**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КУРСУ ФИЗИКИ**

*Задания выделены желтым в конце*

Целью практических занятий является закрепление теоретического материала курса, а решение задач является проверкой степени усвоения теоретического материала.

На практических занятиях рассматриваются примеры решения типовых задач и примеры выполнения тестовых заданий по темам занятий, представленным в таблице 1. Результатом обучения на практических занятиях является выполнение индивидуального задания (варианты заданий приводятся в конце методических указаний).

**Темы практических занятий по разделам «Механика. Молекулярная физика и термодинамика» (1 семестр)**

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № занятия | Тема занятия | Основные вопросы по теме занятий |
| 1 | Кинематика и динамика поступательного и вращательного движения абсолютно твердого тела | 1. Траектория, длина пути, вектор перемещения, скорость, ускорение и его составляющие  2. Угловая скорость и угловое ускорение  3. Кинематические уравнения движения  4. Законы Ньютона  5. Момент силы, момент инерции, момент импульса относительно неподвижной оси  6. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела |
| 2 | Работа и энергия. Законы сохранения в механике. Механические колебания и волны | 1. Работа силы. Кинетическая и потенциальная энергия  2. Законы сохранения импульса, механической энергии, момента импульса  3. Свободные гармонические колебания  4. Затухающие и вынужденные механические колебания  5. Волны в упругой среде |
| 3 | Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов и термодинамика | 1. Законы идеального газа. Уравнение Клапейрона-Менделеева  2. Закон распределения молекул газа по скоростям  3. Барометрическая формула  4. Явления переноса  5. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы  6. Первое начало термодинамики  7. Теплоемкость вещества. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам  8. Круговые процессы. Цикл Карно. Энтропия |

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1**

**«Кинематика и динамика поступательного и вращательного движения абсолютно твердого тела»**

**1. Примеры решения задач**

**Задача 1**.Материальная точка движется по плоскости *ХОУ*согласно уравнениям *х=2+7t+2t2*(м)и*у=3–t+2t2* (м). Определить модули скорости и ускорения точки в момент времени*t* = 4 с.

**Дано:**

*х=*2*+*7*t–*2*t2*

*у=*3*–t+*2*t2*

*t* = 4 с

*υ* *–* ? *а* *–* ?

**Решение**

Модули скорости *υ* и ускорения *а* определяются выражениями

, 

где *υх* и *υу* , *ах* и *ау* – соответственно проекции вектора скорости и ускорения на ось *ОХ* и *ОУ*.

Проекции вектора скорости на оси координат определяются через производную по времени от соответствующей координаты, т.е.

; .

В момент времени *t* = 4 с проекции и модуль скорости точки равны

 (м/с);  (м/с);

 (м/с).

Проекции вектора ускорения на оси координат определяются через производную по времени от соответствующей проекции скорости, т.е.

(м/с2); (м/с2).

В момент времени *t* = 4 с модуль ускорения точки равен

(м/с2).

**Задача 2**.Материальная точка движется по плоскости *ХОУ*. Её движение описывается уравнением . *А* = 0,5 м/с2; *В* = 2 м/с.

Найти зависимость . Определить через 1 с после начала движения:

1. модуль скорости;
2. модуль тангенциального и нормального ускорения;
3. модуль полного ускорения.

**Дано:**



*А* = 0,5 м/с2

*В* = 2 м/с

*t* = 1 с

*υ* *–* ? *аn* *–* ? *аτ* *–* ? *а* *–* ?

**Решение**

Вектор скорости  определяется через производную по времени от радиус-вектора , т.е.

,

где  *–*  проекция вектора скорости на ось *ОХ;*

 *–* проекция вектора скорости на ось *ОУ.*

Модуль скорости *υ* в момент времени *t* = 1 с равен

(м/с).

Вектор ускорения определяется через производную по времени от скорости  т.е.

,

где 2*А = ах*  – проекция вектора ускорения на ось *ОХ*.

Ускорение точки  характеризуется только одной составляющей вектора вдоль оси *ОХ*,т. е. оно направлено по оси *ОХ* и равно

*а* = *ах* = 2*А =*  2·0,5 = 1(м/с2).

*α*

**

**

**

**

**

**

*О*

*У*

*Х*

Как видно из рисунка (треугольник ускорений), модуль нормального и тангенциального ускорения равен

; .

Определим из треугольника скоростей в момент времени *t* = 1 с *sin α* и *cos α*

**; *.*

(м/с2); (м/с2).

**Задача 3**. Тело массой  движется вверх по наклонной плоскости, составляющей угол  с горизонтом, под действием силы , как показано на рисунке. Определите ускорение, с которым движется тело, если коэффициент трения скольжения равен 0,2.



α

*m*

**Дано:** , ,, ?



α

*y*

*х*

*а* - ?

**Решение**

Согласно второму закону Ньютона

.

Запишем уравнение в проекции на ось О*х*



и на ось О*у*

.

Сила трения скольжения равна

.

Подставим это выражение в уравнение в проекции на ось О*х*

.

Откуда 3,27 м/с2.

**Задача 4**. Диск массой *m* = 0,5 кг и диаметром *d* = 40 см вращается с угловой скоростью *ω0* = 150 с-1. При торможении он останавливается в течение времени *Δt* = 10 с. Определите среднюю величину тормозящего момента сил.

**Решение**

Среднее угловое ускорение при равнозамедленном вращении диска определяется выражением

.

Средняя величина момента силы относительно оси *Z* равна

,

где - момент инерции диска относительно оси *Z.*

Тогда (Нм)

**2. Примеры выполнения тестовых заданий**

**Задание 1.** Материальная точка M движется по окружности со скоростью . На рис. 1 показан график зависимости модуля скорости от времени.

*υ*

*t*

*t1*

*t2*

*t3*

*M*

4

5

*О*

1

2

3

Рис. 1 Рис. 2

При этом вектор **полного ускорения** в момент времени *t3* на рис.2 имеет направление …

|  |  |
| --- | --- |
| **Выполнение задания.** Как видно из рисунка 1, в интервале времени, включающем момент времени *t3*, модуль скорости уменьшается, а значит, материальная точка M движется равнозамедленно и тангенциальное ускорение  направлено против движения (т.е. в направлении 4). В результате изменения направления скорости возникает нормальное ускорение , направленное | Рис.3  *M*  *О* |

к центру окружности (в направлении 1). Полное ускорение равно , следовательно, оно имеет направление 5 (рис. 3).

Ответ: 5)

**Задание 2.** Импульс тела изменяется по закону *Р = at2*. Правильно отражает зависимость величины силы, действующей на тело, от времени график …

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *F*  *t* | *F*  *t* | *F*  *t* | *F*  *t* |

1) 2) 3) 4)

**Выполнение задания.** Согласно второму закону Ньютона сила, действующая на тело, равна скорости изменения импульса тела

.

Величина силы  является линейной функцией от времени, следовательно, правильный ответ 2.

Ответ: 2)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Задание 3.** Система состоит из трех шаров c массами *m1* = 1 кг, *m2* = 2 кг, *m3* = 3 кг, которые движутся так, как показано на рисунке. Если скорости шаров равны *υ1* = 3 м/с, *υ2* = 2 м/с,  *υ3* = 2 м/с, то величина скорости **центра масс** этой системы равна… м/c.   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 1) 13/6 | 2) 1 | 3) 5/6 | 4) 8 | | *m1*  *m2*  *m3*  *y*  *x*  0  *υ1* |

**Выполнение задания. С**корость центра масс системы равна

,

где *mi* , ,  *–* масса, скорость и импульс *i*-ого шара;

*m –* масса всех шаров.

Так как импульс – векторная величина, находим проекции импульса шаров на координатные оси:









*0x*: *Рх = m2 υ2 =* 2·2 = 4 (кг·м/с)

*0y*: *Рy = m1 υ1 – m3 υ3* = 1·3 *–* 3·2 = - 3 (кг·м/с).

Направление вектора скорости центра масс системы 

совпадает с вектором импульса  (рис.).

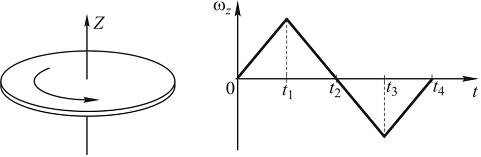
Модуль вектора  вычислим по теореме Пифагора. Следовательно, величина скорости центра масс этой системы равна

 (м/с)

Ответ: 3) 5/6 м/с

**Задание 4.** Диск вращается вокруг своей оси, изменяя проекцию угловой скорости  так, как показано на рисунке. Диск вращается равнозамедленно с направлением вектора угловой скорости  по оси *Z*  в интервалы времени …

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1) от 0 до *t1* | 2) от *t1* до *t2* | 3) от *t2* до *t3* | 4) от *t3* до *t4* |



**Выполнение задания.** На всех интервалах времени проекция угловой скорости *ωz* на ось *Z* линейно изменяется со временем

*ωz = ω0z + εzt*,

следовательно, диск вращается равнопеременно.

Вектор угловой скорости  направлен по оси *Z*, если проекция этого вектора *ωz* на ось положительная. А это происходит в интервалы времени от 0 до *t1* и от *t1* до *t2*.

В интервале времени от 0 до *t1* проекция углового ускорения  и *ωz* > 0, значит, диск вращается равноускоренно. В интервале времени от *t1*  до *t2*, , а *ωz* > 0, следовательно, диск вращается равнозамедленно.

Таким образом, диск вращается равнозамедленно с направлением вектора угловой скорости  по оси *Z*  в интервале времени от *t1*  до *t2*.

Ответ: 2) от *t1* до *t2*

|  |  |
| --- | --- |
| **Задание 5.** Шар вращается относительно неподвижной оси под действием постоянной силы . Вектор углового ускорения шара  имеет направление … | 4  3  2  1 |

**Выполнение задания.** Согласно уравнению динамики вращательного движения



вектор углового ускорения  сонаправлен с вектором момента силы относительно неподвижной оси .

Вектор момента силы  направлен вдоль неподвижной оси вращения так, чтобы из его конца вращение тела под действием силы  было видно происходящим против часовой стрелки, т. е. , а значит и вектор углового ускорения имеют направление 2.

Ответ: 2)

**Задание 6.** Два диска одинаковой массы вращаются относительно неподвижной оси, проходящей через их центр масс, с одинаковой угловой скоростью *ω*. Если радиус первого диска в два раза больше радиуса второго диска, то соотношение между моментами импульсов дисков равно…

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1) *L1* = 4*L2* | 2) *L1* = *L2*/4 | 3) *L1* = 2*L2* | 4) *L1* = *L2*/2 |

**Выполнение задания.** Момент импульса тела относительно неподвижной оси определяется формулой

,

где – момент инерции тела относительно оси.

Так как угловая скорость дисков одинаковая, то ~ .

Момент инерции диска относительно оси, проходящей через центр масс диска, равен

.

Так как массы дисков одинаковые, то ~ *R2*, а значит и ~ *R2*. С учетом условия задания ()~ ~.

Следовательно, *L1* = 4*L2*.

Ответ: 1) *L1* = 4*L2*

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2**

**«Работа и энергия. Законы сохранения в механике. Механические колебания и волны»**

**1. Примеры решения задач**

|  |  |
| --- | --- |
| **Задача 1**. Сплошной диск радиуса *R* скатывается с горки высотой *h* без проскальзывания. Определите скорость диска в конце спуска. | *R*  *h* |

**Решение**

При скатывании диска с наклонной плоскости его потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию поступательного движения центра масс диска и кинетическую энергию вращения. Таким образом,

,

где  – момент инерции диска;

*m* – масса диска.

Так как диск скатывается без проскальзывания, то скорость поступательного движения его центра масс относительно точки контакта равна скорости любой точки на ободе диска относительно его центра масс. Следовательно,

.

Решая совместно все уравнения, получим

.

Откуда

.

**Задача 2**.Материальная точка совершает гармонические колебания

по закону  (м). Определите максимальное значение скорости точки.

**Дано:** 

*υмах* - ?

**Решение**

Скорость материальной точки определяется выражением

.

Скорость принимает максимальное значение, когда , т. е. (м/с).

**Задача 3**.Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси ОХ, имеет вид . Определите скорость распространения волны.

**Дано:** ; *υ* - ?

**Решение**

Плоская синусоидальная волна, распространяющаяся вдоль оси ОХ, описывается уравнением

,

где *А* – амплитуда волны (м);

 – циклическая частота (с-1);

*Т* – период колебаний (с);

ν *–* частота колебаний (Гц);

 – волновое число (м-1);

*λ* – длина волны (м).

Так как длина волны , то скорость распространения волны равна

.

Сопоставляем уравнение плоской электромагнитной волны с заданным уравнением. Находим, что *ω* = 103 (с-1), *k* = 2 (м-1).

Скорость распространения волны равна

 (м/с).

**2. Примеры выполнения тестовых заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Задание 1.**  Между двумя шарами одинаковой массы, двигающимися с одинаковыми по модулю скоростями во взаимно перпендикулярных направлениях, происходит центральный неупругий удар. Скорость шаров после столкновения равна … | | | | | | | |  |
| 1) |  | 2) |  | 3) |  | 4) |  | |
| **Выполнение задания.** Шары после неупругого удара начинают двигаться как одно целое с некоторой скоростью  (рис.). Во время удара возникают внутренние силы, величина которых во много раз превосходит внешние силы, поэтому систему шаров можно считать замкнутой и применить к ней закон сохранения импульса | | | | | | | | 2*m* |

.

Так как шары двигались во взаимно перпендикулярных направлениях, то для перехода к скалярной форме используем теорему Пифагора

, откуда .

Ответ: 4) 

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Задание 2.** Два невесомых стержня одинаковой длины *l* закреплены под углом 600 . На конце одного из стержней прикреплен очень маленький массивный шарик, а вся система вращается без трения с угловой скоростью *ω* так, как показано на рисунке. Если угол между стержнями станет равным 900, то система будет вращаться с угловой скоростью, равной … *ω*. | | | | | | | | 600  *l*  *l* | | |
| 1) | 4 | 2) | 1/4 | 3) | 2 | 4) | 1/2 | | 5) | 3/4 |

**Выполнение задания.** Так как система вращается без трения, то можно использовать закон сохранения момента импульса.

,

где *I1* и *I2* – моменты инерции шарика в первом и втором положениях;

*ω1* и *ω2* – угловые скорости в этих же положениях.

Моменты инерции шарика, исходя из условия задания (рисунок), равны:

,

.

Решая совместно эти уравнения относительно *ω2*, получим:

.

Ответ: 5) 3/4

**Задание 3.**  Под действием силы  тело движется со скоростью . Мощность тела в момент времени *t* = τ равна …

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1) |  | 2) |  | 3) |  |

**Выполнение задания.** Мощность, развиваемая силой , в данный момент времени *t* равна

.

Анализируя законы изменения силы  и скорости , заданные координатно-векторным способом, определим их проекции на координатные оси: , , , .

Мощность – величина скалярная, следовательно, ее можно определить следующим образом

.

После подстановки значений получим

.

Ответ: 1) 

**Задание 4.** На рисунке представлена зависимость координаты центра шара, подвешенного на пружине, от времени. Шар колеблется в соответствии с уравнением …



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

**Выполнение задания.** Как видноиз графика, координата центра шара меняется по закону синуса. Уравнение координаты гармонических колебаний по закону синуса имеет вид

.

Определяем по графику параметры гармонических колебаний:

амплитуда *А* = 10 см = 0,1 м;

период *Т* = 4 с;

циклическая частота  с-1;

начальная фаза *φ0* = 0.

Подставив параметры колебаний в уравнение колебаний, получим

.

Ответ: 3) 

**Задание 5.** При уменьшении коэффициента сопротивления среды в 2 раза время релаксации … раз(а).

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

**Выполнение задания.** Время релаксации*τ*, т. е. промежуток времени,в течение которого амплитуда затухающих колебаний уменьшается в *е* раз, обратно пропорционально коэффициенту затухания *β*

.

Для пружинного маятника, совершающего свободные затухающие колебания, коэффициент затухания равен

,

где *r* – коэффициента сопротивления среды;

*m* – масса груза.

Следовательно, время релаксации обратно пропорционально коэффициенту сопротивления, поэтому при уменьшении коэффициента сопротивления среды в 2 раза время релаксации увеличится в 2 раза.

Ответ: 3) увеличится в 2

|  |  |
| --- | --- |
| **Задание 6.** На рисунке показан «моментальный снимок» плоской волны, распространяющейся вдоль оси ОУ от источника, частота колебаний которого равна 1 кГц. Уравнение волны имеет вид ... | http://www.fepo.ru/pic/579_46084/ACE75CA8DE5A53DA580DEA3171E5B9C0.jpg |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1) | http://www.fepo.ru/pic/579_46084/A1EC2D9277B440EAC7E5841761298882.png | 2) | http://www.fepo.ru/pic/579_46084/A7A053CE61AD50D24C9B743FB4DD05BA.png |
| 3) | http://www.fepo.ru/pic/579_46084/0044111FBC6F07C4E5C6429CBCB5BACC.png | 4) | http://www.fepo.ru/pic/579_46084/C4911715DC080853932E1C4B8BBA962A.png |

**Выполнение задания.** По рисунку определяем длину волны   
*λ* = 0,2 м и рассчитываем волновое число

.

Частицы среды совершают колебания с частотой колебаний источника, равной в соответствии с условием задания *ν* = 1 кГц. По ней находим циклическую частоту

 (с-1).

Найденные параметры подставляем в уравнение плоской синусоидальной волны

.

После упрощения уравнение примет вид

.

Ответ: 2) 

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3**

**«Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов. ТЕРМОДИНАМИКА»**

1. **Примеры решения задач**

**Задача 1.** Какова масса кислорода, заполняющего объем 5 л при давлении 2∙105 Па и температуре 50 С?

**Дано:** *M* = 32∙10-3 кг/моль, *V* = 5∙10-3 м3, *р* = 2∙105 Па, *Т* =278 К; *m* - ?

**Решение**

Будем считать кислород идеальным газом, для которого справедливо уравнение Клапейрона-Менделеева

.

Подставляя данные, получим

(кг).

**Задача 2.** Если в баллоне, в котором находится идеальный газ, давление уменьшилось в 4 раза, а абсолютная температура понизилась вдвое, то какой процент газа выпустили из баллона?

**Дано:** *р*1 = 4 *р*2, *Т*1 = 2*Т*2, 

**Решение**

Параметры идеального газа в состояниях I и II (до и после утечки газа) приведены на рисунке

*р*1 *V*1 *T*1

*m*

*р*2 *V*1 *T*2

*m*- Δ*m*

I

II

Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для двух состояний газа

 и 

Решая систему этих уравнений, получим

 или 

**Задача 3**. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекулы кислорода больше их наиболее вероятной скорости на 100 м/c.

**Дано:** *M* = 32∙10-3 кг/моль, ∆*υ* = 100 м/c; *Т* - ?

**Решение**

Средняя квадратичная и наиболее вероятная скорости определяются следующими выражениями

 и ,

где *M* –молярная масса, *R* = 8,31 Дж/(моль∙К) – универсальная газовая постоянная.

.

Или (К).

**Задача 4.** Водород, находящийся при давлении *р1 =* 0,5 МПа и температуре *Т1 =* 350 К, подвергли сначала адиабатическому расширению от объема *V1=* 1 л до объема *V2=* 2 л*,* а затем изобарному расширению, в результате которого объем газа увеличился до объема *V3 =* 3 л. Определить для каждого из этих процессов: 1) работу, совершенную газом;   
2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

**Дано:** *р1 =* 0,5·106 Па, *Т1 =* 350 К, *V1=* 10-3 м3, *V2=* 2·10-3 м3,   
 *V3 =* 3·10-3 м3;

*А12* - ? *А23* - ? *U 12* - ? *U 23* - ? *Q 12* - ? *Q 23* - ?

**Решение**

Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты *Q*, сообщенное газу, расходуется на изменение внутренней энергии газа *∆U* и совершение газом работы *А* против внешних сил

*Q = ∆U + А.*

Адиабатический процесс совершается без теплообмена с окружающей средой (*Q12 =* 0), поэтому *∆U12 = - А12.*

Работа, совершаемая газом в адиабатическом процессе, определяется выражением

(Дж),

где  - коэффициент Пуассона;

*i* – число степеней свободы молекулы (для водорода – двухатомного газа *i=* 5, *γ* = 1,4).

Работа изобарного расширения равна *А23=р2*(*V3 –V2*).

Давление *р2* найдем, воспользовавшись уравнением Пуассона для адиабаты .

В итоге получим

(Дж).

Изменение внутренней энергии при изобарном расширении газа определяется выражением

(Дж).

Количество подведенной теплоты при изобарном расширении газа равно

*Q23 = ∆U23 + А23 =* 472 +188 = 660 (Дж).

**Задача 5.** Определить изменение энтропии *ΔS* при изотермическом расширении азота массой *m* = 10 г, если давление газа уменьшилось от   
*р1* =0,1 МПа до *р2* = 50 кПа.

**Дано:** *М=*28·10-3 кг/моль, *р1 =* 105 Па, *р2* = 5·104 Па, *m* = 10-2 кг;

Δ*S -*?

**Решение**

Изменение энтропии, учитывая, что процесс изотермический,

http://physics.mgapi.edu/students/k_home_work/work4/part2/sample/3/image2886.gif

Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты, полученное газом, равно

*Q = А + U*.

Для изотермического процесса *U* = 0, поэтому *Q=А*. Работа газа в изотермическом процессе определяется выражением

.

Найдем изменение энтропии

(Дж/К).

**2. Примеры выполнения тестовых заданий**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Задание 1.** На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  до  в расчете на единицу этого интервала. Для этой функции верным утверждением является… | | |  | |
| 1) | с ростом температуры величина максимума растет | 2) | | с ростом температуры максимум кривой смещается вправо |
| 3) | с ростом температуры площадь под кривой растет | 4) | | с ростом температуры максимум кривой смещается влево |

**Выполнение задания.** При увеличении температурыплощадь под кривой, характеризующая долю молекул, имеющих значения скоростей от 0 до ∞, и равная единице, не изменится.

Изменится наиболее вероятная скорость (и другие характеристические скорости). Так как наиболее вероятная скорость, определяемая формулой

,

прямо пропорциональна ~ , то с ростом температуры увеличится значение наиболее вероятной скорости. Согласно рисунку наиболее вероятная скорость соответствует максимуму кривой, следовательно, максимум кривой сместится вправо.

Ответ: 2) с ростом температуры максимум кривой смещается вправо

**Задание 2.** Отношение средней энергии молекулы кислорода и водяного пара при одинаковой температуре равно …

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1) | 3/5 | 2) | 5/3 | 3) | 5/6 | 4) | 1 |

**Выполнение задания.** Согласно **з**акону равномерного распределения энергии по степеням свободы на каждую степень свободы приходится в среднем одинаковая энергия, равная

*.*

Средняя энергия молекулы с учетом числа степеней свободы *i*

*.*

У двухатомной молекулы кислорода (О2) 5 степеней свободы, из них   
3 - поступательного движения и 2 - вращательного движения

*i = iпост + iвращ =* 3 + 2 = 5.

У трехатомной молекулы водяного пара (Н2О) 6 степеней свободы, из них 3 - поступательного движения и 3 - вращательного движения

*i = iпост + iвращ =* 3 + 3 = 6.

Таким образом, отношение энергий молекул при одинаковой температуре равно отношению их числа степеней свободы

**.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Задание 3.** Молярные теплоемкости гелия в процессах 1-2 и 1-3 равны *С1* и *С2* соответственно. Тогда отношение *С1/С2* составляет…   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 1) | 3/5 | 2) | 7/5 | | 3) | 5/3 | 4) | 5/7 | | http://www.fepo.ru/pic/269_18447/D091E2FEA1404FAC318DD09C4DB406A5.png |

**Выполнение задания.** Процесс 1-2 представляет изохорное нагревание (V =const) , а процесс 1-3 – изобарное расширение (p =const).

Молярные теплоемкости идеального газа при постоянном объеме ** и при постоянном давлении **соответственно равны

**; **.

Гелий – одноатомный газ, число степеней свободы которого *i = iпост =* 3.

Следовательно, .

Ответ: 1) 3/5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Задание 4.** На рисунке изображен цикл Карно в координатах (*T, S*), где  *T* – термодинамическая температура, *S* – энтропия. Расширение идеального газа происходит на участках:   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 1) | 1-2 | 2) | 2-3 | | 3) | 3-4 | 4) | 4-1 | | http://www.fepo.ru/pic/269_18478/1C53FF6CF16F59CDBDFFE6365869EEBB.png |

**Выполнение задания.** Цикл Карно состоит из четырех обратимых процессов: изотермического расширения, адиабатического расширения, изотермического сжатия и адиабатического сжатия.

В статистической физике энтропия является мерой неупорядоченности системы.

В изотермическом процессе 1-2 (*Т* = const) энтропия увеличивается, т.е. возрастает беспорядок в системе, а значит, идеальный газ расширяется.

В адиабатическом процессе 2-3 ( и ) температура понижается. Согласно уравнению адиабаты

,

(где *V* – объем газа; ****** – коэффициент Пуассона), при понижении температуры газ расширяется.

Таким образом, расширение идеального газа происходит на участках: 1-2 и 2-3.

Ответ: 1) 1-2 и 2) 2-3

**Задание 5.** Изолированная термодинамическая система совершает равновесный переход из состояния 1 в состояние 2. Если процесс необратимый, то для изменения энтропии справедливо следующее математическое выражение …

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1) |  | 2) |  | 3) |  |

**Выполнение задания.** Согласно неравенству Клаузиуса

,

т.е. энтропия замкнутой системы может либо возрастать (в случае необратимых процессов), либо оставаться постоянной (в случае обратимых процессов). Так как термодинамическая система изолированная и процесс необратимый, то энтропия должна увеличиваться .

С учетом первого начала термодинамики



изменение энтропии, равное

,

примет следующий вид 

Ответ: 2) 

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

**Вариант 9**

1. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением *S(t)=10+2t+3t2–t3*.Запишите выражения для скорости и ускорения. Определите для момента времени *t* = 2 с после начала движения скорость и ускорение. Определите среднее ускорение в интервале времени от *t1* = 1 с до *t2* = 2 с.

2. Поясните, в чем заключается принцип независимости действия сил. Шар, закрепленный на тонком невесомом стержне, начал в результате толчка свободно вращаться из положения *А* без трения в вертикальной плоскости. Покажите направление вектора ускорения шара в точке *В* и поясните.

## 3

## 2

## 1

## В

## О

## А

## 4

## 5

3. Приведите формулу момента импульса твердого тела относительно неподвижной оси. Момент импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону *L = at2*. Изобразите график, правильно отражающий зависимость от времени величины момента сил, действующих на тело.

4. Запишите формулу кинетической энергии вращательного движения твердого тела. Однородный цилиндр радиуса *R* скатывается с горки высотой *h* без проскальзывания. Определите скорость цилиндра в конце спуска.

5. Выведите и прокомментируйте формулу для кинетической энергии при гармонических колебаниях. На рисунке представлен график изменения со временем кинетической энергии математического маятника. Определите его потенциальную энергию в момент, соответствующий точке *А* на графике, отсчитанную от положения равновесия маятника.



6. Поясните, в чем заключается молекулярно-кинетическое толкование термодинамической температуры. Как изменится термодинамическая температура при увеличении в два раза средней квадратичной скорости движения молекул идеального газа?

7. Запишите формулу молярной и удельной теплоемкости. Каким соотношением связаны между собой удельная теплоемкость при постоянном давлении и при постоянном объеме?