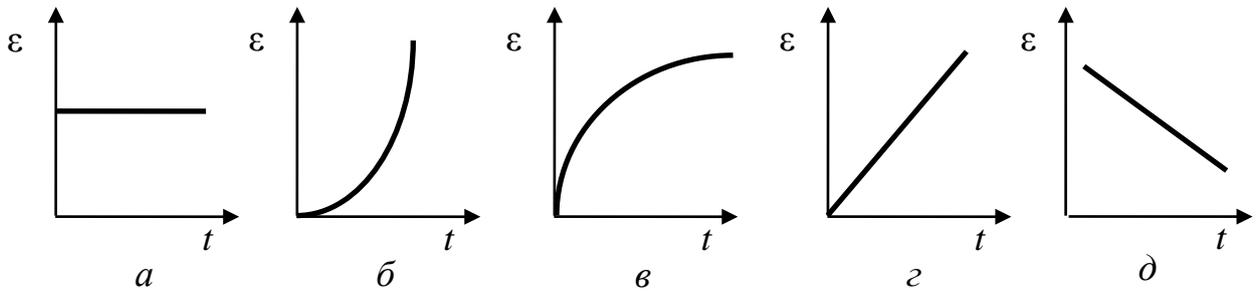
- 1) от нас
- 2) по касательной к его поверхности
- 3) вверх
- 4) вниз
- 5) к нам

**3.62.** К стержню приложены три одинаковые по модулю силы, как показано на рисунке. Ось вращения перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через точку  $O$ . Вектор углового ускорения  $\vec{\epsilon}$  направлен ...



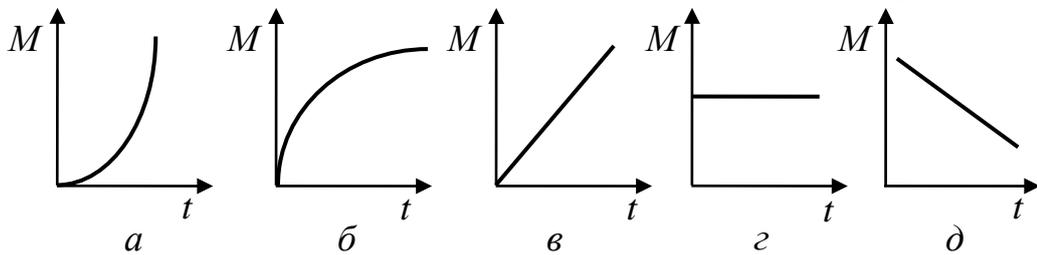
- 1) влево
- 2) вдоль оси вращения  $O$  на нас
- 3) вдоль оси вращения  $O$  от нас
- 4) вправо
- 5) равен нулю

**3.63.** Момент силы, приложенный к вращающемуся телу, изменяется по закону  $M = \alpha t$ , где  $\alpha$  – некоторая положительная константа. Момент инерции тела  $J$  остается постоянным в течение всего времени вращения. При этом угловое ускорение  $\epsilon$  тела зависит от времени согласно графику ...



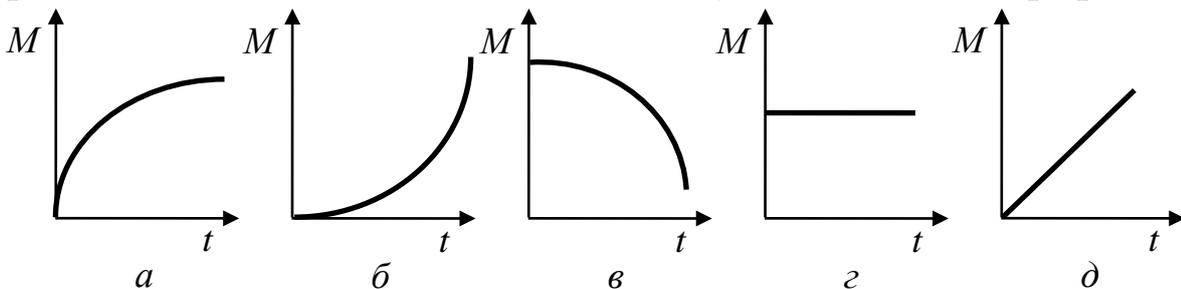
- 1) д                      2) а                      3) б                      4) в                      5) г

**3.64.** Момент импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону  $L = \alpha t^2$ . Правильно отражает зависимость от времени величины момента сил  $M$ , действующих на тело, график ...



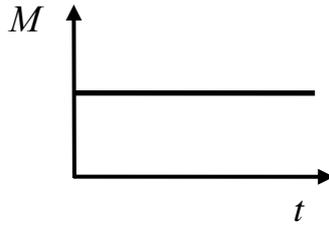
- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г                      5) д

**3.65.** Момент импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону  $L = \alpha t^3$ . Правильно отражает зависимость от времени величины момента сил, действующих на тело, график ...



- 1) д                      2) а                      3) б                      4) в                      5) г

**3.66.** Если график зависимости величины момента сил  $M$ , действующих на тело, от времени представлен на рисунке, то момент импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону ( $\alpha = \text{const}$ ) ...



- 1)  $L = \alpha t$       2)  $L = \alpha \sqrt{t}$       3)  $L = \alpha t^2$       4)  $L = \alpha t^{3/2}$       5)  $L = \alpha t^3$

**3.67.** К ободу колеса радиусом  $R = 0,5$  м и массой  $m = 50$  кг приложена касательная сила  $F = 100$  Н. Угловое ускорение  $\varepsilon$  колеса равно ... рад/с<sup>2</sup>.

- 1) 40      2) 0,25      3) 0,4      4) 4      5) 1

**3.68.** Угол поворота вала изменяется по закону  $\varphi = At^2 + Bt + C$ , где  $A = 2$  рад/с<sup>2</sup>,  $B = 5$  рад/с,  $C = 8$  рад. Момент инерции вала равен  $J = 10$  кг·м<sup>2</sup>. Вращающий момент  $M$  равен ... Н·м.

- 1) 2,5      2) 80      3) 40      4) 20      5) 10

**3.69.** Колесо, момент инерции которого  $J$ , вращается согласно уравнению  $\varphi = At + Bt^3$ , где  $A = 2$  рад/с,  $B = 1$  рад/с<sup>3</sup>. Момент силы  $M$ , действующий на колесо, определяется по формуле ...

- 1)  $M = I(2t + t^3)$       2)  $M = I(2 + 3t^2)$       3)  $M = I(2 + 6t)$   
 4)  $M = I(t + 6)$       5)  $M = 6It$

**3.70.** Шар массой  $m$  и радиусом  $R$  вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Уравнение вращения шара имеет вид  $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$ . Уравнение, определяющее зависимость момента сил  $M$ , действующих на шар, от времени  $t$  имеет вид ...

- 1)  $mR^2(A + Bt^2 + Ct^3)$   
 2)  $\frac{1}{2}mR^2(2Bt + 3Ct^2)$   
 3)  $\frac{2}{5}mR^2(2Bt + 3Ct^2)$   
 4)  $\frac{2}{5}mR^2(2B + 6Ct)$   
 5)  $\frac{2}{5}mR^2(A + Bt^2 + Ct^3)$

**3.71.** Угловая скорость тела со временем изменяется по закону  $\omega = A - Bt^3$ , где  $A = 3$  рад/с,  $B = 1$  рад/с<sup>4</sup>. Момент сил  $M$ , действующих на тело, со временем ...

- 1) сначала убывает, затем возрастает
- 2) не изменяется
- 3) возрастает
- 4) убывает
- 5) сначала возрастает, затем убывает

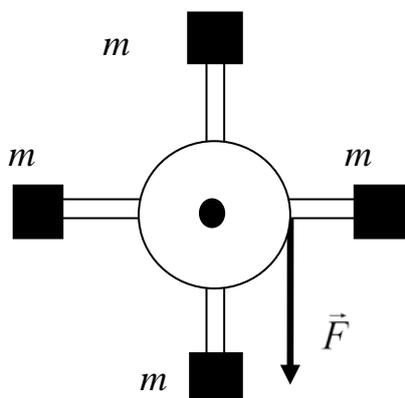
**3.72.** Модуль угловой скорости вращающегося вала, момент инерции которого относительно оси вращения равен  $J = 20$  кг·м<sup>2</sup>, изменяется со временем по закону  $\omega = 1 + 2t$ , рад/с. Момент силы  $M$ , действующей на вал, равен ... Н·м.

- 1) 10
- 2) 20
- 3) 40
- 4) 60
- 5) 80

**3.73.** Однородный диск радиусом  $R = 0,2$  м и массой  $m = 5$  кг вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Если зависимость угловой скорости от времени определяется выражением  $\omega = A + Bt$ , где  $A = 4$  рад/с,  $B = 8$  рад/с<sup>2</sup>, то сила  $F$ , приложенная к ободу диска, равна ... Н.

- 1) 8
- 2) 1
- 3) 2
- 4) 4
- 5) 5

**3.74.** На шкив маятника Обербека намотана нить, на которую действует постоянная сила  $F$ . Если, не учитывая массы стержней и шкива, сдвинуть грузы  $m$  на середину стержней, то угловое ускорение  $\epsilon$  маятника ...



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

**3.75.** Частота вращения колеса при торможении уменьшилась за время  $t = 4$  с от  $n_1 = 300$  об/мин до  $n_2 = 180$  об/мин. Момент инерции колеса равен  $J = 20$  кг·м<sup>2</sup>. Тормозящий момент  $M$ , действующий на колесо, равен ... Н·м.

- 1) 10                      2) 40                      3) 63                      4) 74                      5) 80

**3.76.** Две гири массами  $m_1 = 3$  кг и  $m_2 = 2$  кг соединены нитью, перекинутой через блок массой  $M = 1$  кг. Блок считать однородным диском. Ускорение  $a$ , с которым движутся гири, равно ... м/с<sup>2</sup>.

- 1) 1,8                      2) 2,0                      3) 3,6                      4) 9,1                      5) 10,0

**3.77.** Тело с моментом инерции  $J = 1,25$  кг м<sup>2</sup> обладает моментом импульса  $L = 5$  кг м<sup>2</sup>/с. Кинетическая энергия  $K$  тела равна ... Дж.

- 1) 5                      2) 10                      3) 4                      4) 1,25                      5) 12

**3.78.** Момент импульса тела, вращающегося с угловой скоростью  $\omega = 4$  рад/с, равен  $L = 5$  кг м<sup>2</sup>/с. Тело обладает кинетической энергией  $K$ , равной ... Дж.

- 1) 20                      2) 0,8                      3) 10                      4) 40  
5) среди ответов нет верного

**3.79.** Кинетическая энергия вращающегося тела равна  $K = 10$  Дж, момент импульса  $L = 5$  кг м<sup>2</sup>/с. Угловая скорость  $\omega$  вращения составляет ... рад/с.

- 1) 1                      2) 2                      3) 4                      4) 0,25                      5) 0,5

**3.80.** Кинетическая энергия тела с неподвижной осью вращения зависит от угла поворота  $\varphi$  по закону  $K \sim \varphi^4$ . При этом вращающий момент  $M \sim \varphi^n$ . Значение  $n$  равно ...

- 1) 1                      2) 50                      3) 4                      4) 2                      5) 3

**3.81.** Карандаш длиной  $l$  и массой  $m$ , поставленный вертикально, падает на стол, вращаясь относительно точки опоры. Линейная скорость  $v$  верхнего конца карандаша при падении на стол равна ...

- 1)  $\sqrt{gl}$                       2)  $\sqrt{mgl}$                       3)  $\sqrt{2gl}$                       4)  $\sqrt{3gl}$                       5)  $\sqrt{12gl}$

**3.82.** Стоящий вертикально однородный шест массой  $m$  и длиной  $l$  падает на горизонтальную поверхность, вращаясь относительно точки опоры. Момент импульса  $L$  шеста относительно этой точки в конце падения равен ...

- 1)  $ml\sqrt{3gl}$     2)  $ml\sqrt{\frac{2gl}{3}}$     3)  $\frac{ml}{2}\sqrt{\frac{gl}{3}}$     4)  $ml\sqrt{\frac{gl}{3}}$     5)  $\frac{ml}{2}\sqrt{3gl}$

**3.83.** Однородный диск массой  $m = 2$  кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности со скоростью  $v = 4$  м/с. Кинетическая энергия диска равна ... Дж.

- 1) 8                      2) 16                      3) 24                      4) 32                      5) 64

**3.84.** По горизонтальной поверхности катятся без скольжения кольцо, сплошной цилиндр и шар. Если массы и скорости тел одинаковы, то их кинетические энергии соотносятся как ...

- 1)  $v_{\text{ш}} > v_{\text{к}} > v_{\text{ц}}$                       2)  $v_{\text{к}} > v_{\text{ш}} > v_{\text{ц}}$                       3)  $v_{\text{ц}} > v_{\text{к}} > v_{\text{ш}}$   
4)  $v_{\text{к}} > v_{\text{ц}} > v_{\text{ш}}$                       3)  $v_{\text{ш}} > v_{\text{ц}} > v_{\text{к}}$

**3.85.** Шар и сплошной цилиндр одинаковой массы и радиуса катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Кинетическая энергия шара меньше кинетической энергии цилиндра в ... раза.

- 1) 1,48                      2) 1,10                      3) 1,07                      4) 1,05                      5) 1,25

**3.86.** Два тела одинаковой массы движутся с одинаковыми скоростями. Первое катится, второе скользит. При ударе о стенку тела останавливаются. Больше тепла выделится при ударе ... тела.

- 1) одинаково                      2) первого                      3) второго

**3.87.** Два тела двигались с одинаковыми скоростями и при ударе остановились. Первое тело катилось, второе скользило. Если при ударе выделилось одинаковое количество тепла, то больше масса ... тела.

- 1) второго                      2) первого                      3) одинаковы

**3.88.** Цилиндр, момент инерции которого равен  $J$ , начал вращаться из состояния покоя с постоянным угловым ускорением  $\epsilon$  и за время  $t$  повернулся на угол  $\phi$ . При этом совершена работа, равная ...

- 1)  $\frac{J \varepsilon^2 t^2}{2}$       2)  $\frac{\varphi}{t}$       3)  $\varepsilon t$       4)  $\frac{\varepsilon t^2}{2}$       5)  $Jt$

**3.89.** На тело действует постоянный момент сил в  $M = 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Работа  $A$ , совершенная телом при повороте на угол  $\varphi = 3 \text{ рад}$ , равна ... Дж.

- 1) 90      2) 30      3) 3,3      4) 9      5) среди ответов нет верного

**3.90.** Тело, момент инерции которого  $J = 0,04 \text{ кг м}^2$ , начинает вращаться с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon = 5 \text{ рад/с}^2$ . Работа  $A$ , совершенная телом при повороте на угол  $\varphi = 5 \text{ рад}$ , равна ... Дж.

- 1) 0,2      2) 1,0      3) 2,0      4) 5,0      5) 10,0

**3.91.** Маховик в виде диска массой  $m = 80 \text{ кг}$  и радиусом  $R = 30 \text{ см}$  находится в состоянии покоя. Работа  $A$ , которую нужно совершить, чтобы сообщить маховику частоту  $n = 10 \text{ с}^{-1}$ , равна ... кДж.

- 1) 0,72      2) 1,13      3) 2,26      4) 7,10      5) 14,2

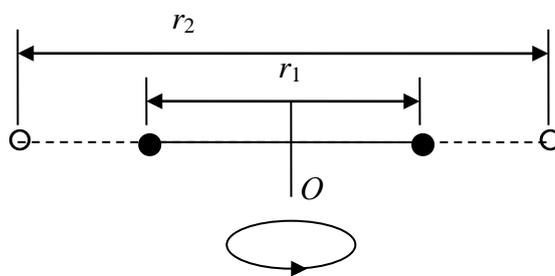
**3.92.** Работа, совершенная телом при изменении его угловой скорости вращения от  $\omega_1 = 5 \text{ рад/с}$  до  $\omega_2 = 10 \text{ рад/с}$ , равна  $A = 1,5 \text{ Дж}$ . Момент инерции тела  $J$  равен ...  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

- 1) 0,04      2) 0,03      3) 0,3      4) 0,6      5) 1,2

**3.93.** Сплошной цилиндр массой  $m$  и радиусом  $R$  начал двигаться по горизонтальной поверхности со скоростью  $v$ . Если при прохождении участка длиной  $S$  скорость цилиндра уменьшилась в два раза, то сила трения совершила работу  $A$ , по модулю равную ... Дж.

- 1)  $\frac{1}{2}mv^2$       2)  $\frac{9}{16}mv^2$       3)  $\frac{3}{4}mv^2$       4)  $mv^2$       5)  $\frac{3}{2}mv^2$

**3.94.** Два маленьких массивных шарика закреплены на невесомом длинном стержне, на расстоянии  $r_1$  друг от друга. Стержень может вращаться без трения в горизонтальной плоскости вокруг

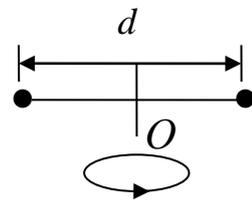


вертикальной оси, проходящей посередине между шариками. Стержень раскрутили из состояния покоя до угловой скорости  $\omega$ , при этом была совершена работа  $A_1$ . Шарика раздвинули симметрично на

расстояние  $r_2 = 3r_1$  и раскрутили до той же угловой скорости. При этом была совершена работа  $A_2$ , равная ...

- 1)  $A_2 = A_1$     2)  $A_2 = \frac{1}{9}A_1$     3)  $A_2 = \frac{1}{3}A_1$     4)  $A_2 = 9A_1$     5)  $A_2 = 3A_1$

**3.95.** Два маленьких массивных шарика закреплены на концах невесомого стержня длиной  $d$ . Стержень может вращаться без трения в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину стержня. Стержень раскрутили до угловой скорости  $\omega_1$ . Под



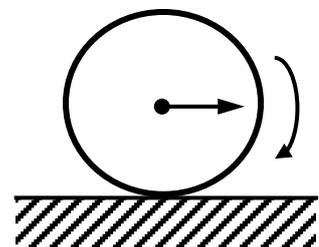
действием трения стержень остановился, при этом выделилось количество теплоты  $Q_1$ . Если стержень раскручен до угловой скорости  $\omega_2 = 3\omega_1$ , то при остановке стержня выделится количество теплоты  $Q_2$ , равное ...

- 1)  $Q_2 = \frac{1}{9}Q_1$     2)  $Q_2 = 9Q_1$     3)  $Q_2 = \frac{1}{3}Q_1$     4)  $Q_2 = 3Q_1$

**3.96.** Вращающийся фигурист, складывая вдоль тела руки, изменяет частоту своего вращения. При этом выполняется закон сохранения ... и совершается работа  $A$ , равная ...

- 1) импульса и момента импульса; отрицательная
- 2) импульса; положительная
- 3) импульса; отрицательная
- 4) момента импульса; положительная
- 5) момента импульса; отрицательная

**3.97.** Обруч массой  $m = 0,3$  кг и радиусом  $R = 0,5$  м привели во вращение, сообщив ему энергию вращательного движения  $E_{\text{вр}} = 1200$  Дж, и отпустили на пол так, что его ось вращения оказалась параллельной плоскости пола. Если обруч начал двигаться без проскальзывания, имея кинетическую энергию поступательного движения  $E_{\text{п}} = 200$  Дж, то сила трения совершила работу  $A$ , равную ... Дж.



- 1) 300    2) 600    3) 800    4) 1000    5) 1400

**3.98.** Однородный диск радиусом  $R = 50$  см и массой  $m = 2$  кг вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Если зависимость угловой скорости от времени определяется выражением  $\omega = 4 + 2t$ , рад/с, то мощность силы  $N$ , приложенной к диску, изменяется по закону ..., Вт.

- 1)  $2 + 1t$       2)  $4 + 2t$       3)  $2t + 0,5$       4)  $1t + 0,25t^2$       5)  $0,5 t$

**3.99.** Маховик в виде диска с моментом инерции  $J = 2,5$  кг·м<sup>2</sup>, находится в состоянии покоя. Чтобы за время  $t = 60$  с его угловую скорость довести до  $\omega = 4$  рад/с, приводящий его в движение мотор должен развить среднюю мощность  $N$ , равную ... Вт.

- 1) 0,003      2) 0,083      3) 0,17      4) 0,33      5) 20

**3.100.** Карусель в виде диска с моментом инерции  $J = 300$  кг·м<sup>2</sup> за время  $t = 30$  с приобретает частоту  $n = 1,5$  об/с. Максимальная полезная мощность, которую развивает двигатель, приводящий в движение карусель, равна ... Вт.

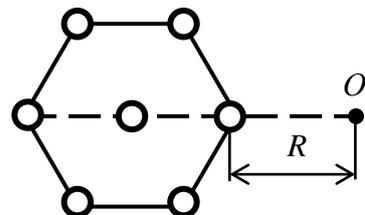
- 1) 3,14      2) 443,7      3) 887      4) 1,4      5) 26,6

### Задачи

**3.101.** Вывести формулу для момента инерции тонкого кольца радиусом  $R$  и массой  $m$  относительно оси симметрии. [ $J = mR^2$ ]

**3.102.** Определить момент инерции  $J$  сплошного однородного диска радиусом  $R = 40$  см и массой  $m = 1$  кг относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. [ $J = 0,12$  кг·м<sup>2</sup>]

**3.103.** Определите момент инерции  $J$  правильного шестиугольника ( $R$  – сторона шестиугольника), в вершинах которого и в центре расположены материальные точки массой  $m$  относительно оси, перпендикулярной плоскости чертежа и проходящей через точку  $O$ . [ $J = 34 mR^2$ ]



**3.104.** Определить момент инерции  $J$  тонкого однородного стержня длиной  $l = 50$  см и массой  $m = 360$  г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через: 1) конец стержня; 2) точку, отстоящую от конца стержня на расстоянии  $1/6$  его длины.  
[ $J_1 = 3 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>;  $J_2 = 1,75 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>]

**3.105.** Однородный металлический прут массой  $m$  и длиной  $l$  согнули в середине под прямым углом. Рассчитайте момент инерции  $J$  полученного уголка относительно оси, перпендикулярной плоскости, в которой он лежит и проходящей через один из его концов.  
[ $J = 0,21ml^2$ ]

**3.106.** Рассчитайте момент инерции  $J$  рамки из однородной проволоки в форме равностороннего треугольника относительно оси, перпендикулярной его плоскости и проходящей через середину одной из сторон. Масса рамки равна  $m$ , длина стороны –  $l$ . [ $J = 0,75ml^2$ ]

**3.107.** Человек стоит на скамье Жуковского и ловит рукой мяч массой  $m = 0,4$  кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью  $v = 20$  м/с. Траектория мяча проходит на расстоянии  $r = 0,8$  м от вертикальной оси вращения скамьи. С какой угловой скоростью  $\omega$  начнет вращаться скамья Жуковского с человеком, поймавшим мяч, если суммарный момент инерции человека и скамьи равен  $J = 6$  кг·м<sup>2</sup>.  
[ $\omega = 1,02$  рад/с]

**3.108.** Горизонтальная платформа массой  $m = 25$  кг и радиусом  $R = 0,8$  м вращается с частотой  $n_1 = 18$  мин<sup>-1</sup>. В центре стоит человек и держит в расставленных руках гири. Считая платформу диском, определить частоту вращения  $n_2$  платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от  $J = 3,5$  кг·м<sup>2</sup> до  $J_2 = 1$  кг·м<sup>2</sup>.  
[ $n_2 = 23$  мин<sup>-1</sup>]

**3.109.** На скамье Жуковского стоит человек и держит в руках стержень, расположенный вертикально по оси вращения. Скамейка с человеком вращается с угловой скоростью  $\omega_1 = 1$  рад/с. С какой угловой скоростью  $\omega_2$  будет вращаться скамейка с человеком, если повернуть стержень так, чтобы он занял горизонтальное положение? Суммарный момент инерции человека и скамейки  $J = 6$  кг·м<sup>2</sup>. Длина

стержня  $L = 2,4$  м, его масса  $m = 8$  кг. Считать, что центр тяжести стержня с человеком находится на оси вращения. [ $\omega_2 = 0,61$  рад/с]

**3.110.** Человек, стоящий на скамье Жуковского, держит в руках стержень длиной  $l = 2,5$  м и массой  $m = 8$  кг, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамейки. Система (скамья и человек) обладает моментом инерции  $J = 10$  кг·м<sup>2</sup> и вращается с частотой  $n_1 = 12$  мин<sup>-1</sup>. Определить частоту  $n_2$  вращения скамьи с человеком, если стержень повернуть в горизонтальное положение. [ $n_2 = 8,5$  мин<sup>-1</sup>]

**3.111.** Человек массой  $m = 60$  кг, стоящий на краю горизонтальной платформы массой  $M = 120$  кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой  $n_1 = 10$  мин<sup>-1</sup>, переходит к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека - точечной массой, определить, с какой частотой  $n_2$  станет вращаться платформа. [ $n_2 = 20$  мин<sup>-1</sup>]

**3.112.** Платформа, имеющая форму сплошного однородного диска, может вращаться по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси. На краю платформы стоит человек, масса которого в 3 раза меньше массы платформы. Определить, как и во сколько раз изменится угловая скорость вращения платформы, если человек перейдет ближе к центру на расстояние, равное половине радиуса платформы. [возрастет в 1,43 раза]

**3.113.** На краю горизонтальной платформы, имеющей форму диска радиусом  $R = 4$  м, стоит человек массой  $m = 80$  кг. Масса платформы равна  $M = 240$  кг и она может вращаться без трения вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр. С какой угловой скоростью  $\omega$  будет вращаться платформа, если человек будет идти по ее краю со скоростью  $v = 2$  м/с относительно нее? [ $\omega = 0,2$  рад/с]

**3.114.** Платформа, имеющая форму диска, может вращаться вокруг вертикальной оси без трения. На какой угол  $\varphi$  повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя ее, вернется на то же место платформы. Масса платформы  $M = 240$  кг, масса человека  $m = 60$  кг. [ $\varphi = 120^\circ$ ]

**3.115.** К ободу однородного сплошного диска радиусом  $R = 0,5$  м приложена постоянная касательная сила  $F = 100$  Н. При вращении диска на него действует постоянный момент сил трения  $M_{\text{тр}} = 2$  Н·м. Определите массу  $m$  диска, если известно, что его угловое ускорение постоянно и равно  $\varepsilon = 16$  рад/с<sup>2</sup>. [ $m = 24$  кг]

**3.116.** Однородный шар скатывается без скольжения с плоскости, наклоненной под углом  $\varphi = 15^\circ$  к горизонту. За какое время  $t$  он пройдет путь  $S = 2$  м, и какой будет его скорость  $v$  в конце пути. [ $t = 1,47$  с;  $v = 2,72$  м/с]

**3.117.** Шар радиусом  $R = 10$  см и массой  $m = 5$  кг вращается вокруг оси симметрии согласно уравнению  $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$  ( $B = 2$  рад/с<sup>2</sup>,  $C = -0,5$  рад/с<sup>3</sup>). Определить момент сил  $M$  для момента времени  $t = 3$  с. [ $M = -0,1$  Н·м]

**3.118.** Однородный стержень длиной  $l = 1$  м и массой  $m = 0,5$  кг вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину стержня. С каким угловым ускорением  $\varepsilon$  вращается стержень, если на него действует момент сил  $M = 98,1$  мН·м? [ $\varepsilon = 2,35$  рад/с<sup>2</sup>]

**3.119.** Маховое колесо, момент инерции которого  $J = 245$  кг·м<sup>2</sup>, вращается с частотой  $n = 20$  об/с. Через время  $t = 1$  мин после того, как на колесо перестал действовать момент сил  $M$ , оно остановилось. Найти момент сил трения  $M_{\text{тр}}$  и число оборотов  $N$ , которое сделало колесо до полной остановки после прекращения действия сил. Колесо считать однородным диском. [ $M_{\text{тр}} = 513$  Н·м;  $N = 600$ ]

**3.120.** Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого  $J = 150$  кг·м<sup>2</sup>, вращается с частотой  $n = 240$  об/мин. Через время  $t = 1$  мин, после того как на маховик стал действовать момент сил торможения, он остановился. Определить: 1) момент  $M$  сил торможения; 2) число оборотов маховика от начала торможения до полной остановки. [ $M = 62,8$  Н·м;  $N = 120$ ]

**3.121.** Частота вращения маховика, момент инерции которого равен  $J = 120$  кг·м<sup>2</sup>, составляет  $n = 240$  об/мин. После прекращения

действия на него вращающего момента маховик под действием сил трения в подшипниках остановился за время  $t = \pi$  мин. Считая трение в подшипниках постоянным, определить момент  $M$  сил трения. [ $M = 16 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ]

**3.122.** Вал в виде сплошного цилиндра массой  $m_1 = 10$  кг насажен на горизонтальную ось. На цилиндр намотан шнур, к свободному концу которого подвешена гиря массой  $m_2 = 2$  кг. С каким ускорением  $a$  будет опускаться гиря, если ее предоставить самой себе? [ $a = 7,83 \text{ м/с}^2$ ]

**3.123.** На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом  $R = 50$  см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой  $m_1 = 6,4$  кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением  $a = 2 \text{ м/с}^2$ . Определить: 1) момент инерции  $J$  вала; 2) массу  $m_2$  вала. [ $J = 6,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $m_2 = 50 \text{ кг}$ ]

**3.124.** Через неподвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой  $m = 0,2$  кг перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены тела массами  $m_1 = 0,35$  кг и  $m_2 = 0,55$  кг. Пренебрегая трением в оси блока, определить: 1) ускорение грузов; 2) отношение  $T_2/T_1$  сил натяжения нити. [ $a = 1,96 \text{ м/с}^2$ ;  $T_2/T_1 = 1,05$ ]

**3.125.** На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом  $R = 20$  см, момент инерции которого  $J = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой  $m = 0,5$  кг. До начала вращения барабана высота груза над полом составляла  $h = 2,3$  м. Определите: 1) время опускания груза до пола; 2) силу натяжения нити; 3) кинетическую энергию груза в момент удара о пол. [ $t = 2$  с;  $T = 4,3 \text{ Н}$ ;  $E_k = 1,32 \text{ Дж}$ ]

**3.126.** Грузы массами  $m_1 = 1$  кг и  $m_2 = 2$  кг привязаны к концам нити, перекинутой через блок в виде однородного диска массой  $M = 3$  кг. Пренебрегая массой и растяжением нити, а также трением блока, найдите изменение высоты грузов за вторую секунду после начала их движения. [ $\Delta h = 3,27 \text{ м}$ ]

**3.127.** Блок массой  $m = 1$  кг укреплен на конце стола. Гири 1 и 2 одинаковой массы  $m_1 = m_2 = 1$  кг соединены нитью, перекинутой через блок. Гиря 2 находится на поверхности стола, а гиря 1 свешивается со стола. Коэффициент трения гири 2 о стол  $\mu = 0,1$ . Найдите ускорение, с которым движутся гири, и силы натяжения  $T_1$  и  $T_2$  нитей. Блок считать однородным диском. Трением в блоке пренебречь. [ $a = 3,53$  м/с<sup>2</sup>;  $T_1 = 6,3$  Н;  $T_2 = 4,5$  Н]

**3.128.** Кинетическая энергия вала, вращающегося с частотой  $n = 5$  об/с, равна  $E_k = 60$  Дж. Найти момент импульса  $L$  вала. [ $L = 3,8$  кг·м<sup>2</sup>/с]

**3.129.** Маховик начинает вращаться из состояния покоя с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon = 0,4$  рад/с<sup>2</sup>. Определите кинетическую энергию  $E_k$  маховика через время  $t_2 = 25$  с после начала движения, если через  $t_1 = 10$  с после начала движения момент импульса маховика составлял  $L_1 = 60$  кг·м<sup>2</sup>/с. [ $E_k = 750$  Дж]

**3.130.** К ободу однородного сплошного диска массой  $m = 10$  кг, насаженного на ось, приложена постоянная касательная сила  $F = 30$  Н. Определить кинетическую энергию  $E_k$  диска через время  $t = 4$  с после начала действия силы. [ $E_k = 1,44$  кДж]

**3.131.** Маховик, момент инерции которого равен  $J = 40$  кг·м<sup>2</sup>, начал вращаться из состояния покоя под действием момента силы  $M = 20$  Н·м. Вращение продолжалось в течение  $t = 10$  с. Определите кинетическую энергию  $E_k$ , приобретенную маховиком. [ $E_k = 500$  Дж]

**3.132.** Сплошной однородный диск скатывается без скольжения по наклонной плоскости, образующей угол  $\alpha$  с горизонтом. Определить линейное ускорение  $a$  центра диска. [ $a = \frac{2}{3} g \sin \alpha$ ]

**3.133.** С наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту, скатывается без скольжения шарик. Пренебрегая трением, определить время движения шарика по наклонной плоскости, если известно, что его центр масс при скатывании понизился на 30 см. [ $t = 0,585$  с]

**3.134.** Колесо радиусом  $R = 30$  см и массой  $m = 3$  кг скатывается по наклонной плоскости длиной  $l = 5$  м с углом наклона  $\alpha = 25^\circ$ . Определить момент инерции  $J$  колеса, если его скорость в конце движения составляла  $v = 4,6$  м/с. [ $J = 0,259$  кг·м<sup>2</sup>]

**3.135.** Однородный шар скатывается без скольжения с плоскости, наклоненной под углом  $\varphi = 15^\circ$  к горизонту. За какое время  $t$  он пройдет путь  $S = 2$  м и какой будет его скорость  $v$  в конце пути? [ $t = 1,5$  с;  $v = 2,7$  м/с]

**3.136.** Найдите скорости  $v$  движения центров масс шара, диска и полого цилиндра, скатившихся без скольжения с наклонной плоскости высотой  $h = 0,5$  м. [ $v_{\text{ш}} = 2,65$  м/с;  $v_{\text{д}} = 2,56$  м/с;  $v_{\text{ц}} = 2,21$  м/с]

**3.137.** Пуля массой  $m = 10$  г летит со скоростью  $v = 800$  м/с, вращаясь около продольной оси с частотой  $n = 3000$  об/с. Принимая пулю за цилиндрик диаметра  $d = 8$  мм, определите кинетическую энергию  $E_k$  пули. [ $E_k = 3,2$  кДж]

**3.138.** Карандаш, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую  $\omega$  и линейную скорости  $v$  будет иметь в конце падения: 1) середина карандаша; 2) верхний конец? Длина карандаша  $l = 15$  см. Какой импульс  $p$  получит стол, если масса карандаша  $m = 50$  г? [ $\omega_1 = \omega_2 = 14$  рад/с;  $v_1 = 1,05$  м/с;  $v_2 = 2,1$  м/с;  $p = 0,053$  кг·м/с]

**3.139.** Однородный стержень длиной  $l = 1$  м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Какую линейную скорость  $v$  будет иметь нижний конец стержня в момент прохождения равновесного положения, если его отклонить на угол  $\varphi = 60^\circ$  и отпустить? [ $v = 3,83$  м/с]

**3.140.** На прочной нити длиной  $l$  висит шар массой  $M$  и радиусом  $R$ . Пуля массы  $m$ , летящая к центру шара сверху под углом  $\alpha$  к вертикали, застревает в нем. При какой скорости пули  $v$  шар с ней сможет сделать полный оборот в вертикальной плоскости?

$$[v = \frac{I \sqrt{\frac{4(M+m)g(l+R)}{J} + \frac{g}{l+R}}}{m(l+R) \sin \alpha}, \text{ где } J = \frac{2}{5}MR^2 + (M+m)(l+R)^2]$$

**3.141.** Вентилятор вращается со скоростью, соответствующей  $n = 900$  об/мин. После выключения вентилятор, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки  $N = 75$  оборотов. Работа сил торможения равна  $A = 44,4$  Дж. Найдите момент инерции  $J$  вентилятора и момент силы торможения  $M$ . [ $J = 0,01$  кг·м<sup>2</sup>;  $M = 0,094$  Н·м]

**3.142.** Шарик массой  $m = 50$  г, привязанный к концу нити длиной  $l_1 = 1$  м, вращается с частотой  $n_1 = 1$  об/с, опираясь на горизонтальную плоскость. Нить укорачивается, приближая шарик к оси вращения до расстояния  $l_2 = 0,5$  м. С какой частотой  $n_2$  будет при этом вращаться шарик? Какую работу  $A$  совершает внешняя сила, укорачивая нить? Трением шарика о плоскость пренебечь. [ $n_2 = 4$  об/с;  $A = 2,96$  Дж]

**3.143.** Какую работу надо совершить в течение  $t = 1$  мин, чтобы увеличить частоту вращения маховика массой  $m = 0,5$  кг, имеющего форму диска диаметром  $D = 1,5$  м, от  $v_0 = 0$  до  $v = 50$  об/с, если к ободу маховика приложена касательная сила трения  $F_{\text{тр}} = 1$  Н? [ $A = 14$  кДж]

**3.144.** Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого  $J = 1,5$  кг·м<sup>2</sup>, вращаясь при торможении равнозамедленно, за время  $t = 1$  мин уменьшил частоту своего вращения с  $n_0 = 240$  об/мин до  $n = 120$  об/мин. Определить: 1) угловое ускорение  $\varepsilon$  маховика; 2) момент  $M$  силы торможения; 3) работу торможения  $A$ . [ $\varepsilon = 0,21$  рад/с<sup>2</sup>;  $M = 0,314$  Н·м;  $A = 355$  Дж]

**3.145.** Медный шар радиусом  $R = 10$  см вращается со скоростью, соответствующей частоте  $n = 2$  об/с, вокруг оси, проходящей через его центр. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы увеличить угловую скорость вращения шара вдвое? Плотность меди  $\rho = 8600$  кг/м<sup>3</sup>. [ $A = 34,2$  Дж]

**3.146.** Человек массой  $m = 60$  кг, стоящий на краю горизонтальной платформы радиусом  $R = 1$  м массой  $M = 120$  кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой  $n_1 = 10 \text{ мин}^{-1}$ , переходит к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека точечной массой, определить работу  $A$ , совершаемую человеком при переходе от края платформы к ее центру. [ $A = 65,8$  Дж]

**3.147.** Полная кинетическая энергия диска, катящегося по горизонтальной поверхности, равна  $E = 24$  Дж. Определить кинетическую энергию  $E_1$  поступательного и  $E_2$  вращательного движения диска. [ $E_1 = 16$  Дж;  $E_2 = 8$  Дж]

**3.148.** Шар и сплошной цилиндр, изготовленные из одного и того же материала, одинаковой массы, катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Определить, во сколько раз кинетическая энергия шара меньше кинетической энергии сплошного цилиндра. [в 1,07 раза]

**3.149.** Полый тонкостенный цилиндр массой  $m = 0,5$  кг, катящийся без скольжения, ударяется о стену и отталкивается от нее. Скорость цилиндра до удара о стену  $v_1 = 1,4$  м/с, после удара  $v_2 = 1$  м/с. Определите выделившееся при ударе количество теплоты  $Q$ . [ $Q = 0,48$  Дж]

**3.150.** Какую среднюю мощность  $N$  развивает мотор, приводящий в движение стабилизирующий гироскоп, имеющий форму диска радиусом  $R = 1$  м и массой  $m = 1000$  кг, если в течение  $t = 60$  с угловая скорость доводится до  $\omega = 31$  рад/с. Трением и сопротивлением воздуха пренебречь. [ $N_{\text{cp}} = 4$  кВт]

## 4. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА

### Основные формулы:

Преобразования Галилея

$$\begin{array}{ll} x' = x - vt & x = x' + vt \\ y' = y & y = y' \\ z' = z & z = z' \\ t' = t & t = t' \end{array}$$

где  $x, y, z$  – координаты материальной точки в инерциальной системе отсчета  $K$ ;  $x', y', z'$  – координаты в инерциальной системе отсчета  $K'$ , движущейся с постоянной скоростью  $v$  ( $v \ll c$ , где  $c$  – скорость света в вакууме) в положительном направлении оси  $X$  системы отсчета  $K$  (оси  $X$  и  $X'$  совпадают; оси  $Y$  и  $Y'$ ,  $Z$  и  $Z'$  попарно параллельны; в начальный момент времени начала координат совпадают).

Преобразования Лоренца

$$\begin{array}{ll} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} & x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y & y = y' \\ z' = z & z = z' \\ t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} & t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array}$$

Релятивистское замедление времени

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где  $\tau_0$  – промежуток времени между двумя событиями, отсчитанный по часам, движущимся вместе с телом (собственное время);  $\tau$  – промежуток времени между теми же событиями, отсчитанный по неподвижным часам.

Релятивистское (Лоренцево) сокращение длины

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

где  $l_0$  – длина тела, измеренная в системе отсчета, относительно которой тело покоится (собственная длина);  $l$  – длина тела, измеренная в системе отсчета, относительно которой тело движется со скоростью  $v$ .

Релятивистский импульс материальной точки

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где  $m$  – масса материальной точки (не зависит от ее скорости, инвариантна по отношению к выбору системы отсчета).

Основное уравнение релятивистской динамики материальной точки

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right),$$

где  $\vec{F}$  – результирующая сила, действующая на материальную точку.

Энергия покоя или собственная энергия частицы или тела

$$E_0 = mc^2.$$

Полная энергия частицы или поступательно движущегося тела

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Кинетическая энергия материальной точки (тела)

$$E_k = E - E_0 = mc^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

Связь между энергией и импульсом релятивистской частицы

$$E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2}.$$

Релятивистский закон сложения скоростей для тела, движущегося вдоль оси  $OX$ , имеет вид

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}},$$

где  $v$  – скорость движущейся системы отсчета  $K'$ ,  $u$  – скорость тела относительно неподвижной системы отсчета  $K$ ,  $u'$  – скорость тела относительно системы  $K'$ .

### Тестовые задания

**4.1.** Согласно механического принципа относительности (принципа относительности Галилея), ...

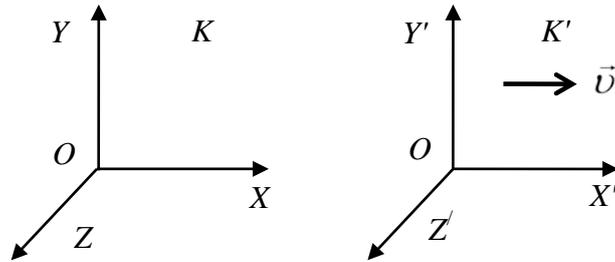
- 1) законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета (ИСО), инвариантны по отношению к преобразованиям координат
- 2) законы механики в ИСО не являются инвариантными по отношению к преобразованиям координат
- 3) скорость света в вакууме является величиной постоянной и одинаковой во всех ИСО, не зависит от движения источника света и наблюдателя

**4.2.** Физика Галилея и Ньютона базировалась на представлениях классической механики ... (Выберите верные ответы из предлагаемых)

- 1) о существовании трехмерного пространства
- 2) о времени, единого для всех наблюдателей

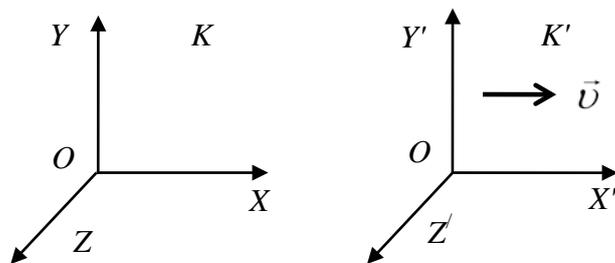
- 3) расстояние между двумя точками пространства и промежутки времени между событиями являются инвариантными
- 4) о соблюдении принципа дальнего действия
- 5) о соблюдении принципа короткого действия

**4.3.** При переходе от движущейся с постоянной скоростью  $\vec{v}$  системы отсчета  $K'$  к неподвижной системе отсчета  $K$  для случая, показанного на рисунке, преобразования Галилея имеют вид ...



- 1)  $x = x' - vt'$ ;  $y = y'$ ;  $z = z'$ ;  $t = t'$
- 2)  $x = x' + vt'$ ;  $y = y'$ ;  $z = z'$ ;  $t = t'$
- 3)  $x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ;  $y = y'$ ;  $z = z'$ ;  $t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- 4)  $x = \frac{x' - vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ;  $y = y'$ ;  $z = z'$ ;  $t = \frac{t' - \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

**4.4.** При переходе от неподвижной системы отсчета  $K$  к системе отсчета  $K'$ , движущейся относительно нее с постоянной скоростью  $\vec{v}$ , для показанного на рисунке случая преобразования Лоренца имеют вид ...



- 1)  $x' = x - vt$ ;  $y' = y$ ;  $z' = z$ ;  $t' = t$
- 2)  $x' = x + vt$ ;  $y' = y$ ;  $z' = z$ ;  $t' = t$

$$3) x' = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; y' = y; z' = z; t' = \frac{t + \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$4) x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; y' = y; z' = z; t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

**4.5.** Согласно постулатам Эйнштейна, ... (Выберите все верные утверждения)

- 1) все законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета
- 2) все законы природы и уравнения, их описывающие, инвариантны при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой инерциальной системе отсчета
- 3) скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от скорости движения источников и приемников света
- 4) скорость света в вакууме не является величиной постоянной в инерциальных системах отсчета и зависит от скорости движения источников и приемников света

**4.6.** Все законы природы и физические явления при одинаковых условиях протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета – это принцип ...

- 1) независимости
- 2) соответствия
- 3) дополнительности
- 4) относительности

**4.7.** Относительной величиной является ...

- 1) электрический заряд
- 2) длительность события
- 3) барионный заряд
- 4) скорость света в вакууме

**4.8.** В релятивистской механике выполняются ... (Выберите все верные утверждения)

- 1) закон сохранения импульса
- 2) закон сохранения энергии
- 3) закон сохранения кинетической энергии
- 4) закон сохранения момента импульса

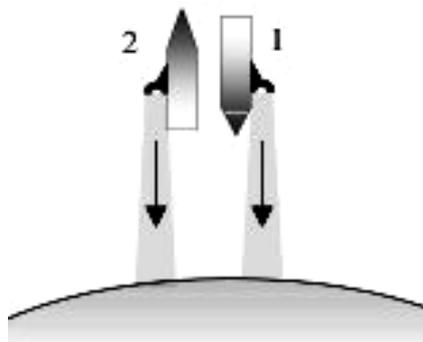
**4.9.** Ракета удаляется от Земли со скоростью  $v$ . С ракеты на Землю посылается световой сигнал, который на Землю приходит со скоростью ... ( $c$  – скорость света в вакууме)

- 1)  $c - v$       2)  $\frac{c - v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$       3)  $c$       4)  $\frac{c}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$       5)  $\frac{c + v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

**4.10.** Период электромагнитных колебаний в контуре, измеренный на Земле, равен  $T$ . Период колебаний в таком же контуре, измеренный на космическом корабле, удаляющемся от Земли со скоростью  $v$ , близкой к скорости света  $c$ , равен ...

- 1)  $T$       2)  $T/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$       3)  $T \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2}$       4)  $T \cdot (1 - v^2/c^2)$

**4.11.** В некоторой точке пространства «встречаются» две ракеты, летящие со скоростями  $v = 0,75c$  ( $c$  – скорость света в вакууме): первая по направлению к Земле, а вторая – от Земли. В момент встречи с обеих ракет посылают световой сигнал в сторону Земли. До наблюдателя на Земле сигналы дойдут в последовательности ...



- 1) от обеих ракет одновременно
- 2) сначала от первой ракеты, а затем от второй
- 3) сначала от второй ракеты, а затем от первой
- 4) дойдет только свет от первой ракеты

**4.12.** Космический корабль с двумя космонавтами на борту, один из которых находится в носовой части, другой – в хвостовой, летит со скоростью  $v = 0,8c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Космонавт, находящийся в хвостовой части ракеты производит вспышку света и измеряет промежуток времени  $t_1$ , за который свет проходит расстояние до зеркала, укрепленного у него над головой, и обратно к источнику света. Этот промежуток времени с точки зрения другого космонавта ...

- 1) меньше, чем  $t_1$  в 1,25 раза
- 2) меньше, чем  $t_1$  в 1,67 раза
- 3) равен  $t_1$
- 4) больше, чем  $t_1$  в 1,67 раза
- 5) больше, чем  $t_1$  в 1,25 раза

**4.13.** Ракета движется относительно Земли со скоростью  $v = 0,6c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). С точки зрения земного наблюдателя ход времени в ракете замедлен в ... раза.

- 1) 1,0                      2) 1,25                      3) 1,5                      4) 1,67                      5) 2,0

**4.14.** Если собственное время жизни частицы отличается от времени, измеренному по неподвижным часам, на 1%, то она движется со скоростью  $v$ , равной ... ( $c$  – скорость света в вакууме)

- 1)  $0,7c$                       2)  $0,14c$                       3)  $0,42c$                       4)  $0,07c$                       5)  $c$

**4.15.** Чтобы время жизни нестабильной частицы было в 10 раз больше, чем у такой же, но покоящейся относительно наблюдателя частицы, она должна двигаться относительно наблюдателя со скоростью  $v$ , равной ... ( $c$  – скорость света в вакууме)

- 1)  $0,955c$                       2)  $0,965c$                       3)  $0,975c$                       4)  $0,985c$                       5)  $0,995c$

**4.16.** Время жизни нестабильного мюона, входящего в состав космических лучей, измеренное земным наблюдателем, относительно которого мюон двигался со скоростью, составляющей 95% скорости света в вакууме, оказалось равным  $\tau = 6,4$  мкс. Время жизни  $\tau_0$  мюона, покоящегося относительно наблюдателя равно ... мкс.

- 1) 20                      2) 12                      3) 4                      4) 2,0                      5) 1,0

**4.17.** Ракета движется относительно Земли со скоростью  $v = 0,8c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). С точки зрения земного наблюдателя ход времени в ракете замедлен в ... раза.

- 1) 1,0                    2) 1,25                    3) 1,54                    4) 1,67                    5) 2,0

**4.18.** Ракета движется относительно земного наблюдателя со скоростью  $v = 0,6c$ , где  $c$  – скорость света в вакууме. Если по часам в ракете прошло  $\tau = 8$  месяцев, то по часам земного наблюдателя прошло  $\tau_0$ , равное ...

- 1) 8 месяцев    2) 9 месяцев    3) 10 месяцев    4) 11 месяцев    5) 1 год

**4.19.** На космическом корабле-спутнике находятся часы, синхронизированные до полета с земными часами. Скорость спутника составляет  $v = 7,9$  км/с. Если по часам земного наблюдателя прошло время  $\tau_0 = 0,5$  года, то часы на спутнике по измерениям земного наблюдателя отстанут на ... с.

- 1) 0,57                    2) 1,45                    3) 268                    4) 21,6                    5) 5,25

**4.20.** Время жизни мюона, измеренное наблюдателем, относительно которого мюон покоился, равно  $t_0$ . В системе отсчета, относительно которой мюон движется со скоростью  $v$ , сравнимой со скоростью света в вакууме  $c$  ( $v = \beta c$ ), от рождения до распада мюон пролетит расстояние, равное ...

- 1)  $v \cdot t_0$                     2)  $v \cdot t_0 \sqrt{1 - \beta^2}$                     3)  $v \cdot t_0 \sqrt{1 + \beta}$   
 4)  $v \cdot t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$                     5)  $v \cdot t_0 \frac{1}{1 - \beta^2}$

**4.21.** Космический корабль движется со скоростью  $v = 0,9c$  ( $c$  – скорость света в вакууме) по направлению к центру Земли. За интервал времени  $\Delta t_0 = 1$  с, отсчитанный по находящимся в космическом корабле часам, корабль в системе отсчета, связанной с Землей, пройдет расстояние ... м. (Суточным вращением Земли и ее орбитальным движением вокруг Солнца пренебречь)

- 1)  $1,18 \cdot 10^8$     2)  $2,06 \cdot 10^8$     3)  $2,7 \cdot 10^8$     4)  $6,19 \cdot 10^8$     5)  $8,4 \cdot 10^8$

**4.22.** Элементарная частица движется в вакууме со скоростью, составляющей 60 % скорости света ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с). Собственное время жизни этой частицы равно  $t_0 = 2 \cdot 10^{-9}$  с. За время своего

существования частица может пройти относительно Земли расстояние,  $l$  равное ... м.

- 1) 0,25                      2) 0,45                      3) 0,65                      4) 0,85                      5) 1,05

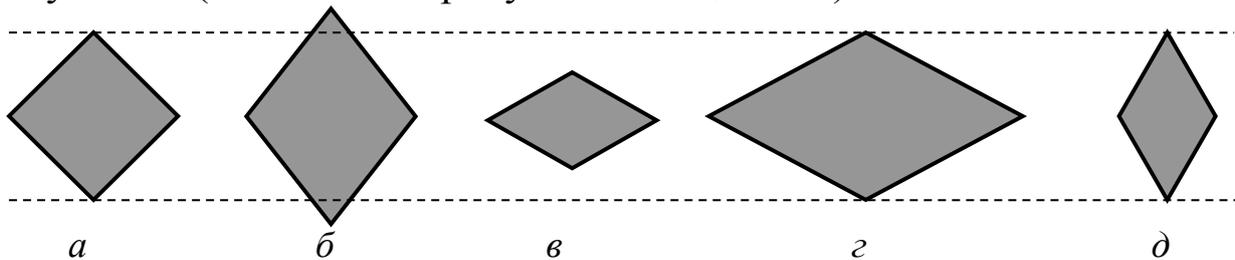
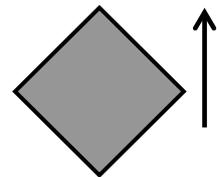
**4.23.** На ракете, движущейся относительно Земли со скоростью  $v = 2,4 \cdot 10^8$  м/с, происходят две световые вспышки с промежутком времени между ними  $\tau_0$  относительно корабля. Наблюдатель на Земле зафиксирует, что между вспышками промежуток времени  $\tau$  равен ...

- 1)  $0,42 \cdot \tau_0$               2)  $0,6 \cdot \tau_0$               3)  $1,25 \cdot \tau_0$               4)  $1,41 \cdot \tau_0$               5)  $1,67 \cdot \tau_0$

**4.24.** На ракете, движущейся относительно Земли со скоростью  $v$ , происходят две световые вспышки с промежутком времени между ними  $\tau_0 = 48$  с относительно корабля. Наблюдатель на Земле зафиксировал, что промежуток времени между вспышками составляет  $\tau = 80$  с. Скорость ракеты  $v$  равна ... м/с.

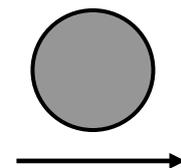
- 1)  $2,0 \cdot 10^8$               2)  $2,1 \cdot 10^8$               3)  $2,2 \cdot 10^8$               4)  $2,3 \cdot 10^8$               5)  $2,4 \cdot 10^8$

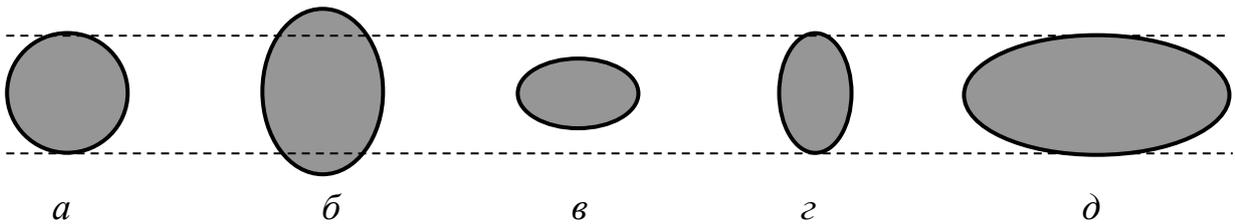
**4.25.** На борту космического корабля имеется эмблема в виде геометрической фигуры. Из-за релятивистского сокращения длины эта фигура изменяет свою форму. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой со скоростью, сравнимой со скоростью света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму, указанную на рисунке ... (Масштаб на рисунке соблюдается)



- 1) а                              2) б                              3) в                              4) г                              5) д

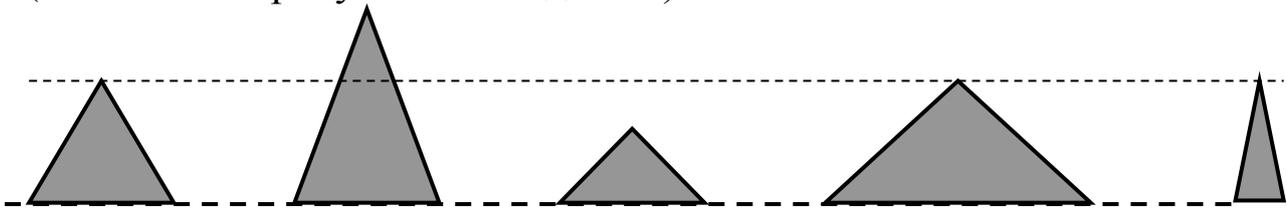
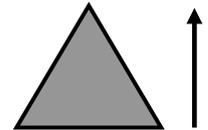
**4.26.** На борту космического корабля нанесена эмблема в виде круга. Если корабль движется со скоростью света в направлении, указанном на рисунке стрелкой, то для космонавта в корабле, движущемся навстречу, эмблема примет форму, указанную на рисунке ... (Масштаб на рисунке соблюдается)





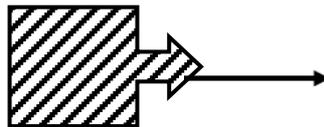
- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г                      5) д

**4.27.** На борту космического корабля нанесена эмблема в виде геометрической фигуры. Из-за релятивистского сокращения длины эта фигура изменяет свою форму. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой со скоростью, сравнимой со скоростью света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму, указанную на рисунке ... (Масштаб на рисунке соблюдается)

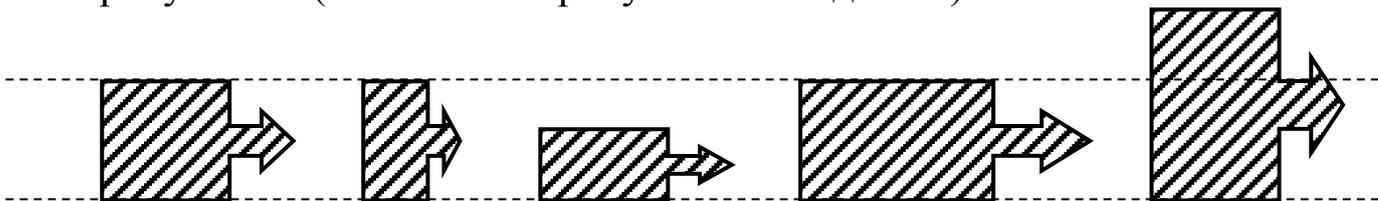


- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г                      5) д

**4.28.** На борту космического корабля нанесена эмблема в виде геометрической фигуры.



Из-за релятивистского сокращения длины эта фигура изменяет свою форму. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой, со скоростью, сравнимой со скоростью света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму, указанную на рисунке ... (Масштаб на рисунке соблюдается)



- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г                      5) д

**4.29.** Космический корабль летит со скоростью  $v = 0,8c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Один из космонавтов медленно поворачивает метровый стержень из положения 1, перпендикулярного направлению движению корабля, в положение 2, параллельное этому направлению. Тогда длина этого стержня, с точки зрения наблюдателя, находящегося на Земле ...

- 1) равна 1,0 м при любой его ориентации
- 2) изменится от 1,0 м в положении 1 до 0,6 м в положении 2
- 3) изменится от 1,0 м в положении 1 до 1,67 м в положении 2
- 4) изменится от 0,6 м в положении 1 до 1,0 м в положении 2
- 5) изменится от 1,67 м в положении 1 до 1 м в положении 2

**4.30.** Стержень движется в продольном направлении с постоянной скоростью относительно инерциальной системы отсчета. Длина  $l$  стержня в этой системе отсчета будет в 1,66 раза меньше его собственной длины  $l_0$ , при значении скорости  $v$ , равной ... ( $c$  – скорость света в вакууме)

- 1)  $0,9c$                       2)  $0,2c$                       3)  $0,4c$                       4)  $0,6c$                       5)  $0,8c$

**4.31.** Чтобы продольные размеры движущегося тела уменьшились в 2 раза, оно должно двигаться со скоростью  $v$ , равной ... м/с.

- 1)  $2 \cdot 10^8$                       2)  $2,3 \cdot 10^8$                       3)  $2,6 \cdot 10^8$                       4)  $2,7 \cdot 10^8$

**4.32.** Релятивистское сокращение линейных размеров составляет 10 % при относительной скорости  $v$ , равной ... км/с.

- 1)  $3 \cdot 10^8$                       2)  $3 \cdot 10^5$                       3)  $7,7 \cdot 10^5$                       4)  $2,3 \cdot 10^5$                       5)  $1,3 \cdot 10^5$

**4.33.** Измеряется длина движущегося метрового стержня с точностью до 0,5 мкм. Если стержень движется перпендикулярно своей длине, то ее изменение можно заметить при скорости  $v$ , равной ... м/с.

- 1)  $3 \cdot 10^8$     2)  $3 \cdot 10^7$     3)  $3 \cdot 10^7$     4)  $3 \cdot 10^3$                       5) ни при какой скорости

**4.34.** Периметр квадрата со стороной  $a$ , движущегося со скоростью  $v = 0,5c$  ( $c$  – скорость света в вакууме) вдоль одной из своих сторон, равен ...

- 1)  $4,3 a$                       2)  $4,15 a$                       3)  $4,0 a$                       4)  $3,87 a$                       5)  $3,73 a$



**4.41.** При скорости тела  $v = 0,5c$  ( $c$  – скорость света в вакууме) отношение релятивистского импульса к ньютоновскому равно ...

- 1) 0,865                      2) 2                      3) 0,500                      4) 1,555                      5) 1,155

**4.42.** Скорость элементарной частицы в инерциальной системе отсчета равна  $v = 0,6c$ , где  $c$  – скорость света в вакууме. Частица обладает импульсом  $p = 3,8 \cdot 10^{-19}$  кг·м/с. Масса  $m$  частицы равна ... кг.

- 1)  $6,3 \cdot 10^{-30}$                       2)  $0,7 \cdot 10^{-27}$                       3)  $1,7 \cdot 10^{-27}$                       4)  $3,4 \cdot 10^{-29}$                       5)  $5,0 \cdot 10^{-3}$

**4.43.** Релятивистский импульс материальной точки имеет вид ...

- 1)  $\vec{p} = m\vec{v}$                       2)  $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$                       3)  $\vec{p} = m\vec{c}$
- 4)  $p = h \frac{c}{\lambda}$                       5)  $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m\vec{v}$

**4.44.** Основной закон релятивистской динамики имеет вид ...

- 1)  $E_{\text{кин}} = mc^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$                       2)  $\vec{F} = m\vec{a}$                       3)  $E_{\text{кин}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- 4)  $\vec{M} = I\vec{\epsilon}$                       5)  $\vec{F} = \frac{d}{dt} \left( \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$

**4.45.** Полная энергия частицы, движущейся со скоростью  $v$ , сравнимой со скоростью света, определяется выражением ...

- А.  $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$                       Б.  $E = mc^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$                       В.  $E = mc^2$

$$\Gamma. E = \frac{mv^2}{2}$$

$$Д. E = \frac{mv^2}{2} + mgh$$

1) А

2) Б

3) В

4) Г

5) Д

**4.46.** Полная энергия элементарной частицы, вылетающей из ускорителя со скоростью  $v = 0,75c$  ( $c$  – скорость света в вакууме), больше ее энергии покоя в ... раза.

1) 1,17

2) 1,33

3) 1,5

4) 2,0

5) 4,0

**4.47.** Если кинетическая энергия частицы космических лучей в 3 раза превышает ее энергию покоя, то отношение скорости частицы к скорости света  $\frac{v}{c}$  равно ...

1) 0,9

2) 0,92

3) 0,94

4) 0,96

5) 0,98

**4.48.** Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее энергии покоя. Скорость частицы  $v$  равна ... ( $c$  – скорость света в вакууме)

1)  $\frac{\sqrt{3}}{2}c$

2)  $\frac{\sqrt{2}}{2}c$

3)  $2\sqrt{2} \cdot c$

4)  $\frac{\sqrt{3}}{4}c$

5)  $c$

**4.49.** Если скорость движущейся частицы изменилась от  $v_1 = 0,6c$  до  $v_2 = 0,8c$  ( $c$  – скорость света в вакууме), то кинетическая энергия  $K$  частицы ...

1) увеличилась в 1,15 раза

2) увеличилась в 1,33 раза

3) увеличилась в 1,78 раза

4) увеличилась в 2,67 раза

5) не изменилась

**4.50.** При слиянии двух частиц одинаковой массы  $m$  выделяется энергия  $E$ . Энергия покоя получившейся в результате слияния частицы равна ...

1)  $E - mc^2$

2)  $2mc^2 + E$

3)  $2mc^2 - E$

4)  $mc^2$

5)  $2mc^2$

## Задачи

**4.51.** В фантастическом романе космический корабль двигался со скоростью  $v = 7 \cdot 10^4$  км/с. На сколько космонавт, прошедший в пути один год (по часам космонавта), окажется моложе своих сверстников по возвращении на Землю? [ $\Delta t = 10$  дней]

**4.52.** Две нестабильные частицы движутся в системе отсчета  $K$  в одном направлении вдоль одной прямой с одинаковой скоростью  $v = 0,6c$ . Расстояние между частицами в системе  $K$  равно 64 м. Обе частицы распались одновременно в системе  $K'$ , которая связана с ними. Определить промежуток времени  $\tau$  между распадом частиц в системе  $K$ . [ $\tau = 0,2$  мкс]

**4.53.** Определить, во сколько раз увеличивается время жизни нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя), если она начинает двигаться со скоростью, равной  $v = 0,9c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). [в 2,29 раза]

**4.54.** Ракета движется относительно неподвижного наблюдателя на Земле со скоростью  $v = 0,99c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Как изменятся линейные размеры тел в ракете (по линии движения) для неподвижного наблюдателя и какое время пройдет по часам неподвижного наблюдателя, если по часам, движущимся вместе с ракетой, прошел один год. [ $l \approx 0,141l_0$ ;  $t = 7,09$  лет]

**4.55.** Космическая ракета движется с большой относительной скоростью. Релятивистское сокращение ее длины составило 36 %. Определить скорость движения ракеты  $v$ . [ $v = 2,3 \cdot 10^8$  м/с]

**4.56.** Мюоны, рождаясь в верхних слоях атмосферы, при скорости  $v = 0,995c$  пролетают до распада расстояние  $l = 6$  км. Определить: 1) собственную длину пути  $l_0$ , пройденную ими до распада; 2) время жизни  $\tau$  мюона для наблюдателя на Земле; 3) собственное время жизни  $\tau_0$  мюона. [ $l_0 = 599$  м;  $\tau = 20,1$  мкс;  $\tau_0 = 2$  мкс]

**4.57.** Предположим, что мы можем измерить длину стержня с точностью  $\Delta l = 0,1$  мкм. При какой относительной скорости  $u$  двух инерциальных систем отсчета можно было бы обнаружить

релятивистское сокращение длины стержня, собственная длина которого равна  $l_0 = 1\text{ м}$ ? [ $u = 134\text{ км/с}$ ]

**4.58.** Космический корабль движется со скоростью  $v = 0,8c$  ( $c$  – скорость света в вакууме) по направлению к Земле. Определить расстояние  $l$ , пройденное им в системе отсчета, связанной с Землей (системе  $K$ ), за время  $t_0 = 0,5\text{ с}$ , отсчитанное по часам в космическом корабле (системе  $K'$ ). [ $l = 200\text{ Мм}$ ]

**4.59.** В движущейся со скоростью  $v = 0,6c$  ( $c$  – скорость света в вакууме) инерциальной системе отсчета покоящийся стержень имеет собственную длину  $l_0 = 1,5\text{ м}$ . Стержень расположен под углом  $\alpha = 30^\circ$  к направлению движения. Найти длину стержня  $l$  и соответствующий угол  $\theta$  относительно неподвижной системы отсчета. [ $l = 1,28\text{ м}$ ;  $\theta = 35,8^\circ$ ]

**4.60.** Определить собственную длину стержня  $l_0$ , если в лабораторной системе его скорость  $v = 0,6c$ , длина  $l = 1,5\text{ м}$  и угол между ним и направлением движения  $\alpha = 30^\circ$ . [ $l_0 = 1,79\text{ м}$ ]

**4.61.** Найти угол  $\theta$  между диагоналями квадрата, движущегося со скоростью  $v = 0,9c$  ( $c$  – скорость света в вакууме) в направлении, параллельном одной из сторон. [ $\theta = 47,5^\circ$ ]

**4.62.** Площадь поверхности неподвижного куба равна  $S_0$ . Чему равна площадь поверхности  $S$  того же тела, если оно движется в направлении одного из своих ребер со скоростью  $v = 0,968c$  ( $c$  – скорость света в вакууме)? [ $S = 0,5S_0$ ]

**4.63.** Солнце излучает ежеминутно энергию  $E = 6,6 \cdot 10^{21}\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Считая излучение Солнца постоянным, найти, за какое время  $t$  масса Солнца уменьшится вдвое. [ $t = 7,1 \cdot 10^{12}\text{ лет}$ ]

**4.64.** Определить релятивистский импульс  $p$  протона, если скорость его движения  $v = 0,8c$ . [ $p = 6,68 \cdot 10^{-19}\text{ кг}\cdot\text{м/с}$ ]

**4.65.** Определить скорость  $v$ , при которой релятивистский импульс частицы превышает ее ньютоновский импульс в  $n = 3$  раза. [ $v = 0,943c$ ]

**4.66.** Полная энергия релятивистской частицы в 8 раз превышает ее энергию покоя. Определить скорость  $\nu$  этой частицы. [ $\nu = 298 \text{ Мм/с}$ ]

**4.67.** Кинетическая энергия электрона  $K = 1 \text{ МэВ}$ . Определить скорость  $\nu$  электрона. [ $\nu = 2,82 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ]

**4.68.** Определить скорость электрона, если его кинетическая энергия  $K$  равна: 1)  $4 \text{ МэВ}$ , 2)  $1 \text{ кэВ}$ . [ $\nu_1 = 244 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ ;  $\nu_2 = 18,45 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ ]

**4.69.** Ускоритель элементарных частиц разгоняет протоны до кинетической энергии  $E_k = 76 \text{ ГэВ}$ . Найти скорость  $\nu$  ускоренного протона. ( $c$  – скорость света в вакууме) [ $\nu \approx 0,9999c$ ]

**4.70.** Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее энергии покоя. Определить скорость частицы. [ $\nu = 260 \text{ Мм/с}$ ]

**4.71.** Найти импульс  $p$ , полную  $E$  и кинетическую энергию  $K$  электрона, движущегося со скоростью  $\nu = 0,9c$  ( $c$  – скорость света). [ $p = 5,6 \cdot 10^{22} \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ ;  $E = 1,87 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ ;  $E_k = 1,05 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ ]

**4.72.** Определить релятивистский импульс  $p$  электрона, кинетическая энергия которого  $E_k = 1 \text{ ГэВ}$ . [ $p = 5,34 \cdot 10^{-19} \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ ]

**4.73.** Определить работу  $A$ , которую необходимо совершить, чтобы увеличить скорость частицы массой  $m$  от  $\nu_1 = 0,5 \cdot c$  до  $\nu_2 = 0,7c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). [ $A = 0,246 mc^2$ ]

**4.74.** Две ракеты движутся навстречу друг другу относительно неподвижного наблюдателя с одинаковой скоростью  $\nu = 0,5c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Определить скорость сближения ракет, исходя из закона сложения скоростей: 1) в классической механике; 2) в специальной теории относительности. [ $\nu_1 = c$ ;  $\nu_2 = 0,8c$ ]

**4.75.** Протон движется со скоростью, равной  $\nu_1 = 0,8c$ . Навстречу ему движется электрон со скоростью  $\nu_2 = 0,9c$ . Каковы их скорости  $\nu$  относительно друг друга? Определить полную  $E$  и кинетическую энергию  $E_k$  электрона. [ $\nu = 2,97 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ;  $E = 1,88 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ ;  $E_k = 1,06 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ ]

## 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### Основные формулы:

Гармонические колебания происходят по синусоидальному или косинусоидальному закону.

Например,

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right) = A \cos(2\pi\nu t + \varphi_0),$$

где  $x$  – смещение точки от положения равновесия,  $A$  – амплитуда колебаний,  $\omega$  – круговая частота,  $t$  – время,  $T$  – период,  $\varphi_0$  – начальная фаза,  $\nu$  – частота колебаний.

Скорость и ускорение точки, совершающей колебание, определяются соотношениями

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \sin(\omega t + \varphi_0),$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где  $v_{\max} = A\omega$  – амплитуда скорости,  $a_{\max} = A\omega^2$  – амплитуда ускорения.

Сила, под действием которой точка массой  $m$  совершает гармоническое колебание,

$$F = ma = -mA\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Кинетическая и потенциальная энергии колеблющейся точки имеют вид

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

$$E_{\text{п}} = \frac{mA^2\omega^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)}{2}.$$

Полная энергия

$$E = E_k + E_{\text{п}} = \frac{mA^2\omega^2}{2}.$$

Примером гармонических колебательных движений могут служить малые колебания различных маятников.

Периоды колебаний маятников:

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

где  $m$  – масса груза,  $k$  – коэффициент жесткости пружины,

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

где  $l$  – длина подвеса (длина нити),  $g$  – ускорение свободного падения,

– физического 
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}},$$

где  $J$  – момент инерции маятника относительно оси, проходящей через точку подвеса,  $m$  – масса маятника,  $l$  – расстояние от точки подвеса до центра масс.

Приведенная длина физического маятника

$$l_{\text{пр}} = \frac{J}{ml}.$$

Если на материальную точку массой  $m$ , кроме упругой силы  $F = kx$ , действует еще сила сопротивления  $F_{\text{сопр}} = r\nu$ , где  $r$  – коэффициент сопротивления,  $\nu$  – скорость колеблющейся точки, то колебания точки будут затухающими.

Затухающие колебания происходят по закону

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $\beta = \frac{r}{2m}$  – коэффициент затухания,  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  – циклическая (круговая) частота затухающих колебаний,  $\omega_0$  – циклическая частота собственных незатухающих колебаний,  $A_0$  – начальная амплитуда.

В момент времени  $t$  амплитуда колебаний

$$A = A_0 e^{-\beta t}.$$

Логарифмический декремент затухания

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T.$$

Время релаксации (время, за которое амплитуда затухающих колебаний уменьшается в  $e$  раз)

$$\tau = \frac{1}{\beta}.$$

## Добротность колебательной системы

$$Q = \frac{\pi}{\lambda}.$$

Если на материальную точку массой  $m$ , кроме упругой силы и силы сопротивления среды действует внешняя периодическая сила  $F = F_0 \cos \omega t$ , то колебания точки будут вынужденными.

Уравнение движения точки при установившихся вынужденных колебаниях имеет вид

$$x = A_0 \cos(\omega t - \varphi),$$

где  $A = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}}$  – амплитуда установившихся

вынужденных гармонических колебаний,  $\varphi = \arctg \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$  – начальная фаза этих колебаний.

Резонансная частота для амплитуды смещения

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}.$$

Резонансная частота для амплитуды скорости

$$\omega_{\text{рез}} = \omega_0.$$

При сложении двух гармонических колебаний одной частоты и одного направления получается гармоническое колебание той же частоты с амплитудой

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

и начальной фазой

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

где  $A_1, A_2$  – амплитуды,  $\varphi_1, \varphi_2$  – начальные фазы складываемых колебаний.

При сложении двух гармонических колебаний одного направления с одинаковыми амплитудами и близкими частотами уравнение результирующих колебаний

$$x = 2A \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2}t\right) \cos \omega t,$$

где  $\Delta\omega$  – частота биений (разность круговых частот складываемых колебаний),  $\omega = (\omega_1 + \omega_2) / 2$  – частота колебаний.

Амплитуда и период биений

$$A_6 = \left| 2A \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2}t\right) \right|,$$

$$T_6 = \frac{2\pi}{\Delta\omega} = \frac{1}{\Delta\nu}.$$

Уравнение траектории результирующего движения при сложении взаимно перпендикулярных колебаний одной частоты

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Уравнение плоской бегущей волны

$$y = A \cos(\omega t \pm kx + \varphi) = A \cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi\right],$$

где  $y$  – смещение колеблющейся величины от положения равновесия,  $A$  – амплитуда,  $\omega$  – круговая частота,  $t$  – время,  $x$  – координата, вдоль которой распространяется волна,  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$  – волновое число,  $\lambda$  – длина волны. Знак «+» соответствует волне, распространяющейся против оси  $X$ , знак «-» соответствует волне, распространяющейся по оси  $X$ .

Длина волны

$$\lambda = vT,$$

где  $v$  – скорость распространения волны,  $T$  – период колебаний.

Связь между разностью фаз двух точек бегущей волны и разностью расстояний от этих точек до источника колебаний (разностью хода  $x_2 - x_1$ )

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1).$$

Уравнение стоячей волны

$$y = 2A \cos\frac{2\pi x}{\lambda} \cos\omega t.$$

Координаты пучностей и узлов стоячей волны

$$x_{\text{пучн}} = n\frac{\lambda}{2}, \quad x_{\text{узел}} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots).$$

## Тестовые задания

**5.1.** Дифференциальное уравнение свободных колебаний без затухания имеет вид ...

А.  $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$       Б.  $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$       В.  $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$

Г.  $\frac{d^2x}{dt^2} + x = 0$       Д.  $\frac{d^2x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + kx = 0$

- 1) А, Б, 4      2) В, Д      3) А, Г      4) Б, Г      5) А, Б

**5.2.** Дифференциальное уравнение свободных затухающих механических колебаний имеет вид ...

1)  $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$

2)  $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$

3)  $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$

4)  $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$

5)  $m \frac{d^2x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + k x = F_0 \cos \omega t$

**5.3.** Дифференциальное уравнение вынужденных механических колебаний имеет вид ...

1)  $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$

2)  $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$

3)  $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$

4)  $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$

$$5) m \frac{d^2 x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + k x = F_0 \cos \omega t$$

- 1) 3, 4, 5                      2) 1, 2                      3) 2, 4                      4) 2, 3, 5                      5) 1, 4, 5

**5.4.** Амплитуда гармонических колебаний, совершаемых материальной точкой вдоль прямой, равна  $A = 0,5$  м. Путь  $S$ , пройденный точкой за период колебаний, равен ... м.

- 1) 0                      2) 0,5                      3) 1                      4) 1,5                      5) 2

**5.6.** Механические колебания заданы уравнением  $x = 0,2 \cos 2,5\pi (t + 0,2)$ , м. Начальная фаза колебаний  $\varphi_0$  равна ... рад.

- 1) 7,85                      2) 0,2                      3) 0,5                      4) 1,57                      5) 3,14

**5.7.** Уравнение механических колебаний имеет вид  $x = 0,2 \cos 2,5\pi (t + 0,2)$ , м. Циклическая частота  $\omega$  колебаний ... рад/с.

- 1) 7,85                      2) 0,2                      3) 0,5                      4) 1,25                      5) 2,5

**5.8.** Уравнение механических колебаний имеет вид  $x = 0,5 \sin 2\pi (t + 0,4)$ , м. Период колебаний  $T$  равен ... с.

- 1) 0,5                      2) 1                      3) 2                      4) 3,14                      5) 6,28

**5.9.** Координата частицы меняется по закону  $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ . Период  $T$  и смещение по фазе  $\Delta\varphi$  колебаний координаты и ускорения равно ... соответственно.

- 1)  $T = \frac{2\pi}{\omega}; \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$                       2)  $T = \frac{t}{N}; \Delta\varphi = 0$                       3)  $T = \frac{2\pi}{\omega}; \Delta\varphi = 0$   
 4)  $T = \frac{t}{N}; \Delta\varphi = \pi$                       5)  $T = \frac{2\pi}{\omega}; \Delta\varphi = \pi$

**5.10.** Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 4$  см и периодом  $T = 2$  с. Если смещение точки в момент времени, принятый за начальный, равно нулю, то точка колеблется в соответствии с уравнением ..., м.

- 1)  $x = 0,04 \cos \pi t$                       2)  $x = 0,04 \sin 2t$                       3)  $x = 0,04 \cos 2t$   
 4)  $x = 0,04 \sin \pi t$                       5)  $x = 0,4 \cos \pi t$

**5.11.** Движение тела вдоль оси  $OX$  описывается уравнением  $x(t) = 0,4 \cos(0,5\pi t + 1,5\pi)$ , м. Тело оказывается в точке с координатой  $x = -0,4$  м через время  $t$ , равное ... с.

- 1) 0,5                      2) 0,8                      3) 1                      4) 3                      5) 4

**5.12.** Уравнение гармонических колебаний материальной точки  $x = A \sin \omega t$ , период колебаний  $T = 24$  с. Смещение точки от положения равновесия будет равно половине амплитуды через время  $t$ , равное ... с.

- 1) 6,0                      2) 4,0                      3) 2,0                      4) 1,0                      5) 8,0

**5.13.** Материальная точка совершает колебания по закону  $x = A \sin \omega t$ . В некоторый момент времени смещение точки оказалось равным  $x_1 = 5$  см. Когда фаза увеличилась в 2 раза, смещение стало равным  $x_2 = 8$  см. Амплитуда  $A$  колебаний равна ... см.

- 1) 8,33                      2) 4,16                      3) 3                      4) 2,5                      5) 2,31

**5.14.** Уравнение движения материальной точки дано в виде  $x = \sin \frac{\pi}{3} t$ , м. Минимальный промежуток времени  $t$ , через который после начала движения достигается максимальная скорость, равен ... с.

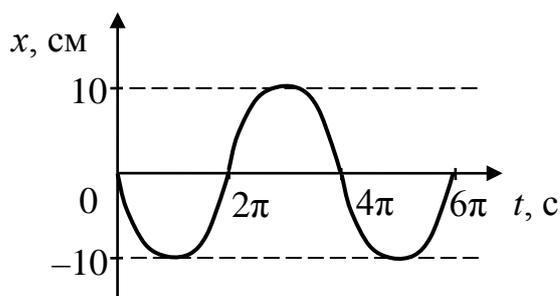
- 1) 3                      2) 6                      3) 9                      4) 12                      5) 15

**5.15.** Начальная фаза синусоидального колебания материальной точки  $\varphi_0 = 0$ . Скорость точки будет равна половине ее максимальной скорости через долю периода  $T$ , равную ...

- 1)  $\frac{1}{2}$                       2)  $\frac{1}{12}$                       3)  $\frac{1}{6}$                       4)  $\frac{1}{4}$                       5)  $\frac{1}{3}$

**5.16.** На рисунке представлен график зависимости смещения колеблющейся материальной точки от времени. Уравнение колебаний имеет вид ..., см.

- 1)  $x = 10 \sin \frac{t}{2}$



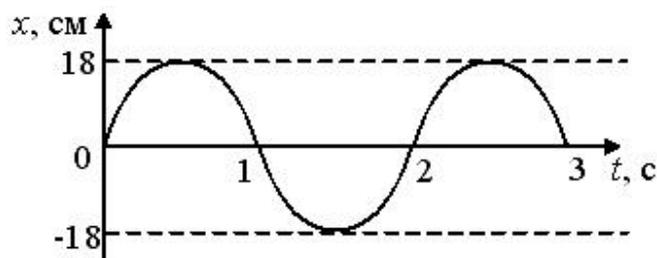
$$2) x = 20 \cos \frac{t}{2}$$

$$3) x = 10 \sin \left( \frac{t}{2} + \frac{\pi}{3} \right)$$

$$4) x = 20 \cos \left( \frac{t}{2} + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$5) x = 10 \cos \left( t + \frac{\pi}{2} \right)$$

**5.17.** Из графика колебаний материальной точки следует, что модуль скорости  $v$  в момент времени  $t = 0,5$  с равен ... см/с.



1)  $9\pi\sqrt{3}$

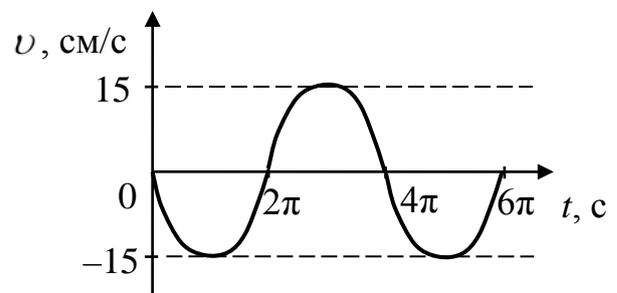
2) 9

3) 0

4)  $9\pi$

5) 18

**5.18.** На рисунке представлен график зависимости скорости колеблющейся материальной точки от времени. Уравнение колебаний имеет вид ..., см.



1)  $x = 30 \cos \frac{t}{2}$

2)  $x = 30 \sin \frac{t}{2}$

3)  $x = 15 \cos \left( t + \frac{\pi}{2} \right)$

4)  $x = 15 \cos \left( \frac{t}{2} + \frac{\pi}{4} \right)$

5)  $x = 15 \cos \left( t + \frac{\pi}{2} \right)$

**5.19.** Уравнение гармонического колебания  $x = A \sin \omega t$ . Зависимость скорости колебания материальной точки от смещения имеет вид ...

- 1)  $v = \omega \sqrt{A^2 - x^2}$                       2)  $v = \frac{\omega}{\sqrt{A^2 - x^2}}$                       3)  $v = \frac{A^2 - x^2}{\omega}$   
 4)  $v = x \omega^2$                                   5)  $v = A \omega^2$

**5.20.** Если на расстояниях  $x_1$  и  $x_2$  от положения равновесия частица, совершающая гармонические колебания, имеет скорости равные соответственно  $v_1$  и  $v_2$ , то амплитуда колебаний равна ...

- 1)  $\frac{v_2 x_1 - v_1 x_2}{v_2 - v_1}$                       2)  $\frac{(v_2 - v_1)(x_2 - x_1)}{v_2 + v_1}$   
 3)  $\sqrt{\frac{v_2^2 x_1^2 - v_1^2 x_2^2}{v_2^2 - v_1^2}}$                       4)  $\sqrt{\frac{(v_2^2 - v_1^2)(x_1^2 - x_2^2)}{v_2^2 - v_1^2}}$

5) данных для определения амплитуды недостаточно

**5.21.** Материальная точка совершает механические колебания по закону  $x = A \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$ . Максимальное ускорение  $a_{\max}$  точки ...

- 1)  $A$                       2)  $A\omega$                       3)  $A\omega^2$                       4)  $A^2\omega^2$                       5)  $\pi A\omega^2$

**5.22.** Середина струны колеблется с частотой  $\nu = 200$  Гц и амплитудой  $A = 3$  мм. Наибольшее ее ускорение  $a_{\max}$  равно ... км/с<sup>2</sup>.

- 1) 0,12                      2) 5,3                      3) 4,7                      4) 12                      5) 6

**5.23.** Максимальная скорость гармонического осциллятора  $v_0 = 10$  см/с, максимальное ускорение  $a_{\max} = 1$  м/с<sup>2</sup>. Период колебаний  $T$ , равен ... с.

- 1) 10                      2) 6,28                      3) 4                      4) 3,14                      5) 0,628

**5.24.** Материальная точка совершает гармонические колебания. Если максимальное смещение и максимальная скорость точки составляют соответственно  $x_0 = 10$  см и  $v_0 = 20$  см/с, то ее максимальное ускорение  $a_{\max}$  равно ... м/с<sup>2</sup>.

- 1) 4                      2) 0,1                      3) 0,2                      4) 0,4                      5) 2



**5.28.** Уравнение движения материальной точки массой  $m = 10$  г дано в виде  $x = 2 \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}\right)$ , см. Максимальная сила  $F_{\max}$ , действующая на материальную точку, равна ... мН.

- 1) 49                      2) 0,12                      3) 0,31                      4) 0,49                      5) 20

**5.29.** Материальная точка совершает гармонические колебания согласно уравнению  $x = 0,04 \sin(\pi t + 0,3\pi)$ , м. Максимальная сила, действующая на нее,  $F_{\max} = 1,5$  мН. Полная энергия  $E$  точки равна ... мкДж.

- 1) 12                      2) 15                      3) 30                      4) 40                      5) 60

**5.30.** Материальная точка массой  $m$  совершает колебания, определяемые уравнением  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ . Ее кинетическая энергия выражается формулой ...

- 1)  $\frac{mA^2\omega^2}{2} \left[ \sin^2(\omega t + \varphi_0) + \cos^2(\omega t + \varphi_0) \right]$                       2)  $\frac{mA^2\omega^2}{2}$                       3)  $\frac{kx^2}{2}$   
4)  $\frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0)$                       5)  $\frac{mA^2\omega^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0)$

**5.31.** Материальная точка массой  $m$  совершает колебания, определяемые уравнением  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ . Ее потенциальная энергия выражается формулой ...

- 1)  $\frac{mA^2\omega^2}{2} \left[ \sin^2(\omega t + \varphi_0) + \cos^2(\omega t + \varphi_0) \right]$                       2)  $\frac{mA^2\omega^2}{2}$                       3)  $\frac{kx^2}{2}$   
3)  $\frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0)$                       5)  $\frac{mA^2\omega^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0)$

**5.32.** Математический маятник совершает колебания по закону  $x = 0,004 \cos(2t + 0,8)$ , м. Длина  $l$  маятника равна ... м.

- 1) 0,25                      2) 4                      3) 3,25                      4) 2,45                      5) 2,05

**5.33.** Период колебаний математического маятника можно уменьшить, ...

- 1) увеличив амплитуду колебаний  
2) увеличив массу маятника

- 3) удлинив нить подвеса
- 4) укоротив нить подвеса
- 5) уменьшив амплитуду колебаний

**5.34.** Математический маятник длиной  $l = 1$  м установлен в лифте, опускающемся вниз с ускорением  $a = 2,5 \text{ м/с}^2$ . Период колебаний маятника  $T$  равен ... с.

- 1) 3,2
- 2) 1,6
- 3) 1,8
- 4) 2,0
- 5) 2,3

**5.35.** К пружине подвешен груз массой  $m = 10$  кг. Если под влиянием силы  $F = 9,8$  Н пружина растягивается на  $\Delta x = 1,5$  см, то период вертикальных колебаний  $T$  груза равен ... с.

- 1) 2,58
- 2) 0,78
- 3) 0,96
- 4) 1,2
- 5) 1,8

**5.36.** Груз массой  $m = 1$  кг, подвешенный на пружине, растягивает ее на  $\Delta x = 20$  см. Если груз немного оттянуть и отпустить, то возникнут колебания, период  $T$  которых равен ... с.

- 1) 0,7
- 2) 0,9
- 3) 1,1
- 4) 1,3
- 5) 1,8

**5.37.** Спиральная пружина обладает жесткостью  $k = 25$  Н/м. Чтобы за время  $t = 1$  мин совершалось  $N = 25$  колебаний, к пружине надо подвесить груз массой  $m$ , равной ... кг.

- 1) 0,001
- 2) 0,11
- 3) 1,66
- 4) 3,65
- 5) 9,55

**5.38.** Висящий на пружине с жесткостью  $k = 100$  Н/м груз массой  $m = 200$  г удлинил ее на  $\Delta x = 2$  см. Совершая колебания, груз при смещении его на  $x = 2$  см имеет скорость  $v = 0,5$  м/с. Амплитуда колебаний  $A_0$  равна ... см.

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

**5.39.** Сила тяжести на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле. Если пружинный маятник на Земле совершает колебания с периодом  $T_0$ , то на Луне этот же маятник будет совершать колебания с периодом  $T$ , равным ...

- 1)  $\frac{T_0}{6}$
- 2)  $6T_0$
- 3)  $\frac{T_0}{\sqrt{6}}$
- 4)  $\sqrt{6}T_0$
- 5)  $T_0$

**5.40.** Период колебаний физического маятника равен  $2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}}$ . В этой формуле  $l$  – это ...

- 1) нет верного ответа
- 2) длина маятника
- 3) ширина маятника
- 4) длина оси маятника
- 5) расстояние от точки подвеса до центра масс

**5.41.** Тонкий обруч, подвешенный на гвоздь, вбитый горизонтально в стену, колеблется в плоскости, параллельной стене. Радиус обруча равен  $R = 30$  см. Период  $T$  колебаний обруча равен ... с.

- 1) 1                      2) 1,1                      3) 1,55                      4) 1,8                      5) 0,3

**5.42.** Диск радиусом  $R$  колеблется около горизонтальной оси, проходящей через одну из образующих цилиндрической поверхности диска. Период  $T$  его колебаний равен ...

- 1)  $2\pi\sqrt{\frac{3R}{4g}}$       2)  $2\pi\sqrt{\frac{R}{2g}}$       3)  $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$       4)  $2\pi\sqrt{\frac{3R}{2g}}$       5)  $2\pi\sqrt{\frac{5R}{g}}$

**5.43.** Однородный тонкий стержень длиной  $l$  совершает колебания около горизонтальной оси, проходящей через конец стержня. Период колебаний  $T$  равен ...

- 1)  $2\pi\sqrt{\frac{l}{12g}}$       2)  $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{3g}{l}}$       3)  $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{l}{g}}$       4)  $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$       5)  $2\pi\sqrt{\frac{2l}{3g}}$

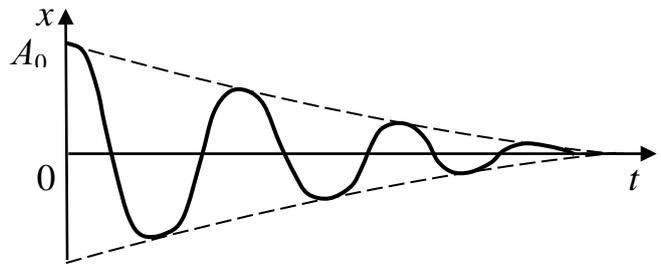
**5.44.** Уравнение колебаний физического маятника массой  $m = 0,2$  кг и моментом инерции  $J = 0,4$  кг·м<sup>2</sup> определяется выражением  $x = 2\cos 5t$ , м. Расстояние  $l$  от центра масс до точки подвеса равно ... м.

- 1) 0,4                      2)  $\sqrt{0,4}$                       3) 5                      4) 4                      5) 2

**5.45.** Математический маятник длиной  $l_1 = 40$  см и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной  $l_2 = 80$  см и массой  $m = 0,5$  кг синхронно колеблются около одной и той же



**5.51.** На рисунке приведены графики зависимости смещения колеблющейся точки и амплитуды колебания от времени. Амплитуда колебания меняется по закону ...



- 1)  $A = A_0 e^{-\beta t}$                       2)  $A = A_0 e^{-\beta t} \sin \omega t$                       3)  $A = A_0 = \text{const}$   
 4)  $A = A_0 e^{-\beta t} \cos \omega t$                       5)  $A = A_0 \cos \omega t$

**5.52.** В момент времени  $t = 0$  амплитуда затухающих колебаний маятника равна  $A = 4$  см, период колебаний  $T = 0,5$  с, время релаксации  $\tau = 5$  с. Уравнение колебаний маятника имеет вид ..., м.

- 1)  $x = 0,04 e^{-0,2t} \cos 4\pi t$   
 2)  $x = 0,04 e^{-5t} \cos 2\pi t$   
 3)  $x = 0,04 e^{-5t} \cos 4\pi t$   
 4)  $x = 0,04 e^{-0,2t} \cos 2\pi t$   
 5)  $x = 0,04 e^{-0,2t} \cos 2t$

**5.53.** Коэффициент затухания – это физическая величина, ...

- 1) обратная времени, по истечении которого амплитуда колебаний уменьшается до нуля  
 2) показывающая, во сколько раз уменьшается амплитуда колебаний за период  
 3) обратная времени, по истечении которого амплитуда колебаний уменьшается в «e» раз  
 4) обратная числу колебаний, по завершению которых амплитуда колебаний уменьшается в «e» раз  
 5) обратная числу колебаний, по завершению которых амплитуда колебаний уменьшается до нуля

**5.54.** Коэффициент затухания  $\beta$  колебаний маятника можно увеличить ...

- 1) уменьшив начальную амплитуду колебаний и вязкость среды  
 2) уменьшив массу колеблющегося тела  
 3) уменьшив начальную амплитуду колебаний  
 4) увеличив массу колеблющегося тела

5) увеличив начальную амплитуду колебания

**5.55.** За время релаксации  $\tau$  амплитуда затухающих колебаний ...

- 1) увеличивается в 2 раза
- 2) уменьшается в 2 раза
- 3) увеличивается в  $e$  раз
- 4) уменьшается в  $e$  раз
- 5) не изменяется

**5.56.** Если массу тела, совершающего затухающие колебания, увеличить в 2 раза, то время релаксации  $\tau$  ...

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

**5.57.** Период  $T$  затухающих колебаний груза массой  $m$  на пружине жесткостью  $k$  можно рассчитать по формуле ... ( $\beta$  – коэффициент затухания,  $\omega_0$  – циклическая частота свободных незатухающих колебаний колебательной системы)

- 1)  $\sqrt{\frac{k}{m}}$
- 2)  $\frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$
- 3)  $\frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}$
- 4)  $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
- 5)  $\frac{2\pi}{\omega_0}$

**5.58.** Логарифмический декремент затухания – это физическая величина, ...

- 1) обратная промежутку времени, за которое амплитуда колебаний уменьшается до нуля
- 2) показывающая во сколько раз уменьшается амплитуда колебаний за период
- 3) обратная числу колебаний, по прошествии которых амплитуда колебаний уменьшается до нуля
- 4) обратная числу колебаний, по прошествии которых амплитуда колебаний уменьшается в « $e$ » раз
- 5) обратная промежутку времени, за которое амплитуда колебаний уменьшается в « $e$ » раз

**5.59.** Шарик радиусом  $R = 10$  см и массой  $m = 0,5$  кг, подвешенный к нити длиной  $l = 20$  см, совершает затухающие колебания в среде

с коэффициентом затухания  $\beta = 2 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ . Коэффициент сопротивления  $r$  среды равен ...  $\text{с}^{-1}$ .

- 1) 0,14                      2) 1                      3) 2                      4) 4                      5) 8

**5.60.** За время  $t = 10 \text{ с}$  амплитуда пружинного маятника массой  $m = 0,1 \text{ кг}$  уменьшилась в  $e$  раз. Коэффициент затухания  $\beta$  и коэффициент сопротивления среды  $r$  соответственно равны ...

1)  $\frac{1}{2,73}$ ;  $0,02 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$

2) 1,0;  $0,01 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$

3) 0,1;  $0,1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$

4) 0,1;  $0,02 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$

5) 0,01;  $0,04 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$

**5.61.** Если период колебаний материальной точки  $T = 2,5 \text{ с}$ , коэффициент затухания  $\beta = 2 \text{ с}^{-1}$ , то логарифмический декремент затухания  $\lambda$  равен ...

- 1) 0,8                      2) 1,25                      3) 5                      4)  $\ln 1,25$                       5)  $\ln 5$

**5.62.** За одно полное колебание амплитуда колебаний математического маятника с логарифмическим декрементом затухания  $\lambda = 0,3$  уменьшится в ... раз.

- 1) 0,3                      2) 0,37                      3) 1,35                      4) 2,73                      5) 3,33

**5.63.** Логарифмический декремент затухания колебаний маятника равен  $\lambda$ . Если амплитуда колебаний уменьшилась в  $n$  раз, то маятник совершил количество колебаний, равное ...

- 1)  $\frac{\lambda}{n}$                       2)  $\lambda \ln n$                       3)  $\frac{\lambda}{\ln n}$                       4)  $\frac{\ln n}{\lambda}$                       5)  $n \ln \lambda$

**5.64.** Период затухающих колебаний системы  $T = 4 \text{ с}$ , логарифмический декремент затухания  $\lambda = 1,6$ . Добротность системы  $Q$  равна ...

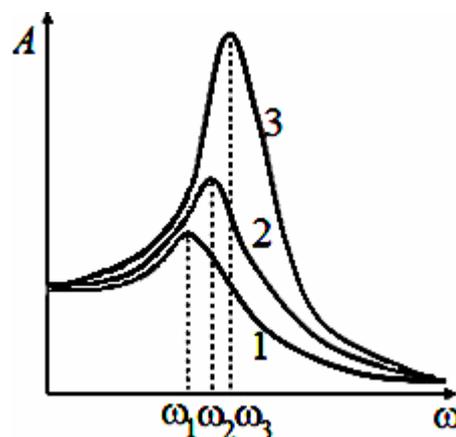
- 1) 6,4                      2) 0,4                      3) 0,79                      4) 1,96                      5) 2,5

**5.65.** Амплитуда затухающих колебаний уменьшается в течение одного периода в 2 раза. Добротность колебаний  $Q$  равна ...

- 1) 0,5                      2) 0,25                      3) 2                      4) 4,53                      5) 25

**5.66.** Системе с наибольшей добротностью соответствует резонансная кривая, обозначенная номером ...

- 1) 1  
2) 2  
3) 3  
4) добротность во всех трех случаях одна и та же  
5) ответ неоднозначен, так как результат зависит от амплитуды вынуждающей силы



**5.67.** Пружинный маятник, частота собственных незатухающих колебаний которого  $\omega_0$ , совершает вынужденные колебания в вязкой среде под действием вынуждающей силы, изменяющейся по гармоническому закону с частотой  $\omega$ . В процессе изменения этой частоты наблюдаются максимумы амплитуд смещения груза из положения равновесия при  $\omega = \omega_x$ , скорости груза при  $\omega = \omega_v$  и его ускорения при  $\omega = \omega_a$ . Полностью правильной последовательностью значений этих частот является ...

- 1)  $\omega_v < \omega_x < \omega_a = \omega_0$                       2)  $\omega_v = \omega_0 < \omega_a < \omega_x$   
3)  $\omega_a < \omega_x = \omega_0 < \omega_v$                       4)  $\omega_x < \omega_v = \omega_0 < \omega_a$

**5.68.** При сложении двух одинаково направленных колебаний, описываемых уравнениями  $x_1 = A_1 \cos(\omega t + \frac{\pi}{3})$ , м и  $x_2 = A_2 \cos(\omega t + \frac{\pi}{6})$ , м получается колебание с амплитудой  $A$ , равной ... м.

- 1)  $\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos \frac{\pi}{6}}$                       2)  $\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos \frac{\pi}{2}}$                       3)  $A_1 + A_2$   
4)  $\sqrt{A_1^2 + A_2^2 - 2 A_1 A_2 \cos \frac{\pi}{6}}$                       5)  $\sqrt{A_1^2 + A_2^2 - 2 A_1 A_2 \cos \frac{\pi}{2}}$

**5.69.** При сложении двух происходящих в одном направлении колебаний, описываемых соответственно уравнениями

$$x_1 = 0,5\cos(\omega t + \frac{\pi}{2}), \text{ м} \quad \text{и} \quad x_2 = 0,3\cos(\omega t + \frac{\pi}{6}), \text{ м} \quad \text{получается}$$

гармоническое колебание с амплитудой  $A$ , равной ... м.

- 1) 0,34            2) 0,44            3) 0,58            4) 0,70            5) 0,80

**5.70.** Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами и одинаковыми амплитудами

равными  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$  амплитуда  $A$  результирующего

колебания равна ...

- 1)  $4A_0$             2)  $2A_0$             3)  $A_0\sqrt{3}$             4) 0            5)  $A_0\sqrt{2}$

**5.71.** Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами. Результирующее колебание имеет максимальную амплитуду  $A$  при разности фаз  $\Delta\varphi$ , равной ...

- 1) 0            2)  $\frac{\pi}{2}$             3)  $\frac{\pi}{3}$             4)  $\frac{\pi}{4}$             5)  $\pi$

**5.72.** Складываются два колебания одинакового направления с амплитудами  $A_1 = 3$  см и  $A_2 = 4$  см и разностью фаз  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{6}$  рад.

Амплитуда  $A$  результирующего колебания равна ... см.

- 1) 7            2) 1,0            3) 6,08            4) 6,77            5) 5,0

**5.73.** При сложении одинаково направленных гармонических колебаний одной частоты с амплитудами  $A_1 = 10$  см и  $A_2 = 6$  см возникло колебание с амплитудой  $A = 14$  см. Разность фаз  $\Delta\varphi$  складываемых колебаний равна ... град.

- 1) 120            2) 30            3) 45            4) 60            5) 90

**5.74.** Складываются два колебания одинакового направления с амплитудами  $A_1 = 3$  см и  $A_2 = 4$  см. Амплитуда результирующего колебания равна  $A = 6,1$  см. Разность фаз  $\Delta\varphi$  складываемых колебаний ... рад.

- 1)  $\pi$             2) 0            3)  $\frac{\pi}{6}$             4)  $\frac{\pi}{3}$             5)  $\frac{\pi}{2}$

**5.75.** Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами  $T = 1,5$  с и амплитудами  $A_1 = A_2 = 2$  см. Начальные фазы колебаний  $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ ,  $\varphi_2 = \frac{\pi}{3}$ . Начальная фаза  $\varphi_0$  результирующего колебания равна ..., рад.

- 1)  $\arctg 2$                       2)  $\arctg 0,28$                       3)  $\arctg 3,7$                       4)  $\frac{\pi}{6}$                       5)  $\frac{5\pi}{6}$

**5.76.** В результате сложения двух гармонических колебаний одинакового направления получаются колебания с периодически изменяющейся амплитудой (биения). Период биений  $T = 0,25$  с. Разность частот  $\Delta\nu$  складываемых колебаний равна ... Гц.

- 1) 1                      2) 2                      3) 2,5                      4) 4                      5)  $8\pi$

**5.77.** В результате сложения двух гармонических колебаний одинакового направления с частотами  $\nu_1 = 1000$  Гц и  $\nu_2 = 1002$  Гц получаются колебания с периодически изменяющейся амплитудой (биения). Период биений  $T$  равен ...

- 1) 1 с                      2) 1 мс                      3) 10 мс                      4) 50 мс                      5) 0,5 с

**5.78.** При сложении двух гармонических колебаний одинакового направления с частотами  $\nu_1 = 1000$  Гц и  $\nu_2$  ( $\nu_2 > \nu_1$ ) получают колебания с периодически изменяющейся амплитудой (биения). Период биений  $T = 20$  мс. Частота  $\nu_2$  второго колебания равна ... Гц.

- 1) 998                      2) 1005                      3) 1020                      4) 1050                      5) 1200

**5.79.** Материальная точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях:  $x = 2\cos 4t$ ,  $y = 3\sin 4t$ . Ее траекторией движения является ...

- 1) прямая                      2) эллипс                      3) окружность                      4) парабола

**5.80.** Материальная точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях  $x = 2\sin \omega t$ , м и  $y = 2\cos \omega t$ , м. Уравнение траектории результирующего движения точки имеет вид ...

$$1) 2x^2 + 2y^2 = 1$$

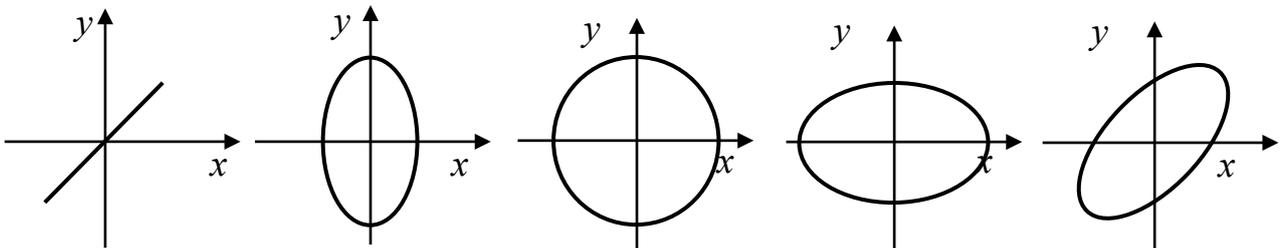
$$2) x + 2y^2 = 1$$

$$3) x^2 + \frac{y^2}{4} = 1$$

$$4) y^2 + \frac{x^2}{4} = 1$$

$$5) \frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{4} = 1$$

**5.81.** Если точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты, происходящих по закону  $x = A\cos\omega t$  и  $y = B\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$ , то траектория результирующего колебания может иметь вид ...



а)  $A = B$

б)  $A < B$

в)  $A = B$

г)  $A > B$

д)  $B > A$

1) а, б, в, г, д

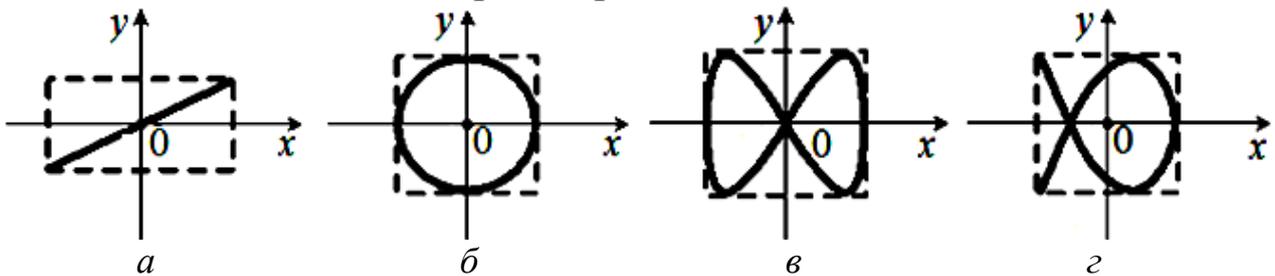
2) в, г, д

3) в, г

4) б, в, г

5) а, в, г

**5.82.** Материальная точка одновременно колеблется по гармоническому закону вдоль осей координат  $Ox$  и  $Oy$  с одинаковыми амплитудами, с разностью фаз, равной  $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$ . При соотношении частот 3:2 траектория точки имеет вид ...



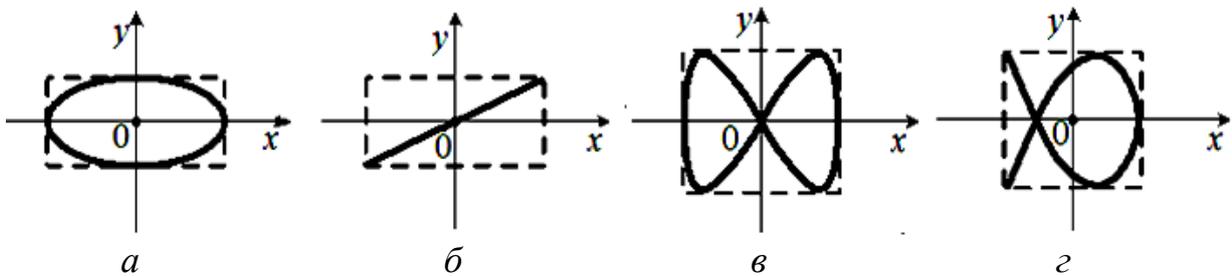
1) а

2) б

3) в

4) г

**5.83.** Материальная точка одновременно колеблется по гармоническому закону вдоль осей координат  $Ox$  и  $Oy$  с различными амплитудами, но одинаковыми частотами. При разности фаз, равной  $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$  траектория точки имеет вид ...



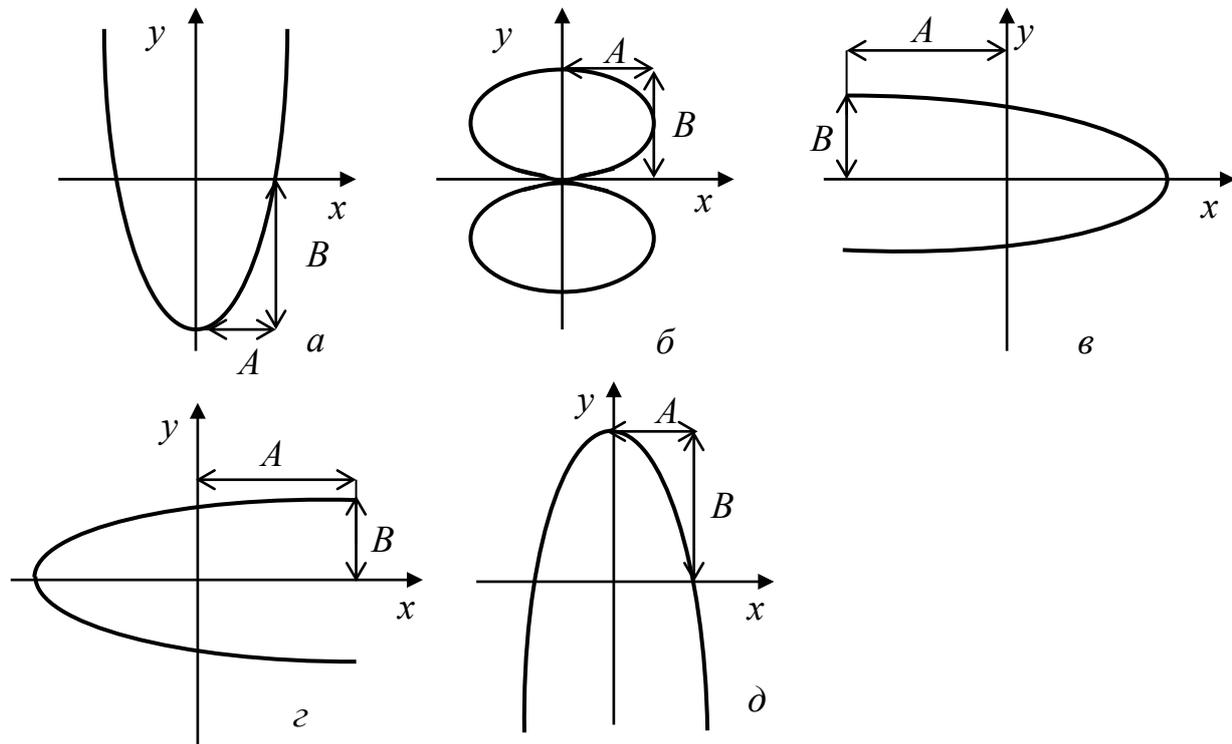
1) а

2) б

3) в

4) г

**5.84.** Фигура Лиссажу, образованная при сложении взаимно перпендикулярных колебаний  $x = A\cos\omega t$  и  $y = B\cos 2\omega t$  имеет вид ...



1) а

2) б

3) в

4) г

5) д

**5.85.** Для продольной волны справедливо утверждение ...

- 1) частицы среды колеблются в направлениях, перпендикулярных направлению распространения волны
- 2) возникновение волны связано с деформацией сдвига
- 3) частицы среды колеблются в направлении распространения волны

**5.86.** Уравнение бегущей вдоль оси  $x$  плоской гармонической волны имеет вид ...

1)  $y = A \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$       2)  $y = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \omega t$       3)  $y = A \cos \left( \frac{2\pi x}{\lambda} \right)$   
 4)  $y = A \cos \left( \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \right)$       5)  $y = A \cos(\omega t + \varphi)$

**5.87.** Уравнение плоской бегущей вдоль оси  $x$  волны имеет вид ...

1)  $y = A \cos(\omega t + kx)$       2)  $y = A \cos \left( \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \right)$       3)  $y = 2A \cos \frac{\omega x}{v} \cos \omega t$   
 4)  $y = A e^{-\beta t} \cos \omega t$       5)  $y = A \cos(\omega t + \varphi)$

**5.88.** Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $Ox$ , имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 4x)$ , м. Период  $T$  колебаний равен ... мс.

1) 4                      2) 6,28                      3) 1                      4) 1000                      5) 0,01

**5.89.** Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $Ox$ , имеет вид  $y = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ , м. Волновое число  $k$  равно ... рад/м.

1) 2                      2) 10                      3) 100                      4) 500                      5) 1000

**5.90.** Период колебаний  $T = 0,12$  с. Колебания распространяются со скоростью  $v = 300$  м/с. Волновое число  $k$  равно ...  $\text{м}^{-1}$ .

1)  $4 \cdot 10^{-4}$                       2) 0,17                      3) 5,73                      4) 36                      5) 52

**5.91.** Уравнение плоской бегущей волны имеет вид  $y = 2 \sin(4t - 3x)$ , м. Длина волны  $\lambda$  равна ... см.

1) 209                      2) 3                      3) 75                      4) 133                      5) 157

**5.92.** Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $Ox$ , имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ , м. Скорость распространения волны  $u$  равна ... м/с.

1) 2                      2) 3,14                      3) 500                      4) 1000                      5) 2000

**5.93.** Волна с периодом  $T = 1,2$  с и амплитудой  $A = 2$  см распространяется со скоростью  $v = 15$  м/с. Точка находится на

расстоянии  $l = 45$  м от источника волн. В момент  $t = 4$  с смещение точки  $x$  равно ... м.

- 1) 0,01                      2) 0,06                      3) 0,02                      4) 0,1                      5) 0

**5.94.** Колебания с частотой  $\nu = 40$  Гц распространяются в воздухе со скоростью  $v = 400$  м/с. Соседние точки пространства, колебания в которых происходят в противофазе, находятся на расстоянии ... м.

- 1) 400                      2) 40                      3) 20                      4) 10                      5) 5

**5.95.** Длина волны, распространяющейся в воздухе, равна  $\lambda = 1$  м. Разность фаз  $\Delta\phi$  колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих друг от друга на расстоянии  $l = 2$  м, равна ..., рад.

- 1) 0                      2)  $0,5\pi$                       3)  $\pi$                       4)  $2\pi$                       5)  $4\pi$

**5.96.** Если расстояние между точками бегущей волны, распространяющейся в стали, равно  $\Delta x = 2,5$  м, а колебания в них отличаются по фазе на  $\Delta\phi = \pi$ , то частота звуковых колебаний  $\nu$  равна ... Гц. Скорость звука в стали  $u = 5$  км/с.

- 1) 200                      2) 500                      3) 1000                      4) 2500                      5) 5000

**5.97.** Уравнение стоячей волны имеет вид ...

- 1)  $y = A \cos \omega(t - \frac{x}{v})$                       2)  $y = A \cos \frac{\omega x}{v} \cos \omega t$                       3)  $y = A e^{-\beta t} \cos \omega t$   
4)  $y = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \omega t$                       5)  $y = A \sin 2\pi x \cos \omega t$

**5.98.** Расстояние между соседними узлами стоячей волны, равно  $\Delta x = 10$  см. Длина волны  $\lambda$  равна ... м.

- 1) 0,05                      2) 0,1                      3) 0,15                      4) 0,2                      5) 0,4

**5.99.** Расстояние между пучностью и ближайшим к ней узлом стоячей волны  $\Delta x = 20$  см. Длина волны  $\lambda$  равна ... м.

- 1) 0,1                      2) 0,1                      3) 0,3                      4) 0,4                      5) 0,8

**5.100.** Стоячую волну получают при сложении двух волн с амплитудами, равными  $A_1 = A_2 = 10$  см. Амплитуда стоячей волны равна ... см.

- 1) 5                      2) 10                      3) 20                      4) 40                      5) данных недостаточно

## Задачи

**5.101.** Дифференциальное уравнение гармонических колебаний имеет вид  $0,2 \frac{d^2 x}{dt^2} + 0,8x = 0$ . Найти период  $T$  и круговую частоту  $\omega$  этих колебаний. [ $T = 3,14$  с;  $\omega = 2$  рад/с]

**5.102.** Дифференциальное уравнение затухающих колебаний имеет вид  $0,5 \frac{d^2 x}{dt^2} + 0,25 \frac{dx}{dt} + 8x = 0$ . Определить коэффициент затухания  $\beta$  и круговую частоту  $\omega$  этих колебаний. [ $\beta = 0,25$  с<sup>-1</sup>;  $\omega = 3,9$  рад/с]

**5.103.** Вынужденные колебания описываются дифференциальным уравнением  $0,4 \frac{d^2 x}{dt^2} + 0,48 \frac{dx}{dt} + 1,6x = 0,8 \sin 3t$ . Через какое время  $t$  после прекращения действия вынуждающей силы амплитуда колебаний уменьшится в  $e$  раз? [ $t = 1,67$  с]

**5.104.** Материальная точка совершает колебания согласно уравнению  $x = A \sin \omega t$ . В какой-то момент времени смещение точки  $x_1 = 15$  см. При возрастании фазы колебаний в два раза смещение оказалось равным  $x_2 = 24$  см. Определить амплитуду  $A$  колебаний. [ $A = 25$  см]

**5.105.** Математический маятник, состоящий из нити длиной  $l = 1$  м и свинцового шарика радиусом  $r = 2$  см, совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 6$  см. Определить: 1) скорость шарика  $v$  при прохождении им положения равновесия; 2) максимальное значение возвращающей силы  $F$ . Плотность свинца  $\rho = 11,3$  г/см<sup>3</sup>. [ $v = 0,186$  м/с;  $F = 22,2$  мН]

**5.106.** Материальная точка массой  $m = 1$  г совершает гармонические колебания. Амплитуда колебаний равна  $A = 5$  см, циклическая частота  $\omega = 2$  рад/с, начальная фаза равна  $\varphi_0 = 0$ . Определите силу  $F$ , действующую на точку в тот момент, когда ее скорость равна  $v = 5$  см/с. [ $F = 0,17$  мН]

**5.107.** Материальная точка массой  $m = 5$  г совершает гармоническое колебание с частотой  $\nu = 5$  Гц. Амплитуда колебаний  $A = 3$  см.

Определите максимальную силу  $F$ , действующую на точку, и полную энергию  $E$  колеблющейся точки. [ $F = 0,148$  Н;  $E = 2,22$  мДж]

**5.108.** Материальная точка колеблется согласно уравнению  $x = A \cos \omega t$ , где  $A = 5$  см и  $\omega = \frac{\pi}{12}$  с<sup>-1</sup>. Когда возвращающая сила в первый раз достигает значения  $F = 12$  мН, потенциальная энергия точки оказывается равной  $W = 0,15$  мДж. Определить: 1) этот момент времени  $t$ ; 2) соответствующую этому моменту фазу  $\varphi$ . [ $t = 4$  с;  $\varphi = \frac{\pi}{3}$ ]

**5.109.** Полная энергия тела, совершающего гармоническое колебательное движение, равна  $E = 30$  мкДж, максимальная сила, действующая на тело  $F = 1,5$  мН. Чему равно смещение тела  $x$  от положения равновесия через  $t = 1,25T$  ( $T$  – период колебаний), если в начальный момент оно составляло  $x_0 = 2$  см. [ $x(t) = 3,46$  см]

**5.110.** Два математических маятника, длины которых отличаются на  $\Delta l = 16$  см, совершают за одно и то же время один  $n_1 = 10$  колебаний, другой –  $n_2 = 6$  колебаний. Определить длины маятников  $l_1$  и  $l_2$ . [ $l_1 = 9$  см,  $l_2 = 25$  см]

**5.111.** Два математических маятника имеют одинаковые массы и отличающиеся в  $n = 1,5$  раза длины, маятники колеблются с одинаковыми угловыми амплитудами. Определить, какой из маятников обладает большей энергией и во сколько раз. [маятник большей длины, в 1,5 раза]

**5.112.** Точные астрономические часы с секундным маятником установлены в подвале здания. Насколько будут отставать за сутки эти часы, если их перенести на верхний этаж здания? Высота верхнего этажа относительно подвала  $h = 200$  м. [ $t = 2,7$  с]

**5.113.** Для определения ускорения  $a$ , с которым поднимается вертикально вверх ракета, в нее был помещен математический

маятник длиной  $l$ , который при взлете совершил  $N$  полных колебаний за время  $t$ . Найдите ускорение ракеты.  $[a = \frac{4\pi^2 \cdot l \cdot N}{t^2} - g]$

**5.114.** При подвешивании грузов массами  $m_1 = 600$  г и  $m_2 = 400$  г к свободным пружинам последние удлинились одинаково на  $\Delta x = 10$  см. Пренебрегая массой пружин, определить: 1) периоды колебаний  $T_1$  и  $T_2$  грузов; 2) какой из грузов при одинаковых амплитудах обладает большей энергией и во сколько раз.  $[T_1 = T_2 = 0,63$  с; груз большей массы, в 1,5 раза]

**5.115.** Математический маятник длиной  $l = 40$  см и тонкий однородный стержень длиной  $L = 60$  см совершают синхронные малые колебания вокруг горизонтальной оси. Найдите расстояние  $a$  от центра стержня до этой оси.  $[a = 10$  см или 30 см]

**5.116.** Тонкий однородный стержень длиной  $l = 60$  см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. Стержень отклонили на угол  $\alpha = 0,01$  рад и в момент времени  $t = 0$  отпустили. Считая колебания малыми, определить период колебаний  $T$  стержня и записать функцию  $\alpha(t)$ .  $[T = 1,27$  с,  $\alpha(t) = 0,01 \cos 1,57\pi t$ , рад]

**5.117.** Диск радиусом  $R = 24$  см колеблется относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. Определите период колебаний  $T$  диска.  $[T = 1,2$  с]

**5.118.** Уравнение колебаний физического маятника массой  $m = 0,2$  кг и моментом инерции  $J = 0,4$  кг·м<sup>2</sup> имеет вид  $x = 2 \cos(2t)$ , м. Определите расстояние  $a$  от центра масс до точки подвеса маятника.  $[a = 0,816$  м]

**5.119.** Физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень длиной  $l = 35$  см. Определить, на каком расстоянии  $a$  от центра масс должна быть точка подвеса, чтобы частота колебаний была максимальной.  $[a = 10,1$  см]

**5.120.** Физический маятник в виде тонкого однородного стержня длиной  $l = 120$  см колеблется относительно горизонтальной оси, проходящей перпендикулярно стержню через точку, удаленную на некоторое расстояние  $a$  от центра масс стержня. При каком значении  $a$  период  $T$  колебаний имеет наименьшее значение? [ $a = 34,6$  см]

**5.121.** На гвозде, вбитом в стену, в положении устойчивого равновесия висит квадратная рамка со стороной  $a = 20$  см, сделанная из однородной тонкой проволоки. С каким периодом  $T$  будут происходить ее колебания после небольшого толчка? [ $T = 0,97$  с]

**5.122.** Цилиндрический поплавок плавает в воде, погрузившись в нее на глубину  $h = 4$  см. Слегка надавив на поплавок, можно заставить его совершать колебания. С каким периодом  $T$  они будут происходить? Сопротивлением воды пренебречь, ее плотность равна  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. [ $T = 0,401$  с]

**5.123.** Чему равен период колебаний  $T$  деревянного кубика, плавающего в воде, если в равновесии он погружен в воду на  $3/4$ . Плотность воды  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, длина ребра кубика  $a = 10$  см. [ $T = 0,549$  с]

**5.124.** Набухшее бревно, сечение которого постоянно по всей длине, погрузилось вертикально в воду так, что над водой находится пренебрежимо малая (по сравнению с длиной) его часть. Период вертикальных колебаний бревна равен  $T = 5$  с. Определить длину бревна  $l$ . [ $l = 6,21$  м]

**5.125.** Период затухающих колебаний  $T = 1$  с, логарифмический декремент затухания  $\lambda = 0,3$ , начальная фаза  $\varphi_0 = 0$ . Смещение точки в момент времени  $t = 2T$  составляет  $x = 5$  см. Записать уравнение движения этого колебания. [ $x = 9,1e^{-0,3t} \cos 2\pi t$ , см]

**5.126.** Начальная амплитуда затухающих колебаний маятника  $A_0 = 3$  см. Через время  $t_1 = 10$  с амплитуда стала равной  $A_1 = 1$  см. Через какое время  $t$  амплитуда станет равной  $A_2 = 0,3$  см. [ $t = 21$  с]

**5.127.** Амплитуда затухающих колебаний математического маятника за время  $t_1 = 1$  мин уменьшилась в 3 раза. Определить, во сколько раз она уменьшится за время  $t_2 = 4$  мин. [в 81 раз]

**5.128.** Чему равен логарифмический декремент затухания  $\lambda$  математического маятника длиной  $l = 1$  м, если за время  $t = 1$  мин амплитуда колебаний уменьшилась в 2 раза? [ $\lambda = 0,023$ ]

**5.129.** Амплитуда затухающих колебаний маятника за время совершения  $N = 231$  колебания уменьшилась вчетверо. Определите логарифмический декремент затухания  $\lambda$ . [ $\lambda = 0,006$ ]

**5.130.** Математический маятник совершает затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания  $\lambda = 0,01$ . За время  $t = 100$  с амплитуда колебаний уменьшилась в 10 раз. Найдите период  $T$  затухающих колебаний. [ $T = 0,434$  с]

**5.131.** К пружине подвесили груз, в результате чего она удлинилась на  $x = 9$  см. Каков будет период колебаний  $T$  груза, если его немного оттянуть вниз и затем отпустить? Логарифмический декремент затухания  $\lambda = 0,3$ . [ $T = 0,6$  с]

**5.132.** Гиря массой  $m = 600$  г подвешена к спиральной пружине жесткостью  $k = 30$  Н/м и совершает затухающие колебания с логарифмическим декрементом  $\lambda = 0,01$ . Определить: 1) время  $t$ , за которое амплитуда колебаний уменьшится в 3 раза; 2) число  $N$  полных колебаний, которые совершит гиря за это время. [ $t = 97,6$  с;  $N = 110$ ]

**5.133.** Сколько полных колебаний совершит гармонический осциллятор за время, в течение которого его энергия после начала колебаний уменьшится в 10 раз, если логарифмический декремент затухания  $\lambda = 0,03$ . [ $N = 38$ ]

**5.134.** Тело массой  $m = 5$  г совершает затухающие колебания. В течение времени  $t = 50$  с тело потеряло 60% своей энергии. Определите коэффициент сопротивления  $r$ . [ $r = 9,16 \cdot 10^{-5}$  кг/с]

**5.135.** Найдите добротность  $Q$  математического маятника с длиной нити равной  $l = 20$  см, у которого за время  $t = 7$  мин полная механическая энергия уменьшилась в 128 раз. [ $Q = 606$ ]

**5.136.** Частота свободных колебаний некоторой системы  $\omega = 65$  рад/с, а ее добротность  $Q = 2$ . Определить собственную частоту  $\omega_0$  колебаний этой системы. [ $\omega_0 = 67$  рад/с]

**5.137.** Период затухающих колебаний системы  $T = 0,2$  с, а отношение амплитуд первого и шестого колебаний равно 13. Определить резонансную частоту  $\nu_{\text{рез}}$  данной колебательной системы. [ $\nu_{\text{рез}} = 4,97$  Гц]

**5.138.** Определить резонансную частоту  $\nu_{\text{рез}}$  колебательной системы, если собственная частота колебаний  $\nu_0 = 300$  Гц, а логарифмический декремент затухания  $\lambda = 0,2$ . [ $\nu_{\text{рез}} = 300$  Гц]

**5.139.** Складываются два гармонических колебания одного направления, описываемые уравнениями  $x_1 = 3 \cos 2\pi t$  (см) и  $x_2 = 3 \cos(2\pi t + \frac{\pi}{4})$  (см). Определите для результирующего колебания: 1) амплитуду  $A$ ; 2) начальную фазу  $\varphi_0$ ; 3) запишите уравнение результирующего колебания и представьте векторную диаграмму сложения амплитуд. [ $A = 5,54$  см;  $\varphi_0 = \frac{\pi}{8}$ ;  $x_2 = 5,54 \cos(2\pi t + \frac{\pi}{8})$ , см]

**5.140.** Разложить гармоническое колебание, совершаемое по закону  $x = 100 \cos(628t + 0,2\pi)$ , мм, на два одинаково направленных гармонических колебания той же частоты так, чтобы начальные фазы этих колебаний были равны:  $\varphi_{01} = 0,1\pi$  и  $\varphi_{02} = 0,5\pi$  соответственно. [ $x_1 = 85,1 \cos(628t + 0,1\pi)$ , мм;  $x_2 = 32,5 \cos(628t + 0,5\pi)$ , мм]

**5.141.** Две одинаковые струны с частотой колебаний  $\nu = 1,34 \cdot 10^3$  Гц имеют длину  $l = 150$  см. На какую величину  $\Delta l$  надо укоротить одну из струн, не меняя натяжения, чтобы получить биения с частотой  $\Delta \nu = 9$  Гц? [ $\Delta l = 1$  см]

**5.142.** Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях одинаковой частоты, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = A \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$  и  $x = A \sin \omega t$ . Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба, указав направление ее движения по этой траектории. [ $x^2 + y^2 = A^2$ ; против часовой стрелки]

**5.143.** Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = 3 \cos 2\omega t$  (см) и  $y = 4 \cos(2\omega t + \pi)$  (см). Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба. [ $y = -\frac{4}{3}x$ ]

**5.144.** Звуковые колебания с частотой  $\nu = 450$  Гц и амплитудой  $A = 0,3$  мм распространяются в упругой среде. Длина волны  $\lambda = 80$  см. Определить: 1) скорость распространения волн  $u$ ; 2) максимальную скорость  $v_{\max}$  частиц среды. [ $u = 360$  м/с;  $v_{\max} = 84,8$  см/с]

**5.145.** Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью  $v = 10$  м/с. Амплитуда колебаний точек шнура  $A = 5$  см, а период колебаний  $T = 1$  с. Запишите уравнение волны и определите: 1) длину волны  $\lambda$ ; 2) фазу колебаний  $\varphi$ , смещение  $y$ , скорость  $v$  и ускорение точки  $a$ , расположенной на расстоянии  $x_1 = 9$  м от источника колебаний в момент времени  $t = 2,5$  с. [ $y = 0,05 \cos(2\pi t - 0,2\pi x)$ , м;  $\lambda = 10$  м;  $\varphi = 3,2\pi$  рад;  $y = 4$  см;  $v = 18,5$  см/с;  $a = 1,6$  м/с<sup>2</sup>]

**5.146.** Уравнение незатухающих колебаний имеет вид  $x = 4 \sin 600\pi t$ , см. Найдите смещение  $x$  из положения равновесия точки, находящейся на расстоянии  $l = 75$  см от источника колебаний, в момент времени  $t = 0,01$  с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний равна  $u = 300$  м/с. [ $x = 4$  см]

**5.147.** Смещение от положения равновесия точки, находящейся от источника колебаний на расстоянии  $l = 4$  см, в момент времени  $t = \frac{T}{6}$  ( $T$  – период колебаний) равно половине амплитуды. Найдите длину  $\lambda$  бегущей волны. [ $\lambda = 0,48$  м]

**5.148.** В воздухе распространяется плоская звуковая волна  $\zeta = A \sin(\omega t - kx)$ . Частота звука  $\nu = 120$  Гц, амплитуда колебаний частиц среды  $A = 8,3$  мкм, волновое число  $k = 18,5$  м<sup>-1</sup>. Определить длину волны  $\lambda$  и ее скорость  $u$ . [ $\lambda = 0,339$  м;  $u = 407$  м/с]

**5.149.** Два когерентных источника колеблются в одинаковых фазах с частотой  $\nu = 400$  Гц. Скорость распространения колебаний в среде  $v = 1$  км/с. Определить при какой наименьшей разности хода  $\Delta x$  будет наблюдаться: 1) максимальное усиление колебаний; 2) максимальное ослабление колебаний. [ $\Delta x_{\max} = 2,5$  м;  $\Delta x_{\min} = 1,25$  м]

**5.150.** Для определения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса используется труба с поршнем и звуковой мембраной, закрывающей один из ее торцов. Расстояние между соседними положениями поршня, при котором наблюдается резонанс на частоте  $\nu = 2500$  Гц, составляет  $l = 6,8$  см. Определить скорость звука  $u$  в воздухе. [ $u = 340$  м/с]

## 6. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

### Основные формулы:

Количество вещества (число молей)

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

где  $N$  – число молекул,  $m$  – масса вещества,  $M$  – молярная масса,  $N_A$  – постоянная Авогадро.

Постоянная Авогадро – количество частиц в одном моле любого вещества

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \nu RT,$$

где  $p$  – давление газа,  $V$  – его объем,  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль К})$  – газовая постоянная,  $T$  – термодинамическая температура.

Уравнение молекулярно-кинетической теории газов

$$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 = nkT,$$

где  $\langle \varepsilon \rangle$  – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул,  $m_0$  – масса молекулы,  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  – средняя квадратичная скорость,  $n$  – концентрация молекул.

Концентрация молекул – количество частиц в единице объема

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \nu}{V}.$$

Средняя кинетическая энергия молекулы

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

где  $i$  – число степеней свободы,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  – постоянная Больцмана.

Внутренняя энергия идеального газа

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

Функция распределения Максвелла (распределение молекул по скоростям)

$$f(v) = \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2.$$

Число молекул, относительные скорости которых заключены в пределах от  $v$  до  $v + dv$

$$dN(v) = N \cdot f(v) \cdot dv.$$

Скорости молекул:

средняя квадратичная  $v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$

средняя арифметическая  $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}},$

наиболее вероятная  $v_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}.$

Средняя длина свободного пробега молекул

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n},$$

где  $d$  – эффективный диаметр молекулы.

Распределение Больцмана (распределение частиц в поле силы тяжести)

$$n = n_0 e^{-\frac{m_0 gh}{kT}}.$$

Барометрическая формула

$$p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}.$$

Нормальные условия:

$$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}, p = 101 \text{ кПа.}$$

## Тестовые задания

**6.1.** Газ считается идеальным, если можно пренебречь ...

- А. взаимодействием молекул на расстоянии
- Б. скоростью молекул
- В. массой молекул
- Г. размером молекул
- Д. столкновением молекул

- 1) В, Г            2) А, Б            3) Б, В            4) А, Г            5) Б, Д

**6.2.** Давление идеального газа зависит от ...

- 1) силы притяжения молекул
- 2) кинетической энергии молекул
- 3) потенциальной энергии молекул
- 4) размеров молекул
- 5) формы сосуда

**6.3.** Из приведенных выражений давление идеального газа можно вычислить по формуле ...

- 1)  $\frac{1}{2}nm_0\langle v \rangle$       2)  $\frac{2}{3}N_A\langle E_k \rangle$       3)  $nkT$       4)  $\frac{3}{2}kT$       5)  $\frac{3}{2}RT$

**6.4.** Уравнение состояния идеального газа имеет вид ...

- 1)  $p = \frac{2}{3}nE_k$                       2)  $pV = \frac{M}{m}RT$                       3)  $pV = \frac{m}{M}RT$   
4)  $pV = \frac{m}{M}kT$                       5)  $p_1V_1 = p_2V_2$

**6.5.** В сосуде вместимостью  $V = 12$  л находится газ, число молекул которого равно  $N = 1,44 \cdot 10^{18}$ . Концентрация  $n$  газа равна ...  $\text{м}^{-3}$

- 1)  $8 \cdot 10^{24}$       2)  $62 \cdot 10^{21}$       3)  $2 \cdot 10^{25}$       4)  $1 \cdot 10^{20}$       5)  $1,2 \cdot 10^{20}$

**6.6.** Вместимость сосуда  $V$ , в котором находится газ, концентрация молекул которого равна  $n = 1,25 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ , а общее количество молекул  $N = 2,5 \cdot 10^{23}$ , равна ... л.

- 1) 0,25            2) 2            3) 20            4) 16            5) 786

**6.7.** Число атомов  $N$  в  $m = 1$  г гелия равно ...  $\cdot 10^{23}$ .

- 1) 0,98            2) 1,5            3) 136,2            4) 9,9            5) 78,6

**6.8.** Число атомов  $N$  в  $m = 1$  г углерода равно ...  $\cdot 10^{22}$ .

- 1) 0,98            2) 8,55            3) 130,1            4) 5,02            5) 78,6

**6.9.** Число молекул азота  $N$  массой  $m = 0,2$  кг равно ...  $\cdot 10^{24}$  молекул.

- 1) 4,3            2) 8,53            3) 136,1            4) 0,78            5) 78,6

**6.10.** В  $m = 20,5$  г воды содержится  $N$  ... молекул.

- 1)  $8,36 \cdot 10^{24}$     2)  $6,86 \cdot 10^{23}$     3)  $2,07 \cdot 10^{-21}$     4)  $1,03 \cdot 10^{20}$     5)  $124,08 \cdot 10^{20}$

**6.11.** Число молей  $\nu$  азота массой  $m = 0,2$  кг равно ... моль.

- 1) 0,34            2) 7,14            3) 60,8            4) 0,18            5) 78,6

**6.12.** Масса  $\nu = 50$  молей кислорода равна ... г.

- 1) 0,212            2) 1,586            3) 1600            4) 2,167  
5) данных недостаточно

**6.13.** В сосуде вместимостью  $V = 3$  л находится кислород массой  $m = 4$  г. Количество вещества  $\nu$  равно ... моль.

- 1) 0,125    2) 1,55    3) 10,8    4) 2,1    5) данных  
недостаточно

**6.14.** Кислород при нормальных условиях заполняет сосуд вместимостью  $V = 12,2$  л. Количество вещества  $\nu$  газа равно ... моль.

- 1) 2,0    2) 0,54    3) 1,5    4) 3,0    5) данных  
недостаточно

**6.15.** Водород заполняет сосуд вместимостью  $V = 3$  л, его плотность равна  $\rho = 6,65 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>. Количество вещества  $\nu$  водорода равно ...  $\cdot 10^{-3}$  моль.

- 1) 0,98            2) 8,53            3) 136,1            4) 9,97            5) 78,6

**6.16.** Водород заполняет сосуд вместимостью  $V = 3$  л, концентрация молекул газа  $n = 2 \cdot 10^{18}$  м<sup>-3</sup>. Количество вещества  $\nu$  равно ...  $\cdot 10^{-9}$  моль.

- 1) 9,97            2) 8,53            3) 136,1            4) 0,97            5) 78,6

**6.17.** Кислород при нормальных условиях заполняет сосуд вместимостью  $V = 12,2$  л. Масса  $m$  газа равна ... г.

- 1) 0,25            2) 1,5            3) 17,3            4) 2,16            5) 78,6

**6.18.** В сосуде вместимостью  $V = 20$  л находится газ количеством вещества  $\nu = 1,5$  моль. Концентрация  $n$  молекул в сосуде равна ...  $\text{м}^{-3}$ .

- 1)  $8 \cdot 10^{24}$         2)  $62 \cdot 10^{21}$         3)  $2 \cdot 10^{25}$         4)  $4,5 \cdot 10^{28}$         5)  $124 \cdot 10^{20}$

**6.19.** Идеальный газ находится при температуре  $T = 300$  К и давлении  $p = 1$  мПа. Концентрация  $n$  газа равна ...  $\text{м}^{-3}$ .

- 1)  $8 \cdot 10^{24}$         2)  $62 \cdot 10^{21}$         3)  $2,42 \cdot 10^{17}$         4)  $4,52 \cdot 10^{28}$         5)  $124 \cdot 10^{20}$

**6.20.** Идеальный газ находится при температуре  $T = 3$  К. Концентрация газа  $n = 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Давление  $p$  газа равно ... Па.

- 1) 92            2) 82            3) 138            4) 414            5) 786

**6.21.** Идеальный газ находится при температуре  $T = 1000$  К. Концентрация газа  $n = 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Давление  $p$  газа равно ... кПа.

- 1) 9            2) 82            3) 138            4) 414            5) 786

**6.22.** В сосуде находится газ под давлением  $p = 150$  кПа при температуре  $t = 273$  °С. Количество молекул  $N$  в единице объема сосуда равно ...  $\text{м}^{-3}$ .

- 1)  $8 \cdot 10^{24}$         2)  $62 \cdot 10^{21}$         3)  $2 \cdot 10^{25}$         4)  $1 \cdot 10^{20}$         5)  $124 \cdot 10^{20}$

**6.23.** Водород находится в баллоне емкостью  $V = 20$  л под давлением  $p = 830$  кПа при температуре  $t = 17$  °С. Масса  $m$  водорода равна ... кг. (Молярная масса водорода  $M = 2$  г/моль)

- 1) 0,138            2) 1,543            3) 16            4) 2,16            5) 78,6

**6.24.** В одном кубическом  $\text{см}^3$  воздуха при нормальных условиях содержится ... молекул.

- 1)  $8,36 \cdot 10^{24}$         2)  $62,78 \cdot 10^{21}$         3)  $2,69 \cdot 10^{19}$         4)  $1,03 \cdot 10^{20}$         5)  $124,08 \cdot 10^{20}$

**6.25.** В сосуде вместимостью  $V = 3$  л находится кислород массой  $m = 4$  г. Число молекул  $N$  газа равно ... молекул.

- 1)  $7,52 \cdot 10^{21}$         2)  $1,53 \cdot 10^{21}$         3)  $146,8 \cdot 10^{21}$         4)  $0,18 \cdot 10^{21}$   
5) данных недостаточно

**6.26.** В стакане вместимостью  $V = 0,25$  л при температуре  $t = 4$  °С и давлении  $p = 10^5$  Па содержится ... молекул.

- 1)  $8,36 \cdot 10^{24}$     2)  $62,78 \cdot 10^{21}$     3)  $2,07 \cdot 10^{-21}$     4)  $6,5 \cdot 10^{21}$     5)  $124,08 \cdot 10^{20}$

**6.27.** В колбе вместимостью  $V = 240$  см<sup>3</sup> находится газ при температуре  $T = 290$  К и давлении  $p = 50$  кПа. Количество вещества  $\nu$  газа равно ...  $\cdot 10^{-3}$  моль.

- 1) 0,34                      2) 4,97                      3) 60,8                      4) 0,18                      5) 78,6

**6.28.** В колбе вместимостью  $V = 240$  см<sup>3</sup> находится газ при температуре  $T = 290$  К и давлении  $p = 50$  кПа. В колбе содержится ... молекул.

- 1)  $8,36 \cdot 10^{24}$     2)  $6,86 \cdot 10^{23}$     3)  $2,99 \cdot 10^{21}$     4)  $1,03 \cdot 10^{20}$     5)  $124,08 \cdot 10^{20}$

**6.29.** Колба вместимостью  $V = 0,5$  л содержит газ при нормальных условиях, число молекул  $N$  газа, находящихся в колбе равно ...  $\cdot 10^{22}$  молекул.

- 1) 14,6    2) 1,34    3) 0,14    4) 2,19    5) данных недостаточно

**6.30.** В газе, который находится в сосуде объемом  $V = 15$  л под давлением  $p = 0,5$  МПа, содержится  $N = 1,8 \cdot 10^{24}$  молекул. Температура  $T$  равна газу ... К. (Газ считать идеальным)

- 1) 301                      2) 4000                      3) 164                      4) 9                      5) 100

**6.31.** Давление газа  $p = 10^5$  Па при температуре  $t = 27$  °С и объеме  $V_1 = 1$  м<sup>3</sup>. Газ займет объем  $V_2 = 0,5$  м<sup>3</sup> при том же давлении, если температура газа  $T$  равна ...

- 1) увеличится на 300 К  
2) уменьшится на 300 К  
3) увеличится на 150 К  
4) уменьшится на 150 К  
5) уменьшится на 13,5 °С

**6.32.** В пяти одинаковых сосудах находятся: кислород, азот, неон, гелий, водород. Температура и масса газов одинаковы. Наименьшее давление  $p$  будет в сосуде, где находится ...

- 1) кислород                      2) азот                      3) неон                      4) гелий                      5) водород

**6.33.** Баллон вместимостью  $V = 12$  л содержит углекислый газ. Давление газа  $p = 1$  МПа, температура  $T = 300$  К. Масса газа  $m$  в баллоне равна ... кг.

- 1) 0,212    2) 1,586    3) 0,845    4) 2,167    5) данных недостаточно

**6.34.** Количество молекул в  $m_1 = 3$  г водорода больше, чем количество молекул в  $m_2 = 9$  г воды, в ... раза. (Молярная масса водорода  $M_1 = 2$  г/моль, воды  $M_2 = 18$  г/моль)

- 1) 2    2) 1,5    3) 3    4) 0,5    5) данных недостаточно

**6.35.** Идеальный газ, содержащий количество вещества  $\nu = 1000$  моль при давлении  $p = 1$  МПа при температуре  $T = 400$  К занимает объем  $V$ , равный ... м<sup>3</sup>.

- 1) 3,32    2) 1,57    3) 0,85    4) 12,16    5) данных недостаточно

**6.36.** Котел вместимостью  $V = 2$  м<sup>3</sup> содержит перегретый водяной пар массой  $m = 10$  кг при температуре  $T = 500$  К. Давление  $p$  пара в котле равно ... МПа.

- 1) 2,87    2) 1,16    3) 0,82    4) 12,14    5) данных недостаточно

**6.37.** Баллон вместимостью  $V = 20$  л содержит углекислый газ массой  $m = 500$  г под давлением  $p = 1,3$  МПа. Температура  $T$  газа равна ... К.

- 1) 275    2) 4    3) 25    4) 2100    5) данных недостаточно

**6.38.** Давление  $p$  азота массой  $m = 2$  г, занимающего объем  $V = 820$  см<sup>3</sup> при температуре  $t = 7$  °С, равно ... Па.

- 1)  $10^5$     2)  $1,4 \cdot 10^6$     3)  $2,0 \cdot 10^5$     4)  $7 \cdot 10^3$     5)  $3,6 \cdot 10^3$

**6.39.** В баллоне объемом  $V = 2$  л находится  $\nu = 0,2$  моля кислорода. Плотность  $\rho$  кислорода равна ... кг/м<sup>3</sup>.

- 1) 5,4    2) 4,0    3) 3,2    4) 1,2    5) 0,0032

**6.40.** Плотность  $\rho$  воздуха ( $M = 0,029$  кг/моль) в камере сгорания дизельного двигателя при температуре  $t = 503$  °С и давлении  $p = 400$  кПа равна ... кг/м<sup>3</sup>.

- 1) 2    2) 1,5    3) 1,8    4) 2,1    5) данных недостаточно

**6.41.** Плотность  $\rho$  азота при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 0,1$  МПа равна ... кг/м<sup>3</sup>.

- 1) 0,13            2) 1,12            3) 16            4) 2,8            5) 78,6

**6.42.** Давление насыщенного водяного пара  $p = 3,55$  кПа при температуре  $T = 300$  К. Плотность  $\rho$  насыщенного пара равна ...  $\cdot 10^{-2}$  кг/м<sup>3</sup>.

- 1) 0,26            2) 2,56            3) 14,85            4) 1,16            5) данных недостаточно

**6.43.** При одинаковом давлении плотность воздуха  $\rho_1$  зимой при температуре  $t_1 = -23^\circ\text{C}$  больше плотности воздуха  $\rho_2$  летом при температуре  $t_2 = +27^\circ\text{C}$  в ... раза. (Воздух считать идеальным газом)

- 1) 1,2            2) 9,7            3) 19,1            4) 5,4            5) 31,0

**6.44.** В сосуде объемом  $V = 1$  л находится кислород массой  $m = 1$  г. Концентрация  $n$  молекул кислорода в сосуде равна ... м<sup>-3</sup>.

- 1)  $1,9 \cdot 10^{22}$             2)  $1,9 \cdot 10^{25}$             3)  $3,4 \cdot 10^{23}$             4)  $5,3 \cdot 10^{24}$             5)  $5,3 \cdot 10^{20}$

**6.45.** При температуре  $t = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 10^5$  Па объем идеального газа  $V = 1$  м<sup>3</sup>. Этот же газ будет при том же давлении занимать объем  $V = 2$  м<sup>3</sup> при температуре  $T$ , равной ...

- 1) 54 С            2) 300 К            3) 13,5 С            4) 150 К            5) 600 К

**6.46.** Имеются два сосуда объемами  $V$  и  $2V$ . В первом сосуде находится  $\nu_1 = 1$  моль идеального газа, во втором  $\nu_2 = 6$  молей. Давление в сосудах одинаковое. Температуры  $T_1$  и  $T_2$  в сосудах связаны соотношением ...

- 1)  $T_1 = T_2$             2)  $T_1 = 5 T_2$             3)  $T_1 = 3 T_2$             4)  $T_1 = \frac{1}{3} T_2$             5)  $T_1 = 12 T_2$

**6.47.** Имеется два баллона одинакового объема. В одном находится  $m_1 = 1$  кг азота, в другом  $m_2 = 1$  кг водорода. Температуры газов одинаковы. Давление азота  $p_1 = 10^5$  Па. Давление водорода  $p_2$  равно ... Па.

- 1)  $10^5$             2)  $1,4 \cdot 10^6$             3)  $2,8 \cdot 10^6$             4)  $7 \cdot 10^3$             5)  $3,6 \cdot 10^3$

**6.48.** Масса воздуха в открытом сосуде  $m = 373$  г. Если его нагреть от  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ , то масса воздуха уменьшится на ... г.

- 1) 5            2) 40            3) 100            4) 1200            5) 3

**6.49.** Чтобы при увеличении объема  $V$  газа в 7 раз, его давление  $p$  упало в 10 раз, абсолютную температуру  $T$  газа надо уменьшить на ... %.

- 1) 30                      2) 7,5                      3) 3                      4) 0,5                      5) 92

**6.50.** В ходе изотермического сжатия давление  $p$  идеального газа увеличилось в 2,5 раза. Концентрация  $n$  его молекул увеличилась в ... раза.

- 1) 1,2                      2) 0,7                      3) 19,1                      4) 2,5                      5) 31,0

**6.51.** Гелий находится при температуре  $t_1 = 0$  °С. Если при протекании изохорного процесса, его давление изменилось от  $p_1$  до  $p_2 = 2 p_1$ , то гелий нагрели до температуры  $t_2$ , равной ... °С.

- 1) 0                      2) 546                      3) 273                      4) 207                      5) 97

**6.52.** Резиновую лодку надули утром, когда температура воздуха была  $t_1 = 7$  °С. Днем воздух прогрелся под лучами Солнца до температуры  $t_2 = 21$  °С. Если объем  $V$  лодки не изменился, то давление воздуха  $p$  в ней увеличилось на ... %.

- 1) 2                      2) 1,5                      3) 5                      4) 2,1                      5) данных недостаточно

**6.53.** В сосуде находится  $m = 10$  кг газа при давлении  $p_1 = 10^7$  Па. Если давление установилось до  $p_2 = 2,5 \cdot 10^6$  Па, а температура  $T$  газа уменьшилась в 3 раза, то масса газа уменьшилась на ... кг.

- 1) 3,0                      2) 7,5                      3) 3,3                      4) 2,5                      5) 9,2

**6.54.** Из сосуда выпустили половину газа. Если абсолютная температура  $T$  оставшегося газа увеличилась в 6 раз, то давление  $p$  ...

- 1) увеличилось в 3 раза  
2) уменьшилось в 6 раз  
3) увеличилось в 9 раз  
4) увеличилось в 6 раз  
5) уменьшилось в 3 раза

**6.55.** Плотность  $\rho$  идеального газа при его охлаждении от температуры  $T_1 = 600$  К до температуры  $T_2 = 300$  К и увеличении массы  $m$  газа в 3 раза возрастет в ... раза. Давление газа постоянно.

- 1) 1,2                    2) 9,7                    3) 19,1                    4) 5,4                    5) 2,0

**6.56.** Газ нагрели от температуры  $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2 = 39 \text{ }^\circ\text{C}$ . Если давление газа  $p$  оставалось постоянным, то объем газа  $V$  увеличился на ... %.

- 1) 4                    2) 1,5                    3) 1,8                    4) 2,1                    5) данных недостаточно

**6.57.** Чтобы объем газа  $V$  увеличился вдвое по сравнению с объемом  $V_1$  при температуре  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , при постоянном давлении  $p$  его нужно нагреть на ... К.

- 1) 100                    2) 893                    3) 19                    4) 273                    5) 31

**6.58.** Кислород, находящийся при нормальных условиях, расширился изобарно от объема  $V_1$  до объема  $V_2 = 2V_1$ . Температура  $t_2$  газа стала равной ...  $^\circ\text{C}$ .

- 1) 0                    2) 546                    3) 273                    4) 207                    5) 97

**6.59.** Газ сжат изотермически от объема  $V_1 = 8 \text{ л}$  до объема  $V_2 = 6 \text{ л}$ . Давление при этом возросло на  $\Delta p = 4 \text{ кПа}$ . Первоначальное давление  $p_1$  равно ... кПа

- 1) 0,5                    2) 5                    3) 12                    4) 207                    5) 97

**6.60.** В процессе изменения состояния газа его давление и температура были связаны соотношением  $p = \alpha T$  ( $\alpha = \text{const}$ ). При уменьшении термодинамической температуры газа в два раза его объем ...

- 1) не изменился
- 2) увеличился в 2 раза
- 3) уменьшился в 2 раза
- 4) уменьшился в 4 раза
- 5) увеличился в 4 раза

**6.61.** В процессе изменения состояния газа его давление  $p$  и объем  $V$  были связаны соотношением  $p = \alpha V^2$  ( $\alpha = \text{const}$ ). При увеличении объема газа в три раза его термодинамическая температура ...

- 1) увеличилась в 27 раз
- 2) увеличилась в 3 раза
- 3) уменьшилась в 3 раза

- 4) увеличилась в 9 раз  
 5) уменьшилась в 27 раз

**6.62.** Баллон содержит  $m_1 = 80$  г кислорода ( $M_1 = 0,032$  кг/моль) и  $m_2 = 320$  г аргона ( $M_2 = 0,040$  кг/моль). Давление смеси  $p = 1$  МПа, температура  $t = 27$  °С. Объем баллона  $V$  равен ... л.

- 1) 2,4                      2)  $10,5 \cdot 10^3$                       3) 26,2                      4) 11,5                      5) 10,5

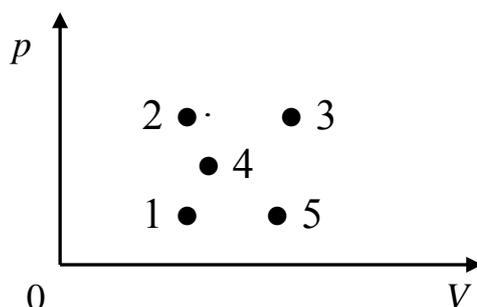
**6.63.** В сосуде находится озон при температуре  $t_1 = 527$  °С. По прошествии некоторого времени он полностью превращается в кислород, а его температура падает до  $t_2 = 127$  °С (молярная масса озона  $M_1 = 0,048$  кг/моль, кислорода  $M_2 = 0,032$  кг/моль). Давление газа  $p$  в сосуде при этом ...

- 1) уменьшилось на 75%    2) уменьшилось на 25%    3) не изменилось  
 4) увеличилось на 75%    5) увеличилось на 25%

**6.64.** Сосуд содержит смесь аргона и азота при давлении  $p_1 = 20$  кПа. После добавления в сосуд кислорода давление смеси увеличилось до  $p_2 = 100$  кПа. Парциальное давление кислорода  $p_{\text{кисл}}$  стало равно ... кПа.

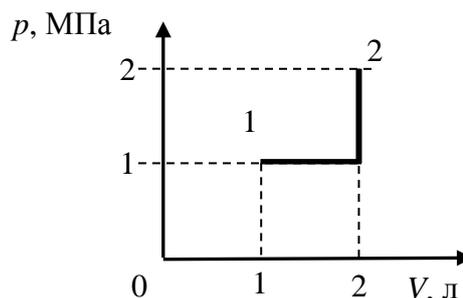
- 1) 30                      2) 80                      3) 3                      4) 0,5                      5) 100

**6.65.** Минимальную температуру  $T$  идеальный газ имеет в состоянии, соответствующем на  $p$ -  $V$  диаграмме точке ...



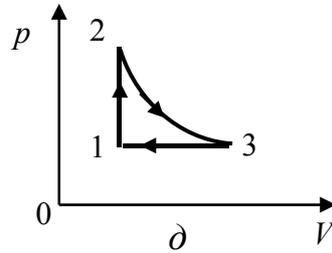
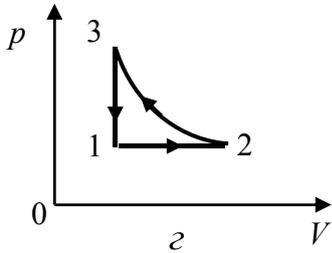
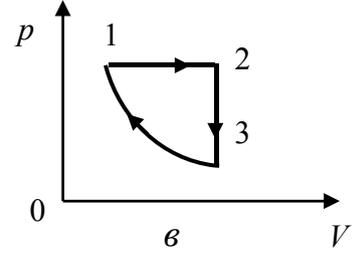
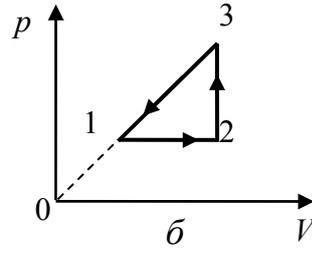
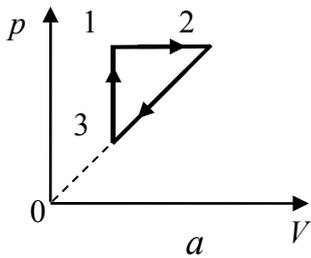
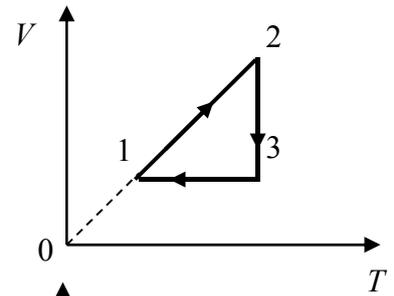
- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4                      5) 5

**6.66.** Состояние идеального газа изменилось в соответствии с графиком на  $p$ - $V$  диаграмме. В состоянии 1 температура газа  $T_1$ . В состоянии 2 температура газа  $T_2$  равна ...



- 1)  $6T_1$     2)  $2T_1$     3)  $3T_1$     4)  $4T_1$     5)  $5T_1$

**6.67.** На  $V-T$  диаграмме представлен процесс, происходящий с идеальным газом. В координатах  $p, V$  этот процесс имеет вид ...



1) а

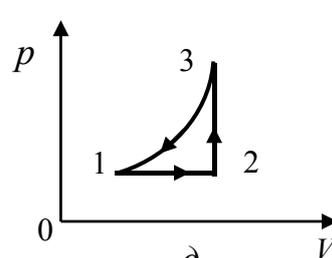
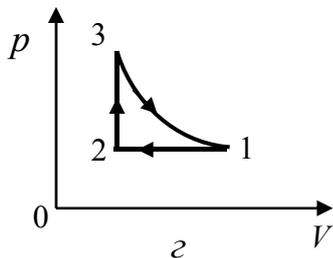
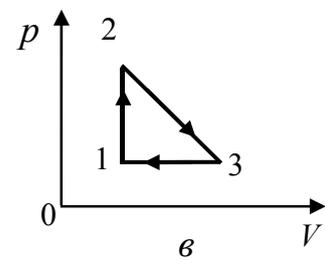
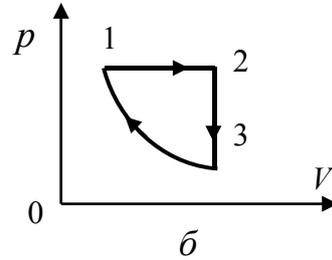
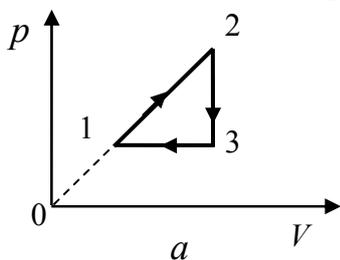
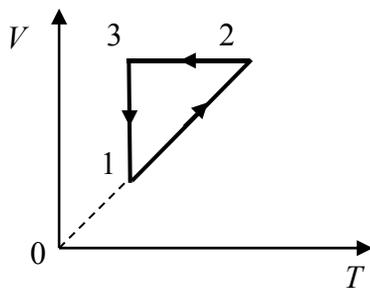
2) б

3) в

4) г

5) д

**6.68.** На диаграмме  $V-T$  изображен процесс идеального газа. В координатах  $p, V$  он имеет вид ...



1) а

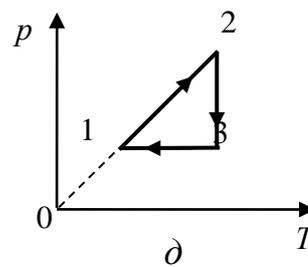
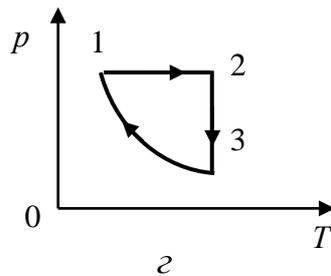
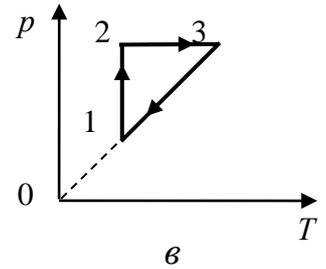
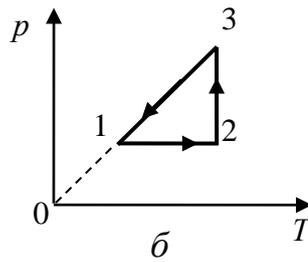
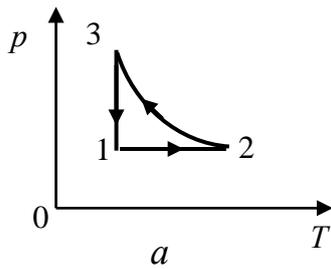
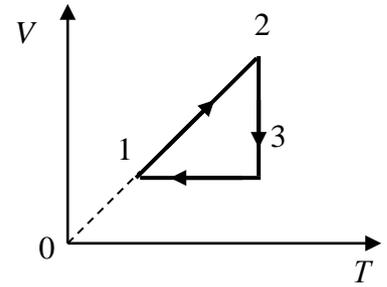
2) б

3) в

4) г

5) д

**6.69.** На  $V-T$  диаграмме представлен процесс, происходящий с идеальным газом. В координатах  $p, T$  этот процесс имеет вид ...



1) а

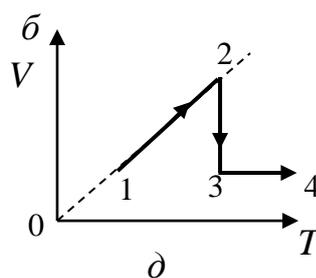
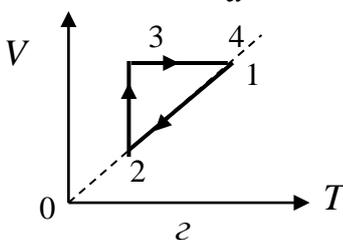
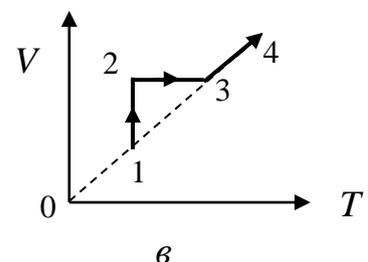
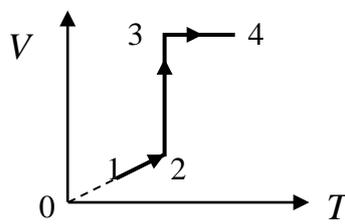
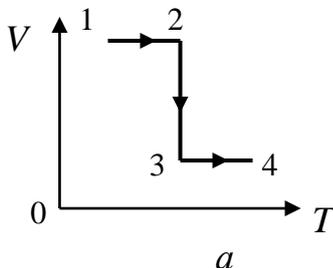
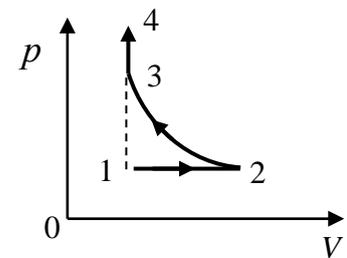
2) б

3) в

4) г

5) д

**6.70.** На  $p-V$  диаграмме изображен процесс, происходящий с идеальным газом. В координатах  $V, T$  ему соответствует график ...



1) а

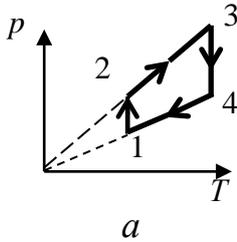
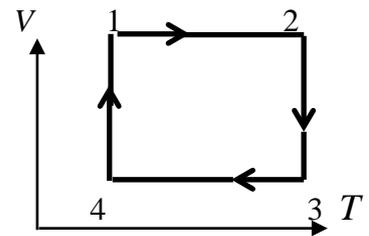
2) б

3) в

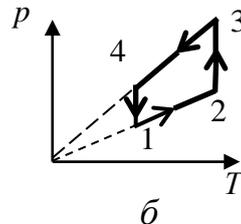
4) г

5) д

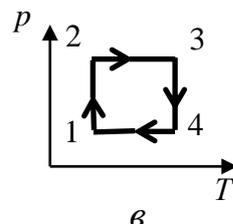
6.71. На рисунке приведен график процесса, происходящего с некоторой массой идеального газа. В координатах  $p, T$  этому графику соответствует график ...



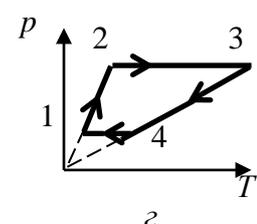
а



б



в



г

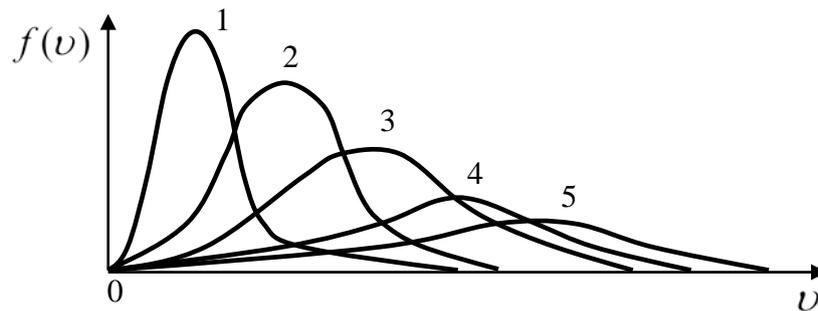
1) а

2) б

3) в

4) г

6.72. Из кривых зависимости функции распределения Максвелла от скорости  $v$ , наименьшей температуре  $T$  соответствует кривая ...



1) 1

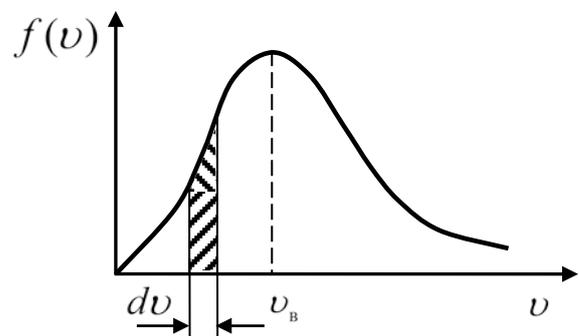
2) 2

3) 3

4) 4

5) 5

6.73. На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  — доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчете на единицу этого интервала. Если, не меняя температуры, взять другой газ с меньшей молярной массой и таким же числом молекул, то ...



1) площадь под кривой увеличится

- 2) величина максимума уменьшится
- 3) максимум кривой сместится влево в сторону меньших скоростей
- 4) максимум кривой сместится вправо в сторону больших скоростей
- 5) площадь под кривой уменьшится

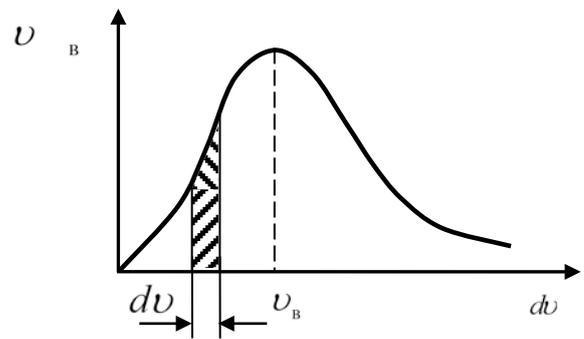
**6.74.** На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение

Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля

молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от

$v$  до  $v + dv$  в расчете на единицу этого интервала. Для этой функции верным утверждением является ...

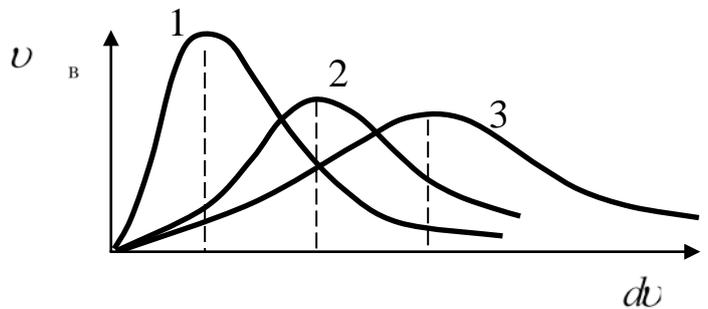
- 1) при понижении температуры максимум смещается влево
- 2) при понижении температуры площадь под кривой уменьшается
- 3) при понижении температуры величина максимума уменьшается



**6.75.** На рисунке представлены графики функций распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), для различных газов ( $H_2$ , He,  $N_2$ ) при данной температуре.

Какому газу какой график соответствует?

- 1)  $H_2$  – 1, He – 3,  $N_2$  – 2
- 2)  $H_2$  – 1, He – 2,  $N_2$  – 3
- 3)  $H_2$  – 2, He – 1,  $N_2$  – 3
- 4)  $H_2$  – 3, He – 2,  $N_2$  – 1
- 5)  $H_2$  – 3, He – 1,  $N_2$  – 2



**6.76.** Если скорость  $v$  каждой молекулы в герметично закрытом баллоне увеличилась вдвое, то абсолютная температура  $T$  и давление  $p$  идеального газа ...

- 1) увеличатся в 2 раза      2) увеличатся в 4 раза      3) не изменятся  
4) уменьшатся в 2 раза      5) уменьшатся в 4 раза

**6.77.** При увеличении давления  $p$  и плотности  $\rho$  в 2 раза среднеквадратичная скорость  $v_{\text{ср.кв}}$  молекул ...

- 1) возросла в 2 раза      2) не изменилась      3) возросла в 4 раза  
4) уменьшилась в 2 раза      5) уменьшилась в 4 раза

**6.78.** Молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость  $v_{\text{ср.кв.}}$ , как молекулы водорода при температуре  $T_1 = 100$  К, при температуре  $T_2$ , равной ... К.

- 1) 1600      2) 285      3) 2950      4) 300      5) 344

**6.79.** Средняя квадратичная скорость  $v_{\text{ср.кв.}}$  молекул водорода при температуре  $T = 300$  К равна ... км/с.

- 1) 1,94      2) 9,89      3) 19,06      4) 25,34      5) 0,62

**6.80.** Средняя арифметическая скорость  $\langle v \rangle$  молекул водорода при температуре  $T = 300$  К равна ... км/с.

- 1) 0,84      2) 1,79      3) 19,06      4) 0,56      5) 0,62

**6.81.** Наиболее вероятная скорость  $v_{\text{в}}$  молекул водорода при температуре  $T = 300$  К равна ... км/с.

- 1) 0,84      2) 9,89      3) 1,58      4) 0,55      5) 0,62

**6.82.** Средняя квадратичная скорость  $v_{\text{ср.кв.}}$  молекул водорода при температуре  $T = 20$  К равна ... м/с.

- 1) 407      2) 462      3) 500      4) 1020      5) 2378

**6.83.** Средняя арифметическая скорость  $\langle v \rangle$  молекул водорода при температуре  $T = 20$  К равна ... м/с.

- 1) 407      2) 460      3) 500      4) 1020      5) 2378

**6.84.** Наиболее вероятная скорость  $v_B$  молекул водорода при температуре  $T = 20$  К равна ... м/с.

- 1) 408            2) 462            3) 499            4) 1020            5) 2378

**6.85.** Средняя квадратичная скорость  $v_{\text{ср.кв.}}$  молекул водорода при температуре  $T = 5000$  К равна ... км/с.

- 1) 1,94            2) 6,44            3) 7,3            4) 7,9            5) 11,62

**6.86.** Средняя арифметическая скорость  $\langle v \rangle$  молекул азота при температуре  $T = 5000$  К равна ... км/с.

- 1) 1,94            2) 6,48            3) 7,3            4) 7,9            5) 11,62

**6.87.** Наиболее вероятная скорость  $v_B$  молекул водорода при температуре  $T = 5000$  К равна ... км/с.

- 1) 1,94            2) 6,48            3) 7,3            4) 7,9            5) 11,62

**6.88.** Средняя квадратичная скорость  $v_{\text{ср.кв.}}$  молекул азота больше их средней арифметической скорости  $\langle v \rangle$  на  $\Delta v = 50$  м/с при температуре  $T$ , равной ... К.

- 1) 324            2) 368            3) 407            4) 454            5) 498

**6.89.** Средняя арифметическая скорость молекул азота и кислорода отличаются на  $\Delta v = 30$  м/с при температуре воздуха  $T$ , равной ... К.

- 1) 252            2) 285            3) 295            4) 300            5) 344

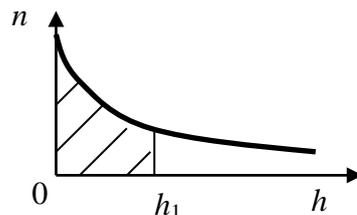
**6.90.** Распределение молекул в поле силы тяжести определяется соотношением ... ( $m$  – масса одной молекулы,  $n$  – концентрация молекул,  $\mu$  – молярная масса,  $v$  – скорость)

- 1)  $dn(v) = A e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv$             2)  $p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{kT}}$             3)  $n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$   
4)  $n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$             5)  $n = n_0 e^{-\frac{mgh}{RT}}$

**6.91.** Пылинки, взвешенные в воздухе, имеют массу  $m = 10^{-18}$  г. Температура воздуха  $T = 300$  К. При увеличении высоты на  $\Delta h = 10$  м концентрация  $n$  пылинок уменьшится в ... раз

- 1)  $e^{23,6}$             2)  $e^{2,6}$             3)  $e^{0,6}$             4)  $e^{236}$             5) данных недостаточно

**6.92.** На рисунке дан график зависимости концентрации  $n$  молекул воздуха от высоты  $h$  над поверхностью Земли. Заштрихованная площадь определяет ...



- 1) число молекул в  $1 \text{ м}^3$
- 2) число молекул в кубе с ребром  $h_1$
- 3) концентрацию молекул на высоте  $h_1$
- 4) число молекул в столбе высотой  $h_1$  с площадью основания  $1 \text{ м}^2$
- 5) среднюю концентрацию молекул на высотах от 0 до  $h_1$

**6.93.** Атмосферное давление  $p$  вдвое меньше, чем на поверхности Земли, на высоте  $h$ , равной ... км. Считать, что температура воздуха равна  $T = 290 \text{ К}$  и не изменяется с высотой.

- 1) 1,56
- 2) 9,67
- 3) 19,07
- 4) 12,04
- 5) 31,34

**6.94.** Атмосферное давление  $p = 100 \text{ кПа}$ . При подъеме наблюдателя над поверхностью Земли на  $\Delta h = 100 \text{ м}$  атмосферное давление уменьшится на ... кПа. Считать, что температура воздуха равна  $T = 290 \text{ К}$  и не изменяется с высотой.

- 1) 1,2
- 2) 9,7
- 3) 19,1
- 4) 5,4
- 5) 31,0

**6.95.** Барометр в кабине летящего вертолета показывает давление  $p = 90 \text{ кПа}$ . На какой высоте летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывает давление  $p_0 = 100 \text{ кПа}$ , а в кабине летящего вертолета давление  $p = 90 \text{ кПа}$ . Если температура воздуха равна  $T = 290 \text{ К}$  и не изменяется с высотой, то вертолет летит на высоте  $h$ , равной ... м.

- 1) 100
- 2) 893
- 3) 19
- 4) 25
- 5) 31

**6.96.** Если считать температуру воздуха (молярная масса воздуха  $M = 0,029 \text{ кг/моль}$ ) везде одинаковой и равной  $T = 283 \text{ К}$ , то давление воздуха составляет 10% от давления на уровне моря на высоте  $h$ , примерно равной ... км.

- 1) 1
- 2) 9
- 3) 19
- 4) 25
- 5) 31

**6.97.** Эффективный диаметр молекулы водорода равен  $d = 2,8 \cdot 10^{-10}$  м. Концентрация  $n$  молекул водорода, если длина свободного пробега молекул водорода  $\lambda = 3,96$  см, равна ... м<sup>-3</sup>.  
1)  $0,7 \cdot 10^{20}$       2)  $1,9 \cdot 10^{25}$       3)  $2,3 \cdot 10^{24}$       4)  $5,3 \cdot 10^{24}$       5)  $5,3 \cdot 10^{20}$

**6.98.** Эффективный диаметр молекулы азота  $d = 3,1 \cdot 10^{-10}$  м. Концентрация  $n$  молекул водорода, если длина свободного пробега молекул водорода составляет  $\lambda = 1,0$  мкм, равна ... м<sup>-3</sup>.  
1)  $0,7 \cdot 10^{20}$       2)  $1,9 \cdot 10^{25}$       3)  $2,3 \cdot 10^{24}$       4)  $5,3 \cdot 10^{24}$       5)  $5,3 \cdot 10^{20}$

**6.99.** Эффективный диаметр молекулы водорода  $d = 2,8 \cdot 10^{-10}$  м. Длина свободного пробега  $\lambda$  молекул водорода при концентрации  $n = 1,0 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup> равна ... мкм.  
1) 0,56      2) 2,82      3) 2,30      4) 5,88      5) 31,34

**6.100.** Эффективный диаметр молекулы азота  $d = 3,1 \cdot 10^{-10}$  м. Длина свободного пробега  $\lambda$  молекул водорода при концентрации  $n = 1,0 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup> равна ... мкм.  
1) 0,56      2) 2,82      3) 2,30      4) 5,88      5) 31,34

### Задачи

**6.101.** Колба вместимостью  $V = 4$  л содержит некоторый газ массой  $m = 0,6$  кг под давлением  $p = 200$  кПа. Определить среднюю квадратичную скорость  $v_{\text{ср.кв.}}$  молекул газа. [ $v_{\text{ср.кв.}} = 2$  км/с]

**6.102.** Во сколько раз среднеквадратичная скорость  $v_1$  молекул кислорода, больше среднеквадратичной скорости  $v_2$  пылинки массой  $m = 10^{-8}$  г, находящейся среди молекул воздуха?  $\left[ \frac{v_1}{v_2} = 1,37 \cdot 10^7 \right]$

**6.103.** Баллон вместимостью  $V = 10$  л содержит водород массой  $m = 1$  г. Эффективный диаметр молекулы водорода равен  $d = 2,8 \cdot 10^{-10}$  м. Чему равна средняя длина свободного пробега  $\lambda$  молекул водорода? [ $\lambda = 95,4$  нм]

**6.104.** Давление газа  $p = 1 \text{ мПа}$ , концентрация его молекул равна  $n = 10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Определить: 1) температуру  $T$  газа, 2) среднюю кинетическую энергию  $\langle \epsilon \rangle$  поступательного движения молекул газа.  
[ $T = 7250 \text{ К}$ ;  $\langle \epsilon \rangle = 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ]

**6.105.** Определить среднюю кинетическую энергию  $\langle \epsilon_{\text{пост}} \rangle$  поступательного движения и среднее значение полной кинетической энергии  $\langle \epsilon \rangle$  молекулы водяного пара при температуре  $T = 600 \text{ К}$ . Найти также кинетическую энергию  $E$  поступательного движения всех молекул пара, содержащего количество вещества  $\nu = 1$  моль.  
[ $\langle \epsilon_{\text{пост}} \rangle = 1,24 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$ ;  $\langle \epsilon \rangle = 2,48 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$ ;  $E = 7,46 \text{ кДж}$ ]

**6.106.** Среднеквадратичная скорость молекул водорода при давлении  $p = 267 \text{ Па}$  равна  $v_{\text{ср.кв.}} = 2,45 \text{ км/с}$ . Найти концентрацию молекул.  
[ $n = 4,02 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ ]

**6.107.** В закрытом сосуде находится идеальный газ. Во сколько раз возрастет давление в сосуде, если среднеквадратичная скорость  $v_{\text{ср.кв.}}$  молекул увеличится в два раза?  $\left[ \frac{p_1}{p_2} = 4 \right]$

**6.108.** Среднеквадратичная скорость молекул некоторого идеального газа равна  $v_{\text{ср.кв.}} = 2455 \text{ м/с}$ . Давление газа  $p = 51,2 \text{ кПа}$ . Найти плотность газа  $\rho$  при этих условиях. [ $\rho = 0,025 \text{ кг/м}^3$ ]

**6.109.** Найти температуру  $T$  кислорода, при которой функция распределения молекул по скоростям будет иметь максимум при скорости  $v = 420 \text{ м/с}$ . [ $T = 339 \text{ К}$ ]

**6.110.** Найти средний импульс  $\langle p \rangle$  молекулы водорода при температуре  $t = 27 \text{ }^\circ\text{С}$ . [ $\langle p \rangle = 5,92 \cdot 10^{-24} \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ ]

**6.111.** Найти наиболее вероятный импульс  $p_{\text{вер}}$  молекулы водорода при температуре  $t = 27 \text{ }^\circ\text{С}$ . [ $p_{\text{вер}} = 5,25 \cdot 10^{-24} \text{ кг м/с}$ ]

**6.112.** Найти длину свободного пробега молекул  $\lambda$  водорода при давлении  $p = 0,1$  Па и температуре  $T = 100$  К. Эффективный диаметр молекулы водорода равен  $d = 2,8 \cdot 10^{-10}$  м. [ $\lambda = 3,96$  см]

**6.113.** При каком давлении  $p$  средняя длина свободного пробега азота составляет  $\lambda = 1$  м при температуре  $T = 300$  К? Эффективный диаметр молекулы азота равен  $d = 3,1 \cdot 10^{-10}$  м. [ $p = 9,6$  мПа]

**6.114.** Баллон вместимостью  $V = 10$  л содержит водород массой  $m = 1$  г. Эффективный диаметр молекулы водорода равен  $d = 2,8 \cdot 10^{-10}$  м. Чему равна средняя длина свободного пробега  $\lambda$  молекул? [ $\lambda = 95,4$  нм]

**6.115.** Вакуумная система заполнена водородом при давлении  $p = 0,133$  Па. Рассчитать среднюю длину свободного пробега молекул водорода, если температура  $t = 50$  °С. Эффективный диаметр молекулы водорода равен  $d = 2,8 \cdot 10^{-10}$  м. [ $\lambda = 0,143$  м]

**6.116.** Определить среднюю длину свободного пробега  $\lambda$  молекул азота в сосуде емкостью  $V = 4$  л, содержащегося при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы азота равен  $d = 3,1 \cdot 10^{-10}$  м [ $\lambda = 88$  нм]

**6.117.** Определить плотность  $\rho$  разреженного азота, если средняя длина свободного пробега молекул  $\lambda = 10$  см. Какова концентрация  $n$  молекул? Эффективный диаметр молекулы азота равен  $d = 3,1 \cdot 10^{-10}$  м. [ $\rho = 1,09 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>;  $n = 2,34 \cdot 10^9$  м<sup>-3</sup>]

**6.118.** При увеличении температуры водорода от  $T_1 = 300$  К до  $T_2 = 1350$  К все молекулы распались на атомы. Во сколько раз  $k$  возросла среднеквадратичная скорость частиц газа? [ $k = 3$ ]

**6.119.** Одна треть молекул азота массой  $m = 10$  г распалась на атомы. Определить полное число  $N$  частиц, находящихся в газе. [ $N = 2,87 \cdot 10^{23}$ ]

**6.120.** Определите плотность  $\rho$  смеси  $m_1 = 64$  г кислорода и  $m_2 = 56$  г азота, если давление смешанного газа равно  $p = 200$  кПа, а температура  $t = 27$  °С. [ $\rho = 2,41$  кг/м<sup>3</sup>]

**6.121.** В сосуде вместимостью  $V = 1,12$  л находится азот при нормальных условиях. Часть молекул при нагревании до некоторой температуры оказалась диссоциированной на атомы. Степень диссоциации  $\alpha = 0,3$ . Определить количество вещества: 1)  $\nu$  азота до нагревания; 2)  $\nu_M$  молекулярного азота после нагревания; 3)  $\nu_a$  атомарного азота после нагревания. [ $\nu = 50 \cdot 10^{-3}$  моль;  $\nu_M = 35 \cdot 10^{-3}$  моль;  $\nu_a = 30 \cdot 10^{-3}$  моль]

*Примечание: Степень диссоциации называют отношение числа молекул, распавшихся на атомы, к общему числу молекул газа. Степень диссоциации показывает, какая часть молекул распалась на атомы.*

**6.122.** Чему равна плотность  $\rho$  смеси  $\nu_1 = 1,5$  моль водорода и  $\nu_2 = 2,5$  моль кислорода при температуре  $t = 27$  °С и давлении  $p = 240$  кПа? Молярная масса кислорода  $M_2 = 32$  г/моль, молярная масса водорода  $M_1 = 2$  г/моль. [ $\rho = 2,65$  кг/м<sup>3</sup>]

**6.123.** При нагревании газа на  $\Delta T = 300$  °С при постоянном давлении объем его увеличился в два раза. В каком интервале температур происходило нагревание? [от  $T_1 = 300$  К до  $T_2 = 600$  К]

**6.124.** Газовая смесь, состоящая из кислорода и азота, находится в баллоне под давлением  $p = 1$  МПа при температуре  $t = 27$  °С. Массовая доля кислорода в смеси равна  $\omega_1 = 0,2$ . Молярная масса кислорода  $M_K = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, молярная масса азота  $M_{аз} = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Определите плотность  $\rho$  смеси. [ $\rho = 11,5$  кг/м<sup>3</sup>]

*Примечание: Массовой долей компонента в смеси называется безразмерная величина, равная отношению массы компонента к массе смеси.*

**6.125.** В сосуде находится азот при нормальных условиях. Какое давление  $p$  установится в сосуде после нагревания газа до температуры  $T = 1500$  °С, при которой 30% молекул распадаются на атомы? [ $p = 0,844$  МПа]

**6.126.** В баллоне вместимостью  $V = 25$  л находится водород при температуре  $T = 290$  К. После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на  $\Delta p = 0,4$  МПа. Определите массу  $\Delta m$  израсходованного газа. [ $\Delta m = 8,3$  г]

**6.127.** Найти плотность  $\rho$  газовой смеси водорода и кислорода, если их массовые доли соответственно  $1/9$  и  $8/9$ . Давление смеси равно  $p = 100$  кПа, температура  $T = 300$  К. [ $\rho = 0,481$  кг/м<sup>3</sup>]

**6.128.** Газовая смесь, состоящая из кислорода и азота, находится в баллоне под давлением  $p = 1$  МПа. Определите парциальные давления  $p_1$  кислорода  $p_2$  азота, если массовая доля кислорода в смеси равна  $0,2$ . [ $p_1 = 0,18$  МПа;  $p_2 = 0,82$  МПа]

**6.129.** Баллон вместимостью  $V = 30$  л содержит смесь водорода и гелия при температуре  $T = 300$  К и давлении  $p = 82$  кПа. Масса смеси  $m = 24$  г. Определите массу водорода  $m_1$  и массу гелия  $m_2$ . [ $m_1 = 16$  г;  $m_2 = 8$  г]

**6.130.** В сосуде вместимостью  $V = 15$  л находится смесь азота и водорода при температуре  $t = 23$  °С и давлении  $p = 200$  кПа. Определить массу смеси и массы ее компонентов, если массовая доля азота в смеси равна  $0,7$ . [ $m = 6,87$  г;  $m_1 = 4,81$  г;  $m_2 = 2,06$  г]

**6.131.** В баллоне вместимостью  $V = 2$  л находится кислород массой  $m = 1,17$  г. Концентрация молекул в сосуде равна  $n = 1,1 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>. Определить по этим данным постоянную Авогадро  $N_A$ . [ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>]

**6.132.** В колбе вместимостью  $V = 100$  см<sup>3</sup> содержится некоторый газ при температуре  $T = 300$  К. На сколько понизится давление  $\Delta p$  газа в колбе, если вследствие утечки из колбы выйдет  $N = 10^{20}$  молекул? [ $\Delta p = 4,14$  кПа]

**6.133.** Два сосуда, наполненных воздухом при давлении  $p_1 = 800$  кПа и  $p_2 = 600$  кПа, имеют соответственно объемы  $V_1 = 3$  л и  $V_2 = 5$  л. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь по

сравнению с объемом сосудов. Найти установившееся давление  $p$  в сосудах. Температуру считать постоянной. [ $p = 675$  кПа]

**6.134.** В баллоне объемом  $V = 100$  л находится гелий под давлением  $p_1 = 1$  МПа и температуре  $T_1 = 300$  К. После того как из баллона было взято  $\Delta m = 10$  г гелия, температура понизилась до  $T_2 = 290$  К. Определить давление  $p_2$  гелия, оставшегося в баллоне. [ $p_2 = 0,906$  МПа]

**6.135.** Первоначально идеальный газ занимал объем  $V_1 = 12,42$  л. При изобарном охлаждении на  $\Delta T = 40$  К объем газа стал равным  $V_2 = 10,62$  л. Найти начальную температуру  $T$  газа. [ $T = 276$  К]

**6.136.** При изобарном нагревании идеального газа на  $\Delta T_1 = 50$  К, его объем увеличился на  $\Delta V_1 = 1$  л. На сколько литров возрастет объем той же массы газа при изобарном нагревании на  $\Delta T_2 = 75$  К? [ $\Delta V_2 = 1,5$  л]

**6.137.** Во сколько раз возрастет давление идеального газа в цилиндре под поршнем, если поршень медленно опустить на  $1/5$  первоначальной высоты? Температура постоянна.  $\left[ \frac{p_2}{p_1} = 1,25 \text{ раза} \right]$

**6.138.** Во сколько раз возрастет концентрация  $n$  молекул идеального газа, если в ходе изотермического сжатия давление увеличилось в 2,5 раза?  $\left[ \frac{n_2}{n_1} = 2,5 \right]$

**6.139.** Найти плотность  $\rho$  смеси  $m_1 = 12$  кг гелия и  $m_2 = 6$  кг кислорода, если давление смешанного газа  $p = 50,1$  кПа, а температура  $t = 27$  °С. [ $\rho = 0,113$  кг/м<sup>3</sup>]

**6.140.** Найти объем смеси  $m_1 = 2,34$  кг азота и  $m_2 = 3,45$  кг кислорода, если давление смешанного газа  $p = 400$  кПа, а температура  $t = 17$  °С. [ $V = 1,15$  м<sup>3</sup>]

**6.141.** Два трехлитровых баллона соединили между собой. Вычислить установившееся давление, если один баллон содержал  $\nu_1 = 2$  моля гелия, а другой  $\nu_2 = 3$  моля водорода при одинаковой температуре  $T = 300$  К. [ $p = 2,08$  МПа]

**6.142.** В сосуде находится озон  $O_3$  при температуре  $t_1 = 727$  °С. Через некоторое время температура газа понизилась до  $t_2 = 127$  °С, а весь озон превратился в кислород  $O_2$ . На сколько процентов понизилось давление газа в сосуде? [на 40%]

**6.143.** Резиновый шар массой  $m = 198$  г наполнен азотом и находится неподвижно в воде на глубине  $h = 73$  м, где температура воды  $t = 7$  °С. Найти массу азота в шаре. Атмосферное давление  $p = 100$  кПа. Молярная масса азота  $M = 28$  г/моль. [ $m = 2$  г]

**6.144.** Теплоизолирующий поршень делит горизонтальный сосуд на две равные части, содержащие газ при температуре  $t = 5$  °С. Длина каждой части  $l = 144$  мм. Одну сторону сосуда нагрели на  $\Delta t_1 = 18$  °С, а другую на  $\Delta t_2 = 2$  °С. На какое расстояние  $d$  сместится поршень? [ $d = 4$  мм]

**6.145.** Во сколько раз уменьшится радиус  $R$  тонкого резинового шара, заполненного воздухом, если его отпустить в воду на глубину  $\Delta h = 65,2$  м? Давление у поверхности воды  $p = 100$  кПа. Температура воды у поверхности  $t_1 = 27$  °С, а на глубине  $t_2 = 9$  °С.  $\left[ \frac{R_2}{R_1} = 2 \right]$

**6.146.** На сколько грамм уменьшится масса воздуха в открытом сосуде, если его нагреть от  $t_1 = 0$  °С до  $t_2 = 100$  °С? Начальная масса воздуха  $m = 373$  г. [ $\Delta m = 100$  г]

**6.147.** На сколько  $\Delta F$  уменьшится вес акваланга с одним баллоном объемом  $V = 16,6$  л, если давление воздуха в баллоне упадет с  $p_1 = 15$  МПа до  $p_2 = 1$  МПа. Температура не меняется и равна  $T = 283$  К. Воздух считать идеальным газом. [ $\Delta F = 18,1$  Н]

**6.148.** В резиновой оболочке аэрозонда объемом  $V_1 = 50$  л находится  $\nu_1 = 2$  моля водорода при давлении  $p = 100$  кПа. Найти объем

аэрозонда при добавлении  $\nu_2 = 3$  молей водорода и возрастании давления на  $\Delta p = 25$  кПа при постоянной температуре. [ $V_2 = 100$  л]

**6.149.** Найти давление смеси газов в колбе объемом  $V = 2,5$  л, если в ней находится  $N_1 = 2,00 \cdot 10^{18}$  молекул кислорода,  $N_2 = 4,00 \cdot 10^{18}$  молекул азота и  $m_3 = 0,133$  мг аргона. Температура смеси  $T = 150^\circ\text{C}$ . [ $p = 187$  Па]

**6.150.** В резервуаре объемом  $V = 1,2$  м<sup>3</sup> находится смесь  $m_1 = 10$  кг азота и  $m_2 = 4$  кг водорода при температуре  $T = 300$  К. Определить давление и молярную массу смеси газов. [ $p = 4,9 \cdot 10^6$  Па;  $M = 6 \cdot 10^{-3}$  кг/моль]

## 7. ТЕРМОДИНАМИКА

### Основные формулы:

Молярная теплоемкость газа

$$C = \frac{dQ}{\nu dT}.$$

Удельная теплоемкость газа

$$c = \frac{dQ}{m dT}.$$

Молярная теплоемкость и удельная теплоемкость связаны между собой следующим соотношением

$$c = \frac{C}{M}.$$

Молярная теплоемкость идеального газа:

при  $V = \text{const}$  
$$C_V = \frac{i}{2} R,$$

при  $p = \text{const}$  
$$C_p = \frac{i+2}{2} R,$$

где  $i$  – число степеней свободы молекулы.

Первое начало термодинамики:

$$dQ = dU + dA,$$

$$dU = \nu C_V dT,$$

$$dA = p dV.$$

Работа расширения газа в процессе:

изобарном 
$$A = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1);$$

изотермическом 
$$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2};$$

адиабатном

$$A = \nu C_V (T_1 - T_2) = \frac{\nu R T_1}{(\gamma - 1)} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right],$$

где

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i},$$

где  $\gamma$  – коэффициент Пуассона.

Уравнение Пуассона (уравнение адиабатного процесса)

$$\begin{aligned} pV^\gamma &= \text{const}, \\ TV^{\gamma-1} &= \text{const}, \\ T^\gamma p^{1-\gamma} &= \text{const}. \end{aligned}$$

Коэффициент полезного действия цикла Карно

$$\eta = \frac{Q - Q_0}{Q} = \frac{T - T_0}{T},$$

где  $Q$  и  $T$  – количество теплоты, полученное от нагревателя, и его температура,  $Q_0$  и  $T_0$  – количество теплоты, переданное холодильнику, и его температура.

Изменение энтропии при переходе термодинамической системы из состояния 1 в состояние 2

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Формула Больцмана

$$S = k \cdot \ln W,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $W$  – статистический вес или термодинамическая вероятность состояния системы.

## Тестовые задания

**7.1.** Двухатомная молекула имеет  $i_1$  поступательных и  $i_2$  вращательных степени свободы.  $i_1$  и  $i_2$  равны ...

- 1) 3; 3      2) 1; 1      3) 2; 2      4) 2; 3      5) 3; 2

**7.2.** Молекула  $\text{H}_2\text{O}$  имеет  $i_1$  поступательных и  $i_2$  вращательных степеней свободы.  $i_1$  и  $i_2$  равны соответственно ...

- 1) 3; 3      2) 1; 1      3) 2; 2      4) 2; 3      5) 3; 2

**7.3.** Молекула аммиака  $\text{NH}_3$  имеет  $i_1$  поступательных и  $i_2$  вращательных степеней свободы.  $i_1$  и  $i_2$  равны соответственно ...

- 1) 3; 3      2) 1; 1      3) 2; 2      4) 2; 3      5) 3; 2

**7.4.** Молекула углекислого газа  $\text{CO}_2$  (молекула линейная) имеет  $i_1$  поступательных и  $i_2$  вращательных степеней свободы.  $i_1$  и  $i_2$  равны соответственно ...

- 1) 3; 3      2) 1; 1      3) 2; 2      4) 2; 3      5) 3; 2

**7.5.** Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{п}} + n_{\text{вр}} + 2n_{\text{к}}$ , где  $n_{\text{п}}$ ,  $n_{\text{вр}}$  и  $n_{\text{к}}$  –

число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы. Для атомарного водорода число  $i$  равно ...

- 1) 6      2) 7      3) 5      4) 1      5) 3

**7.6.** Полная кинетическая энергия  $\varepsilon$  молекулы аммиака  $\text{NH}_3$  при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$  равна ... Дж.

- 1)  $1,48 \cdot 10^{-20}$       2)  $6,2 \cdot 10^{-21}$       3)  $2,07 \cdot 10^{-21}$       4)  $1,03 \cdot 10^{-20}$       5)  $1,24 \cdot 10^{-20}$

**7.7.** Полная кинетическая энергия  $\varepsilon$  молекулы углекислого газа  $\text{CO}_2$  при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$  равна ... Дж.

- 1)  $1,48 \cdot 10^{-20}$       2)  $6,2 \cdot 10^{-21}$       3)  $2,07 \cdot 10^{-21}$       4)  $1,03 \cdot 10^{-20}$       5)  $1,24 \cdot 10^{-20}$

**7.8.** Полная кинетическая энергия  $E$  поступательного движения  $v = 2$  молей идеального одноатомного газа при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$  равна ... Дж.

- 1) 189      2)  $2,07 \cdot 10^{-21}$       3) 7479      4)  $1,03 \cdot 10^{-20}$       5) 50

**7.9.** Полная кинетическая энергия  $E$  поступательного движения  $\nu = 3$  молей идеального двухатомного газа при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$  равна ... Дж.

- 1) 189      2)  $2,07 \cdot 10^{-21}$       3) 7479      4)  $1,03 \cdot 10^{-20}$       5) 18697

**7.10.** На сколько градусов  $\Delta T$  надо нагреть идеальный одноатомный газ, взятый в количестве  $\nu = 2$  моля, чтобы изменение его внутренней энергии составило  $\Delta U = 348,6$  Дж.

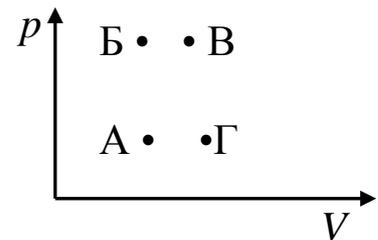
- 1) 6      2) 7      3) 14      4) 0,2      5) 30

**7.11.** При нагревании на  $\Delta T = 7$  К внутренняя энергия идеального одноатомного газа увеличилась на  $\Delta U = 348,6$  Дж. Число молей газа  $\nu$  равно ...

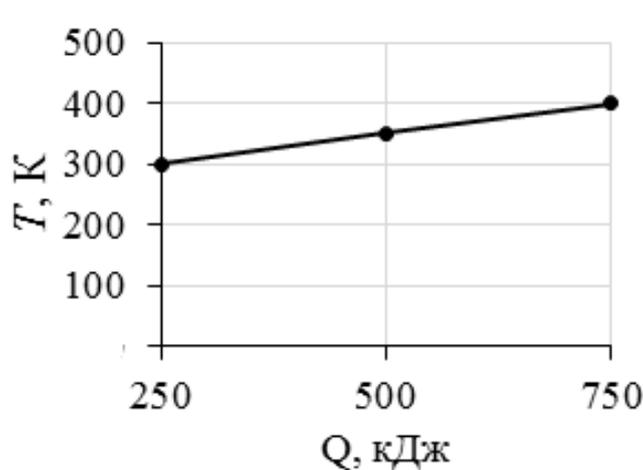
- 1) 6      2) 2      3) 4      4) 0,2      5) 30

**7.12.** Максимальную внутреннюю энергию  $U$  идеальный газ имеет в состоянии, соответствующем точке ... на  $p$ - $V$  диаграмме.

- 1) Б и Г      2) Б      3) В      4) Г      5) А



**7.13.** На рисунке приведен график зависимости температуры  $T$  твердого тела от полученного им количества теплоты  $Q$ , масса тела  $m = 2$  кг. Удельная теплоемкость  $c$  вещества этого тела равна ... Дж/(кг К).



1) 2,5

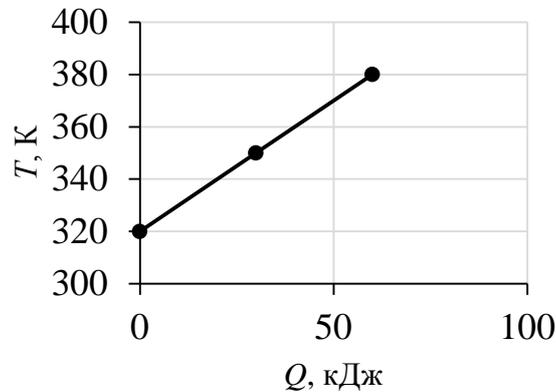
2) 625

3) 2500

4) 10000

5) 60

**7.14.** На рисунке изображен график зависимости температуры  $T$  тела от подводимого к нему количества теплоты. Тело, получив  $Q = 30$  кДж, нагрелось на  $\Delta T$  ... градусов.



1) 10

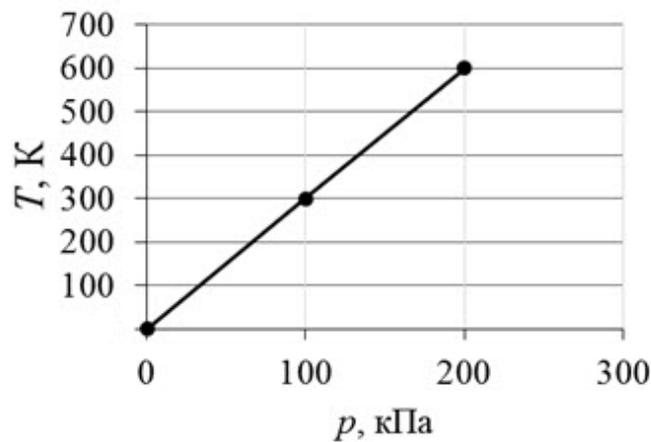
2) 20

3) 30

4) 40

5) 60

**7.15.** На графике показана зависимость температуры  $T$  от давления  $p$  идеального одноатомного газа. Внутренняя энергия увеличилась на  $\Delta U = 20$  кДж. Количество теплоты  $Q$ , полученное газом, равно ... кДж.



1) 10

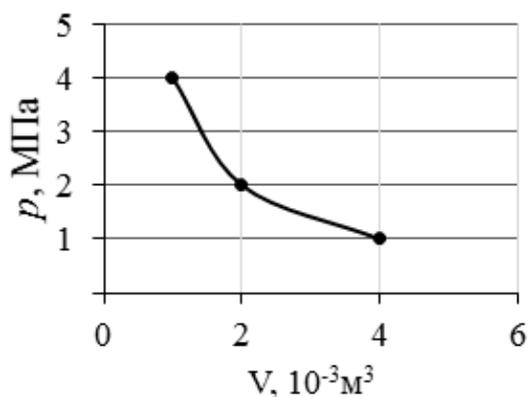
2) 20

3) 30

4) 40

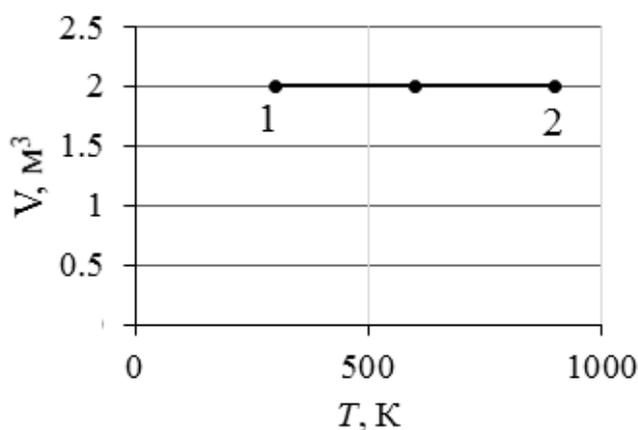
5) 60

**7.16.** На диаграмме показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Внешние силы совершили работу  $A = 5$  кДж. Количество теплоты  $Q$ , отданное газом в этом процессе, равно ... кДж.



- 1) 0                      2) 4                      3) 5                      4) 10                      5) 60

**7.17.** На диаграмме показан процесс изменения состояния постоянной массы  $m$  газа. В этом процессе газ получил количество теплоты, равное  $Q = 3$  кДж, в результате чего его внутренняя энергия  $\Delta U$  увеличилась на ... кДж.



- 1) 1,2                      2) 1,8                      3) 2,4                      4) 3,0                      5) 6,0

**7.18.** Внутренняя энергия одного моля идеального одноатомного газа определяется формулой ...

- 1)  $U = \frac{5}{2} mRT$     2)  $U = \frac{3}{2} mRT$     3)  $U = \frac{3}{2} RT$     4)  $U = \frac{5}{2} kT$     5)  $U = \frac{3}{2} kT$

**7.19.** Внутренняя энергия одного моля идеального двухатомного газа определяется формулой ...

- 1)  $U = \frac{5}{2} mRT$     2)  $U = \frac{3}{2} mRT$     3)  $U = \frac{3}{2} RT$     4)  $U = \frac{5}{2} RT$     5)  $U = \frac{3}{2} kT$

**7.20.** Внутренняя энергия одного моля идеального многоатомного газа определяется формулой ...

1)  $U = \frac{5}{2}mRT$    2)  $U = \frac{3}{2}mRT$    3)  $U = \frac{3}{2}RT$    4)  $U = \frac{5}{2}RT$    5)  $U = 3RT$

**7.21.** При изотермическом расширении идеального газа средняя кинетическая энергия его молекул ...

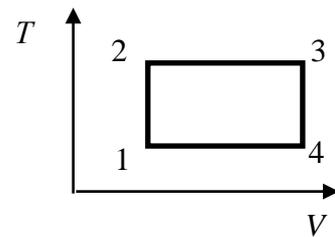
- 1) не изменяется                      2) увеличивается                      3) уменьшается

**7.22.** Идеальный газ, расширяясь, изменяет объем от  $V_1$  до  $V_2$  различными способами: 1) изотермически, 2) адиабатически, 3) изобарически. Совершаемые в этих процессах работы соотносятся между собой следующим образом ...

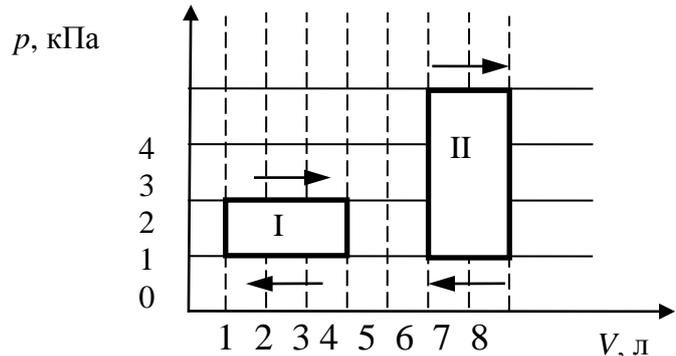
- 1)  $A_2 < A_1 < A_3$   
 2)  $A_1 < A_2 < A_3$   
 3)  $A_1 < A_2 > A_3$   
 4)  $A_1 > A_2, A_3 = 0$   
 5)  $A_1 > A_3, A_2 = 0$

**7.23.** С газом проводят циклический процесс, изображенный на рисунке. Наибольшее по модулю числовое значение работа  $A$  газа имеет на участке ...

- 1) 1-2                      2) 2-3                      3) 3-4                      4) 4-1  
 5) нельзя дать однозначный ответ



**7.24.** На  $p$ - $V$  диаграмме изображены два циклических процесса. Отношение работ  $A_I/A_{II}$ , совершенных в этих циклах, равно ...



- 1) 2/3                      2) -1/2                      3) 2                      4) -2                      5) 1/2

**7.25.** Водород массой  $m = 4$  г был нагрет на  $\Delta T = 10$  К при постоянном давлении  $p$ . Работа  $A$  расширения газа равна ... Дж.

- 1) 80                      2) 48                      3) 60                      4) 32                      5) 166

**7.26.** При изобарном расширении неону передано  $Q = 80$  Дж теплоты. Изменение внутренней энергии  $\Delta U$  равно ... Дж.

- 1) 80                      2) 48                      3) 60                      4) 32                      5) 38

**7.27.** Изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа произошло только за счет работы  $A$  сжатия газа в процессе ...

- 1) при любом процессе                      2) изотермическом                      3) изохорном  
4) адиабатном                      5) изобарическом

**7.28.** Идеальному газу передано количество теплоты  $Q = 5$  Дж и внешние силы совершили над ним работу  $A = 8$  Дж. Внутренняя энергия  $\Delta U$  газа при этом ...

- 1) нужна информация о числе степеней свободы молекулы  
2) увеличилась на 3 Дж  
3) увеличилась на 13 Дж  
4) уменьшилась на 3 Дж  
5) уменьшилась на 13 Дж

**7.29.** Идеальному газу передано количество теплоты  $Q = 15$  Дж, при этом газ совершил работу  $A = 8$  Дж. Внутренняя энергия газа при этом ...

- 1) нужна информация о числе степеней свободы молекулы  
2) увеличилась на 7 Дж  
3) увеличилась на 23 Дж  
4) уменьшилась на 7 Дж  
5) уменьшилась на 23 Дж

**7.30.** В изобарном процессе одноатомному идеальному газу передано  $Q = 100$  Дж теплоты. Газ совершил работу  $A$ , равную ... Дж.

- 1) 20                      2) 40                      3) 60                      4) 80                      5) 92

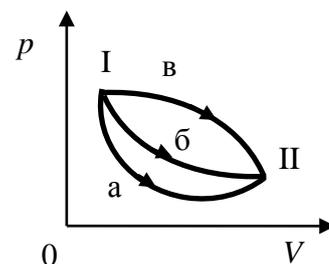
**7.31.** В изобарном процессе одноатомному идеальному газу передано  $Q = 100$  Дж теплоты. Изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа равно ... Дж.

- 1) 20                      2) 40                      3) 60                      4) 80                      5) 92

**7.32.** Идеальному газу сообщили количество теплоты  $dQ$  и над ним совершена работа  $dA'$ . Работа  $dA$ , совершенная самим газом, и приращение его внутренней энергии  $dU$  равны ...

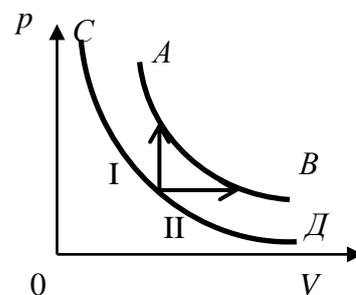
- 1)  $dA = 0, dU = dQ + dA'$
- 2)  $dA = 0, dU = dQ - dA$
- 3)  $dA = -dA', dU = dQ + dA'$
- 4)  $dA = -dA', dU = dQ - dA'$
- 5)  $dA = 0, dU = dQ$

**7.33.** На  $p$ - $V$  диаграмме представлены три пути (а, б, в) перехода газа из состояния I в состояние II. Правильное соотношение количества теплоты  $Q$ , полученного газом при переходе, следующее ...



- 1)  $Q_a < Q_b = Q_v$
- 2)  $Q_a > Q_b > Q_v$
- 3)  $Q_a = Q_b = Q_v$
- 4)  $Q_a = Q_b < Q_v$
- 5)  $Q_v > Q_b > Q_a$

**7.34.** На рисунке изображены изотермы  $AB$  и  $CD$ . Соотношение количества теплоты  $Q$ , поглощаемое газом в процессах I и II и приращение внутренней энергии  $\Delta U$  следующее ...



- 1)  $Q_1 > Q_2, \Delta U_1 = \Delta U_2$
- 2)  $Q_1 = Q_2, \Delta U_1 < \Delta U_2$
- 3)  $Q_1 < Q_2, \Delta U_1 = \Delta U_2$
- 4)  $Q_1 = Q_2, \Delta U_1 = \Delta U_2$
- 5)  $Q_1 < Q_2, \Delta U_1 > \Delta U_2$

**7.35.** Идеальному двухатомному газу передано количество теплоты  $Q$  в изобарном процессе. Из этого количества теплоты на увеличение внутренней энергии  $\Delta U$  и на работу расширения  $A$  газа расходуется соответственно ...

- 1) 60%; 40%

- 2) 50%; 50%
- 3) 78%; 22%
- 4) 75%; 25%
- 5) 71%; 29%

**7.36.** Многоатомному идеальному газу в результате изобарического процесса подведено количество теплоты  $Q$ . На работу, совершаемую при расширении газа, расходуется часть теплоты  $\frac{A}{Q}$ , равная ...

- 1) 0,25
- 2) 0,4
- 3) 0,5
- 4) 0,6
- 5) 0,7

**7.37.** Удельная теплоемкость алюминия  $c = 910$  Дж/(кг·К). Это значит, что при остывании ...

- 1) 910 кг алюминия на 1 К выделяется количество теплоты 1 Дж
- 2) любой массы алюминия на 1 К выделяется количество теплоты 1 Дж
- 3) 1 кг алюминия выделяется количество теплоты 1 Дж
- 4) кг алюминия на 1 К выделяется количество теплоты 1 Дж
- 5) 1кг алюминия на 910 К выделяется количество теплоты 1 Дж

**7.38.** Жидкости массой  $m$  сообщили количество теплоты  $Q$ . При этом ее температура повысилась на  $\Delta T$ . Удельную теплоемкость  $c$  вещества можно рассчитать по формуле ...

- 1)  $\frac{Q}{\Delta T}$
- 2)  $\frac{Q}{m\Delta T}$
- 3)  $\frac{Q}{m}$
- 4)  $\frac{mQ}{\Delta T}$
- 5)  $m\Delta TQ$

**7.39.** Удельная теплоемкость  $c_V$  гелия при постоянном объеме равна ... кДж/(кг·К).

- 1) 1,57
- 2) 3,12
- 3) 12,57
- 4) 20,81
- 5) 62,34

**7.40.** Удельная теплоемкость  $c_V$  водорода при постоянном объеме равна ... кДж/(кг·К).

- 1) 1,5
- 2) 3,1
- 3) 10,4
- 4) 20,8
- 5) 62,3

**7.41.** Удельная теплоемкость  $c_V$  углекислого газа при постоянном объеме равна ... Дж/(кг·К).

- 1) 157
- 2) 567
- 3) 12,57
- 4) 2081
- 5) 62,3

**7.42.** Удельная теплоемкость  $c_v$  водяного пара при постоянном объеме равна ... кДж/(кг·К).

- 1) 1,38            2) 3,12            3) 12,57            4) 20,81            5) 62,34

**7.43.** Удельная теплоемкость  $c_p$  гелия при постоянном давлении равна ... Дж/(кг·К).

- 1) 5,19            2) 1,78            3) 12,50            4) 20,84            5) 62,34

**7.44.** Удельная теплоемкость  $c_p$  водорода при постоянном давлении равна ... кДж/(кг·К).

- 1) 1,5            2) 3,1            3) 10,4            4) 14,6            5) 62,3

**7.45.** Удельная теплоемкость  $c_p$  углекислого газа при постоянном давлении равна ... Дж/(кг·К).

- 1) 157            2) 567            3) 12,57            4) 756            5) 62,3

**7.46.** Удельная теплоемкость  $c_p$  водяного пара при постоянном давлении равна ... кДж/(кг·К).

- 1) 0,58            2) 1,85            3) 2,5            4) 20,8            5) 6234

**7.47.** Молярная теплоемкость  $C_v$  водорода при постоянном объеме равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 1,5            2) 1,7            3) 12,5            4) 20,8            5) 6234

**7.48.** Молярная теплоемкость  $C_v$  углекислого газа при постоянном объеме равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 1,5            2) 1,7            3) 12,5            4) 20,8            5) 24,9

**7.49.** Молярная теплоемкость  $C_v$  водяного пара при постоянном объеме равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 1,5            2) 1,7            3) 24,9            4) 20,8            5) 6234

**7.50.** Молярная теплоемкость  $C_p$  гелия при постоянном давлении равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 1,5            2) 1,7            3) 24,9            4) 20,8            5) 6234

**7.51.** Молярная теплоемкость  $C_p$  водорода при постоянном давлении равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 29,1            2) 1,7            3) 12,5            4) 20,8            5) 62,34

**7.52.** Молярная теплоемкость  $C_p$  углекислого газа при постоянном давлении равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 33,2            2) 1,7            3) 12,5            4) 20,8            5) 29,1

**7.53.** Молярная теплоемкость  $C_p$  водяного пара при постоянном давлении равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 1,5            2) 1,7            3) 12,5            4) 20,8            5) 33,2

**7.54.** Молярная теплоемкость гелия ( $M = 0,004$  кг/моль)  $C_V$  при постоянном объеме равна ... Дж/(моль·К).

- 1) 1,5            2) 1,7            3) 12,5            4) 20,8            5) 6234

**7.55.** Разность удельных теплоемкостей  $c_p - c_V$  газа с молярной массой  $M$ , имеющего  $i$  степеней свободы, равна ...

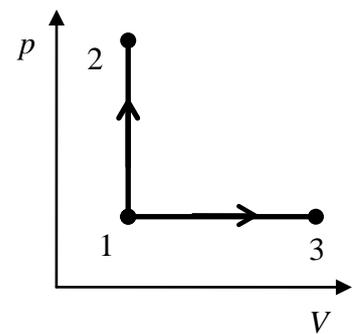
- 1)  $\frac{R}{M}$             2)  $R$             3)  $\frac{i+2}{i}$             4)  $MR$             5)  $\frac{M}{R}$

**7.56.** Разность молярных теплоемкостей  $C_p - C_V$  газа с молярной массой  $M$ , имеющего  $i$  степеней свободы, равна ...

- 1)  $\frac{R}{M}$             2)  $R$             3)  $\frac{i+2}{i}$             4)  $MR$             5)  $\frac{M}{R}$

**7.57.** Молярные теплоемкости гелия (He) в процессах 1-2 и 1-3 равны  $C_1$  и  $C_2$  соответственно. Тогда  $\frac{C_2}{C_1}$  составляет ...

- 1)  $\frac{2}{5}$             2)  $\frac{7}{5}$             3)  $\frac{3}{5}$             4)  $\frac{5}{7}$             5)  $\frac{5}{3}$



**7.58.** Коэффициентом Пуассона  $\gamma$  (показателем адиабаты) называют величину, равную ...

- 1)  $\frac{C_p - R}{C_V}$             2)  $\frac{i+2}{i}$             3)  $\frac{C_V}{C_p}$             4)  $\frac{i}{i+2}$             5)  $\frac{C_p}{C_V}$

**7.59.** Расположите идеальные газы  $O_2$ ,  $NH_3$ ,  $Ne$  в порядке возрастания коэффициента Пуассона  $\gamma$ .

- 1)  $Ne$ ,  $O_2$ ,  $NH_3$                       2)  $O_2$ ,  $Ne$ ,  $NH_3$                       3)  $NH_3$ ,  $O_2$ ,  $Ne$   
 4)  $NH_3$ ,  $Ne$ ,  $O_2$                       5)  $O_2$ ,  $NH_3$ ,  $Ne$

**7.60.** Среди приведенных формул к изотермическому процессу имеют отношение ...

А)  $0 = \Delta U + A$                       Б)  $Q = A$                       В)  $A = \nu RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

Г)  $pV^\gamma = \text{const}$                       Д)  $A = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_1 - T_2)$                       Е)  $\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}$

- 1) Е                      2) А                      3) Б, В                      4) Б, В, Г                      5) А, Г, Д, Е

**7.61.** Среди приведенных формул к адиабатическому процессу имеют отношение ...

А)  $0 = \Delta U + A$                       Б)  $Q = A$                       В)  $A = \nu RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

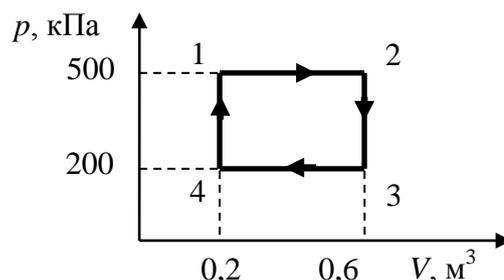
Г)  $pV^\gamma = \text{const}$  Д)  $A = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_1 - T_2)$                       Е)  $\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}$

- 1) Е                      2) А                      3) Б, В                      4) Б, В, Г                      5) А, Г, Д, Е

**7.62.** При адиабатном расширении внутренняя энергия  $U$  идеального газа ...

- 1) такого процесса не может быть
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается
- 4) остается неизменной
- 5) данных недостаточно

**7.63.** Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы  $A_1$  при нагревании газа к работе  $A_2$  при



охлаждении равно ...

- 1) 0,67                      2) 1,5                      3) 2,5                      4) 3                      5) 5

**7.64.** Идеальный газ, совершающий цикл Карно,  $2/3$  количества теплоты полученного от нагревателя, отдает холодильнику. Температура охладителя  $T_2 = 280$  К. Температура нагревателя  $T_1$ , равна ... К.

- 1) 100                      2) 420                      3) 380                      4) 300                      5) 200

**7.65.** Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя  $T_1$  в четыре раза выше температуры охладителя  $T_2$ . Доля тепла, получаемого от нагревателя, которое газ отдает холодильнику, равна ...

- 1) 0,5                      2) 0,20                      3) 0,25                      4) 0,30                      5) 0,35

**7.66.** В идеальной тепловой машине температура нагревателя  $T_1$  в три раза выше температуры холодильника  $T_2$ . Нагреватель передал газу  $Q = 42$  кДж теплоты. Газ совершил работу  $A$ , равную ... кДж.

- 1) 14                      2) 21                      3) 28                      4) 39                      5) 63

**7.67.** КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно, равен  $\eta_1 = 70\%$ . КПД машины уменьшится до  $\eta_2 = 40\%$ , если, не меняя температуру нагревателя  $T_1$ , температуру холодильника  $T_2$  ...

- 1) увеличить в 1,33 раза
- 2) увеличить в 1,75 раз
- 3) увеличить в 2 раза
- 4) уменьшить в 1,75 раз
- 5) уменьшить в 2 раза

**7.68.** Обратимый термодинамический процесс подчиняется следующему условию ...

- 1) процесс замкнутый и состоит из двух изотермических и двух адиабатических процессов
- 2) процесс может быть проведен в обратном направлении так, чтобы система вернулась в первоначальное состояние
- 3) процесс должен быть замкнутым

- 4) процесс может быть проведен в обратном направлении так, чтобы система вернулась в первоначальное состояние и в окружающей среде не было при этом никаких изменений
- 5) процесс протекает крайне медленно и в окружающей среде изменений не происходит

**7.69.** В процессе изотермического сообщения тепла постоянной массе  $m$  идеального газа его энтропия  $S$  ...

- 1) не меняется                      2) увеличивается                      3) уменьшается

**7.70.** В процессе изохорического охлаждения постоянной массы  $m$  идеального газа его энтропия  $S$  ...

- 1) не меняется                      2) увеличивается                      3) уменьшается

**7.71.** При изотермическом сжатии идеального газа энтропия  $S$  ...

- 1) сначала увеличивается, затем уменьшается
- 2) сначала уменьшается, затем увеличивается
- 3) не меняется
- 4) увеличивается
- 5) уменьшается

**7.72.** Энтропия  $S$  изолированной термодинамической системы в ходе необратимого процесса ...

- 1) может как возрастать, так и убывать
- 2) остается постоянной
- 3) только увеличивается
- 4) только убывает

**7.73.** Энтропия  $S$  неизолированной термодинамической системы ...

- 1) остается постоянной
- 2) только увеличивается
- 3) только убывает
- 4) может как возрастать, так и убывать

**7.74.** Если термодинамическую вероятность системы увеличить в  $e$  раз ( $e$  – основание натурального логарифма), то энтропия  $S$  системы ...

- 1) не изменится

- 2) увеличится на  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К
- 3) уменьшится на  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К
- 4) увеличится в  $e$  раз
- 5) уменьшится в  $e$  раз

**7.75.** Статистический вес состояния термодинамической системы при протекании обратимого адиабатического процесса ...

- 1) недостаточно данных
- 2) возрастает
- 3) убывает
- 4) не меняется

**7.76.** Некоторая термодинамическая система перешла из состояния 1 в состояние 2. Статистический вес  $W_2$  второго состояния меньше статистического веса  $W_1$  первого состояния в 2 раза. Изменение энтропии  $\Delta S$  системы равно  $\dots \cdot 10^{-24}$  Дж/К.

- 1) 6,9                      2) 9,6                      3) -9,6                      4) 7,2                      5) -7,2

**7.77.** Двум килограммам кислорода при температуре  $T = 300$  К обратимо сообщили  $Q = 300$  Дж теплоты. Изменение энтропии  $\Delta S$  газа равно ... Дж/К.

- 1) 0                      2) 5                      3) 1                      4) 2                      5) 2,5

**7.78.** Идеальный газ расширился адиабатически от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ . При этом его ...

- 1) давление уменьшилось, температура не изменилась, энтропия увеличилась
- 2) давление увеличилось, температура не изменилась, энтропия уменьшилась
- 3) давление увеличилось, температура уменьшилась, энтропия не изменилась
- 4) давление уменьшилось, температура увеличилась, энтропия уменьшилась
- 5) давление уменьшилось, температура уменьшилась, энтропия не изменилась

**7.79.** Идеальный газ нагрелся адиабатически от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$ . при этом его ...

- 1) давление уменьшилось, объем не изменился, энтропия увеличилась
- 2) давление увеличилось, объем не изменился, энтропия уменьшилась
- 3) давление увеличилось, объем уменьшился, энтропия не изменилась
- 4) давление уменьшилось, объем увеличился, энтропия уменьшилась
- 5) давление уменьшилось, объем уменьшился, энтропия не изменилась

**7.80.** При изотермическом расширении идеального газа ...

- 1) поглощается теплота, энтропия не изменяется
- 2) поглощается теплота, уменьшается энтропия
- 3) выделяется теплота, увеличивается энтропия
- 4) поглощается теплота, увеличивается энтропия
- 5) выделяется теплота, уменьшается энтропия

**7.81.** Идеальный газ расширился изотермически от объема  $V_1$  до  $V_2$ . При этом его давление и энтропия изменились соответственно ...

- 1) от  $p_1$  до  $p_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \frac{i+2}{2} \nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$
- 2) от  $p_1$  до  $p_1 \frac{V_1}{V_2}$ ,  $S = \text{const}$
- 3) от  $p_1$  до  $p_1 \frac{V_1}{V_2}$ ,  $\Delta S = \nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$
- 4)  $p = \text{const}$ ,  $\Delta S = p(V_2 - V_1)$
- 5) от  $p_1$  до  $p_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \frac{i}{2} \nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

**7.82.** Среди приведенных формул к изобарному процессу имеют отношение ...

- |   |  |  |
|---|--|--|
| А) $0 = \Delta U + A$                     | Б) $A = -\Delta U$   | В) $A = p(V_2 - V_1)$                  |
| Г) $A = \nu RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ | Д) $\Delta S = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ | Е) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$ |

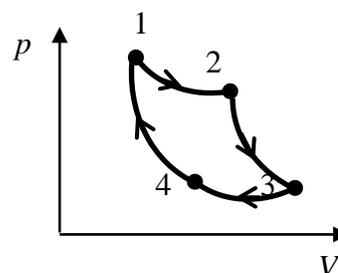
- |            |         |         |         |         |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| 1) В, Д, Е | 2) А, Е | 3) Б, В | 4) В, Д | 5) В, Е |
|------------|---------|---------|---------|---------|

**7.83.** Идеальный газ расширился изобарически от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ . При этом его температура и энтропия изменились соответственно ...

- 1) от  $T_1$  до  $T_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$
- 2)  $T = \text{const}$ ,  $\Delta S = p(V_2 - V_1)$
- 3) от  $T_1$  до  $T_1 \frac{V_1}{V_2}$ ,  $\Delta S = -\nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$
- 4) от  $T_1$  до  $T_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \frac{i+2}{2} \nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$
- 5)  $T = \text{const}$ ,  $\Delta S = -p(V_2 - V_1)$

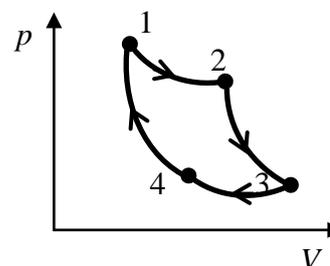
**7.84.** Идеальный газ совершает цикл, состоящий из двух изотерм и двух адиабат. Изменение энтропии за цикл равно ...

- 1) нельзя дать однозначного ответа
- 2)  $\Delta S = 0$     3)  $\Delta S > 0$     4)  $\Delta S < 0$     5)  $\Delta S \geq 0$



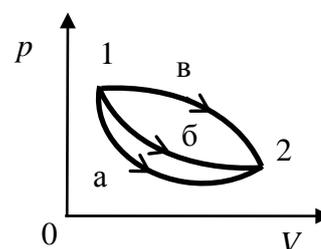
**7.85.** Идеальная машина работает по циклу Карно. Энтропия убывает на участке ...

- 1) нет такого участка
- 2) 1-2            3) 2-3            4) 3-4            5) 4-1



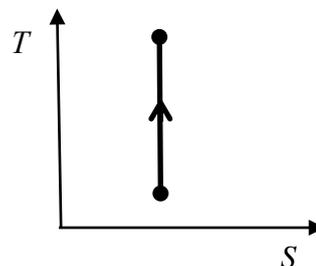
**7.86.** На  $p$ - $V$  диаграмме представлены три пути (а, б, в) перехода газа из состояния I в состояние II. Наибольшее изменение энтропии на пути ...

- 1) данных недостаточно
- 2) 1 а 2    3) 1 б 2    4) 1 в 2    5)  $\Delta S_a = \Delta S_b = \Delta S_v$



**7.87.** Процесс, изображенный на рисунке в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия, является ...

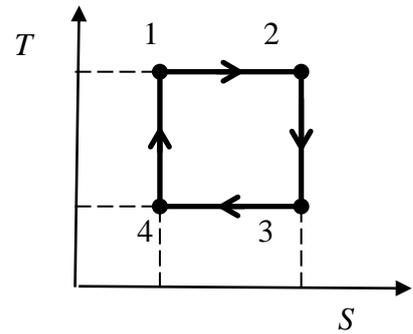
- 1) адиабатическим расширением
- 2) изотермическим расширением
- 3) адиабатическим сжатием



- 4) изохорным нагреванием
- 5) изотермическим сжатием

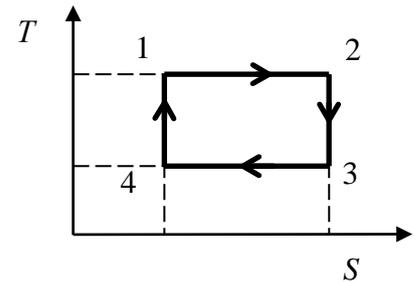
**7.88.** На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Изотермическое расширение происходит на участке ...

- 1) нельзя дать однозначного ответа
- 2) 1-2            3) 2-3            4) 3-4            5) 4-1



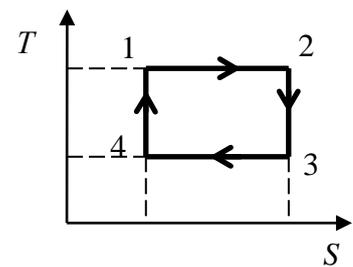
**7.89.** На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Адиабатическое расширение происходит на этапе ...

- 1) нет такого этапа
- 2) 4-1            3) 3-4            4) 1-2            5) 2-3



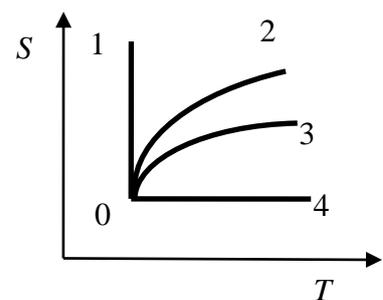
**7.90.** На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Тепло подводится к системе на участке ...

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



**7.91.** Из начального состояния газ переходит в другие состояния 1, 2, 3, 4 различными способами. Графики зависимости энтропии  $S$  от температуры  $T$  соответствует следующим процессам ...

- 1) 0-1 – изотермический, 0-2 – адиабатический, 0-3 – изобарный, 0-4 – изохорный
- 2) 0-1 – изотермический, 0-2 – изобарный, 0-3 – изохорный, 0-4 – адиабатический
- 3) 0-1 – изотермический, 0-2 – изохорный, 0-3 – изобарный, 0-4 – адиабатический
- 4) 0-1 – изохорный, 0-2 – изохорный, 0-3 – изобарный, 0-4 – изотермический



**7.92.** В результате смешивания  $m_1 = 5$  кг воды, находящейся при температуре  $t_1 = 80$  °С, и  $m_2 = 3$  кг воды, имеющей температуру  $t_2 = 40$  °С, образовалась вода с температурой  $t$ , равной ...°С.

- 1) 55                      2) 60                      3) 65                      4) 70                      5) 75

**7.93.** В сосуде содержится смесь газов: азота, кислорода и углекислого газа. Число фаз в этом сосуде ...

- 1) ни одной              2) шесть                  3) три                      4) две                      5) одна

**7.94.** В сосуде содержится вода и смесь четырех газов (азота, кислорода, неона, аргона). Число фаз в сосуде ...

- 1) одна                    2) пять                    3) четыре                  4) три                      5) две

**7.95.** В сосуде содержится вода, лед и водяной пар. Число фаз в сосуде ...

- 1) одна                    2) пять                    3) четыре                  4) три                      5) две

**7.96.** Если две фазы находятся в равновесии, то у них одинаковы ...

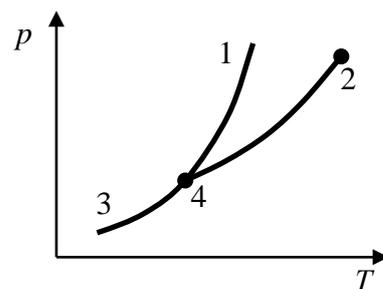
- 1) нет верного ответа
- 2) плотность
- 3) удельная энтропия
- 4) удельная теплоемкость
- 5) температура

**7.97.** Фазовые переходы первого рода характеризуются ...

- 1) изменением плотности
- 2) поглощением или выделением теплоты
- 3) изменением энтропии
- 4) изменением температуры
- 5) изменением объема

**7.98.** На рисунке приведена диаграмма состояния. Фазовому равновесию твердое тело-жидкость соответствует ...

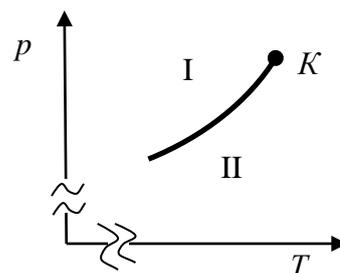
- 1) среди ответов нет верного
- 2) кривая 1
- 3) кривая 3
- 4) кривая 2



5) точка 4

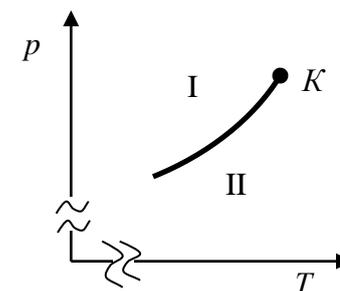
**7.99.** На рисунке  $K$  – критическая точка. Фаза II является ...

- 1) среди ответов нет верного
- 2) твердой
- 3) жидкой
- 4) газообразной
- 5) плазмой



**7.100.** На рисунке  $K$  – критическая точка. Фаза I является ...

- 1) среди ответов нет верного
- 2) твердой
- 3) жидкой
- 4) газообразной
- 5) плазмой



## Задачи

**7.101.** Газовая смесь состоит из азота массой  $m_1 = 2$  кг и аргона массой  $m_2 = 1$  кг. Принимая газы за идеальные, определите удельную теплоемкость  $c_v$  газовой смеси. Молярные массы газов равны соответственно  $M_1 = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль и  $M_2 = 40 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. [ $c_v = 598$  Дж/(кг·К)]

**7.102.** Вычислите удельную теплоемкость  $c_v$  смеси неона и водорода. Массовые доли газов соответственно равны  $\omega_1 = 0,8$  и  $\omega_2 = 0,2$ . Молярные массы газов равны соответственно  $M_1 = 20 \cdot 10^{-3}$  кг/моль,  $M_2 = 2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. [ $c_v = 2,58$  кДж/(кг·К)]

**7.103.** Определите удельную теплоемкость  $c_p$  смеси кислорода и гелия, если количество вещества кислорода  $\nu_1 = 2$  моля, а количество вещества гелия  $\nu_2 = 4$  моля. [ $c_p = 1766$  Дж/(кг·К)]

**7.104.** Разность удельных теплоемкостей некоторого двухатомного газа равна  $c_p - c_v = 260$  Дж/(кг·К). Найти молярную массу  $M$  газа и его удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$ . [ $M = 0,032$  кг/моль;  $c_v = 650$  Дж/(кг·К);  $c_p = 910$  Дж/(кг·К)]

**7.105.** Каковы удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$  смеси газов, содержащей кислород массой  $m_1 = 10$  г и азот массой  $m_2 = 20$  г? [ $c_v = 715$  Дж/(кг·К);  $c_p = 1010$  Дж/(кг·К)]

**7.106.** Определить удельную теплоемкость  $c_v$  смеси газов, содержащей  $V_1 = 5$  л водорода и  $V_2 = 3$  л гелия. Газы находятся при одинаковых условиях. [ $c_v = 6410$  Дж/(кг·К)]

**7.107.** Чему равен коэффициент Пуассона  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из  $m_1 = 7$  г азота и  $m_2 = 20$  г гелия. Молярные массы газов равны соответственно  $M_1 = 0,028$  кг/моль и  $M_2 = 0,004$  кг/моль. [ $\gamma = 1,6$ ]

**7.108.** Вычислите коэффициент Пуассона  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из двух молей кислорода и трех молей углекислого газа.

Молярные массы газов соответственно равны  $M_1 = 0,032$  кг/моль и  $M_2 = 0,044$  кг/моль. [ $\gamma = 1,36$ ]

**7.109.** Чему равен коэффициент Пуассона  $\gamma$  для газовой смеси, содержащей  $m_1 = 4$  г водорода и  $m_2 = 10$  г гелия. Молярные массы газов равны соответственно  $M_1 = 0,004$  кг/моль и  $M_2 = 0,004$  кг/моль. [ $\gamma = 1,51$ ]

**7.110.** Смесь газов состоит из аргона ( $M_1 = 40 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) и азота ( $M_2 = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль), взятых при одинаковых условиях и в одинаковых объемах. Определите показатель адиабаты  $\gamma$  такой смеси. [ $\gamma = 1,50$ ]

**7.111.** Найти показатель адиабаты  $\gamma$  смеси газов, содержащей кислород ( $M_1 = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) и аргон ( $M_2 = 40 \cdot 10^{-3}$  кг/моль), если количество вещества того и другого газа в смеси одинаково. [ $\gamma = 1,42$ ]

**7.112.** Чему равны удельные теплоемкости  $c_V$  и  $c_p$  некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при температуре  $t = 27$  °С и давлении  $p = 10^5$  Па равна  $\rho = 1,4$  кг/м<sup>3</sup>? [ $c_V = 595$  Дж/(кг·К);  $c_p = 833$  Дж/(кг·К)]

**7.113.** Некоторый газ массой  $m = 5$  г расширяется изотермически от объема  $V_1$  до объема  $V_2 = 2 V_1$ . Работа расширения равна  $A = 1$  кДж. Определите среднюю квадратичную скорость  $v_{\text{ср.кв}}$  молекул. [ $v_{\text{ср.кв.}} = 930$  м/с]

**7.114.** Водород массой  $m = 4$  г был нагрет на  $\Delta T = 10$  К при постоянном давлении. Определить работу  $A$  расширения газа. [ $A = 166$  Дж]

**7.115.** Какая работа  $A$  совершается при изотермическом расширении водорода массой  $m = 5$  г, взятого при температуре  $T = 290$  К, если объем газа увеличивается в три раза? [ $A = 6,62$  кДж]

**7.116.** Азот массой  $m = 2$  г, имевший температуру  $T_1 = 300$  К, был адиабатно сжат так, что его объем уменьшился в  $n = 10$  раз.

Определить конечную температуру  $T$  газа и работу  $A$  сжатия.  
[ $T_2 = 754$  К;  $A = 674$  Дж]

**7.117.** Кислород, занимающий объем  $V_1 = 1$  л под давлением  $p_1 = 1,2$  МПа, адиабатно расширился до объема  $V_2 = 10$  л. Определить работу  $A$  расширения газа. [ $A = 1,81$  кДж]

**7.118.** Некоторый газ массой  $m = 1$  кг находится при температуре  $T = 300$  К и под давлением  $p_1 = 0,5$  МПа. В результате изотермического сжатия давление газа увеличилось в 2 раза. Работа, затраченная на сжатие, равна  $A = -432$  кДж. Определите: 1) какой это газ; 2) первоначальный удельный объем газа. [гелий;  $\frac{V}{m} = 1,25$  м<sup>3</sup>/кг]

**7.119.** Для изобарического нагревания  $\nu = 5$  молей идеального газа от температуры  $T_1 = 273$  К до температуры  $T_2 = 373$  К потребовалось сообщить газу количество теплоты  $Q = 14,54$  кДж. Определите число степеней свободы  $i$  молекул газа. [ $i = 5$ ]

**7.120.** Водород ( $M = 2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) массой  $m = 10$  г нагрели на  $\Delta T = 200$  К, причем газу было передано количество теплоты  $Q = 40$  кДж. Найдите изменение  $\Delta U$  внутренней энергии газа и совершенную им работу  $A$ . [ $\Delta U = 20,8$  кДж;  $A = 19,2$  кДж]

**7.121.** В результате получения теплоты  $Q = 20$  Дж одним молем идеального двухатомного газа совершена работа  $A = 15$  Дж. На сколько изменилась при этом температура газа? [уменьшилась на  $\Delta T = 0,24$  К]

**7.122.** Азот массой  $m = 280$  г расширяется изобарно при давлении  $p = 1$  МПа. Определите работу расширения и конечный объем газа, если на расширение затрачена теплота  $Q = 5$  кДж, а начальная температура азота  $T_1 = 290$  К. [ $A = 1,43$  кДж;  $V_2 = 38,5$  л]

**7.123.** При изобарном нагревании некоторого идеального газа в количестве  $\nu = 2$  моль на  $\Delta T = 90$  К ему было сообщено количество теплоты  $Q = 5,25$  кДж. Определите работу  $A$ , совершенную газом,

изменение внутренней энергии  $\Delta U$  и коэффициент Пуассона  $\gamma$  газа.  
[ $A = 1,5$  кДж;  $\Delta U = 3,75$  кДж;  $\gamma = 1,4$ ]

**7.124.** Азот ( $M = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) массой  $m = 1$  кг занимает при температуре  $T_1 = 300$  К объем  $V_1 = 0,5$  м<sup>3</sup>. В результате адиабатического сжатия давление газа увеличилось в 3 раза. Определите: 1) конечный объем  $V_2$  газа; 2) его конечную температуру  $T_2$ ; 3) изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа. [ $V = 0,228$  м<sup>3</sup>;  $T_2 = 410$  К;  $\Delta U = 81,6$  кДж]

**7.125.** Определить количество теплоты, поглощаемое водородом массой  $m = 200$  г при нагревании его от температуры  $t_1 = 0$  °С до температуры  $t_2 = 100$  °С при постоянном давлении. Найти также изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа и совершаемую им работу  $A$ . [ $Q = 291$  кДж;  $\Delta U = 208$  кДж;  $A = 83$  кДж]

**7.126.** Кислород занимает объем  $V_1 = 1$  м<sup>3</sup> и находится под давлением  $p_1 = 200$  кПа. Газ нагрели сначала при постоянном давлении до объема  $V_2 = 3$  м<sup>3</sup>, а затем при постоянном объеме до давления  $p_2 = 500$  кПа. Построить график процесса и найти: 1) изменение внутренней энергии газа  $\Delta U$ ; 2) совершенную им работу  $A$ ; 3) количество теплоты  $Q$ , переданное газу. [ $\Delta U = 3,25$  МДж;  $A = 0,4$  МДж;  $Q = 3,65$  МДж]

**7.127.** При адиабатном сжатии кислорода массой  $m = 20$  г его внутренняя энергия увеличилась на  $\Delta U = 8$  кДж и температура повысилась до  $T_2 = 900$  К. Найдите, на сколько повысилась температура  $\Delta T$  и каково конечное давление  $p_2$  газа, если начальное давление  $p_1 = 200$  кПа. [ $\Delta T = 616$  К;  $p_2 = 11,3$  МПа]

**7.129.** Воздух, находившийся при температуре  $t = 13$  °С под давлением  $p_1 = 152$  кПа, был подвергнут адиабатическому сжатию, причем его объем уменьшился в 12 раз. Чему будет равно конечное давление  $p_2$  газа? [ $p_2 = 4928$  Па]

**7.130.** Два грамма гелия, расширяясь адиабатически, совершили работу  $A = 259,3$  Дж. Чему равно в этом процессе изменение температуры? [ $\Delta T = 41,6$  К]

**7.131.** На нагревание кислорода массой  $m = 160$  г на  $\Delta T = 12$  К было затрачено количество теплоты  $Q = 1,75$  кДж. Какой это был процесс? Докажите это. [изобарный]

**7.132.** Объем газа  $V$  при адиабатическом сжатии уменьшился в 10 раз, давление увеличилось в 21,4 раза. Чему равен коэффициент Пуассона  $\gamma$  газа? [ $\gamma = 1,33$ ]

**7.133.** В цилиндре под поршнем находится водород массой  $m = 20$  г при температуре  $T_1 = 300$  К. Водород начал расширяться адиабатно, увеличив свой объем в 5 раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в 5 раз. Найдите температуру  $T_2$  в конце адиабатного расширения и работу  $A$ , совершенную газом. [ $T_2 = 158$  К;  $A = 8,51$  кДж]

**7.134.** Азот, занимавший объем  $V_1 = 10$  л под давлением  $p_1 = 0,2$  МПа, изотермически расширился до объема  $V_2 = 28$  л. Определите работу  $A$  расширения газа, количество теплоты  $Q$ , полученное газом, и изменение энтропии одного моля газа. [ $A = Q = 2$  кДж;  $\Delta S = 8,56$  Дж/К]

**7.135.** Идеальному одноатомному газу было сообщено количество теплоты  $Q = 10$  кДж, при этом внешними силами над газом была совершена работа, равная  $A = 5,5$  кДж. За это время температура газа изменилась от  $T_1 = 273$  до  $T_2 = 573$  К. Чему равно количество молей  $\nu$  газа, участвовавшего в процессе? [ $\nu = 4,1$  моль]

**7.136.** Водород массой  $m = 100$  г был изобарно нагрет так, что его объем увеличился в 3 раза, затем этот водород был изохорно охлажден так, что его давление уменьшилось 3 раза. Найдите изменение энтропии  $\Delta S$  в ходе указанных процессов. [ $\Delta S_p = 1597$  Дж/К;  $\Delta S_V = -1141$  Дж/К]

**7.137.** Как изменится энтропия  $m = 2$  г водорода, занимающего объем  $V = 40$  л при температуре  $T_1 = 270$  К, если давление увеличить вдвое при постоянной температуре, а затем изохорно повысить температуру до  $T_2 = 320$  К? [ $\Delta S = -2,44$  Дж/К]

**7.138.** Гелий массой  $m = 1,7$  раза адиабатически расширили в  $n = 3$  раза и затем изобарно сжали его до первоначального объема. Найдите изменение энтропии  $\Delta S$  газа в этом процессе. [ $\Delta S = -9,70$  Дж/К]

**7.139.** Чему равно изменение энтропии  $\Delta S$  кислорода массой  $m = 8$  г при расширении от объема  $V_1 = 10$  л до объема  $V_2 = 40$  л, если начальная температура равна  $t_1 = 30$  °С, а конечная  $t_2 = 300$  °С? [ $\Delta S = 6,19$  Дж/К]

**7.140.** Найдите изменение энтропии  $\Delta S$  при превращении массы  $m = 10$  г льда при температуре  $t_{\text{л}} = -20$  °С в пар при температуре  $t_{\text{пар}} = 100$  °С. ( $c_{\text{л}} = 2100$  Дж/кг·К,  $\lambda = 335$  кДж/кг,  $c_{\text{в}} = 4200$  Дж/кг·К,  $r = 2,3$  МДж/кг) [ $\Delta S = 88,6$  Дж/К]

**7.141.** Смешали воду массой  $m_1 = 5$  кг при температуре  $T_1 = 280$  К с водой  $m_2 = 8$  кг при температуре  $T_2 = 350$  К. Найдите: 1) температуру  $T$  смеси; 2) изменение энтропии  $\Delta S$ , произошедшее при смешивании. Удельная теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/кг. [ $T = 323$  К;  $\Delta S = 304$  Дж/К]

**7.142.** В результате изохорного нагревания водорода массой  $m = 1$  г давление газа увеличилось в два раза. Определите изменение энтропии  $\Delta S$  газа. [ $\Delta S = 7,2$  Дж/К]

**7.143.** Найти изменение энтропии  $\Delta S$  при изобарном расширении азота массой  $m = 1$  г от объема  $V_1 = 5$  л до объема  $V_2 = 9$  л. [ $\Delta S = 2,43$  Дж/К]

**7.144.** Кусок льда массой  $m = 200$  г, взятый при температуре  $t_1 = -10$  °С, был нагрет до температуры  $t_2 = 0$  °С и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры  $t_3 = 10$  °С. Определите изменение энтропии  $\Delta S$  в ходе указанных процессов. [ $\Delta S = 291$  Дж/К]

**7.145.** Кислород массой  $m = 2$  кг увеличил свой объем в 5 раз изотермически, другой раз адиабатически. Найти изменение

энтропии  $\Delta S$  в каждом из указанных процессов. [ $\Delta S_1 = 836$  Дж/К;  $\Delta S_2 = 0$  Дж/К]

**7.146.** Лед массой  $m_1 = 2$  кг при температуре  $t_1 = 0$  °С был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру  $t_2 = 100$  °С. Определите массу  $m_2$  израсходованного пара. Каково изменение  $\Delta S$  энтропии системы лед-пар? ( $\lambda = 355$  кДж/кг,  $r = 2,3$  МДж/кг,  $c = 4200$  Дж/(кг·К)). [ $m_2 = 0,246$  кг;  $\Delta S = 615$  Дж/К]

**7.147.** Найти изменение  $\Delta S$  энтропии при нагревании воды массой  $m = 100$  г от температуры  $t_1 = 0$  °С до температуры  $t_2 = 100$  °С и последующем превращении воды в пар той же температуры. [ $\Delta S = 737$  Дж/К]

**7.148.** Кусочек меди массы  $m_1 = 300$  г, имеющий температуру  $t_1 = 97$  °С, поместили в калориметр, в котором находится  $m_2 = 100$  г воды при  $t_2 = 7$  °С. Найдите изменение энтропии системы за время выравнивания температуры. Теплоемкостью калориметра можно пренебречь. ( $c_1 = 390$  Дж/(кг·К);  $c_2 = 4200$  Дж/(кг·К)). [ $\Delta S = 3,74$  Дж/К]

**7.149.** Кислород совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление в 2 раза больше наименьшего, а наибольший объем в 4 раза больше наименьшего. Определите термический КПД цикла  $\eta$ . [ $\eta = 18,5$  %]

**7.150.** Многоатомный идеальный газ совершает цикл Карно, при этом в процессе адиабатического расширения объем газа увеличивается в 4 раза. Определите термический КПД цикла  $\eta$ . [ $\eta = 42,6$  %]

# ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ<sup>1</sup>

## Раздел I. МЕХАНИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.

### 1. КИНЕМАТИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

#### Тестовые задания

<b>1</b>	1.1, 1.21, 1.41, 1.61, 1.81	<b>10</b>	1.10, 1.30, 1.50, 1.70, 1.90	<b>19</b>	1.19, 1.39, 1.59, 1.79, 1.99	<b>28</b>	1.8, 1.29, 1.50, 1.71, 1.92
<b>2</b>	1.2, 1.22, 1.42, 1.62, 1.82	<b>11</b>	1.11, 1.31, 1.51, 1.71, 1.91	<b>20</b>	1.20, 1.40, 1.60, 1.80, 1.100	<b>29</b>	1.9, 1.30, 1.51, 1.72, 1.93
<b>3</b>	1.3, 1.23, 1.43, 1.63, 1.83	<b>12</b>	1.12, 1.32, 1.52, 1.72, 1.92	<b>21</b>	1.1, 1.22, 1.43, 1.64, 1.85	<b>30</b>	1.10, 1.31, 1.52, 1.73, 1.94
<b>4</b>	1.4, 1.24, 1.44, 1.64, 1.84	<b>13</b>	1.13, 1.33, 1.53, 1.73, 1.93	<b>22</b>	1.2, 1.23, 1.44, 1.65, 1.86	<b>31</b>	1.11, 1.32, 1.53, 1.74, 1.95
<b>5</b>	1.5, 1.25, 1.45, 1.65, 1.85	<b>14</b>	1.14, 1.34, 1.54, 1.74, 1.94	<b>23</b>	1.3, 1.24, 1.45, 1.66, 1.87	<b>32</b>	1.12, 1.33, 1.54, 1.75, 1.96
<b>6</b>	1.6, 1.26, 1.46, 1.66, 1.86	<b>15</b>	1.15, 1.35, 1.55, 1.75, 1.95	<b>24</b>	1.4, 1.25, 1.46, 1.67, 1.88	<b>33</b>	1.13, 1.34, 1.55, 1.76, 1.97
<b>7</b>	1.7, 1.27, 1.47, 1.67, 1.87	<b>16</b>	1.16, 1.36, 1.56, 1.76, 1.96	<b>25</b>	1.5, 1.26, 1.47, 1.68, 1.89	<b>34</b>	1.14, 1.35, 1.56, 1.77, 1.98
<b>8</b>	1.8, 1.28, 1.48, 1.68, 1.88	<b>17</b>	1.17, 1.37, 1.57, 1.77, 1.97	<b>26</b>	1.6, 1.27, 1.48, 1.69, 1.90	<b>35</b>	1.15, 1.36, 1.57, 1.78, 1.99
<b>9</b>	1.9, 1.29, 1.49, 1.69, 1.89	<b>18</b>	1.18, 1.38, 1.58, 1.78, 1.98	<b>27</b>	1.7, 1.28, 1.49, 1.70, 1.91	<b>36</b>	1.16, 1.37, 1.58, 1.79, 1.100

#### Задачи

<b>1</b>	1.101, 1.111, 1.141	<b>10</b>	1.120, 1.130, 1.140	<b>19</b>	1.119, 1.134, 1.149	<b>28</b>	1.108, 1.124, 1.150
<b>2</b>	1.102, 1.112, 1.142	<b>11</b>	1.121, 1.131, 1.101	<b>20</b>	1.120, 1.135, 1.150	<b>29</b>	1.109, 1.125, 1.141
<b>3</b>	1.103, 1.113, 1.143	<b>12</b>	1.122, 1.132, 1.102	<b>21</b>	1.101, 1.117, 1.133	<b>30</b>	1.110, 1.126, 1.142
<b>4</b>	1.104, 1.114, 1.144	<b>13</b>	1.123, 1.133, 1.103	<b>22</b>	1.102, 1.118, 1.134	<b>31</b>	1.111, 1.127, 1.143
<b>5</b>	1.105, 1.115, 1.145	<b>14</b>	1.124, 1.134, 1.104	<b>23</b>	1.103, 1.119, 1.135	<b>32</b>	1.112, 1.128, 1.144
<b>6</b>	1.106, 1.116, 1.146	<b>15</b>	1.125, 1.135, 1.105	<b>24</b>	1.104, 1.120, 1.136	<b>33</b>	1.113, 1.129, 1.145
<b>7</b>	1.107, 1.117, 1.147	<b>16</b>	1.126, 1.136, 1.106	<b>25</b>	1.105, 1.121, 1.137	<b>34</b>	1.114, 1.130, 1.146

<sup>1</sup>Требования по оформлению КСР приведены на с. 6.

	1.147		1.106		1.137		1.146
<b>8</b>	1.108, 1.148	1.118, <b>17</b>	1.127, 1.107	1.137, <b>26</b>	1.106, 1.138	1.122, <b>35</b>	1.115, 1.147
<b>9</b>	1.109, 1.149	1.119, <b>18</b>	1.128, 1.108	1.138, <b>27</b>	1.107, 1.139	1.123, <b>36</b>	1.116, 1.132, 1.148

## 2. ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

### Тестовые задания

<b>1</b>	2.1, 2.21, 2.41, 2.61, 2.81	<b>10</b>	2.10, 2.30, 2.50, 2.70, 2.90	<b>19</b>	2.19, 2.39, 2.59, 2.79, 2.99	<b>28</b>	2.8, 2.29, 2.50, 2.71, 2.92
<b>2</b>	2.2, 2.22, 2.42, 2.62, 2.82	<b>11</b>	2.11, 2.31, 2.51, 2.71, 2.91	<b>20</b>	2.20, 2.40, 2.60, 2.80, 2.100	<b>29</b>	2.9, 2.30, 2.51, 2.72, 2.93
<b>3</b>	2.3, 2.23, 2.43, 2.63, 2.83	<b>12</b>	2.12, 2.32, 2.52, 2.72, 2.92	<b>21</b>	2.1, 2.22, 2.43, 2.64, 2.85	<b>30</b>	2.10, 2.31, 2.52, 2.73, 2.94
<b>4</b>	2.4, 2.24, 2.44, 2.64, 2.84	<b>13</b>	2.13, 2.33, 2.53, 2.73, 2.93	<b>22</b>	2.2, 2.23, 2.44, 2.65, 2.86	<b>31</b>	2.11, 2.32, 2.53, 2.74, 2.95
<b>5</b>	2.5, 2.25, 2.45, 2.65, 2.85	<b>14</b>	2.14, 2.34, 2.54, 2.74, 2.94	<b>23</b>	2.3, 2.24, 2.45, 2.66, 2.87	<b>32</b>	2.12, 2.33, 2.54, 2.75, 2.96
<b>6</b>	2.6, 2.26, 2.46, 2.66, 2.86	<b>15</b>	2.15, 2.35, 2.55, 2.75, 2.95	<b>24</b>	2.4, 2.25, 2.46, 2.67, 2.88	<b>33</b>	2.13, 2.34, 2.55, 2.76, 2.97
<b>7</b>	2.7, 2.27, 2.47, 2.67, 2.87	<b>16</b>	2.16, 2.36, 2.56, 2.76, 2.96	<b>25</b>	2.5, 2.26, 2.47, 2.68, 2.89	<b>34</b>	2.14, 2.35, 2.56, 2.77, 2.98
<b>8</b>	2.8, 2.28, 2.48, 2.68, 2.88	<b>17</b>	2.17, 2.37, 2.57, 2.77, 2.97	<b>26</b>	2.6, 2.27, 2.48, 2.69, 2.90	<b>35</b>	2.15, 2.36, 2.57, 2.78, 2.99
<b>9</b>	2.9, 2.29, 2.49, 2.69, 2.89	<b>18</b>	2.18, 2.38, 2.58, 2.78, 2.98	<b>27</b>	2.7, 2.28, 2.49, 2.70, 2.91	<b>36</b>	2.16, 2.37, 2.58, 2.79, 2.100

### Задачи

<b>1</b>	2.101, 2.131	2.116, <b>10</b>	2.110, 2.140	2.125, <b>19</b>	2.119, 2.149	2.134, <b>28</b>	2.108, 2.140
<b>2</b>	2.102, 2.132	2.117, <b>11</b>	2.111, 2.141	2.126, <b>20</b>	2.120, 2.150	2.135, <b>29</b>	2.109, 2.241
<b>3</b>	2.103, 2.133	2.118, <b>12</b>	2.112, 2.142	2.127, <b>21</b>	2.101, 2.133	2.117, <b>30</b>	2.110, 2.242
<b>4</b>	2.104, 2.134	2.119, <b>13</b>	2.113, 2.143	2.128, <b>22</b>	2.102, 2.134	2.118, <b>31</b>	2.111, 2.143
<b>5</b>	2.105, 2.135	2.120, <b>14</b>	2.114, 2.144	2.129, <b>23</b>	2.103, 2.135	2.119, <b>32</b>	2.112, 2.144
<b>6</b>	2.106, 2.136	2.121, <b>15</b>	2.115, 2.145	2.130, <b>24</b>	2.104, 2.136	2.120, <b>33</b>	2.113, 2.145

<b>7</b>	2.107, 2.137	2.122,	<b>16</b>	2.116, 2.146	2.131,	<b>25</b>	2.105, 2.137	2.121,	<b>34</b>	2.114, 2.146	2.130,
<b>8</b>	2.108, 2.138	2.123,	<b>17</b>	2.117, 2.147	2.132,	<b>26</b>	2.106, 2.138	2.122,	<b>35</b>	2.115, 2.147	2.131,
<b>9</b>	2.109, 2.139	2.124,	<b>18</b>	2.118, 2.148	2.133,	<b>27</b>	2.107, 2.139	2.123,	<b>36</b>	2.116, 2.132, 2.148	

### 3. ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

#### Тестовые задания

<b>1</b>	3.1, 3.61, 3.81	3.21, 3.41,	<b>10</b>	3.10, 3.30, 3.50, 3.70, 3.90		<b>19</b>	3.19, 3.39, 3.59, 3.79, 3.99		<b>28</b>	3.8, 3.29, 3.50, 3.71, 3.92
<b>2</b>	3.2, 3.22, 3.42, 3.62, 3.82		<b>11</b>	3.11, 3.31, 3.51, 3.71, 3.91		<b>20</b>	3.20, 3.40, 3.60, 3.80, 3.100		<b>29</b>	3.9, 3.30, 3.51, 3.72, 3.93
<b>3</b>	3.3, 3.23, 3.43, 3.63, 3.83		<b>12</b>	3.12, 3.32, 3.52, 3.72, 3.92		<b>21</b>	3.1, 3.22, 3.43, 3.64, 3.85		<b>30</b>	3.10, 3.31, 3.52, 3.73, 3.94
<b>4</b>	3.4, 3.24, 3.44, 3.64, 3.84		<b>13</b>	3.13, 3.33, 3.53, 3.73, 3.93		<b>22</b>	3.2, 3.23, 3.44, 3.65, 3.86		<b>31</b>	3.11, 3.32, 3.53, 3.74, 3.95
<b>5</b>	3.5, 3.25, 3.45, 3.65, 3.85		<b>14</b>	3.14, 3.34, 3.54, 3.74, 3.94		<b>23</b>	3.3, 3.24, 3.45, 3.66, 3.87		<b>32</b>	3.12, 3.33, 3.54, 3.75, 3.96
<b>6</b>	3.6, 3.26, 3.46, 3.66, 3.86		<b>15</b>	3.15, 3.35, 3.55, 3.75, 3.95		<b>24</b>	3.4, 3.25, 3.46, 3.67, 3.88		<b>33</b>	3.13, 3.34, 3.55, 3.76, 3.97
<b>7</b>	3.7, 3.27, 3.47, 3.67, 3.87		<b>16</b>	3.16, 3.36, 3.56, 3.76, 3.96		<b>25</b>	3.5, 3.26, 3.47, 3.68, 3.89		<b>34</b>	3.14, 3.35, 3.56, 3.77, 3.98
<b>8</b>	3.8, 3.28, 3.48, 3.68, 3.88		<b>17</b>	3.17, 3.37, 3.57, 3.77, 3.97		<b>26</b>	3.6, 3.27, 3.48, 3.69, 3.90		<b>35</b>	3.15, 3.36, 3.57, 3.78, 3.99
<b>9</b>	3.9, 3.29, 3.49, 3.69, 3.89		<b>18</b>	3.18, 3.38, 3.58, 3.78, 3.98		<b>27</b>	3.7, 3.28, 3.49, 3.70, 3.91		<b>36</b>	3.16, 3.37, 3.58, 3.79, 3.100

#### Задачи

<b>1</b>	3.101, 3.131	3.116,	<b>10</b>	3.110, 3.140	3.125,	<b>19</b>	3.119, 3.149	3.134,	<b>28</b>	3.108, 3.140	3.124,
<b>2</b>	3.102, 3.132	3.117,	<b>11</b>	3.111, 3.141	3.126,	<b>20</b>	3.120, 3.150	3.135,	<b>29</b>	3.109, 3.241	3.125,
<b>3</b>	3.103, 3.133	3.118,	<b>12</b>	3.112, 3.142	3.127,	<b>21</b>	3.101, 3.133	3.117,	<b>30</b>	3.110, 3.242	3.126,
<b>4</b>	3.104, 3.134	3.119,	<b>13</b>	3.113, 3.143	3.128,	<b>22</b>	3.102, 3.134	3.118,	<b>31</b>	3.111, 3.143	3.127,
<b>5</b>	3.105, 3.135	3.120,	<b>14</b>	3.114, 3.144	3.129,	<b>23</b>	3.103, 3.135	3.119,	<b>32</b>	3.112, 3.144	3.128,
<b>6</b>	3.106, 3.136	3.121,	<b>15</b>	3.115, 3.145	3.130,	<b>24</b>	3.104, 3.136	3.120,	<b>33</b>	3.113, 3.145	3.129,

<b>7</b>	3.107, 3.137	3.122,	<b>16</b>	3.116, 3.146	3.131,	<b>25</b>	3.105, 3.137	3.121,	<b>34</b>	3.114, 3.146	3.130,
<b>8</b>	3.108, 3.138	3.123,	<b>17</b>	3.117, 3.147	3.132,	<b>26</b>	3.106, 3.138	3.122,	<b>35</b>	3.115, 3.147	3.131,
<b>9</b>	3.109, 3.139	3.124,	<b>18</b>	3.118, 3.148	3.133,	<b>27</b>	3.107, 3.139	3.123,	<b>36</b>	3.116, 3.132, 3.148	

#### 4. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА

##### Тестовые задания

<b>1</b>	4.1, 4.21, 4.41	<b>10</b>	4.10, 4.30, 4.50	<b>19</b>	4.19, 4.39, 4.46	<b>28</b>	4.8, 4.29, 4.50,
<b>2</b>	4.2, 4.22, 4.42	<b>11</b>	4.11, 4.31, 4.49	<b>20</b>	4.20, 4.40, 4.45	<b>29</b>	4.9, 4.30, 4.49
<b>3</b>	4.3, 4.23, 4.43	<b>12</b>	4.12, 4.32, 4.48	<b>21</b>	4.1, 4.22, 4.44	<b>30</b>	4.10, 4.31, 4.48
<b>4</b>	4.4, 4.24, 4.44	<b>13</b>	4.13, 4.33, 4.47	<b>22</b>	4.2, 4.23, 4.43	<b>31</b>	4.11, 4.42, 4.30
<b>5</b>	4.5, 4.25, 4.45	<b>14</b>	4.14, 4.34, 4.46	<b>23</b>	4.3, 4.24, 4.42	<b>32</b>	4.12, 4.33, 4.47
<b>6</b>	4.6, 4.26, 4.46	<b>15</b>	4.5, 4.15, 4.35	<b>24</b>	4.4, 4.25, 4.46	<b>33</b>	4.13, 4.34, 4.46
<b>7</b>	4.7, 4.27, 4.47	<b>16</b>	4.6, 4.16, 4.36	<b>25</b>	4.5, 4.26, 4.47	<b>34</b>	4.14, 4.35, 4.44
<b>8</b>	4.8, 4.28, 4.48	<b>17</b>	4.17, 4.37, 4.21	<b>26</b>	4.6, 4.27, 4.48,	<b>35</b>	4.15, 4.36, 4.43
<b>9</b>	4.9, 4.29, 4.49	<b>18</b>	4.18, 4.38, 4.22	<b>27</b>	4.7, 4.28, 4.49	<b>36</b>	4.16, 4.37, 4.1

##### Задачи

<b>1</b>	4.51, 4.61, 4.71	<b>10</b>	4.52, 4.60, 4.70	<b>19</b>	4.56, 4.66, 4.70	<b>28</b>	4.58, 4.64, 4.74
<b>2</b>	4.52, 4.62, 4.72	<b>11</b>	4.53, 4.61, 4.71	<b>20</b>	4.57, 4.67, 4.71	<b>29</b>	4.57, 4.67, 4.71
<b>3</b>	4.53, 4.63, 4.73	<b>12</b>	4.54, 4.62, 4.69	<b>21</b>	4.58, 4.68, 4.72	<b>30</b>	4.58, 4.68, 4.72
<b>4</b>	4.54, 4.64, 4.74	<b>13</b>	4.55, 4.63, 4.72	<b>22</b>	4.51, 4.59, 4.69	<b>31</b>	4.51, 4.61, 4.71
<b>5</b>	4.55, 4.65, 4.75	<b>14</b>	4.51, 4.61, 4.71	<b>23</b>	4.52, 4.60, 4.70	<b>32</b>	4.52, 4.62, 4.72
<b>6</b>	4.56, 4.66, 4.70	<b>15</b>	4.52, 4.62, 4.72	<b>24</b>	4.53, 4.61, 4.71	<b>33</b>	4.53, 4.63, 4.73
<b>7</b>	4.57, 4.67, 4.71	<b>16</b>	4.53, 4.63, 4.73	<b>25</b>	4.54, 4.62, 4.69	<b>34</b>	4.54, 4.64, 4.74
<b>8</b>	4.58, 4.68, 4.72	<b>17</b>	4.54, 4.64, 4.74	<b>26</b>	4.52, 4.62, 4.72	<b>35</b>	4.55, 4.65, 4.75
<b>9</b>	4.51, 4.59, 4.69	<b>18</b>	4.55, 4.65, 4.75	<b>27</b>	4.55, 4.63, 4.73	<b>36</b>	4.56, 4.66, 4.70

#### 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

##### Тестовые задания

<b>1</b>	5.1, 5.21, 5.41, 5.61, 5.81	<b>10</b>	5.10, 5.30, 5.50, 5.70, 5.90	<b>19</b>	5.19, 5.39, 5.59, 5.79, 5.99	<b>28</b>	5.8, 5.29, 5.50, 5.71, 5.92
<b>2</b>	5.2, 5.22, 5.42, 5.62, 5.82	<b>11</b>	5.11, 5.31, 5.51, 5.71, 5.91	<b>20</b>	5.20, 5.40, 5.60, 5.80, 5.100	<b>29</b>	5.9, 5.30, 5.51, 5.72, 5.93
<b>3</b>	5.3, 5.23, 5.43, 5.63, 5.83	<b>12</b>	5.12, 5.32, 5.52, 5.72, 5.92	<b>21</b>	5.1, 5.22, 5.43, 5.64, 5.85	<b>30</b>	5.10, 5.31, 5.52, 5.73, 5.94
<b>4</b>	5.4, 5.24, 5.44, 5.64, 5.84	<b>13</b>	5.13, 5.33, 5.53, 5.73, 5.93	<b>22</b>	5.2, 5.23, 5.44, 5.65, 5.86	<b>31</b>	5.11, 5.32, 5.53, 5.74, 5.95

<b>5</b>	5.5, 5.25, 5.45, 5.65, 5.85	<b>14</b>	5.14, 5.34, 5.54, 5.74, 5.94	<b>23</b>	5.3, 5.24, 5.45, 5.66, 5.87	<b>32</b>	5.12, 5.33, 5.54, 5.75, 5.96
<b>6</b>	5.6, 5.26, 5.46, 5.66, 5.86	<b>15</b>	5.15, 5.35, 5.55, 5.75, 5.95	<b>24</b>	5.4, 5.25, 5.46, 5.67, 5.88	<b>33</b>	5.13, 5.34, 5.55, 5.76, 5.97
<b>7</b>	5.7, 5.27, 5.47, 5.67, 5.87	<b>16</b>	5.16, 5.36, 5.56, 5.76, 5.96	<b>25</b>	5.5, 5.26, 5.47, 5.68, 5.89	<b>34</b>	5.14, 5.35, 5.56, 5.77, 5.98
<b>8</b>	5.8, 5.28, 5.48, 5.68, 5.88	<b>17</b>	5.17, 5.37, 5.57, 5.77, 5.97	<b>26</b>	5.6, 5.27, 5.48, 5.69, 5.90	<b>35</b>	5.15, 5.36, 5.57, 5.78, 5.99
<b>9</b>	5.9, 5.29, 5.49, 5.69, 5.89	<b>18</b>	5.18, 5.38, 5.58, 5.78, 5.98	<b>27</b>	5.7, 5.28, 5.49, 5.70, 5.91	<b>36</b>	5.16, 5.37, 5.58, 5.79, 5.100

### Задачи

<b>1</b>	5.101, 5.116, 5.131	<b>10</b>	5.110, 5.125, 5.140	<b>19</b>	5.119, 5.134, 5.149	<b>28</b>	5.108, 5.124, 5.140
<b>2</b>	5.102, 5.117, 5.132	<b>11</b>	5.111, 5.126, 5.141	<b>20</b>	5.120, 5.135, 5.150	<b>29</b>	5.109, 5.125, 5.150
<b>3</b>	5.103, 5.118, 5.133	<b>12</b>	5.112, 5.127, 5.142	<b>21</b>	5.101, 5.117, 5.133	<b>30</b>	5.110, 5.126, 5.149
<b>4</b>	5.104, 5.119, 5.134	<b>13</b>	5.113, 5.128, 5.143	<b>22</b>	5.102, 5.118, 5.134	<b>31</b>	5.111, 5.127, 5.143
<b>5</b>	5.105, 5.120, 5.135	<b>14</b>	5.114, 5.129, 5.144	<b>23</b>	5.103, 5.119, 5.135	<b>32</b>	5.112, 5.128, 5.144
<b>6</b>	5.106, 5.121, 5.136	<b>15</b>	5.115, 5.130, 5.145	<b>24</b>	5.104, 5.120, 5.136	<b>33</b>	5.113, 5.129, 5.145
<b>7</b>	5.107, 5.122, 5.137	<b>16</b>	5.116, 5.123, 5.146	<b>25</b>	5.105, 5.121, 5.137	<b>34</b>	5.114, 5.130, 5.146
<b>8</b>	5.108, 5.123, 5.138	<b>17</b>	5.117, 5.132, 5.147	<b>26</b>	5.106, 5.122, 5.138	<b>35</b>	5.115, 5.131, 5.147
<b>9</b>	5.109, 5.124, 5.139	<b>18</b>	5.118, 5.133, 5.148	<b>27</b>	5.107, 5.123, 5.139	<b>36</b>	5.116, 5.132, 5.148

## 6. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

### Тестовые задания

<b>1</b>	6.1, 6.21, 6.41, 6.61, 6.81	<b>10</b>	6.10, 6.30, 6.50, 6.70, 6.90	<b>19</b>	6.19, 6.39, 6.59, 6.79, 6.99	<b>28</b>	6.8, 6.29, 6.50, 6.71, 6.92
<b>2</b>	6.2, 6.22, 6.42, 6.62, 6.82	<b>11</b>	6.11, 6.31, 6.51, 6.71, 6.91	<b>20</b>	6.20, 6.40, 6.60, 6.80, 6.100	<b>29</b>	6.9, 6.30, 6.51, 6.72, 6.93
<b>3</b>	6.3, 6.23, 6.43, 6.63, 6.83	<b>12</b>	6.12, 6.32, 6.52, 6.72, 6.92	<b>21</b>	6.1, 6.22, 6.43, 6.64, 6.85	<b>30</b>	6.10, 6.31, 6.52, 6.73, 6.94
<b>4</b>	6.4, 6.24, 6.44, 6.64, 6.84	<b>13</b>	6.13, 6.33, 6.53, 6.73, 6.93	<b>22</b>	6.2, 6.23, 6.44, 6.65, 6.86	<b>31</b>	6.11, 6.32, 6.53, 6.74, 6.95

<b>5</b>	6.5, 6.25, 6.45, 6.65, 6.85	<b>14</b>	6.14, 6.34, 6.54, 6.74, 6.94	<b>23</b>	6.3, 6.24, 6.45, 6.66, 6.87	<b>32</b>	6.12, 6.33, 6.54, 6.75, 6.96
<b>6</b>	6.6, 6.26, 6.46, 6.66, 6.86	<b>15</b>	6.15, 6.35, 6.55, 6.75, 6.95	<b>24</b>	6.4, 6.25, 6.46, 6.67, 6.88	<b>33</b>	6.13, 6.34, 6.55, 6.76, 6.97
<b>7</b>	6.7, 6.27, 6.47, 6.67, 6.87	<b>16</b>	6.16, 6.36, 6.56, 6.76, 6.96	<b>25</b>	6.5, 6.26, 6.47, 6.68, 6.89	<b>34</b>	6.14, 6.35, 6.56, 6.77, 6.98
<b>8</b>	6.8, 6.28, 6.48, 6.68, 6.88	<b>17</b>	6.17, 6.37, 6.57, 6.77, 6.97	<b>26</b>	6.6, 6.27, 6.48, 6.69, 6.90	<b>35</b>	6.15, 6.36, 6.57, 6.78, 6.99
<b>9</b>	6.9, 6.29, 6.49, 6.69, 6.89	<b>18</b>	6.18, 6.38, 5.58, 6.78, 6.98	<b>27</b>	6.7, 6.28, 6.49, 6.70, 6.91	<b>36</b>	6.16, 6.37, 6.58, 6.79, 5.100

### Задачи

<b>1</b>	6.101, 6.116, 6.131	<b>10</b>	6.110, 6.125, 6.140	<b>19</b>	6.119, 6.134, 6.149	<b>28</b>	6.108, 6.124, 6.140
<b>2</b>	6.102, 6.117, 6.132	<b>11</b>	6.111, 6.126, 6.141	<b>20</b>	6.120, 6.135, 6.150	<b>29</b>	6.109, 6.125, 6.135
<b>3</b>	6.103, 6.118, 6.133	<b>12</b>	6.112, 6.127, 6.142	<b>21</b>	6.101, 6.117, 6.133	<b>30</b>	6.110, 6.126, 6.136
<b>4</b>	6.104, 6.119, 6.134	<b>13</b>	6.113, 6.128, 6.143	<b>22</b>	6.102, 6.118, 6.134	<b>31</b>	6.111, 6.127, 6.143
<b>5</b>	6.105, 6.120, 6.135	<b>14</b>	6.114, 6.129, 6.144	<b>23</b>	6.103, 6.119, 6.135	<b>32</b>	6.112, 6.128, 6.144
<b>6</b>	6.106, 6.121, 6.136	<b>15</b>	6.115, 6.130, 6.145	<b>24</b>	6.104, 6.120, 6.136	<b>33</b>	6.113, 6.129, 6.145
<b>7</b>	6.107, 6.122, 6.137	<b>16</b>	6.116, 6.131, 6.146	<b>25</b>	6.105, 6.121, 6.137	<b>34</b>	6.114, 6.130, 6.146
<b>8</b>	6.108, 6.123, 6.138	<b>17</b>	6.117, 6.132, 6.147	<b>26</b>	6.106, 6.122, 6.138	<b>35</b>	6.115, 6.131, 6.147
<b>9</b>	6.109, 6.124, 6.139	<b>18</b>	6.118, 6.133, 6.148	<b>27</b>	6.107, 6.123, 6.139	<b>36</b>	6.116, 6.132, 6.150

## 7. ТЕРМОДИНАМИКА

### Тестовые задания

<b>1</b>	7.1, 7.21, 7.41, 7.61, 7.81	<b>10</b>	7.10, 7.30, 7.50, 7.70, 7.90	<b>19</b>	7.19, 7.39, 7.59, 7.79, 7.99	<b>28</b>	7.8, 7.29, 7.50, 7.71, 7.92
<b>2</b>	7.2, 7.22, 7.42, 7.62, 7.82	<b>11</b>	7.11, 7.31, 7.51, 7.71, 7.91	<b>20</b>	7.20, 7.40, 7.60, 7.80, 7.100	<b>29</b>	7.9, 7.30, 7.51, 7.72, 7.93
<b>3</b>	7.3, 7.23, 7.43, 7.63, 7.83	<b>12</b>	7.12, 7.32, 7.52, 7.72, 7.92	<b>21</b>	7.1, 7.22, 7.43, 7.64, 7.85	<b>30</b>	7.10, 7.31, 7.52, 7.73, 7.94
<b>4</b>	7.4, 7.24, 7.44, 7.64, 7.84	<b>13</b>	7.13, 7.33, 7.53, 7.73, 7.93	<b>22</b>	7.2, 7.23, 7.44, 7.65, 7.86	<b>31</b>	7.11, 7.32, 7.53, 7.74, 7.95

<b>5</b>	7.5, 7.25, 7.45, 7.65, 7.85	<b>14</b>	7.14, 7.34, 7.54, 7.74, 7.94	<b>23</b>	7.3, 7.24, 7.45, 7.66, 7.87	<b>32</b>	7.12, 7.33, 7.54, 7.75, 7.96
<b>6</b>	7.6, 7.26, 7.46, 7.66, 7.86	<b>15</b>	7.15, 7.35, 7.55, 7.75, 7.95	<b>24</b>	7.4, 7.25, 7.46, 7.67, 7.88	<b>33</b>	7.13, 7.34, 7.55, 7.76, 7.97
<b>7</b>	7.7, 7.27, 7.47, 7.67, 7.87	<b>16</b>	7.16, 7.36, 7.56, 7.76, 7.96	<b>25</b>	7.5, 7.26, 7.47, 7.68, 7.89	<b>34</b>	7.14, 7.35, 7.56, 7.77, 7.98
<b>8</b>	7.8, 7.28, 7.48, 7.68, 7.88	<b>17</b>	7.17, 7.37, 7.57, 7.77, 7.97	<b>26</b>	7.6, 7.27, 7.48, 7.69, 7.90	<b>35</b>	7.15, 7.36, 7.57, 7.78, 7.99
<b>9</b>	7.9, 7.29, 7.49, 7.69, 7.89	<b>18</b>	7.18, 7.38, 7.58, 7.78, 7.98	<b>27</b>	7.7, 7.28, 7.49, 7.70, 7.91	<b>36</b>	7.16, 7.37, 7.58, 7.79, 7.100

### Задачи

<b>1</b>	7.101, 7.116, 7.131	<b>10</b>	7.110, 7.125, 7.140	<b>7</b>	7.119, 7.134, 7.149	<b>28</b>	7.108, 7.124, 7.140
<b>2</b>	7.102, 7.117, 7.132	<b>11</b>	7.111, 7.126, 7.141	<b>20</b>	7.120, 7.135, 7.150	<b>29</b>	7.109, 7.125, 7.241
<b>3</b>	7.103, 7.118, 7.133	<b>12</b>	7.112, 7.127, 7.142	<b>21</b>	7.101, 7.117, 7.133	<b>30</b>	7.110, 7.126, 7.242
<b>4</b>	7.104, 7.119, 7.134	<b>13</b>	7.113, 7.128, 7.143	<b>22</b>	7.102, 7.118, 7.134	<b>31</b>	7.111, 7.127, 7.143
<b>5</b>	7.105, 7.120, 7.135	<b>14</b>	7.114, 7.129, 7.144	<b>23</b>	7.103, 7.119, 7.135	<b>32</b>	7.112, 7.128, 7.144
<b>6</b>	7.106, 7.121, 7.136	<b>15</b>	7.115, 7.130, 7.145	<b>24</b>	7.104, 7.120, 7.136	<b>33</b>	7.113, 7.129, 7.145
<b>7</b>	7.107, 7.122, 7.137	<b>16</b>	7.116, 7.131, 7.146	<b>25</b>	7.105, 7.121, 7.137	<b>34</b>	7.114, 7.130, 7.146
<b>8</b>	7.108, 7.123, 7.138	<b>17</b>	7.117, 7.132, 7.147	<b>26</b>	7.106, 7.122, 7.138	<b>35</b>	7.115, 7.131, 7.147
<b>9</b>	7.109, 7.124, 7.139	<b>18</b>	7.118, 7.133, 7.148	<b>27</b>	7.107, 7.123, 7.139	<b>36</b>	7.116, 7.132, 7.148

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И. В. Курс физики. Т. 1. СПб.: Изд-во «Лань», 2019. 432 с.
2. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. М.: Изд-во «Академия», 2015. – 720 с.
3. Трофимова Т. И. Курс физики. М.: Издательский центр «Академия», 2017. – 560 с.
5. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Изд-во «Книжный мир», 2006. 327 с.
7. Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по физике: учеб. пособие для вузов. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во «Физматлит», 2008. 640 с.
8. Контрольно-измерительные материалы по дисциплине «Физика» / Хатмуллина М. Т., Рабчук Л. В., Строкина В. Р., Сагитова Э. В. Уфа: УГАТУ, 2015. 275 с.
9. Физика: тестовые задания / Александров И. В., Сагитова Э. В., Строкина В. Р., Трофимова Е. В. Уфа: УГАТУ, 2013. 251 с.
10. Шатохин С.А., Трофимова Е. В., Михайлов Г. П. Сборник индивидуальных заданий по разделу «Электричество и магнетизм». Уфа: УГАТУ, 2004. 44 с.
11. Лейберт Б. М., Маненкова Л. К. Задачник-практикум по общей физике. Механика. Термодинамика и молекулярная физика. Уфа: УГНТУ, 2011. 262 с.
12. Гладской В. М., Самойленко П. И. Сборник задач с решениями. М.: Изд-во «Дрофа», 2002. 288 с.
13. Прошкин С. С., Нименский Н. В., Самолетов В. А. Сборник задач по механике, термодинамике и молекулярной физике. Дубна: Изд-во «Феникс+», 2006. 464 с.
14. Черноуцан А. И. Физика. Задачи с ответами и решениями. М.: Изд-во «КДУ», 2013. 352 с.