

Семинар 1 Кинематика.

(Найти скорость и ускорение, перемещение, путь, уравнение траектории и среднюю путевую скорость материальной точки, зная закон ее движения. Движение материальной точки по окружности: зная закон изменения угла поворота и радиус окружности найти угловую скорость, угловое ускорение, линейную скорость, тангенциальное, нормальное и полное ускорение точки.)

1. Закон движения материальной точки имеет вид

$\vec{r} = \alpha t \vec{i} + (\beta + \gamma t^2) \vec{j}$ [м], где $\alpha=5\text{ м/с}$, $\beta=2\text{ м}$, $\gamma=1\text{ м/с}^2$. Найти скорость и ускорение точки в момент времени $t_1=2\text{ с}$. Определить перемещение точки за вторую секунду движения. Написать уравнение траектории.

Перемещение за вторую секунду $\Delta \vec{r} = \alpha \vec{i} + 2\gamma \vec{j} = 5\vec{i} + 2\vec{j}$; $\Delta r = \sqrt{29} \approx 5,4\text{ м}$.

2. (1.26) Материальная точка движется так, что координаты зависят от времени по законам $x = t(1 - t)$ [м], $y = t(1 + 2t)$ [м]. В момент времени $t_1 = 1\text{ с}$ определить ускорение точки и угол между векторами скорости и ускорения.

3. (1.44) Материальная точка движется по закону $\vec{r} = (1 - 3t + t^2) \vec{i}$ [м]. Найти среднюю путевую скорость за три секунды после начала движения.

$$v_{\text{ср}} = 1,5\text{ м/с}$$

4. (1.63) Диск радиуса $R=0,1\text{ м}$ вращается вокруг закрепленной оси так, что его угол поворота меняется по закону $\varphi = 0,1t^3 - t$ [рад]. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорения точек, лежащих на расстоянии $R/4$ от края диска в момент времени $t=10\text{ с}$.

$$a_n = \frac{0,09t^2 R}{4} = 0,225 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad a_\tau = \frac{0,6tR}{4} = 0,15\text{ м/с}^2, \quad a = 0,27\text{ м/с}^2$$

5 (1.29). Координаты частицы зависят от времени по законам $x=A\cos(\omega t)$ [м], $y=A\cos(2\omega t)$ [м], где A , ω - постоянные. Найти уравнение траектории и зависимости от времени векторов скорости и ускорения.

6. (1.39) Материальная точка движется по закону $\vec{r} = \alpha t^3 \vec{j} + \beta t \vec{j}$ [м], где $\alpha=0,03\text{ м/с}^2$, $\beta=0,02\text{ м/с}$. Чему будет равен радиус кривизны траектории в момент времени $t_1 = 2\text{ с}$?

Д.3. 1.24, 1.25, 1.31, 1.62, 1.64

Семинар 2 Динамика поступательного движения.

(2-й закон Ньютона. Силы в механике. Определение ускорения, скорости и радиус-вектора материальной точки, зная силу, действующую на точку и её массу. Импульс и изменение импульса материальной точки. Закон сохранения импульса.)

1. (2.26) Брусок массы m тянут за нить так, что он движется с постоянной скоростью по горизонтальной плоскости с коэффициентом трения μ . Найти угол α , при котором натяжение нити будет наименьшим. Чему оно равно?

$$\mu = \tan \alpha; \quad T_{\min} = \frac{\mu mg}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

2. (2.27) Тело пущено вверх по наклонной плоскости с начальной скоростью v_0 .

Коэффициент трения между телом и плоскостью μ . Определить угол α , при котором время подъема минимально, а также это минимальное время.

$$\mu = ctg\alpha; \quad t = \frac{v_0\sqrt{1+\mu^2}}{g(1+\mu^2)}$$

3. (2.37) Определить закон движения материальной точки массой m , если на нее действует сила $\vec{F} = \alpha\vec{j} + \beta t\vec{k}$, где α, β постоянные и при $t = 0, \vec{r} = 0, \vec{v} = v_0\vec{i}$.

$$\vec{r} = v_0 t \vec{i} + \frac{\alpha t^2}{2m} \vec{j} + \frac{\beta t^3}{6m} \vec{k}$$

Импульс. Закон сохранения импульса.

4. Материальная точка массой $m = 3$ кг, двигаясь равномерно, описывает четверть окружности радиусом $R = 2$ м в течение времени $t = 3$ с. Найти изменение импульса точки.

5. (3.54) Материальная точка массой $m_1 = 2$ кг, движущаяся со скоростью

$\vec{v}_1 = 3\vec{i} + 2\vec{j} - \vec{k}$ [м/с], испытывает неупругое столкновение с материальной точкой массой

$m_2 = 3$ кг, имеющей в момент столкновения скорость $\vec{v}_2 = 3\vec{i} + 2\vec{j} - \vec{k}$ [м/с]. Определить скорость и тел после удара.

$$\vec{u} = (2\vec{j} + 2\vec{k}) \text{ м/с}$$

6* (3.18). На материальную точку массой $m = 1$ кг действовала сила, изменяющаяся по закону $\vec{F} = At\vec{i} + (At + Bt^2)\vec{j}$ [Н], $A = 1$ Н/с, $B = 1$ Н/с². В начальный момент времени точка имела скорость $\vec{v} = \alpha\vec{j}$, где $\alpha = 2$ м/с. Определить импульс тела спустя время $t = 1$ с после начала действия силы.

$$\vec{p} = \frac{1}{2}\vec{i} + \frac{17}{6}\vec{j} \quad [\text{кг} \cdot \text{м/с}]$$

Д.З. 2.11, 2.14, 3.12, 3.59, 3.14

Семинар 3

Динамика вращательного движения.

(Расчет момента инерции твердого тела в простейших случаях. Основной закон динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси. Закон сохранения момента импульса.)

1. (4.9) Тонкий однородный стержень длины $3l = 30$ см согнут под прямым углом и может вращаться относительно вертикальной оси O_1O_2 . определить момент инерции стержня относительно оси O_1O_2 , если масса единицы длины стержня $m_0 = 3$ кг/м.

2. (4.19) Найти момент инерции тонкого диска массой m и радиусом R относительно оси, совпадающей с его диаметром

3.(4.23) Маховик в форме сплошного диска имеет массу $m=50$ кг и радиус $R=0,2$ м. Маховику сообщили начальную угловую скорость $\omega=160\pi$ рад/с. Под влиянием силы трения, приложенной по касательной к ободу, маховик останавливается. Найти силу трения, если маховик останавливается через время $t=50$ с.

$$F = \frac{mR\omega_0}{2t}$$

4.(4.29) К точке, радиус-вектор которой относительно начала координат O равен $\vec{r} = a\vec{i} + b\vec{j}$, приложена сила $\vec{F} = A\vec{i} + B\vec{j}$, где $a, b, A, B = \text{const}$. Найти момент \vec{M} силы \vec{F} относительно точки O .

$$\vec{M} = (aB - bA)\vec{k}$$

5. (4.38) Две гири с массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 1$ кг соединены невесомой и нерастяжимой нитью и перекинута через блок массой $m_3 = 1$ кг. Найти: 1) ускорение a , с которым движутся гири; 2) натяжения T_1 и T_2 нитей, к которым подвешены гири. Блок считать однородным диском. Трением пренебречь.

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1 + m_2 + m_3/2} = 2,8 \text{ м/с}^2$$

$$T_1 = \frac{m_1 g (2m_2 + m_3/2)}{m_1 + m_2 + m_3/2} = 14 \text{ Н}; \quad T_2 = \frac{m_2 g (2m_1 + m_3/2)}{m_1 + m_2 + m_3/2}$$

6.(4.67) Горизонтальная платформа массой $m_1 = 120$ кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, делая $n_1 = 8$ об/мин. Человек массой $m_2 = 60$ кг стоит при этом на краю платформы. С какой частотой начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы в точку, расположенную от центра платформы на расстоянии половины ее радиуса? Считать платформу круглым однородным диском, а человека - материальной точкой.

$$n_2 = \frac{(m_1 + 2m_2)n_1}{m_1 + \frac{m_2}{2}} \approx 12,8 \text{ об/мин}$$

Д.З. 4.11, 4.21, 4.22, 4.28, 4.45, 4.36

Семинар 4-5

Работа. Энергия. Законы сохранения в механике

(Работа постоянной и переменной силы. Связь силы и потенциальной энергии. Кинетическая энергия поступательного и вращательного движений твердого тела. Закон сохранения механической энергии.)

1.(3.20) Материальная точка массой $m = 2$ кг двигалась под действием некоторой силы, направленной вдоль оси OX , по закону $x = \alpha + \beta t + \gamma t^2$, где $\alpha = 3$ м, $\beta = 2$ м/с², $\gamma = 1$ м/с². Определить работу этой силы за первые 2 с.

$$A = 32 \text{ Дж}$$

2.(3.28) Частице массой $m=1$ кг сообщили начальную скорость и она начинает двигаться по шероховатой горизонтальной поверхности, причем коэффициент трения μ ее об эту поверхность линейно зависит от координаты x : $\mu = \alpha x$, где $\alpha=10^{-3}$ м⁻¹. Какую работу совершит сила трения к моменту, когда частица будет иметь координату $x=5$ м?

$$A = -\frac{\alpha mgx^2}{2}$$

3.(4.25). С наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha=30^\circ$, скатывается обруч. Длина наклонной плоскости $l=4$ м. Найти скорость обруча в конце наклонной плоскости.

4. (3.25). Потенциальная энергия частицы имеет вид $U = \alpha(x^2/y - y^2/z)$ [Дж], где $\alpha = \text{const}$. Определить: силу, действующую на частицу; работу A , совершаемую над частицей силами поля при переходе частицы из точки $M_1 = \{3, 2, 1\}$ [м], в точку $M_2 = \{1, 2, 3\}$ [м].

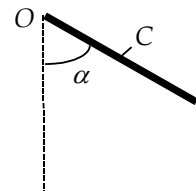
5.(4.37). Тонкий однородный стержень массы $m = 1$ кг и длины $l = 1$ м падает без начальной скорости из вертикального положения в горизонтальное. Найти момент импульса стержня, когда он составляет с вертикалью угол $\beta = 60^\circ$.

$$l = \frac{L}{\sqrt{3}}$$

6.(4.61) Тонкий стержень массой m и длиной L подвешен за один конец и может вращаться без трения вокруг горизонтальной оси. К той же оси подвешен на нити длиной l шарик такой же массы m . Шарик отклоняется на некоторый угол и отпускается. При какой длине нити шарик после удара о стержень остановится? Считать удар абсолютно упругим.

$$L = ml\sqrt{gl(1 - \cos \beta)/3} \approx 1,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$$

7. Однородный тонкий стержень длиной $L = 1$ м может свободно вращаться относительно горизонтальной оси, проходящей вблизи его торца. Стержень отклонили от положения равновесия на угол $\alpha = \pi/3$ и отпустили. Определить угловую скорость стержня и скорость его центра масс C в момент прохождения им положения равновесия.



$$\omega = \sqrt{3g/2L} = 3,83 \text{ рад/с}, \quad v = \sqrt{3gL/8} = 1,92 \text{ м/с}$$

Д.З. 3.26, 3.29, 3.31, 4.57, 4.68, 4.70

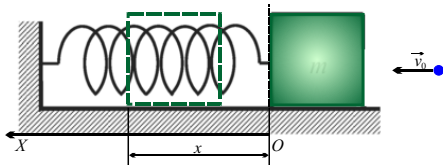
Семинар 6

Механические колебания.

(Гармонические колебания. Маятники. Энергия точки, совершающей гармоническое колебание. Сложение колебаний.)

1.(6.14) Точка совершает гармонические колебания по закону синуса. Максимальное смещение точки $A = 100$ см, максимальная скорость $v_{\text{max}} = 20$ см/с. Записать дифференциальное уравнение гармонических колебаний, его решение и найти максимальное ускорение точки.

2. (6.61) На горизонтальной пружине жесткостью $k=800$ Н/м укреплено тело массой $M=4$ кг, лежащее на гладкой горизонтальной поверхности. Другой конец пружины прикреплен к вертикальной стене. Пуля, массой $m=10$ г, летящая с горизонтальной скоростью $v_0 = 600$ м/с, попадает в тело и застревает в нем. Пренебрегая массой пружины и сопротивлением воздуха, определить: 1) амплитуду колебаний тела, 2) период колебаний тела.



3. Получить формулу периода колебаний математического маятника (из закона динамики вращательного движения).

4.(6.64) На стержень длиной $l = 30$ см укрепили грузики - один в середине стержня, другой - на одном из его концов. Стержень с грузиками колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину $l_{пр}$ и период T колебаний такой системы. Массой стержня пренебречь

5. Точка совершает гармонические колебания, уравнения которых имеет вид $x = 5 \sin(2t)$ см. В момент, когда возвращающая сила впервые достигла значения $F = 5$ мкН, точка обладала потенциальной энергией 10 мкДж. Найти этот момент времени и соответствующую ему фазу колебаний.

$$t = 0,463 \text{ с}, \varphi = 0,927 \text{ рад.}$$

6. (6.42) Найти графически амплитуду колебаний, которые возникают при сложении следующих колебаний одного направления.

$$x_1 = 3 \cos(\omega t + \pi/3), \quad x_2 = 5 \sin(\omega t + \pi/6)$$

Д.3. 6.24, 6.27, 6.33, 6.55, 6.71

Семинар 7

СТО

(Постулаты ТО. Преобразования Лоренца, следствия из преобразований Лоренца. Релятивистская масса, связь энергии и импульса)

1.(7.14) Найти собственную длину стержня, если в лабораторной системе отсчета его скорость $v = c/2$, длина $l = 1$ м, угол между ним и направлением движения $\alpha = 45^\circ$.

$$l_0 = l \sqrt{\frac{(1 - \beta^2 \sin^2 \alpha)}{(1 - \beta^2)}} = 1,08 \text{ м}, \quad \text{где } \beta = v/c;$$

2.(7.8) Мезон, входящий в состав космических лучей, движется со скоростью, составляющей 95% скорости света. Какой промежуток времени Δt по часам неподвижного наблюдателя соответствует одной секунде "собственного времени" мезона?

$$\Delta t = 3,2 \text{ с}$$

3. (7.33) Масса движущегося протона в 1,5 раза больше его массы покоя. Определить полную E и кинетическую T энергии этого протона.

$$E = 1410 \text{ МэВ}; T = 470 \text{ МэВ}$$

Контрольная работа на 45 мин (3 задачи по теме «Механика»)

Семинар 8

Уравнение состояния идеального газа

1. (1.42) Из баллона выпустили $\Delta m = 2$ г идеального газа, в результате чего давление уменьшилось на $\alpha = 10\%$. Определить объем баллона, если вначале плотность газа была равна $\rho = 2 \cdot 10^{-4}$ г/см³. Температура газа постоянна.

2. Газ массой 12 г занимает объем 4 л при температуре 70°C. После нагревания газа при постоянном давлении его плотность стала равной 0,6 кг/м³. До какой температуры нагрели газ.

3. Внутри закрытого с обоих торцов горизонтального цилиндра находится в равновесии тонкий поршень. С одной стороны поршня находится 2 г водорода ($\mu_1 = 0,002$ кг/моль), с другой 14 г азота ($\mu_2 = 0,028$ кг/моль). Какую часть объема цилиндра занимает азот, если температуры газов одинаковы?

$$\alpha = \frac{m_2 \mu_1}{m_1 \mu_2 + m_2 \mu_1} = \frac{1}{3}$$

4. (1.76) В баллоне объемом $V = 7,5$ л при температуре $T = 300$ К находится смесь газов: $v_1 = 0,1$ моля кислорода ($\mu_1 = 0,032$ кг/моль), $v_2 = 0,2$ моля азота ($\mu_2 = 0,028$ кг/моль) и $v_3 = 0,3$ моля углекислого газа ($\mu_3 = 0,044$ кг/моль). Считая газы идеальными, определить: 1) давление смеси; 2) молярную массу смеси.

$$P = 0,2 \text{ МПа}; \quad \mu = \frac{v_1 \mu_1 + v_2 \mu_2 + v_3 \mu_3}{v_1 + v_2 + v_3}$$

5. (1.61) Идеальный газ сначала изотермически сжимают в $k = 4$ раза, а затем изобарически расширяют в $n = 3$ раза. Построить этот процесс на $P - V$, $P - T$ и $V - T$ диаграммах

6. (1.64) Идеальный газ, находящийся при температуре $t_1 = 127^\circ\text{C}$ и давлении $P_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, занимает первоначально объем $V_1 = 2$ л. Этот газ изотермически сжимают, затем изохорически охлаждают до температуры $t_3 = -73^\circ\text{C}$ и далее изотермически доводят его объем до $V_4 = 1$ л. Определить установившееся давление P_4 газа.

7. (1.65) В вертикальном сосуде под поршнем находится $m = 1$ г азота. Площадь поршня $S = 10$ см², масса поршня $M = 1$ кг. Азот нагревают на $T = 10$ К. На сколько при этом поднимется поршень? Давление над поршнем нормальное $P_0 = 10^5$ Па. Молярная масса азота $= 0,028$ кг/моль. Трением пренебречь.

8. (1.83) В сосуде находится идеальный двухатомный газ. При увеличении температуры в $n = 3$ раза давление увеличилось в $k = 3,15$ раза. Сколько процентов молекул от их первоначального количества распалось на атомы?

Семинары 9-10

Распределение Максвелла. Распределение Больцмана

1. (4.19) Найти температуру азота ($\mu=0,028\text{кг/моль}$), при которой скоростям молекул $v_1=300\text{ м/с}$ и $v_2=600\text{ м/с}$ соответствуют одинаковые значения функции распределения по модулю скорости.

$$T = \frac{\mu(v_2^2 - v_1^2)}{4R \ln(v_2/v_1)} = 328\text{ К}$$

2. (4.21) Определить скорость молекул идеального газа, при которой значение функции распределения по модулю скорости для температуры T_0 будет таким же, как и для температуры в η раз больше. Молярная масса газа μ .

$$v = \sqrt{\frac{3RT_0}{\mu} \cdot \ln(\eta) \frac{\eta}{\eta - 1}}$$

3. (4.57) Какая часть молекул воздуха при температуре $t=17^\circ\text{C}$ обладает скоростями, отличающимися не более чем на $\Delta v=\pm 0,5\text{ м/с}$ от наиболее вероятной скорости v_v ? Молярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3}\text{кг/моль}$.

$$\frac{\Delta N}{N} = 8 \sqrt{\frac{2\mu}{\pi RT}} e^{-1} \cdot |\Delta v| = 4,07 \cdot 10^{-3}$$

4. Распределение вероятностей значений некоторой величины x описывается функцией $f=Ax(a-x)$ при $0 < x < a$. Вне этого интервала $f=0$. Здесь A и a – постоянные. Считая, что a задано, найти: а) наиболее вероятное значение x и соответствующее значение функции f ; б) средние значения x и x^2 .

5. (4.34) Рассчитать среднее значение обратной скорости молекул кислорода при температуре $t = 50^\circ\text{C}$ и сравнить полученную величину с величиной, обратной средней арифметической скорости для этого газа. Молярная масса кислорода $= 32 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$.

6. (4.41) Используя функцию распределения Максвелла по импульсам, найти наиболее вероятное значение импульса p_v для молекул азота при температуре $t = 10^\circ\text{C}$. Молярная масса азота $= 28 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$.

7. (4.86) На какой высоте h над уровнем моря плотность воздуха уменьшится: а) в 2 раза; б) в e раз? Считать, что температура воздуха T и ускорение свободного падения g не зависят от высоты h . Молярная масса воздуха $\mu = 29 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$, температура $T = 273\text{К}$.

Домашнее задание

1. (4.14) Найти среднюю арифметическую, среднюю квадратичную и наиболее вероятную скорости молекул идеального газа, у которого при давлении $P=300\text{ мм. рт. ст.}$ плотность $\rho=0,3\text{ кг/м}^3$.
2. (4.15) Определить температуру водорода, при которой средняя квадратичная скорость молекул больше их наиболее вероятной скорости на $\Delta v = 400\text{ м/с}$. Найти среднюю арифметическую скорость молекул водорода при этой температуре. Молярная масса водорода $= 2 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$.

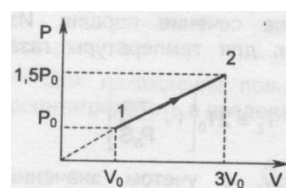
3. (4.22) Смесь азота ($\mu_1=28$ г/моль) и кислорода ($\mu_2=32$ г/моль) находится при температуре $t=100^\circ\text{C}$. При каком значении скоростей молекул, значения функции распределения по модулю скорости $f(v)$ будут одинаковы для обоих газов.
4. (4.60) В сосуде находится идеальный газ в количестве 2 моля. Определить число молекул газа, скорости которых меньше, чем $0,01 v_v$ (v_v - наиболее вероятная скорость молекул).

Семинар 11

Первое начало термодинамики. Изопроцессы в газах. Адиабатический процесс. Теплоемкость. Второе начало термодинамики. Энтропия. Циклы.

1. (2.18) Определить изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа в процессе, изображённом на рисунке. $P_0=0,1$ МПа, $V_0=2$ л.

$$\Delta U = 5,25 P_0 V_0 = 1,05 \text{ кДж}$$



2. (2.29) Определить работу ν молей идеального одноатомного газа при расширении от объема V_1 до объема V_2 в процессе, при котором температура изменяется по закону $T=\alpha V^2$, где α - положительная постоянная.

$$A = \frac{\alpha}{2} \nu R (V_2^2 - V_1^2)$$

3. (2.37) Азот ($\mu=0,028$ кг/моль) массой 2г, имевший температуру 300 К, был адиабатически сжат так, что его объём уменьшился в $n=10$ раз. Определите конечную температуру газа и работу сжатия.

$$T_2 = T_1 n^{\gamma-1} = 754 \text{ К}; \quad A = \frac{5}{2} \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1) = 674 \text{ Дж}; \quad \text{где } \gamma = 1,4$$

4. (2.39) Некоторую массу водорода сжали в $\eta = 5$ раз (по объему) один раз адиабатически, другой раз изотермически. Начальные давление, объем и температура газа в обоих случаях одинаковы. Найти отношение соответствующих работ, затраченных на сжатие.

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\eta^{\gamma-1} - 1}{(\gamma - 1) \ln \eta} = 1,4; \quad \text{где } \gamma = 1,4$$

5. (2.43) Азот массой $m = 5$ кг нагрели на $T = 150$ К при постоянном объеме. Определить количество теплоты Q , сообщенное газу; изменение внутренней энергии U ; совершенную газом работу A . Молярная масса азота = 0,028 кг/моль.

$$A = 0; \quad \Delta U = Q = 556 \text{ кДж}$$

6. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на $\Delta T=72$ К, сообщив ему количество тепла $Q=1,6$ кДж. Найти совершенную газом работу, приращение его внутренней энергии и величину $\gamma=c_p/c_v$

Домашнее задание

1. (2.27) Некоторый идеальный газ расширяется от объема $V_1=1$ л до объема $V_2=11$ л. Давление при этом изменяется по закону $P=\alpha V$, где $\alpha=4$ Па/м³. Определить работу, совершаемую газом.

$$A = \frac{\alpha}{2} R (V_2^2 - V_1^2) = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

2. (2.40) Некоторое количество идеального газа с трёхатомными жесткими молекулами перешло адиабатически из состояния с температурой $T_1=280$ К в состояние, характеризующееся значениями параметров $T_2=320$ К, $P_2=2 \cdot 10^5$ Па, $V_2=50$ л. Какую работу совершил газ при этом?

$$A = -3P_2V_2 \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) = -3,75 \text{ кДж}$$

3. (2.47) Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты $Q=21$ кДж. Определить работу A , которую совершил при этом газ, и изменение его внутренней энергии U .

$$A = \frac{2Q}{7} = 6 \text{ кДж}; \quad \Delta U = \frac{5Q}{7} = 15 \text{ Дж}$$

4. Азот массой $m=200$ г расширяется изотермически при температуре $T=280$ К, причем объем газа увеличивается в два раза. Найти: а) изменение ΔU внутренней энергии газа; б) совершенную при расширении газа работу A ; в) количество теплоты Q , полученное газом. Молярная масса азота $\mu=28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

$$\text{а) } \Delta U = 0; \quad \text{б) } A = 11,6 \text{ кДж}; \quad \text{в) } Q = 11,6 \text{ кДж}$$

5. (2.69) Каковы удельные теплоёмкости при постоянном объеме и при постоянном давлении смеси газов, содержащей кислород ($\mu_1=0,032$ кг/моль) массой $m_1=10$ г и азот ($\mu_2=0,028$ кг/моль) массой $m_2=20$ г?

$$c_V^{\text{уд}} = \frac{5R(m_1\mu_2 + m_2\mu_1)}{2\mu_1\mu_2(m_1 + m_2)} = 711 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}; \quad c_P^{\text{уд}} = 1 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Семинар 9

Второй закон термодинамики. Энтропия. Циклы.

1. (3.68) Найти изменение ΔS энтропии азота массой $m=4$ г при изобарическом расширении от объема $V_1=5$ л до объема $V_2=9$ л. Молярная масса азота $=28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 1,74 \text{ Дж/К}$$

2. Во сколько раз следует увеличить изотермически объем $v=4$ моля идеального газа, чтобы его энтропия испытала приращение $\Delta S=23$ Дж/К?

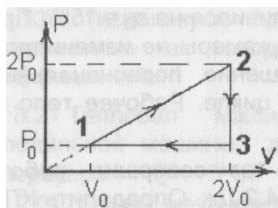
3. Два моля идеального газа сначала изохорически охладили, а затем изобарически расширили так, чтобы температура газа стала равна первоначальной. Найти приращение энтропии газа, если его давление в данном процессе изменилось в 3,3 раза.

4. Кусок меди массой $m_1=300$ г при температуре $t_1=97^\circ$ С поместили в калориметр, где находится вода массой $m_2=100$ г при температуре $t_2=7^\circ$ С. Найти приращение энтропии системы к моменту выравнивания температур. Теплоемкостью калориметра пренебречь.

5. Найти КПД цикла Карно, если при адиабатическом расширении: 1) объем газа увеличивается в 2 раза; 2) давление уменьшается в 2 раза.

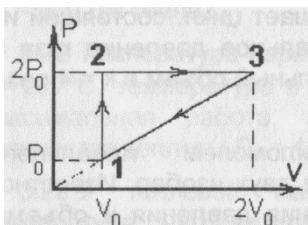
6. Изобразить для идеального газа примерные графики изохорического, изобарического, изотермического и адиабатического процессов на диаграммах (S,T); (S,V); (S,p).

7. Одноатомный идеальный газ совершает цикл, изображённый на рисунке. Найти КПД цикла, если в процессе 2-3 давление газа уменьшается в два раза.



Домашнее задание

1. (3.60) В результате изохорического нагревания водорода массой $m = 1$ г давление газа увеличилось в $n = 2$ раза. Определить изменение энтропии газа. Молярная масса водорода $= 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
2. Гелий массы $m=1,7$ г адиабатически расширили в 3 раза и затем изобарически сжали до первоначального объема. Найти приращение энтропии газа в этом процессе.
3. Найти приращение энтропии при превращении $m=200$ г льда, находившегося при температуре $10,7^\circ \text{C}$ в воду при 0°C .
4. Идеальный газ с показателем адиабаты γ , совершает цикл, изображенный на рисунке. Найти КПД этого цикла.



Семинар 13

Явления переноса

Контрольная работа на 45 мин