

Министерство образования Российской Федерации

**Северо-Западный государственный заочный
технический университет**

Кафедра физики

Физика

**Задания на контрольные работы
№1 «Физические основы механики»
и №2 «Молекулярная физика. Основы термодинамики»**

Методические указания к выполнению контрольных работ

Факультеты:

**радиоэлектроники, машиностроительный, энергетический,
технологии веществ и материалов, информатики и средств управления,
экономики, менеджмента и автомобильного транспорта.**

**Направления подготовки дипломированных специалистов и
отнесенные к ним специальности 650000 – техника и технологии.
Направления подготовки бакалавров 550000 – технические науки.**

**Санкт-Петербург
2006**

Введение

В процессе изучения дисциплины «Физика» студенты выполняют пять контрольных работ. Решение физических задач является необходимой практической основой изучения дисциплины «Физика».

Основной целью выполнения контрольных работ является выработка у студентов приемов и навыков решения контрольных задач из разных областей физики, помогающих студентам решать в дальнейшем инженерные задачи.

Контрольные работы несут в себе функцию закрепления, развития и углубленного освоения основных положений теории. Решение задач способствует приобщению студентов к самостоятельной творческой работе. При решении задач студент должен самостоятельно осуществить ряд мыслительных операций, опираясь на имеющиеся у него знания и умения. Контрольные работы позволяют проверить степень усвоения студентами основных разделов теоретического курса.

1. Общие требования к оформлению контрольных работ

При оформлении контрольных работ условия задач в контрольных работах переписываются полностью, без сокращений. Решения задач должны сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями с обязательным использованием рисунков, выполненных чертежными инструментами. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля и интервалы между задачами (не менее 5 см). В конце каждой контрольной работы необходимо указать, каким учебным пособием пользовался студент (название учебного пособия, автор, год издания).

Решение задач рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Ввести буквенные обозначения всех используемых физических величин.
2. Под рубрикой "Дано" кратко записать условие задачи с переводом значений всех величин в одну систему единиц - СИ.
3. Сделать (если это необходимо) чертеж, поясняющий содержание задачи и ход решения.
4. Сформулировать физические законы, на которых базируется решение задачи, и обосновать возможность их использования.
5. На основе сформулированных законов составить уравнение или систему уравнений, решая которую можно найти искомые величины.
6. Решить уравнение и получить в общем виде расчетную формулу, в левой части которой стоит искомая величина, а в правой - величины, данные в условии задачи.

7. Проверить единицы измерения полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность.

8. Произвести вычисления. Для этого необходимо все значения величин в единицах СИ подставить в расчетную формулу и выполнить вычисления (с точностью не более 2-3 значащих цифр).

9. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 6340 надо записать $6,34 \cdot 10^3$.

Выполненные контрольные работы сдаются на рецензию преподавателю по крайней мере за одну неделю до экзамена по физике. После рецензирования вносятся исправления в решение задач в соответствии с замечаниями преподавателя. Исправленные решения помещаются в конце тетради с контрольными работами, которые сдаются на повторную рецензию.

Зачет по каждой контрольной работе принимается преподавателем в процессе собеседования по правильно решенной и прорецензированной контрольной работе.

В каждой контрольной работе следует решить восемь задач. Номера задач определяются по таблицам 1, 2 в соответствии с номером своего варианта. Номер варианта соответствует последней цифре шифра студента.

Контрольные работы выполняются в школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения о студенте (фамилия, имя, отчество, факультет, шифр, номер специальности), а также номер контрольной работы, номер варианта и номера всех задач контрольной работы.

Литература

Основная:

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики.- М.: Высш.шк., 2004.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высш. школа, 1985 и др. годы изданий.
3. Трофимова Т.И, Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. - М.:Высш. шк.,2000 и др. годы изданий.

Дополнительная:

4. Савельев И.В. Курс общей физики.- М.: Наука, 1989 и др. годы изд.
5. В.М. Цаплев, И.Г. Орехова, Е.А. Лиходаева, С.В. Михайлова, Курс физики. Физические основы механики, молекулярная физика и термодинамика. Учебное пособие. –СПб. : СЗГУ, 2006.
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.- М.: Инте-

- грал- Пресс, 1997.
7. Изергина Е.Н., Петров Н.И. Все решения к «Сборнику задач по общему курсу физики» В.С.Волькенштейн. В 2 кн. - М.: Олимп, 1999.
 8. Трофимова Т.И. Физика. 500 основных законов и формул. Справочник. -М.:Высш. шк.,2000.
 9. Физика. Основные законы и формулы. Руководство к решению задач / Карташов Ю.А., Попов И.В. . -СПб.: СЗПИ, 1998.

2. Контрольная работа №1 «Физические основы механики»

2.1. Методические указания к выполнению контрольной работы №1

В контрольную работу №1 включены задачи по теме: «Физические основы механики». В контрольную работу №1 включены задачи на следующие темы: кинематика поступательного и вращательного движения; динамика поступательного и вращательного движения; законы сохранения в механике; динамика вращательного движения твердого тела; элементы специальной теории относительности. Для решения задач студент должен предварительно проработать следующий материал по учебным пособиям, приведенным в списке литературы, и темы: "Кинематика и динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела" [1] с.8...17, 17...23, или [3] с.34...54, 56...60."Законы сохранения в механике" [3] с. 34...54, 56...83."Динамика вращательного движения твердого тела" [3] с.84...116, 118...130."Элементы специальной теории относительности" [1] с. 17...18, 69...88, или [3] с.153...185.

Таблица 1

| Вариант | Номера задач | | | | | | | |
|---------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 101 | 111 | 121 | 131 | 141 | 151 | 161 | 171 |
| 1 | 102 | 112 | 122 | 132 | 142 | 152 | 162 | 172 |
| 2 | 103 | 113 | 123 | 133 | 143 | 153 | 163 | 173 |
| 3 | 104 | 114 | 124 | 134 | 144 | 154 | 164 | 174 |
| 4 | 105 | 115 | 125 | 135 | 145 | 155 | 165 | 175 |
| 5 | 106 | 116 | 126 | 136 | 146 | 156 | 166 | 176 |
| 6 | 107 | 117 | 127 | 137 | 147 | 157 | 167 | 177 |
| 7 | 108 | 118 | 128 | 138 | 148 | 158 | 168 | 178 |
| 8 | 109 | 119 | 129 | 139 | 149 | 159 | 169 | 179 |
| 9 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 |

2.2 Основные законы, формулы, примеры решения задач

Кинематика поступательного и вращательного движения

1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси X

$$x = f(t),$$

где $f(t)$ - некоторая функция времени.

2. Средняя скорость за промежуток времени Δt

$$\langle v_x \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t},$$

где $\Delta x = x_2 - x_1$, x_1 - положение точки в момент времени t_1 , x_2 - положение точки в момент t_2 , $\Delta t = t_2 - t_1$.

3. Мгновенная скорость

$$v_x = \frac{dx}{dt}.$$

4. Среднее ускорение

$$\langle a_x \rangle = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}.$$

5. Мгновенное ускорение

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}.$$

6. Уравнение движения точки по окружности

$$\varphi = f(t),$$

где φ - угловое положение точки в момент времени t .

7. Угловая скорость точки движущейся по окружности

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

8. Угловая скорость при равномерном движении по окружности

$$\omega = 2\pi n,$$

где n - число оборотов в секунду.

9. Угловое ускорение

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

10. Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими движение точки по окружности

$$v = \omega R,$$

$$a_\tau = \beta R,$$

$$a_n = \omega^2 R,$$

где v - линейная скорость точки (направлена по касательной к окружности), a_τ - тангенциальное ускорение (направлено по касательной), a_n - нормальное ускорение (направлено к центру окружности), R - радиус окружности.

11. Полное ускорение

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

Законы динамики материальной точки при прямолинейном движении

12. Импульс материальной точки массой m , движущейся поступательно со скоростью \vec{v}

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

13. Второй закон Ньютона

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F},$$

где \vec{F} - результирующая сила, действующая на тело.

14. Второй закон Ньютона для промежутка времени Δt

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \langle \vec{F} \rangle,$$

где $\langle \vec{F} \rangle$ - среднее значение силы за время Δt

15. Силы, рассматриваемые в механике:

а) сила упругости

$$F = -kx,$$

где k - коэффициент жесткости пружины, x - абсолютная деформация;

б) сила гравитационного взаимодействия

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G - гравитационная постоянная, m_1 и m_2 - массы взаимодействующих материальных точек, r - расстояние между материальными точками;

в) сила трения скольжения

$$F = fN,$$

где f - коэффициент трения скольжения, N - сила нормального давления.

16. Закон сохранения импульса для замкнутой системы из двух тел

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

где \vec{v}_1 и \vec{v}_2 - скорости тел в начальный момент времени; \vec{u}_1 и \vec{u}_2 - скорости тех же тел в конечный момент времени.

17. Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad \text{или} \quad E_k = \frac{p^2}{2m}$$

18. Потенциальная энергия:

а) упруго деформированной пружины

$$E_{\Pi} = \frac{1}{2} kx^2,$$

где k - коэффициент жесткости пружины, x - абсолютная деформация;

б) гравитационного взаимодействия

$$E_{\Pi} = -G \frac{m_1 m_2}{r},$$

где G - гравитационная постоянная;

m_1 и m_2 - массы взаимодействующих тел;

r - расстояние между ними (данные тела считаются материальными точками);

в) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести

$$E_{\Pi} = mgh,$$

где g - ускорение свободного падения тела;

h - высота тела над уровнем, принятым за нулевой (формула справедлива при условии $h \ll R$, где R - радиус Земли).

19. Закон сохранения механической энергии

$$E = E_k + E_{\Pi} = \text{const},$$

если сумма внешних сил равна нулю, а внутренние силы - консервативные.

20. Работа A , совершаемая внешними силами, определяется как мера изменения энергии системы:

$$A = \Delta E = E_2 - E_1.$$

Законы динамики вращательного движения абсолютно твердого тела

21. Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси

$$\vec{M} = J\vec{\beta},$$

где \vec{M} – результирующий момент внешних сил относительно оси вращения;

$\vec{\beta}$ - угловое ускорение;

J – момент инерции тела относительно оси вращения.

22. Момент инерции материальной точки относительно заданной оси

$$J = mr^2,$$

где r – расстояние точки до оси вращения.

23. Моменты инерции некоторых тел массой m относительно оси, проходящей через центр симметрии:

а) стержня длиной l относительно оси, перпендикулярной стержню

$$J = \frac{1}{12}ml^2;$$

б) обруча (тонкостенного цилиндра) радиуса R относительно оси, перпендикулярной плоскости обруча (совпадающей с осью цилиндра)

$$J = mR^2;$$

в) диска радиусом R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска

$$J = \frac{1}{2}mR^2,$$

г) шара радиусом R относительно оси, проходящей через центр шара

$$J = \frac{2}{5}mR^2.$$

24. Момент импульса тела относительно оси вращения

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

где $\vec{\omega}$ - угловая скорость тела.

25. Закон сохранения момента импульса системы двух тел относительно общей неподвижной оси вращения

$$\vec{L}_1(t) + \vec{L}_2(t) = const,$$

где $\vec{L}_1(t)$ и $\vec{L}_2(t)$ - моменты импульсов первого и второго тел относительно общей оси вращения.

26. Закон сохранения момента импульса системы тел, вращающихся вокруг неподвижной оси

$$J_1\vec{\omega}_1 = J_2\vec{\omega}_2,$$

где $J_1, \vec{\omega}_1$ и $J_2, \vec{\omega}_2$ - моменты инерции системы тел и их угловые скорости в моменты времени, принятые за начальный и конечный.

27. Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad \text{или} \quad E_k = \frac{L^2}{2J}.$$

Элементы релятивистской механики

28. Длина тела и интервал времени в различных системах отсчета

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2};$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где $\beta = v/c$ – скорость тела, выраженная в долях скорости света в вакууме,

c – скорость света в вакууме;

l_0 – длина тела в системе отсчета, относительно которой тело неподвижно;

l – длина тела в системе отсчета, относительно которой тело движется;

Δt_0 – интервал времени, измеренный по часам, движущимся вместе с телом;

Δt – время, измеренное в системе отсчета, относительно которой тело движется.

29. Взаимосвязь массы и энергии свободной частицы

$$E = mc^2 = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где $E = m_0 c^2$ - энергия покоя частицы;

m_0 - масса покоя частицы;

E - полная энергия, $E = E_0 + E_k$,

E_k - кинетическая энергия свободной частицы.

30. Кинетическая энергия свободной частицы

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

31. Импульс свободной частицы

$$p = mv = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

$p_0 = m_0 c$ - КОМПТОНОВСКИЙ ИМПУЛЬС.

32. Связь между энергией и импульсом свободной частицы

$$E^2 = E_0^2 + (pc)^2,$$

или

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}.$$

Примеры решения задач

Пример 1

Уравнение движения материальной точки вдоль оси X имеет вид $X = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2$ м; $B = 1$ м/с; $C = -0,5$ м/с³.

Найти координату, скорость и ускорение точки в момент времени 2с.

Дано:

$$X = A + Bt + Ct^3$$

$$A = 2 \text{ м}$$

$$B = 1 \text{ м/с}$$

$$C = -0,5 \text{ м/с}^3$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$x - ? \quad v - ? \quad a - ?$$

Решение. Координату точки найдем, подставив в уравнение движения числовые значения коэффициентов A , B , C и времени,

$$x = (2 + 1 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2^3) \text{ м} = 0.$$

Так как требуется найти скорость и ускорение в определенный момент времени ($t = 2$ с), то это значит, нужно определить мгновенные величины v_x на a_x .

Мгновенная скорость есть первая производная от координаты по времени

$$v_x = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2.$$

Ускорение точки найдем, взяв первую производную от скорости по времени

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 6Ct.$$

Произведя вычисления для момента времени $t = 2$ с, получим

$$v_x = (1 - 3 \cdot 0,5 \cdot 2^2) \text{ м/с} = -5 \text{ м/с},$$

$$a_x = 6(-0,5) \cdot 2 \text{ м/с}^2 = -6 \text{ м/с}^2.$$

Пример 2

Диск радиусом $0,1$ м, находившийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением $0,5$ рад/с². Найти тангенциальное, нормальное и полное ускорения точек на окружности диска через две секунды после начала вращения.

Дано:

$$R = 0,1 \text{ м}$$

$$\omega_{(0)} = 0$$

$$\beta = 0,5 \text{ рад/с}^2$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$a_\tau - ? \quad a_n - ? \quad a = ?$$

Решение. Тангенциальное и нормальное ускорение точки вращающегося тела выражаются формулами

$$a_\tau = \beta R, \quad (1)$$

$$a_n = \omega^2 R, \quad (2)$$

где ω - угловая скорость тела, β - его угловое ускорение, R - радиус диска.

В условии задано угловое ускорение, которое определяется выражением

$$\beta = \frac{d\omega}{dt}. \quad (3)$$

Следовательно, угловая скорость равна

$$\omega = \beta t + \omega_{(0)}, \quad (4)$$

причем по условию начальная угловая скорость $\omega_{(0)} = 0$. Учитывая соотношения (2) и (4), получаем формулу для нормального ускорения

$$a_n = \omega^2 R = \beta^2 t^2 R.$$

В момент времени $t = 2$ с нормальное ускорение

$$a_n = \beta^2 t^2 R = 0,5^2 \cdot 2^2 \cdot 0,1^2 = 0,1 \text{ м/с}^2,$$

тангенциальное ускорение

$$a_\tau = \beta R = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ м/с}^2,$$

полное ускорение

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{10^{-2} + 0,25 \cdot 10^{-2}} = 1,1 \cdot 10^{-1} \text{ м/с}^2.$$

Пример 3

Автомобиль массой 2 т начинает разгоняться из состояния покоя по горизонтальному пути под действием постоянной силы. В течение 10 секунд он приобретает скорость 12 м/с. Определить величину импульса, полученного автомобилем, и величину действующей силы.

Дано:

$$m = 2 \text{ т} = 2 \cdot 10^3 \text{ кг};$$

$$v_1 = 0;$$

$$v_2 = 12 \text{ м/с};$$

$$\Delta t = 10 \text{ с}.$$

$$\Delta p = ? \quad F = ?$$

Решение. Импульс, полученный автомобилем в проекции на направление движения

$$\Delta p = p_2 - p_1 = mv_2 \quad (1)$$

Для того, чтобы найти действующую силу, воспользуемся вторым законом Ньютона:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}, \quad (2)$$

или в проекции на направление движения

$$F = \frac{Dp}{\Delta t} = \frac{mv_2}{\Delta t}. \quad (3)$$

Проведем вычисления по формулам (1) и (3):

$$\Delta p = mv_2 = 2 \cdot 10^3 \cdot 12 = 2,4 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м/с};$$

$$F = \frac{mv_2}{\Delta t} = \frac{2,4 \cdot 10^4}{10} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Пример 4

Тележка с песком массой 40 кг движется горизонтально со скоростью 5 м/с. Камень массой 10 кг попадает в песок и движется вместе с тележкой. Найти скорость тележки после попадания камня: а) падающего по вертикали; б) летящего горизонтально навстречу тележке.

Дано:

$$m_1 = 40 \text{ кг};$$

$$v_1 = 5 \text{ м/с};$$

$$m_2 = 10 \text{ кг}.$$

$$u = ?$$

Решение. а) Рассмотрим систему, состоящую из тележки и камня. Внешняя сила (сила тяжести) направлена вертикально, поэтому, по отношению к вертикальному движению система незамкнута, и закон сохранения импульса неприменим. В горизонтальном направлении внешние силы отсутствуют, и закон сохранения импульса выполняется в проекции на направление движения. В качестве положительного направления оси X примем направление движения тележки.

После вертикального падения камня скорость системы уменьшится только в связи с увеличением массы. Закон сохранения импульса для данного случая имеет вид

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)u, \quad (1)$$

откуда

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1. \quad (2)$$

После подстановки числовых значений в выражение (2), получим:

$$u = \frac{40 \cdot 5}{40 + 10} = 4 \text{ м/с}.$$

б) Запишем закон сохранения импульса в проекции на ось X для случая, когда камень летит горизонтально со скоростью $v_2 = 10$ м/с и застревает в песке:

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2)u, \quad (3)$$

откуда

$$u = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}. \quad (4)$$

Произведем вычисления величины u :

$$u = \frac{40 \cdot 5 - 10 \cdot 10}{40 + 40} \text{ м/с} = 2 \text{ м/с}.$$

Пример 5

Пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, попадает в мешок с песком массой 4 кг, висящий на длинной нерастяжимой нити и застревает в нем. Найти высоту, на которую поднимется мешок после попадания в него пули.

Дано:

$$m_1 = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг};$$

$$v_1 = 400 \text{ м/с};$$

$$m_2 = 4 \text{ кг};$$

$$v_2 = 0$$

$$h = ?$$

Решение. Решение задачи основано на использовании двух законов: закона сохранения энергии и закона сохранения импульса.

После попадания пули мешок с песком движется вместе с застрявшей в нем пулей со скоростью u . Кинетическая энергия мешка и пули превращается в потенциальную энергию. На основе закона сохранения энергии запишем:

$$\frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} = (m_1 + m_2)gh. \quad (1)$$

Для определения скорости совместного движения мешка и пули используем закон сохранения импульса. Запишем его в проекции на ось X :

$$m_1 v_1 + 0 = (m_1 + m_2)u, \quad (2)$$

откуда

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1. \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в формулу (1) и получим решение относительно h . Это решение имеет вид:

$$h = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2g}. \quad (4)$$

Выполним вычисления по формуле (4)

$$h = \left(\frac{10^{-2}}{4,01} \right)^2 \cdot \frac{16 \cdot 10^4}{2 \cdot 9,81} \approx 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 5,1 \text{ см}.$$

Пример 6

Молот массой 5 кг, двигаясь со скоростью 4 м/с, ударяет по железному изделию, лежащему на наковальне. Масса наковальни вместе с изделием равна 95 кг. Считая удар неупругим, определить энергию, расходуемую на ковку (деформацию) изделия. Определить коэффициент полезного действия (КПД) удара.

Дано:

$$m_1 = 5 \text{ кг} \quad m_2 = 95 \text{ кг}$$

$$v_1 = 4 \text{ м/с} \quad v_2 = 0$$

$$E_{\text{деф}} = ?$$

Решение. Систему, состоящую из молота, изделия и наковальни, считаем замкнутой во время удара, когда силы ударного взаимодействия значительно превышают равнодействующую сил тяжести и силы реакции опоры. К такой системе можно применить закон сохранения импульса.

Во время удара изменяется только кинетическая энергия тел, поэтому энергия $E_{\text{деф}}$, затраченная на деформацию, равна разности значений механической энергии системы до и после удара:

$$E_{\text{деф}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2}, \quad (1)$$

где u - общая скорость всех тел, входящих в систему, после неупругого удара. Эту скорость найдем на основе закона сохранения импульса

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) u, \quad (2)$$

откуда

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1. \quad (3)$$

Подставив в формулу (1) значение u из выражения (3), определим $E_{\text{деф}}$

$$E_{\text{деф}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2}. \quad (4)$$

Полезной считается энергия, затраченная на деформацию. Поэтому КПД равен

$$\eta = \frac{E_{\text{деф}}}{\frac{m_1 v_1^2}{2}} = \frac{\frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2}}{\frac{m_1 v_1^2}{2}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}. \quad (5)$$

Подставив числовые значения заданных величин в формулу (5), получим:

$$\eta = \frac{95}{95 + 5} = 0,95.$$

Из выражения (5) видно, что КПД удара тем больше, чем больше масса наковальни по сравнению с массой молота.

Пример 7

Маховик массой 4 кг свободно вращается с частотой 12 об/с вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр. Массу маховика можно считать равномерно распределенной по ободу радиусом 40 см. Через 30 с под действием тормозящего момента маховик остановился. Найти тормозящий момент и число оборотов, которые сделает маховик до полной остановки.

Дано:

$$m = 4 \text{ кг};$$

$$R = 0,4 \text{ м};$$

$$\Delta t = 30 \text{ с};$$

$$n_1 = 12 \text{ об/с}; n_2 = 0$$

$$M = ?; N = ?$$

Решение. Для определения тормозящего момента используем основное уравнение динамики вращательного движения:

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t}, \quad (1)$$

где

$\Delta L = J\Delta\omega$ - изменение момента количества движения маховика за время Δt .

$$\Delta\omega = |\omega_2 - \omega_1| = 2\pi n_1, \quad (2)$$

где $\Delta\omega$ - изменение угловой скорости за промежуток времени Δt .

Поскольку масса маховика равномерно распределена по ободу, то маховик можно считать обручем, для которого момент инерции равен

$$J = mR^2. \quad (3)$$

После подстановки выражений (2) и (3) в формулу (1) получим

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{2\pi n_1 m R^2}{\Delta t}. \quad (4)$$

Считая вращение равнозамедленным, можно определить угол поворота φ за время Δt , прошедшее до остановки маховика, по формуле:

$$\varphi = \omega_1 t - \frac{\beta t^2}{2}, \quad (5)$$

где β - угловое ускорение.

По условию задачи

$$\omega = \omega_1 - \beta \Delta t = 0;$$

$$\beta \Delta t = \omega_1.$$

Тогда выражение (5) можно записать так:

$$\varphi = \omega_1 \Delta t - \frac{\omega_1 \Delta t}{2} = \frac{\omega_1 \Delta t}{2}.$$

Поскольку

$$\varphi = 2\pi N, \quad \omega_1 = 2\pi n_1,$$

то число полных оборотов равно

$$N = \frac{n_1 \Delta t}{2}. \quad (6)$$

выполнив вычисления по формулам (4) и (6), получим:

$$M = 2 \cdot 3,14 \cdot 12 \cdot 4 \cdot 0,16 = 1,61 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N = 12 \cdot 30 / 2 = 180 \text{ оборотов.}$$

Пример 8

Платформа в виде диска массой 120 кг вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью 4 рад/с. Человек массой 60 кг стоит на краю платформы. Какова будет угловая скорость платформы, если человек переместится в ее центр? Момент инерции человека считать как для материальной точки. Трением об ось пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 120 \text{ кг};$$

$$\omega_1 = 4 \text{ рад/с};$$

$$m_2 = 60 \text{ кг}$$

$$\omega_2 = ?$$

Решение. Систему, состоящую из человека и платформы, считаем замкнутой. Предположим, что суммарный момент всех внешних сил, действующих на систему, равен нулю. Трением пренебрегаем. Поэтому, для решения применим закон сохранения момента количества движения:

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2, \quad (1)$$

где J_1 – момент инерции платформы с человеком, стоящим на ее краю;

J_2 – момент инерции платформы с человеком в ее центре

Поскольку

$$J_1 = \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2; \quad (2)$$

$$J_2 = \frac{m_1 R^2}{2},$$

то, подставив эти выражения в формулу (1), получим

$$\left(\frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2 \right) \omega_1 = \frac{m_1 R^2}{2} \cdot \omega_2,$$

откуда

$$\omega_2 = \left(1 + \frac{2m_2}{m_1} \right) \cdot \omega_1. \quad (3)$$

В результате вычислений получим для ω_2 :

$$\omega_2 = \left(1 + \frac{2 \cdot 60}{120} \right) \cdot 4 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Пример 9

На сколько изменится продольный размер электрона после того, как он пройдет ускоряющую разность потенциалов 10^6 В?

Дано:

$$u = 10^6 \text{ В};$$

$$E_0 = 0,51 \text{ МэВ}$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = ?$$

Решение. По условию задачи кинетическая энергия электрона $E_k = eu = 10^6 \text{ эВ} = 1 \text{ МэВ}$, а энергия покоя $E_0 = 0,51 \text{ МэВ}$. Поскольку $E_k > E_0$, то нужно использовать релятивистскую формулу для кинетической энергии

$$E_k = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right), \quad (1)$$

где

$\beta = \frac{v}{c}$ - относительная скорость электрона, а c - скорость света в ваку-

уме.

С другой стороны, пройдя ускоряющую разность потенциалов, электрон приобретет кинетическую энергию

$$E_k = eu. \quad (2)$$

Приравняв выражения (1) и (2), получим

$$E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = eu, \quad (3)$$

откуда

$$\sqrt{1 - \beta^2} = \frac{E_0}{eu + E_0}. \quad (4)$$

Продольный размер l электрона определится по формуле

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}, \quad (5)$$

где l_0 - размер тела в системе отсчета, относительно которой это тело покоится, а l - размер этого же тела в системе отсчета, относительно которой оно движется.

Относительное изменение длины

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_0 - l}{l_0} = 1 - \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (6)$$

Подставив (4) в формулу (6), получим:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = 1 - \sqrt{1 - \beta^2} = \frac{eu}{eu + E_0}. \quad (7)$$

Для электрона $E_0 = 0,51 \text{ МэВ}$, следовательно

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1}{1 + 0,51} = 0,661,$$

то есть в системе отсчета, относительно которой тело движется, сокращение длины тела в направлении движения составляет 66,1 %.

Пример 10

Протон имеет импульс 988 МэВ/с. Какую кинетическую энергию необходимо сообщить протону для того, чтобы его импульс увеличился вдвое?

Дано:

$$E_0 = 938 \text{ МэВ}$$

$$p_1 = 988 \text{ МэВ/с}$$

$$p_2 = 2 p_1$$

$$\Delta T = ?$$

Решение. Сравнивая импульс протона с его комптоновским импульсом $p_0 = m_0 c = 938 \text{ МэВ/с}$, можно заметить, что $p > p_0$, т.е. для решения необходимо пользоваться формулами релятивистской механики.

Связь между полной энергией и импульсом частицы имеет вид:

$$E = \sqrt{E_0^2 + (pc)^2}, \quad (1)$$

где E – полная энергия, $E = E_0 + T$; E_0 – энергия покоя; $E_0 = m_0 c^2$; T – кинетическая энергия частицы; c – скорость света в вакууме.

Определим кинетическую энергию T из выражения (1)

$$T = \sqrt{E_0^2 + (pc)^2} - E_0. \quad (2)$$

По условию импульс частицы возрастает вдвое, т.е. $p_2 = 2p_1$.

Следовательно, протону необходимо сообщить дополнительную кинетическую энергию

$$\Delta T = T_2 - T_1,$$

где

$$T_1 = \sqrt{E_0^2 + (p_1 c)^2} - E_0; \quad (3)$$

$$T_2 = \sqrt{E_0^2 + (p_2 c)^2} - E_0.$$

Поскольку значения величин p_1 и E_0 заданы во внесистемных единицах, то их необходимо перевести в международную систему единиц СИ. Учитывая, что $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$, получим

$$p_1 c = 988 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} = 1,58 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$$

$$p_2 c = 2 \cdot 1,58 \cdot 10^{-10} = 3,16 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$$

$$E_0 = m_0 c^2 = 938 \text{ МэВ} = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}.$$

Подставляя числовые значения в формулу (3), получим:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \left(\sqrt{1,5^2 \cdot 10^{-20} + 3,16^2 \cdot 10^{-20}} - \sqrt{1,5^2 \cdot 10^{-20} + 1,58^2 \cdot 10^{-20}} \right) =$$

$$= (3,5 - 2,18) \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 1,3 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 810 \text{ МэВ}.$$

2.3. Задание на контрольную работу №1

101. Материальная точка движется под действием силы согласно уравнению $X = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1 \text{ м/с}^2$; $D = -0,2 \text{ м/с}^3$. Определить, в какой момент времени сила равна нулю.

102. Движение материальной точки задано уравнением $X = At + Bt^2$, где $A=4\text{м/с}$; $B = -0,05 \text{ м/с}^2$. Определить момент времени, в который скорость точки равна нулю. Найти координату и ускорение в этот момент.

103. Прямолинейное движение материальной точки описывается уравнением $X = At + Bt^3$, где $A = 2,0 \text{ м/с}$; $B = 0,04 \text{ м/с}^3$. Определить величину средней скорости и среднего ускорения за первые 4 с движения.

104. Зависимость скорости тела от времени при прямолинейном движении дана уравнением $v = 0,3 t^2$. Найти величину ускорения тела в момент времени 2 с и путь, пройденный телом за интервал времени от 0 до 2 с.

105. Прямолинейное движение двух материальных точек описывается уравнениями $X_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$ и $X_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$, где $A_1 = 20 \text{ м}$; $B_1 = -2 \text{ м/с}$; $C_1 = 4 \text{ м/с}^2$; $A_2 = 2 \text{ м}$; $B_2 = 2 \text{ м/с}$; $C_2 = 0,5 \text{ м/с}^2$. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковыми? Чему равны скорости и ускорения в этот момент времени?

106. Точка движется по окружности согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2 \text{ рад}$; $B = 3 \text{ рад/с}$; $C = 1 \text{ рад/с}^3$. Определить угол поворота, угловую скорость и угловое ускорение точки в момент времени 1 с.

107. Колесо вращается с постоянным угловым ускорением 2 рад/с^2 . Через 0,5 с после начала движения полное ускорение точек на ободе колеса стало равным $0,136 \text{ м/с}^2$. Найти радиус колеса.

108. Колесо радиусом 0,3 м вращается согласно уравнению $\varphi = 5 - 2t + 0,3t^2$. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорение точек на ободе колеса через 5 с после начала движения.

109. Колесо, вращаясь равноускоренно, достигает угловой скорости $2\pi \text{ рад/с}$ через 10 оборотов после начала вращения. Найти угловое ускорение колеса.

110. По дуге окружности радиусом 10 м движется точка. В некоторый момент времени нормальное ускорение точки равно $4,9 \text{ м/с}^2$, вектор полного ускорения составляет в этот момент угол 60° с вектором нормального ускорения. Определить мгновенную скорость и тангенциальное ускорение точки в этот момент.

111. Автомобиль массой 1,5 т мчится по шоссе со скоростью 150 км/ч. Если отпустить педаль газа, то в течение 5 секунд его скорость снизится до 120 км/ч. Чему равна средняя сила сопротивления? Какую часть она составляет от веса автомобиля?

112. Какую силу надо приложить к вагону, чтобы он стал двигаться равноускоренно и за время 30 секунд прошел путь 11 м? Масса вагона равна 16 т. Во время движения на вагон действует сила трения, равная 0,05 от веса вагона.

113. Тело массой 0,5 кг движется прямолинейно согласно уравнению $X = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 5 \text{ м/с}^2$; $D = 1 \text{ м/с}^3$. Найти величину силы, действующей на тело в конце первой секунды движения.

114. Ракета массой 1 т, запущенная с поверхности Земли вертикально вверх, поднимается с ускорением, в два раза большим ускорения свободного падения. Скорость струи газов, вырывающихся из сопла, равна 1200 м/с. Определить расход горючего за 1 секунду.

115. Молот массой 1 т падает с высоты 1,77 м на наковальню. Длительность удара равна 0,01 с. Определить среднюю силу удара.

116. Масса поезда равна 3000 т. Коэффициент трения равен 0,02. Какова должна быть сила тяги локомотива, чтобы поезд набрал скорость 60 км/ч через 2 минуты после начала движения?

117. Вагон массой 11 т движется со скоростью 18 км/ч. Какова должна быть сила торможения, чтобы остановить вагон на расстоянии 250 м?

118. Ракета массой 4 кг движется вверх под действием силы тяги струи газов. Горение топлива прекращается на высоте 100 м. Средняя сила давления газов при горении топлива равна 2 кН. На какую высоту поднимется ракета после прекращения горения?

119. Шарик массой 100 г упал с высоты 2,5 м на горизонтальную плиту, масса которой много больше массы шарика, и отскочил от нее вверх. Считая удар абсолютно упругим, определить импульс, полученный плитой.

120. Тело массой 0,5 кг движется так, что зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $S = A \sin \omega t$, где $A = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $\omega = \pi \text{ рад/с}$. Найти силу, действующую на тело через 1/6 секунды после начала движения.

121. Какую скорость приобретает ракета массой 0,6 кг, если продукты горения массой $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$ вылетают из ее сопла со скоростью 800 м/с?

122. Мальчик стоит на абсолютно гладком льду и бросает мяч массой 0,5 кг. С какой скоростью после броска начнет скользить мальчик, если горизонтальная составляющая скорости мяча равна 5 м/с, а масса мальчика равна 20 кг?

123. Вагон массой 3 т, движущийся по горизонтальному пути со скоростью 1,5 м/с, автоматически на ходу сцепляется с неподвижным вагоном массой 2 т. С какой скоростью движутся вагоны после сцепки?

124. Человек и тележка движутся навстречу друг другу. Масса тележки 32 кг, масса человека 64 кг. Скорость тележки 1,8 км/ч, скорость человека 5,4 км/ч. Человек прыгает на тележку. С какой скоростью и в каком направлении будет двигаться тележка с человеком?

125. Снаряд массой 20 кг, летящий горизонтально со скоростью 500 м/с, попадает в платформу с песком массой 10 т, движущуюся со скоростью 36 км/ч навстречу снаряду и застревает в песке. Определить скорость, которую получит платформа.

126. С тележки, свободно движущейся по горизонтальному пути со скоростью 3 м/с, в сторону, противоположную ее движению прыгает человек, после чего скорость тележки изменилась и стала равной 4 м/с. Определить горизонтальную составляющую скорости человека при прыжке относительно тележки. Масса тележки 210 кг, масса человека 70 кг.

127. От двухступенчатой ракеты массой 1 т при скорости 1710 м/с отделилась её вторая ступень массой 0,4 т. Скорость второй ступени при этом увеличилась до 1860 м/с. Определить, с какой скоростью стала двигаться первая ступень ракеты.

128. При горизонтальном полете со скоростью 300 м/с снаряд массой 9 кг разорвался на две части. Большая часть массой 7 кг получила скорость 450 м/с в направлении полёта снаряда. Определить величину и направление скорости меньшей части снаряда.

129. С судна массой 750 т произведён выстрел из пушки в сторону, противоположную его движению, под углом 60° к горизонту. На сколько изменилась скорость судна, если снаряд массой 30 кг вылетел со скоростью 1 км/с относительно судна?

130. Ракета, масса которой вместе с зарядом равна 250 г, взлетает вертикально вверх и достигает высоты 150 м. Определить скорость истечения газов из ракеты, считая, что сгорание заряда происходит мгновенно. Масса заряда равна 50 г.

131. Теннисный мяч, летящий со скоростью 10 м/с, отброшен ударом ракетки в противоположном направлении со скоростью 8 м/с. При этом его кинетическая энергия изменилась на 5 Дж. Найти изменение количества движения мяча.

132. Движущийся шар массой 5 кг ударяется о неподвижный шар массой 0,5 кг. Кинетическая энергия обоих шаров непосредственно после удара равна 6 Дж. Определить кинетическую энергию первого шара до удара. Удар считать центральным, неупругим.

133. В деревянный шар массой 5 кг, подвешенный на нити, попадает горизонтально летящая пуля массой 5 г и застревает в нём. Найти скорость пули, если шар с застрявшей в нем пулей поднялся на высоту 10 см.

134. Два шара массами 2 кг и 3 кг, движущиеся по одной прямой навстречу друг другу со скоростями 8 м/с и 4 м/с, соответственно, неупруго сталкиваются и движутся после удара совместно. Определить работу деформации шаров после удара.

135. Шар массой 1,8 кг упруго сталкивается с покоящимся шаром большей массы. В результате прямого центрального упругого удара шар потерял 36% своей кинетической энергии. Определить массу покоящегося шара.

136. Молотком, масса которого 1 кг, забивают в стену гвоздь массой 75 г. Определить КПД удара.

137. По небольшому куску металла, лежащему на наковальне, масса которой 300 кг, ударяет молот массой 8 кг. Определить КПД удара, считая удар неупругим. Полезной энергией считать энергию, затраченную на деформацию металла.

138. Из орудия массой 5 т вылетает снаряд массой 100 кг. Кинетическая энергия снаряда при вылете $7,5 \cdot 10^6$ Дж. Какую кинетическую энергию получает орудие вследствие отдачи?

139. Движущееся тело ударяется о неподвижное тело. Удар считать упругим и центральным. Чему должно равняться отношение масс тел, чтобы при ударе скорость первого тела уменьшилась в 1,5 раза?

140. Тело массой 990 г лежит на горизонтальной поверхности. В него попадает пуля массой 10 г и застревает в нем. Скорость пули направлена горизонтально и равна 700 м/с. Какой путь пройдет тело до остановки, если коэффициент трения между телом и поверхностью равен 0,05?

141. Пуля, имеющая массу 10 г, подлетает к доске толщиной 4 см со скоростью 600 м/с и, пробив доску, вылетает со скоростью 400 м/с. Найти среднюю силу сопротивления доски.

142. Тело, брошенное с высоты 250 м вертикально вниз с начальной скоростью 20 м/с, погрузилось в землю на глубину 20 см. Определить среднюю силу сопротивления почвы, если масса тела равна 2 кг. Сопротивлением воздуха пренебречь.

143. На горизонтальном участке пути длиной 3 км скорость автомобиля увеличилась от 36 км/ч до 72 км/ч. Масса автомобиля 3 т, коэффициент трения 0,01. Чему равна работа, совершаемая двигателем автомобиля?

144. В пружинном ружье пружина сжата на 10 см. При взводе её сжали до 20 см. С какой скоростью вылетит из ружья стрела массой 30 г, если жесткость пружины 144 Н/м.

145. Две пружины жесткостью $3 \cdot 10^2$ Н/м и $5 \cdot 10^2$ Н/м соединены последовательно. Определить работу по растяжению обеих пружин, если вторая пружина растянута на 3 см.

146. Пружина жесткостью 10^4 Н/м сжата силой $2 \cdot 10^2$ Н. Определить работу внешней силы, дополнительно сжимающей эту пружину ещё на 1 см.

147. Две пружины жесткостью 0,5 кН/м и 1 кН/м скреплены последовательно. Определить потенциальную энергию данной системы при действии внешней силы 10 Н.

148. Определить работу, которую совершат силы гравитационного поля Земли, если тело массой 1 кг упадет на поверхность Земли с высоты, равной радиусу Земли.

149. Найти значение второй космической скорости для Луны, т.е. скорости, которую нужно сообщить телу, чтобы удалить его с поверхности Луны за пределы гравитационного поля Луны (масса Луны $7,33 \cdot 10^{22}$ кг, радиус Луны $1,74 \cdot 10^6$ м).

150. Какова будет скорость ракеты на высоте, равной радиусу Земли, если ракета пущена с Земли с начальной скоростью 10 км/с? Сопротивление воздуха не учитывать.

151. Два различных груза подвешены на невесомой нити, перекинутой через блок радиусом 0,4 м, момент инерции которого равен $0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Блок вращается с

трением, причем момент сил трения равен 4 Н·м, с постоянным угловым ускорением $2,5 \text{ рад/с}^2$. Найти разность натяжений нити с обеих сторон блока.

152. Стержень массой 6 кг и длиной 40 см вращается вокруг оси, проходящей через его середину, перпендикулярно длине стержня. Угол поворота стержня изменяется во времени по закону $\varphi = 3t^3 - t^2 + 4t + 6$. Определить вращающий момент, действующий на стержень через 2 с после начала вращения.

153. Колесо, вращаясь равнозамедленно, при торможении уменьшило за 1 минуту частоту вращения от 300 до 180 об/мин. Момент инерции колеса равен $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Найти: 1) угловое ускорение колеса; 2) тормозящий момент; 3) работу сил торможения; 4) число оборотов, сделанных колесом за эту минуту.

154. Двум одинаковым маховикам, находящимся в покое, сообщили одинаковую угловую скорость 63 рад/с и предоставили их самим себе. Под действием сил трения один маховик остановился через одну минуту, а второй сделал до полной остановки 360 оборотов. У какого маховика тормозящий момент больше и во сколько раз?

155. На барабан диаметром 0,8 м намотан трос с закрепленным на конце грузом массой в 3 кг. Вращаясь равноускоренно под действием силы натяжения троса, барабан за 4 секунды приобрел угловую скорость 16 рад/с. Определить момент инерции барабана.

156. К ободу диска радиусом 0,2 м приложена постоянная касательная сила 98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения, равный 0,5 Н·м. Найти массу диска, если известно, что диск вращается с постоянным угловым ускорением 100 рад/с^2 .

157. Маховик в виде диска радиусом 40 см и массой 20 кг вращается с частотой 60 об/с. Определить угловое ускорение и частоту вращения маховика через 3,14 секунды после того, как к ободу маховика с силой 1 кН была прижата тормозная колодка, коэффициент трения которой о диск равен 0,4.

158. Шар массой 10 кг и радиусом 20 см вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Угол поворота изменяется во времени по закону $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$, где $A = 5 \text{ рад}$; $B = 4 \text{ рад/с}^2$; $C = -1 \text{ рад/с}^3$. Определить величину момента сил, приложенных к шару в момент времени 2 с.

159. Однородный диск массой 5 кг и радиусом 0,2 м вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Зависимость угловой скорости вращения диска от времени задана уравнением $\omega = A + Bt$, где $B = 8 \text{ рад/с}^2$. Найти величину касательной силы, приложенной к ободу диска. Трением пренебречь.

160. Маховик массой 10 кг и радиусом 0,2 м соединен с мотором при помощи приводного ремня. Натяжение ремня, идущего без скольжения, постоянно и равно 14,7 Н. Какое число оборотов в секунду будет делать маховик через 10 секунд после начала движения? Маховик считать однородным диском. Трением пренебречь.

161. Стержень длиной 1,2 м и массой 1 кг закреплен на вертикальной оси, проходящей через его центр перпендикулярно длине стержня. В конец стержня

попадает пуля массой 8 г, летящая горизонтально со скоростью 100 м/с, и застревает в стержне. С какой угловой скоростью начнет вращаться стержень?

162. На скамье Жуковского стоит человек и держит в вытянутых руках гантели массой 6 кг каждая. Длина руки человека 60 см. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью 4 рад/с. С какой угловой скоростью будет вращаться скамья с человеком, если он опустит руки с гантелями вниз вдоль оси вращения? Суммарный момент инерции человека и скамьи $5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Гантели считать материальными точками.

163. На краю горизонтальной платформы стоит человек массой 80 кг. Платформа представляет собой круглый однородный диск массой 160 кг, вращающийся вокруг вертикальной оси, проходящей через её центр, с частотой 6 об/мин. Сколько оборотов в минуту будет делать платформа, если человек перейдет от края платформы к её центру? Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

164. Шарик массой 50 г, привязанный к концу нити длиной 1 м, вращается с угловой скоростью 6,28 рад/с. Нить укорачивают до длины 50 см. С какой угловой скоростью будет теперь вращаться шарик? Какую работу необходимо совершить для укорочения нити? Трением шарика о плоскость можно пренебречь

165. На скамье Жуковского стоит человек и держит в руках стержень вертикально по оси вращения скамьи. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью 4 рад/с. С какой угловой скоростью начнет вращаться скамья с человеком, если повернуть стержень так, чтобы он занял горизонтальное положение? Суммарный момент инерции человека и скамьи $5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Длина стержня 1,8 м, его масса 6 кг. Считать, что центр тяжести стержня с человеком находится на оси вращения скамьи.

166. К ободу диска массой 5 кг приложена постоянная касательная сила 2Н. Какую кинетическую энергию будет иметь диск через 5 секунд после начала действия силы?

167. Маховик вращается по закону, который задан уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где φ - угол поворота, $A = 2$ рад, $B = 32$ рад/с, а $C = -4$ рад/с². Найти среднюю мощность, развиваемую силами, действующими на маховик при его вращении, до остановки. Момент инерции маховика $100 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

168. Кинетическая энергия вращающегося маховика равна 1 кДж. Под действием постоянного тормозящего момента маховик начал вращаться равномерно и, сделав 80 оборотов, остановился. Определить момент сил торможения.

169. С наклонной плоскости скатывается без скольжения диск. Высота наклонной плоскости 5 м. Найти скорость центра тяжести диска у основания наклонной плоскости, если его начальная скорость равна нулю.

170. Найти кинетическую энергию велосипедиста, едущего со скоростью 9 км/ч. Масса велосипедиста вместе с велосипедом составляет 90 кг. Колеса велосипеда считать обручами, масса которых по 3 кг.

171. Фотонная ракета движется относительно Земли со скоростью $v = 0,6 c$ (c – скорость света в вакууме). Во сколько раз замедляется течение времени в ракете с точки зрения земного наблюдателя?

172. При какой относительной скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25%?

173. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы его продольные размеры стали в 2 раза меньше?

174. Синхрофазотрон дает пучок протонов, кинетическая энергия которых равна 10^4 МэВ. Какую долю скорости света составляет скорость протонов в этом пучке?

175. Найти скорость релятивистской частицы, если ее полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.

176. Кинетическая энергия релятивистской частицы равна ее энергии покоя. Во сколько раз возрастет импульс частицы, если ее кинетическая энергия увеличится в 4 раза?

177. Протон влетает со скоростью $v = 0,9 c$ (c – скорость света в вакууме) в тормозящее электрическое поле. Какую разность потенциалов он сможет преодолеть?

178. На сколько процентов изменится продольный размер протона после прохождения им ускоряющей разности потенциалов 1 МВ?

179. Частица движется со скоростью $v = 0,5 c$ (где c – скорость света в вакууме). Какую долю полной энергии составляет кинетическая энергия частицы?

180. Импульс релятивистской частицы равен его комптоновскому импульсу. Под действием внешних сил импульс частицы увеличился в 2 раза. Во сколько раз увеличились при этом кинетическая и полная энергии частицы?

3. Контрольная работа №2

«Молекулярная физика, элементы термодинамики»

3.1. Методические указания к выполнению контрольной работы №2

В контрольную работу №2 включены задачи по темам: «Идеальный газ», «Физические основы молекулярно-кинетической теории», «Статистические распределения», «Основы термодинамики», «Энтропия термодинамических систем».

Тема «Идеальный газ» представлена задачами по расчету параметров состояния идеальных газов и их смесей с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона и закона Дальтона.

По теме «Физические основы молекулярно-кинетической теории» в контрольную работу включены задачи по расчету внутренней энергии и теплоемкости идеального газа.

По теме «Статистические распределения» даны задачи по расчету статистических параметров идеального газа: наиболее вероятной средней арифметической и средней квадратичной скоростей, длины свободного пробега.

Задачи по теме «Основы термодинамики» затрагивают такие вопросы как первое начало термодинамики, работа газа при различных процессах, тепловой двигатель, цикл Карно.

По теме «Энтропия термодинамических систем» в контрольную работу включены задачи по расчету энтропии при протекании различных термодинамических процессов.

В контрольную работу №2 включены задачи по темам: "Молекулярная физика и термодинамика".

Таблица 2

| Вариант | Номера задач | | | | | | | |
|---------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 201 | 211 | 221 | 231 | 241 | 251 | 261 | 271 |
| 1 | 202 | 212 | 222 | 232 | 242 | 252 | 262 | 272 |
| 2 | 203 | 213 | 223 | 233 | 243 | 253 | 263 | 273 |
| 3 | 204 | 214 | 224 | 234 | 244 | 254 | 264 | 274 |
| 4 | 205 | 215 | 225 | 235 | 245 | 255 | 265 | 275 |
| 5 | 206 | 216 | 226 | 236 | 246 | 256 | 266 | 276 |
| 6 | 207 | 217 | 227 | 237 | 247 | 257 | 267 | 277 |
| 7 | 208 | 218 | 228 | 238 | 248 | 258 | 268 | 278 |
| 8 | 209 | 219 | 229 | 239 | 249 | 259 | 269 | 279 |
| 9 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 |

Перед выполнением контрольной работы необходимо проработать материал соответствующих разделов рекомендованной литературы, внимательно ознакомиться с основными законами и формулами, а также справочными материалами, приведенными в приложениях данной учебно-

методической разработки. После этого надо разобрать примеры решения типовых задач из данной учебно-методической разработки и решить ряд задач из задачников по физике [4-8].

Задачи 201 ... 240 относятся к теме “Молекулярно-кинетическая теория газов. Уравнение состояния идеального газа”. Для решения этих задач необходимо изучить тему “Молекулярно-кинетическая теория газов. Уравнение состояния идеального газа” по учебникам [1], с. 88...92 или [2], с. 65...77.

Задачи 241 ... 280 относятся к теме “Термодинамика”. Приступая к решению этих задач необходимо ознакомиться с данной темой по учебникам [1], с. 95...135 или [2], с. 79...90.

3.2. Основные законы, формулы и примеры решения задач

Молекулярно-кинетическая теория идеального газа

1. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона)

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

где P - давление газа, V - его объем, T - термодинамическая температура, m - масса газа, μ - масса одного моля газа, $R = 8,31$ Дж/(моль К) - универсальная газовая постоянная, m/μ - число молей.

2. Количество вещества газа (в молях)

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad \text{или} \quad \nu = \frac{m}{\mu},$$

где N - число молекул газа, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ - постоянная Авогадро.

Количество вещества в смеси газов определяется

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = N_1/N_A + N_2/N_A + \dots + N_n/N_A$$

или $\nu = m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2 + \dots + m_n/\mu_n$,

где ν_i , N_i , m_i , μ_i - соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса i -й компоненты смеси.

Молярная масса смеси газов

$$\mu = (m_1 + m_2 + \dots + m_n) / (\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n),$$

где m_i - масса i -го компонента смеси, ν_i - количество вещества i -го компонента смеси, n - число компонентов смеси.

Массовая доля w_i i -го компонента смеси газов (в долях единицы)

$$w_i = m_i / m,$$

где m - масса смеси.

Концентрация молекул

$$n = N / V = N_A \rho / \mu,$$

где N - число молекул, содержащихся в данной системе; ρ - плотность веществ; V - объем системы.

Формула справедлива не только для газов, но и для любого агрегатного состояния вещества.

3. По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме их парциальных давлений

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n,$$

где n - число компонентов смеси.

Парциальным давлением называется давление газа, которое имел бы каждый газ, входящий в состав смеси, при условии, что при данной температуре он один заполнял бы весь объем.

4. Основное уравнение кинетической теории газов

$$P = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_n \rangle = \frac{2}{3} n \frac{m \langle v^2 \rangle}{2},$$

где n - число молекул в единице объема, $\langle \varepsilon_n \rangle$ - средняя энергия поступательного движения одной молекулы, m - масса молекулы, $\langle v^2 \rangle$ - среднее значение квадрата скорости.

5. Средняя кинетическая энергия:

-приходящаяся на одну степень свободы

$$\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{1}{2} kT$$

-приходящаяся на все степени свободы (полная энергия молекул)

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

- поступательного движения молекул

$$\langle \varepsilon_n \rangle = \frac{3}{2} kT$$

где $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана, i - число степеней свободы молекулы.

Для одноатомного газа $i = 3$; для двухатомного газа $i = 5$; для многоатомного газа $i = 6$.

6. Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$P = nkT.$$

7. Скорости молекул:

средняя квадратичная

$$\langle v_{\text{ср}} \rangle = \sqrt{3kT / m_1} = \sqrt{3RT / \mu} ,$$

средняя арифметическая

$$\langle v \rangle = \sqrt{8kT / \pi m_1} = \sqrt{8RT / \pi \mu} ,$$

наиболее вероятная

$$\langle v_B \rangle = \sqrt{2kT / m_1} = \sqrt{2RT / \mu} ,$$

где m_i - масса одной молекулы.

8. Относительная скорость молекулы

$$u = v / v_B ,$$

где v - скорость данной молекулы.

9. Закон распределения молекул по скоростям (закон Максвелла) позволяет найти число молекул dN , относительные скорости которых лежат в интервале от u до $u + du$,

$$dN = (4 / \sqrt{\pi}) N e^{-u^2} u^2 du .$$

Здесь du - величина интервала относительных скоростей, малая по сравнению со скоростью u

10. Распределение Больцмана (распределение частиц в силовом поле)

$$n = n_0 e^{-\frac{E_n}{kT}} ,$$

где n - концентрация частиц, E_n - их потенциальная энергия, n_0 - концентрация частиц в тех точках поля, где $E_n=0$.

11. Барометрическая формула, выражающая зависимость давления идеального газа от высоты h над поверхностью Земли

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}$$

где p - давление газа на высоте h , p_0 - давление газа на высоте $h=0$, T - термодинамическая температура воздуха на высоте $h=0$.

12. Средняя длина $\langle l \rangle$ свободного пробега молекул газа

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} ,$$

где d - эффективный диаметр молекул.

13. Среднее число соударений молекул в единицу времени

$$\langle z \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle l \rangle} .$$

Примеры решения задач

Пример 1

Определить молярную массу газа, находящегося при нормальных условиях (н.у.), если его плотность равна $0,18 \text{ кг/м}^3$.

Дано:

н.у.

$$P = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$\rho = 0,18 \text{ кг/м}^3$$

μ - ?

Решение. Плотность вещества равна

$$\rho = m/V,$$

где m - масса вещества, V - объем.

Выразим молярную массу газа из уравнения Менделеева-Клайперона.

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \text{ откуда } \mu = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{p}$$

где P - давление газа, T - термодинамическая температура

В полученное выражение подставим плотность и найдем искомую молярную массу

$$\mu = \rho \frac{RT}{p}$$

Произведем вычисления с использованием табличных данных

$$\mu = \frac{0,18 \cdot 8,31 \cdot 273}{1,01 \cdot 10^5} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль.}$$

Пример 2

Баллон содержит 80 г кислорода и 300 г аргона. Давление смеси 10 атм, температура 15°C . Принимая данные газы за идеальные, определить емкость баллона.

Дано:

$$O_2 m_1 = 80 \text{ г} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$$Ar m_2 = 300 \text{ г} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ кг}$$

$$t = 15^\circ\text{C}$$

$$P = 10 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

V - ?

Решение. По закону Дальтона давление смеси равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав смеси. Парциальным давлением газа на-

зывается давление, которое производил бы газ, если бы только он один находился в сосуде, занятом смесью.

По уравнению Менделеева-Клапейрона парциальные давления кислорода P_1 и аргона P_2 выражаются формулами

$$P_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \cdot \frac{RT}{V} \quad \text{и} \quad P_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \cdot \frac{RT}{V}.$$

Следовательно, по закону Дальтона для смеси газов $P = P_1 + P_2$ или

$$P = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \cdot \frac{RT}{V},$$

откуда емкость баллона

$$V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \cdot \frac{RT}{P}. \quad (1)$$

Выразим в единицах СИ числовые значения величин, входящих в эту формулу: $m_1 = 80 \text{ г} = 0,08 \text{ кг}$; $\mu_1 = 32 \cdot 10^3 \text{ кг/моль}$; $m_2 = 300 \text{ г} = 0,3 \text{ кг}$; $\mu_2 = 40 \cdot 10^3 \text{ кг/моль}$; $p = 10 \text{ атм} = 10 \cdot 1,01 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$; $T = 15 + 273 = 288 \text{ К}$; $R = 8,31 \cdot \text{Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$.

Подставим числовые значения в формулу (1) и произведем вычисления

$$V = \left(\frac{0,08}{32 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,3}{40 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot \left(\frac{8,31 \cdot 288}{10 \cdot 1,01 \cdot 10^5} \right) \approx 0,024 \text{ м}^3 \approx 24 \text{ л}.$$

Пример 3

Найти кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре 13°C , а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода.

Дано:

O_2

$m = 4 \text{ г} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$

$t = 13^\circ\text{C}$

$\varepsilon_{вр} - ? \quad W_{вр} - ?$

Решение. Известно, что на каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая энергия, выражаемая формулой

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2} kT, \quad (1)$$

где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура газа.

Так как вращательному движению двухатомной молекулы (молекула кислорода - двухатомная) приписываются две степени свободы, то энергия вращательного движения молекулы кислорода выразится формулой

$$\varepsilon_{\text{вр}} = 2 \cdot \frac{1}{2} kT. \quad (2)$$

Подставив в формулу (2) $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К и $T = 13 + 273 = 286$ К, получим

$$\varepsilon_0 = 1,38 \cdot 10^{23} \cdot 286 = 3,94 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа определяется из равенства

$$W_{\text{вр}} = N\varepsilon_{\text{вр}}, \quad (3)$$

где N - число всех молекул газа.

Число молекул N можно получить по формуле

$$N = N_A \nu, \quad (4)$$

где N_A - число Авогадро, ν - число киломолей газа.

Если учесть, что число киломолей равно

$$\nu = \frac{m}{\mu},$$

где m - масса газа, μ - масса одного киломоля газа, то формула (4) примет вид

$$N = N_A \frac{m}{\mu}. \quad (5)$$

Подставив это выражение N в равенство (3), получим

$$W_{\text{вр}} = N_A \frac{m}{\mu} \varepsilon_{\text{вр}}. \quad (6)$$

Выразим величины, входящие в эту формулу, в единицах СИ:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}; \quad m = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}; \quad \mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}; \quad \varepsilon_{\text{вр}} = 3,94 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

Подставив эти значения в формулу (6), найдем

$$W_{\text{вр}} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4 \cdot 10^{-3} / 32 \cdot 10^{-3} \cdot 3,94 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 296 \text{ Дж}.$$

Пример 4

В современной вакуумной камере достигается вакуум порядка 0,1 нПа. Какова длина свободного пробега молекул азота в камере при комнатной температуре? Чему равно среднее число столкновений каждой молекулы с остальными в единицу времени? (Массу молекулы азота считать равной $5 \cdot 10^{-20}$ кг).

Дано:

$$N_2$$

$$P=0,1 \text{ нПа}=10^{-10} \text{ Па}$$

$$T=300 \text{ К}$$

$$m_1 = 5 \cdot 10^{-20} \text{ кг}$$

λ -?

$\langle z \rangle$ -?

Решение. Длина свободного пробега молекул определяется из соотношения:

$$\lambda = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n},$$

где $\langle v \rangle$ - средняя арифметическая скорость, $\langle z \rangle$ - среднее число столкновений каждой молекулы с остальными в единицу времени, n - концентрация молекул газа, σ - эффективный диаметр молекулы.

Концентрация молекул газа связана с его давлением соотношением:

$$P = nkT,$$

где k – постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура.

Таким образом,

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 P}.$$

С учетом табличных данных :

$$\sigma = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К},$$

произведем расчет:

$$\lambda = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-20} \cdot 10^{-10}} \approx 1 \cdot 10^8 \text{ м}.$$

Среднее число столкновений $\langle z \rangle$ найдем из соотношений

$$\langle z \rangle = \langle v \rangle / \lambda, \quad \langle v \rangle = \sqrt{8kT / \pi m_1}, \quad \text{где } m_1 \text{ – масса одной молекулы.}$$

Произведем расчет с учетом табличных данных.

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}{3,14 \cdot 5 \cdot 10^{-20}}} = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ м/с},$$

таким образом $\langle z \rangle = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ 1/с}^{-1}$

Пример 5

На сколько изменится атмосферное давление на вершине горы высотой 830 м, если у подножия оно равно 100 кПа, а температура воздуха равна 290К и не изменяется с высотой.

Дано:

$$h = 830 \text{ м}$$

$$P_0 = 100 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па}$$

$$T = 290 \text{ К}$$

ΔP - ?

Решение. Зависимость давления газа от высоты выражается барометрической формулой:

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{\mu gh}{RT}},$$

где P – атмосферное давление на вершине горы, P_0 – давление у ее подножия, h – высота горы, T – термодинамическая температура.

Находим искомое изменение давления:

$$\Delta P = P - P_0 = P_0 \left(1 - e^{-\frac{\mu gh}{RT}}\right).$$

Воспользуемся разложением функции e^x в ряд Тейлора и ограничимся первыми членами разложения, так как показатель экспоненты $\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right) < 1$.

Получим:

$$\Delta P \approx P_0 \frac{\mu gh}{RT}.$$

Произведем расчет, используя табличные данные:

$$\Delta P = \frac{10^5 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 830}{8,31 \cdot 290} \approx 10^4 \text{ Па}$$

Основы термодинамики

1. Первое начало термодинамики

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

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

2. Теплоемкость есть физическая величина, численно равная количеству теплоты, необходимой для нагревания тела (системы) на один Кельвин:

Молярная теплоемкость C есть физическая величина, численно равная количеству теплоты, необходимой для нагревания одного моля вещества на один Кельвин.

Удельная теплоемкость c - величина, численно равная количеству теплоты, необходимого для нагревания тела единичной массы на один Кельвин.

Связь между удельной c и молярной C_μ теплоемкостями

$$C_\mu = c\mu.$$

Удельная теплоемкость газа при постоянном объеме

$$c_v = \frac{i R}{2 \mu}.$$

Удельная теплоемкость газа при постоянном давлении

$$c_p = \frac{i + 2 R}{2 \mu}.$$

3. Внутренняя энергия газа (энергия теплового движения молекул)

$$U = \frac{i}{2} R \frac{m}{\mu} T = c_v m T.$$

4. Работа расширения газа от объема V_1 до объема V_2

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV.$$

Совершаемая работа равна:

при изотермическом процессе ($T=\text{const}$) -

$$A = (m / \mu) RT \ln(V_2 / V_1),$$

при изобарическом процессе ($P=\text{const}$) -

$$A = P (V_2 - V_1),$$

при адиабатическом процессе ($dQ=\text{const}$) -

$$A = -\Delta U = -m c_v \Delta T = \frac{RT}{\gamma - 1} \frac{m}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right],$$

где $\gamma = c_p / c_v$ - показатель адиабаты.

5. Уравнение Пуассона, связывающее параметры идеального газа при адиабатическом процессе,

$$PV^\gamma = \text{const} \quad \text{или} \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}.$$

6. Коэффициент полезного действия тепловой машины

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 - количество теплоты, переданное теплоотдатчиком рабочему телу;
 Q_2 - количество теплоты, отданное рабочим телом теплоприемнику.

Термический КПД цикла Карно

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 - температура теплоотдачаика; T_2 - температура теплоприемника.

7. Увеличение энтропии при переходе из состояния А в состояние В

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$$

и складывается из приростов энтропий в промежуточных процессах

$$\Delta S_{AB} = \sum_i \Delta S_i.$$

Примеры решения задач

Пример 1

Чему равны удельные теплоемкости c_V и c_P некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при нормальных условиях равна $1,43 \text{ кг/м}^3$?

Дано:

$$\rho = 1,43 \text{ кг/м}^3$$

$$i = 5$$

$$c_P - ? \quad c_V - ?$$

Решение. Удельные теплоемкости равны

$$c_V = \frac{i R}{2 \mu} \quad \text{и} \quad c_P = \frac{i + 2 R}{2 \mu}.$$

Из уравнения Клапейрона-Менделеева находим

$$\mu = \frac{mRT}{PV} = \rho \frac{RT}{P},$$

так как плотность газа $\rho = m / V$.

Подставляя молярную массу в формулы для теплоемкости, имеем:

$$c_V = \frac{i P}{2 \rho T} \quad \text{и} \quad c_P = \frac{i + 2 P}{2 \rho T}.$$

Произведем вычисления, учитывая, что для двухатомного газа число степеней свободы $i = 5$. Так как при нормальных условиях давление $p = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $T = 273 \text{ К}$, находим:

$$c_V = \frac{5 \cdot 1,01 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,43 \cdot 273} = 650 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

$$c_P = \frac{5 + 2 \cdot 1,01 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,43 \cdot 273} = 970 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Пример 2

Кислород массой 2 кг занимает объем 1 м^3 и находится под давлением $0,2 \text{ МПа}$. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема 3 м^3 , а затем при постоянном объеме до давления $0,5 \text{ МПа}$. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и теплоту, переданную газу. Построить график процесса.

Дано:

O_2

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$V_1 = 1 \text{ м}^3$$

$$P_1 = 0,2 \text{ МПа} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

- 1) $P = \text{const}$, $V_2 = 3 \text{ м}^3$
 2) $V = \text{const}$, $P_3 = 0,5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$\Delta U - ? A - ? Q - ?$

Решение. Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = -c_V m \Delta T = \frac{i R}{2 \mu} m \Delta T, \quad (1)$$

где i - число степеней свободы молекул газа (для двухатомных молекул кислорода $i = 5$), $\Delta T = T_3 - T_1$ разность температур газа в конечном (третьем) и начальном состояниях.

Начальную и конечную температуру газа найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$PV = (m / \mu) RT,$$

откуда

$$T = PV\mu / (mR).$$

Работа расширения газа при постоянном давлении выражается формулой

$$A_1 = (m / \mu) R \Delta T.$$

Работа газа, нагреваемого при постоянном объеме, равна нулю

$$A_2 = 0.$$

Следовательно, полная работа, совершаемая газом,

$$A = A_1 + A_2 = A_1.$$

Согласно первому началу термодинамики теплота Q_1 , переданная газу, равна сумме изменения внутренней энергии ΔU и работы A

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

Произведем вычисления, учтя, что для кислорода $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ (см. справочные таблицы):

$$T_1 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} \text{ К} = 385 \text{ К};$$

$$T_2 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} \text{ К} = 1155 \text{ К};$$

$$T_3 = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} \text{ К} = 2887 \text{ К};$$

$$A_1 = \frac{8,31 \cdot 2 \cdot (1155 - 385)}{32 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 0,4 \text{ МДж};$$

$$A = A_1 = 0,4 \text{ МДж};$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \frac{8,31 \cdot 2 \cdot (2887 - 385)}{32 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж} = 3,24 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,24 \text{ МДж};$$

$$Q = (3,24 + 0,4) \text{ МДж} = 3,64 \text{ МДж}.$$

График процесса приведен на рис 1.

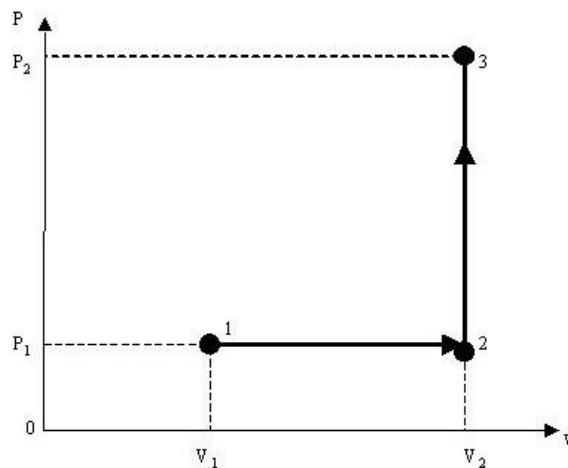


Рис.1

Пример 3

Азот массой 2г, имевший температуру 27°C , был адиабатически сжат так, что его объем уменьшился в 10 раз. Определим конечную температуру газа и работу сжатия.

Дано:

N_2

$t_1=27^{\circ}\text{C}$

$T_1=300\text{K}$

$m_1=2\text{г}=2 \cdot 10^{-3}\text{кг}$

$V_1/V_2=10$

$T_2 - ?$ $A_{\text{вн}} - ?$

Решение. Для решения воспользуемся уравнением адиабаты:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1},$$

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

где γ - показатель адиабаты.

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i}.$$

Так как азот – двухатомный газ, $i=5$ и $\gamma=1,4$.

$$T_2 = 300 \cdot 10^{0,4} = 754\text{K}.$$

Согласно первому началу термодинамики для адиабатического процесса

$$A = -\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1).$$

С учетом третьего закона Ньютона работа внешних сил равна:

$$A_{\text{вн}} = -A = -\frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

$$\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль.}$$

Произведем расчет:

$$A_{\text{вн}} = -\frac{5}{2} 28 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot (754 - 300) = -674 \text{ Дж.}$$

Знак "минус" показывает, что при сжатии работа газа совершается над газом внешними силами. График процесса изображен на рис. 2.

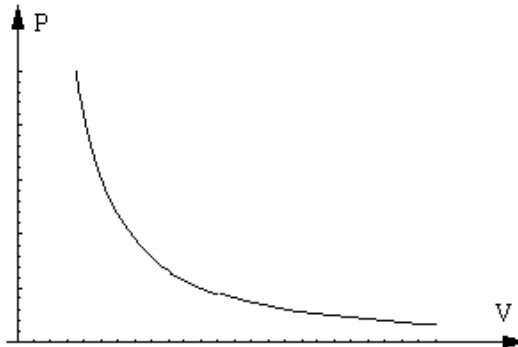


Рис.2

Пример 4

Тепловая машина работает по обратимому циклу Карно (рис.3). Температура теплоотдатчика 500°K . Определить термический КПД цикла и температуру теплоприемника тепловой машины, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от теплоотдатчика, машина совершает работу 350 Дж.

Дано:

$$T_1 = 500^{\circ}\text{K}$$

$$Q_1 = 1 \text{ кДж} = 10^3 \text{ Дж}$$

$$A = 350 \text{ Дж}$$

$$\eta - ? \quad T_2 - ?$$

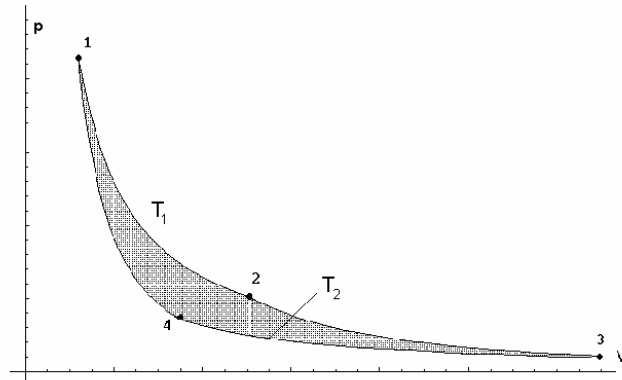


Рис.3

Решение. Термический КПД тепловой машины показывает, какая доля теплоты, полученная от теплоотдатчика, превращается в механическую работу. Термический к.п.д. выражается формулой

$$\eta = A / Q_1,$$

где Q_1 - теплота, полученная от теплоотдатчика; A - работа, совершенная рабочим телом тепловой машины.

Зная КПД цикла, можно по формуле $\eta = (T_1 - T_2) / T_1$ определить температуру охладителя T_2 (теплоприемника)

$$T_2 = T_1 (1 - \eta).$$

Произведем вычисления:

$$\eta = 350 / 1000 = 0,35;$$

$$T_2 = 500 (1 - 0,35) \text{ К} = 325 \text{ К}.$$

Пример 5

Найти изменение энтропии при превращении 10 г льда при -20°C в пар при 100°C .

Дано:

$$m = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг}$$

$$t_1 = -20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta S = ?$$

Решение. Изменение энтропии определяется формулой

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T},$$

где S_1 и S_2 - значения энтропии в первом и во втором состоянии, соответственно.

В данном случае общее изменение энтропии ΔS складывается из изменений ее в отдельных процессах.

1) Нагревание массы m льда от температуры T_1 до температуры T_2 . При этом

$$dQ = mc_1 dT,$$

где c_1 - удельная теплоемкость льда.

Таким образом, изменение энтропии в этом процессе

$$\Delta S_1 = mc_1 \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = mc_1 \ln(T_2/T_1).$$

2) Плавление массы m льда при температуре T_2 . Здесь

$$\int \frac{dQ}{T_2} = \frac{\lambda m}{T_2},$$

где λ - удельная теплота плавления.

Определяем изменение энтропии в этом процессе

$$\Delta S_2 = \lambda m / T_2.$$

3) Нагревание массы m воды от T_2 до T_3 . Аналогично пункту 1), получаем

$$\Delta S_3 = mc_2 \ln(T_3/T_2),$$

где c_2 - удельная теплоемкость воды.

4) Испарение массы m воды при температуре T_3 . Здесь

$$\int \frac{dQ}{T_3} = \frac{rm}{T_3},$$

где r - удельная теплота парообразования.

Определяем изменение энтропии в этом процессе

$$\Delta S_4 = r m / T_3.$$

Общее изменение энтропии

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 = m [c_1 \ln(T_2/T_1) + \lambda/T_2 + c_2 \ln(T_3/T_2) + r/T_3].$$

Произведем вычисления, используя табличные данные: $c_1 = 2,1 \cdot 10^3$ Дж / кг·К, $T_1 = 253$ К, $T_2 = 273$ К, $T_3 = 373$ К, $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$ Дж / кг, $c_2 = 4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж / кг и получим $\Delta S = 88$ Дж / К.

Пример 6

Найти изменение энтропии при переходе 8 г кислорода от объема в 10 л при температуре 80°C к объему в 40 л при температуре 300°C .

Дано:

O_2

$$m = 8 \text{ г} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$V_1 = 10 \text{ л} = 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$t_1 = 80^\circ\text{C}$$

$$V_2 = 40 \text{ л} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$t_2 = 300^{\circ}\text{C}$$

ΔS -?

Решение. Имеем изменение энтропии

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Но

$$dQ = mc_v dT + PdV,$$

где $c_v = \frac{i R}{2 \mu}$.

Учитывая уравнение Клапейрона-Менделеева

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

имеем

$$\Delta S = \int_1^2 m \frac{c_v dT}{T} + \int_1^2 \frac{m R dV}{\mu V}$$

или

$$\Delta S = mc_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

После вычислений получаем

$$\Delta S = 5,4 \text{ Дж/К}.$$

3.2.Задание на контрольную работу №2

201. За неделю из стакана испарилось 50 г воды. Сколько в среднем молекул вылетало с поверхности воды за 1с.

202. В баллоне емкостью 15 л находится смесь, содержащая 10 г водорода, 54 г водяного пара и 60 г окиси углерода. Температура смеси 27°C . Определить давление.

203. Смесь водорода и гелия находится в баллоне объемом 30 л при температуре 300 К и давлении 830 кПа. Масса смеси равна 24 г. Определить массу водорода и гелия.

204. Сосуд объемом 10 л содержит гелий под давлением 1 МПа и при температуре 300 К. После того, как из баллона выпущено 10 г гелия, температура в баллоне понизилась до 290 К. Определить давление гелия, оставшегося в баллоне.

205. Определить плотность смеси, состоящей из 4 г гелия и 28 г азота при тем-

пературе 27°C и давлении 1 МПа.

206. В дизеле в начале такта сжатия температура воздуха 40°C , а давление 78,4 кПа. Во время сжатия объем уменьшается в 15 раз, а давление возрастает до 3,5 Мпа. Определить температуру воздуха в конце такта сжатия.

207. Найти относительную молярную массу некоторого газа, если его плотность составляет 12.2 кг/м^3 при температуре 300 К и давлении 700 кПа.

208. Альпинист при каждом вдохе поглощает 5 г воздуха, находящегося при нормальных условиях. Найти объем воздуха, который должен вдыхать за то же время альпинист в горах, где давление равно 79,8 кПа, а температура -13°C .

209. В сосуде объемом 20 л при температуре 27°C находится смесь кислорода массой 6 г и углекислого газа массой 66 г. Определить давление смеси.

210. В сосуде объемом 2л находится углекислый газ массой 6г и закись азота (N_2O) массой 4г при температуре 400К. Найти давление смеси в сосуде.

211. Баллон, содержащий 1 кг азота, при испытании взорвался при температуре 350°C . Какое количество водорода можно хранить в этом баллоне при 20°C , имея пятикратный запас прочности.

212. Определить молярную массу газа, свойства которого соответствуют свойствам смеси 160 г кислорода и 120 г азота.

213. Определить плотность смеси 4 г водорода и 32 г кислорода при температуре 7°C и давлении 100 кПа.

214. До какой температуры при нормальном давлении можно нагреть кислород, чтобы его плотность стала равна плотности азота при нормальных условиях.

215. Современная техника позволяет создать вакуум до 0,1 нПа. Сколько молекул газа остается при таком вакууме в 1 см^3 при температуре 300К?

216. Котел содержит перегретый водяной пар массой 0,5кг при температуре 450К. Определить давление пара в котле, если его емкость равна 50 л.

217. Некоторый газ находится под давлением 126,7кПа при температуре 305К. Определить молярную массу газа, если плотность газа равна $0,1 \text{ кг/м}^3$.

218. Сколько молекул газа содержится в колбе объемом 1 л, если давление газа составляет 300 кПа, а температура газа 400К.

219. Два сосуда, содержащие одинаковые массы одного газа, соединены трубкой с краном. В первом сосуде давление 5000 Па, во втором 8000 Па. Какое давление установится после открытия крана, если температура останется неизменной?

220. Определить температуру газа, находящегося в закрытом баллоне, если его давление увеличилось на 0,4 % первоначального при нагревании на 1К.

221. В сосуде объемом 20 л содержится 40 г неона при давлении 200 кПа. Определить концентрацию атомов неона и среднюю кинетическую энергию одного атома.

222. Сколько молекул кислорода содержится в сосуде объемом 10 см^3 , если при тепловом хаотическом движении со средней скоростью 400 м/с они производят на стенке сосуда давление 1 кПа?

223. Найти число молекул водорода в одном 1 см^3 , если давление равно 0,266

МПа, а средняя квадратичная скорость при данных условиях равна 1400 м/с.

224. Газ занимает объем 4 л под давлением 500 Па. Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул.

225. При какой температуре средняя энергия теплового движения молекул аргона будет в 3 раза больше, чем средняя энергия вращательного движения молекулы метана при нормальных условиях?

226. 1 кг двухатомного газа находится под давлением 80 кПа и имеет плотность 4 кг/м³? Найти энергию теплового движения молекул газа в этих условиях.

227. Найти полную кинетическую энергию моля аммиака NH₃, а также кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы аммиака при температуре 27⁰С.

228. Газ занимает объем 1 л под давлением 2 кПа. Определить кинетическую энергию поступательного движения всех молекул, находящихся в данном объеме.

229. Определить среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы двухатомного газа, если суммарная кинетическая энергия молекул одного киломоля этого газа равна 3,01 МДж.

230. Какое число молекул двухатомного газа занимает объем 10 см³ при давлении 5,32 кПа и температуре 27⁰С? Какой суммарной энергией теплового движения обладают эти молекулы?

231. На сколько изменится атмосферное давление при подъеме на высоту 100 м над уровнем моря, если давление на уровне моря равно 100 кПа. Считать, что температура равна 290 К и не изменяется с высотой.

232. На какой высоте над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на поверхности? Считать, что температура воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

233. На сколько процентов отличается давление воздуха в шахте глубиной 1 км от давления на поверхности. Температуры считать одинаковыми и равными 27⁰С.

234. Во сколько раз средняя квадратичная скорость пылинок, взвешенных в воздухе, меньше средней квадратичной скорости молекул воздуха? Масса пылинки 10⁻⁸ г. Воздух считать однородным газом, для которого $\mu = 29$ г/моль.

235. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота больше их наиболее вероятной скорости на 150 м/с.

236. Определить среднюю длину свободного пробега молекул водорода при температуре 27⁰С и давлении $3 \cdot 10^{-8}$ Па (эффективный диаметр молекулы водорода принять равной $2,3 \cdot 10^{-10}$ м).

237. Баллон емкостью 10 л содержит азот массой 1 г. Определить среднюю длину свободного пробега молекул (эффективный диаметр молекулы азота принять равной $3,0 \cdot 10^{-10}$ м).

238. Найти эффективный диаметр молекул водорода, если для водорода при нормальных условиях длина свободного пробега молекул $1,12 \cdot 10^{-5}$ см.

239. Найти время свободного пробега молекул водорода при давлении 0,1 Па и температуре 100 К (эффективный диаметр молекулы водорода принять равным

$2,3 \cdot 10^{-10}$ м).

240. Какое предельное число молекул газа должно находиться в 1 см^3 сферического сосуда, диаметр которого 15 см, чтобы молекулы не сталкивались друг с другом? Принять эффективный диаметр молекул равным $3 \cdot 10^{-10}$ м.

241. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном давлении p и постоянном объеме неона и водорода, принимая эти газы за идеальные. Молярная масса неона $20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, водорода $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

242. Баллон с азотом двигался со скоростью 50 м/с. На сколько Кельвинов нагреется газ при внезапной остановке баллона?

243. Трехатомный газ под давлением 240 кПа и при температуре 20°C занимает объем 10 л. Определить теплоемкость этого газа при постоянном давлении.

244. При температуре 207°C масса 2,5 кг некоторого газа занимает объем $0,3 \text{ м}^3$. Определить давление газа, если удельная теплоемкость при постоянном давлении равна $519 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ и $\gamma = C_p/C_v = 1,67$.

245. Вычислить удельные теплоемкости газа, зная, что его молярная масса $44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль и отношение теплоемкостей $\gamma = C_p/C_v = 1,33$.

246. Известны удельные теплоемкости газа: $c_v = 649 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ и $c_p = 912 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Найти молярную массу газа и число степеней свободы его молекул.

247. Относительная молекулярная масса газа 4. Отношение теплоемкостей $C_p/C_v = 1,67$. Вычислить удельные теплоемкости газа.

248. Разность удельных теплоемкостей некоторого газа $2,08 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Определить относительную молекулярную массу газа.

249. Некоторый газ находится при температуре 350°K в баллоне емкостью 100 л под давлением 200 кПа. Теплоемкость этого газа при постоянном объеме $140 \text{ Дж}/\text{K}$. Определить отношение теплоемкостей C_p/C_v .

250. Вычислить теплоемкость (при постоянном объеме) газа, заключенного в сосуд емкостью 20 л при нормальных условиях. Газ одноатомный.

251. При адиабатическом расширении азот массой 10 г совершает работу, равную 321 Дж. На сколько уменьшилась внутренняя энергия и понизилась температура азота, если его удельная теплоемкость при постоянном объеме $742 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

252. В закрытом сосуде объемом 2 л находится азот, плотность которого $1,4 \text{ кг}/\text{м}^3$. Какое количество теплоты надо сообщить азоту, чтобы нагреть его на 100 K ? На сколько увеличится внутренняя энергия азота?

253. При адиабатическом расширении кислорода с начальной температурой 320 K внутренняя энергия уменьшилась на $8,4 \text{ кДж}$, а его объем увеличился в 10 раз. Определить массу кислорода.

254. Во сколько раз увеличится объем $0,4$ моля водорода при изотермическом расширении, если при этом газ получил количество теплоты 800 Дж ? Температура водорода 27°C . Какую работу совершил газ при своем расширении?

255. Водород массой $6,5 \text{ г}$, находящийся при температуре 27°C , расширяется вдвое при постоянном давлении за счет притока извне тепла. Найти работу расширения газа, изменение внутренней энергии газа и количество теплоты, сооб-

щенное газу.

256. При адиабатическом сжатии одного киломоля двухатомного газа была совершена работа в 146 кДж. На сколько увеличилась внутренняя энергия газа и температура газа при сжатии?

257. Объем азота уменьшают в 2 раза: а) изотермически; б) адиабатически. Определить работу, затраченную на сжатие газа, в обоих случаях масса газа 2 кг, начальная температура 15°C .

258. Кислород массой 10 г находится под давлением 0,3 МПа при температуре 10°C . После нагревания при постоянном давлении объем газа равен 10 л. Найти количество теплоты, полученное газом, изменение его внутренней энергии и работы, совершенной газом.

259. Закрытый баллон емкостью 10 л, содержащий кислород при давлении 2 МПа и температуре 7°C , нагревается до температуры 27°C . Какое количество теплоты передано газу? На сколько увеличилась внутренняя энергия газа?

260. В цилиндре под поршнем находится воздух. На его нагревание при постоянном давлении затрачено 5 кДж теплоты. Определить работу, совершаемую при этом газом. Удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении 1 кДж/(кг·К); молярная масса воздуха 29 г/моль.

261. В топке паровой турбины расходуется 0,35 кг дизельного топлива на 1 кВт·ч энергии. Температура поступающего в турбину пара 250°C , температура теплоприемника 30°C . Вычислить КПД турбины. Найти КПД идеальной тепловой машины, работающей при тех же температурных условиях. Удельная теплота сгорания топлива 42 Мдж/кг.

262. В ходе цикла Карно рабочее вещество получает от теплоотдатчика количество теплоты 300 кДж. Температуры теплоотдатчика и теплоприемника равны соответственно 480 К и 280 К. Определить термический КПД цикла и работу, совершаемую рабочим веществом за цикл.

263. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно, термический КПД которого 40 %. Температура теплоприемника 0°C . Найти температуру теплоотдатчика и работу изотермического сжатия, если работа изотермического расширения 8 Дж.

264. Идеальной тепловой машиной за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от теплоотдатчика, за цикл совершается работа 300 Дж. Определить термический КПД машины и температуру теплоотдатчика, если температура теплоприемника 280 К.

265. У тепловой машины, работающей по циклу Карно, температура теплоотдатчика в 1,6 раза больше температуры теплоприемника. За цикл машина совершает работу 12 кДж. Найти термический КПД цикла и работу, затраченную на изотермическое сжатие рабочего вещества за цикл?

266. Газ совершает цикл Карно. Температура теплоотдатчика в два раза меньше температуры теплоприемника. Определить КПД цикла и количество теплоты, отдаваемое теплоприемнику, если работа, совершаемая за цикл, равна 1,2 Дж.

267. Во сколько раз увеличится КПД идеальной тепловой машины при повышении температуры теплоприемника с 260 до 300 К. Температура теплоотдатчика 540К.

268. Температура теплоотдатчика идеальной тепловой машины 480 К, а ее КПД составляет 40%. Чему равна температура теплоприемника? Какую долю количества теплоты, полученного от теплоотдатчика, газ отдает теплоприемнику ?

269. Идеальная тепловая машина за цикл совершает работу 4 кДж, отдавая при этом холодильнику 6,4 кДж теплоты. Определить КПД цикла, а также температуру теплоотдатчика, если температура теплоприемника 280 К.

270. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за цикл работу 8кДж, отдавая теплоприемнику 12кДж. Определить КПД цикла и температуру теплоприемника, если температура теплоотдатчика 600К.

271. Воду массой 1 г нагрели от температуры 10°C до температуры 100°C , при которой она вся превратилась в пар. Найти приращение энтропии системы.

272. Кусок льда массой 200 г, взятый при температуре -10°C , был нагрет до 0°C и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры 10°C . Определить изменение энтропии в ходе указанных процессов.

273. Кислород массой 10 г нагревается от температуры 50°C до температуры 150°C . Найти приращение энтропии, если нагревание происходит: а)изохорически; б)изобарически.

274. Во сколько раз при изотермическом процессе надо увеличить объем газа в количестве 4 молей, чтобы его энтропия увеличилась на 23 Дж/К?

275. В результате изохорического нагревания воздуха массой 1 г давление газа увеличилось в 2 раза. Определить изменение энтропии газа.

276. Найти изменение энтропии при изобарическом расширении гелия массой 8 г от объема 10 л до объема 25 л.

277. Объем кислорода массой 2 кг увеличился в 5 раз. Один раз в изотермическом процессе, другой раз - в адиабатическом процессе. Найти изменение энтропии в каждом из указанных процессов.

278. Кусок льда массой 1 кг с начальной температурой -13°C в результате нагревания расплавлен. Найти приращение энтропии системы.

279. Найти изменение энтропии при изотермическом расширении азота массой 10 г от давления 0,1 до 0,05 МПа.

280. При изотермическом процессе объем некоторого идеального газа увеличился в 2 раза, а энтропия возросла на 4,6 Дж/К. Какое количество газа участвовало в указанном процессе?

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Некоторые физические постоянные (округленные значения)

| Физическая постоянная | Обозначение | Значение |
|------------------------------|-------------|--|
| Ускорение свободного падения | g | 9,81 м/с ² |
| Гравитационная постоянная | G | $6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²) |
| Элементарный заряд | e | $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл |

2. Некоторые астрономические величины

| Наименование | Значение |
|---|-------------------------|
| Радиус Земли | $6,37 \cdot 10^6$ м |
| Масса Земли | $5,98 \cdot 10^{24}$ кг |
| Радиус Луны | $1,74 \cdot 10^6$ м |
| Масса Луны | $7,33 \cdot 10^{22}$ кг |
| Расстояние от центра Земли до центра Луны | $3,84 \cdot 10^8$ м |
| Расстояние от центра Земли до центра Венеры | $6,0 \cdot 10^{10}$ м |

3. Некоторые соотношения между единицами измерения физических величин

| Физическая величина | Соотношение между единицами измерения |
|--------------------------|--|
| Масса | 1 тонна = 10^3 кг |
| Время | 1 сутки = $8,64 \cdot 10^4$ сек 1 год = $3,16 \cdot 10^7$ сек |
| Работа, энергия, теплота | 1 кал = 4,19 Дж 1 кВт.ч = $3,6 \cdot 10^5$ Дж |

4. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

| Приставка | | | Приставка | | |
|--------------|-------------|-----------|--------------|-------------|------------|
| Наименование | Обозначение | Множитель | Наименование | Обозначение | Множитель |
| экса | Э | 10^{18} | деци | д | 10^{-1} |
| пэта | П | 10^{15} | санتي | с | 10^{-2} |
| тера | Т | 10^{12} | милли | м | 10^{-3} |
| гига | Г | 10^9 | микро | мк | 10^{-6} |
| мега | М | 10^6 | нано | н | 10^{-9} |
| кило | к | 10^3 | пико | п | 10^{-12} |
| гекто | г | 10^2 | фемто | ф | 10^{-15} |
| дека | да | 10^1 | атто | а | 10^{-18} |

5. Греческий алфавит

| Обозначения букв | Названия букв | Обозначения букв | Названия букв |
|------------------|---------------|------------------|---------------|
| Α, α | альфа | Ν, ν | Ни |
| Β, β | бета | Ξ, ξ | Кси |
| Γ, γ | гамма | Ο, ο | Омикрон |
| Δ, δ | дельта | Π, π | Пи |
| Ε, ε | эпсилон | Ρ, ρ | Ро |
| Ζ, ζ | дзета | Σ, σ | Сигма |
| Η, η | эта | Τ, τ | Тау |
| Θ, θ | тета | Υ, υ | Ипсилон |
| Ι, ι | йота | Φ, φ | Фи |
| Κ, κ | каппа | Χ, χ | хи |
| Λ, λ | ламбда | Ψ, ψ | пси |
| Μ, μ | ми | Ω, ω | омега |

6. Некоторые физические постоянные (округленные значения)

| Физическая постоянная | Обозначение | Значение |
|----------------------------------|-------------|---|
| Постоянная Авогадро | N_A | $6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹ |
| Универсальная газовая постоянная | R | 8,31 Дж/(моль·К) |
| Постоянная Больцмана | K | $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К |
| Элементарный заряд | e | $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл |
| Скорость света в вакууме | c | $3,0 \cdot 10^8$ м/с |

7. Относительные атомные массы некоторых элементов

| Элемент | Химический символ | A |
|----------|-------------------|----|
| Азот | N | 14 |
| Аргон | Ar | 40 |
| Водород | H | 1 |
| Гелий | He | 4 |
| Кислород | O | 16 |
| Неон | Ne | 20 |
| Углерод | C | 12 |

8. Некоторые физические постоянные (округленные значения)

| Физическая постоянная | Обозначение | Значение |
|---|-------------|---|
| Масса Солнца | M | $2 \cdot 10^{30}$ кг |
| Радиус Солнца | R | $7 \cdot 10^8$ м |
| Температура поверхности Солнца | T | 5500^0 К |
| Расстояние от центра Солнца до центра Земли | R | $1,49 \cdot 10^{11}$ м |
| Радиус Земли | R | $6,37 \cdot 10^6$ м |
| Постоянная Авогадро | N_A | $6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹ |
| Универсальная газовая постоянная | R | 8,31 Дж/(моль·К) |
| Постоянная Больцмана | k | $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К |
| Скорость света в вакууме | c | $3,0 \cdot 10^8$ м/с |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1. Общие требования к оформлению контрольных работ | 3 |
| 2. Контрольная работа №1 «Физические основы механики» | 5 |
| 2.1. Методические указания к выполнению контрольной работы №1 | 5 |
| 2.2. Основные законы, формулы, примеры решения задач | 6 |
| 2.3. Задание на контрольную работу №1 | 22 |
| 3. Контрольная работа №2 «Молекулярная физика. Основы термодинамики» | 29 |
| 3.1. Методические указания к выполнению контрольной работы №2 | 29 |
| 3.2. Основные законы, формулы, примеры решения задач | 30 |
| 3.3. Задание на контрольную работу №2 | 45 |
| Приложения | 52 |

Редактор М.Ю.Комарова
Сводный темплан 2002 г.
Лицензия ЛР N 020308 от 14.02.97.

| | | | |
|--------------------|---------|--------|---------------|
| Подписано в печать | .2002. | Формат | 60 x 84 1/16 |
| Б. Кн. - журн. | П. л. , | Б.л. | РТП РИО СЗТУ. |
| Тираж | Заказ | . | |

Северо-Западный государственный заочный технический университет
РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов
Санкт-Петербурга
191186, Санкт-Петербург, Миллионная, 5