

10. ЯВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСА

Закон теплопроводности Фурье: $Q = -\lambda \frac{dT}{dx} \cdot St$, $j_Q = -\lambda \frac{dT}{dx}$,

где Q -теплота, прошедшая посредством теплопроводности через площадь S за время t ; j_Q -плотность теплового потока;

$\frac{dT}{dx}$ -градиент температуры; λ -коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$$

где c_v -удельная теплоемкость газа при постоянном объеме, ρ - плотность газа, $\langle v \rangle$ -средняя скорость теплового движения, $\langle l \rangle$ -средняя длина свободного пробега молекул.

Закон диффузии Фика: $M = -D \frac{d\rho}{dx} \cdot St$, $j_M = -D \frac{d\rho}{dx}$,

где M -масса вещества, переносимого посредством диффузии через площадь S за время t ; j_M -плотность потока массы;

$\frac{d\rho}{dx}$ - градиент плотности; D -коэффициент диффузии: $D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle$.

Закон Ньютона для внутреннего трения: $j_p = -\eta \frac{dV}{dx}$, $F = -\eta \frac{dV}{dx} S$,

где F -сила внутреннего трения между двумя движущимися слоями площадью S ; j_p –плотность потока импульса;

$\frac{dv}{dx}$ - градиент скорости; η -динамическая вязкость: $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$

10.1. Определите, во сколько раз отличаются коэффициенты динамической вязкости η углекислого газа и азота, если оба газа находятся при одинаковой температуре и одном и том же давлении. Эффективные диаметры молекул этих газов равны. Ответ: $\eta_1/\eta_2=1,25$.

10.2. Определите коэффициент теплопроводности λ азота, если коэффициент динамической вязкости η для него при тех же условиях равен 10 мкПа·с. Ответ: $\lambda=7,42$ мВт/м·К.

10.3. Построить график зависимости вязкости азота от температуры в интервале $100 \leq T \leq 600$ м К.

10.4. Построить график зависимости коэффициента диффузии водорода от температуры в интервале $100 \leq T \leq 600$ К при $P=100$ кПа.

10.5. Построить график зависимости коэффициента теплопроводности водорода от температуры в интервале $100 \leq T \leq 600$ К.

10.6. Экспериментально получены следующие данные зависимости коэффициента вязкости от температуры:

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50
$\eta \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$	1,75	1,30	1,00	0,82	0,62	0,55

Найти по этим данным энергию активации температурного изменения коэффициента вязкости, считая, что зависимость $\eta(T)$ носит экспоненциальный характер. Ответ: $1,41 \cdot 10^{-2}$ эВ.

10.7. Определите массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 50 см^2 за 20 с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен 1 кг/м^4 , температура азота 290 К, а средняя длина свободного пробега его молекул равна 1 мкм. Ответ: $m=15,6$ мг.

10.8. Пространство между двумя параллельными пластинами площадью 150 см^2 каждая, находящихся на расстоянии 5 мм друг от друга, заполнено кислородом. Одна пластина поддерживается при температуре 17°C , другая при температуре 27°C . Определите количество теплоты, прошедшее за 5 минут посредством теплопроводности от одной пластины к другой. Эффективный диаметр молекул кислорода считать равным 0,36 нм. Ответ: 79,4 Дж.

10.9. Тонкая металлическая прямоугольная пластина массой 50 г размером 20×30 см падает в воде в вертикальном положении с установившейся скоростью 6,9 м/с. Считая, что поверхностью пластины увлекается в движение слой воды толщиной 2 мм, оценить по этим данным, динамическую вязкость воды. Ответ: $\eta=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

10.10. Какой толщины следовало бы сделать деревянную стену здания, чтобы она давала такую же потерю тепла, как кирпичная стена толщиной $\Delta x_1=40$ см при одинаковой температуре внутри и снаружи здания. Коэффициенты теплопроводности кирпича и дерева равны соответственно: $\lambda_1=0,70 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $\lambda_2=0,175 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Ответ: $\Delta x_2=0,1$ м.

10.11. Потолочное перекрытие парового котла состоит из двух слоев тепловой изоляции. Определить температуру t_2 на границе между слоями, если температура наружных поверхностей перекрытия $t_1=800^\circ\text{C}$ и $t_3=60^\circ\text{C}$, а толщина и теплопроводность каждого слоя соответственно равны: $\Delta x_1=500$ мм, $\lambda_1=1,3 \text{ Вт/м}$; $\Delta x_2=200$ мм, $\lambda_2=0,16 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Ответ: $t_2=626^\circ\text{C}$.

10.12. В топке парового котла сжигается $m=200$ кг топлива в час с теплотой сгорания $q=41 \text{ МДж/кг}$. Определить потерю теплоты стенками топки в окружающую среду в процентах от общего количества выделяемого тепла, если поверхность стен топки $S=60 \text{ м}^2$, толщина стен

$\Delta x_1=750\text{мм}$, коэффициент теплопроводности кладки $\lambda_1=0,60\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, а температуры с внутренней и наружной сторон стен соответственно равны $t_1=750^\circ\text{С}$ и $t_2=50^\circ\text{С}$. Ответ: 1,5%.

10.13. Стальная стенка котла толщиной $\Delta x_1=1,5\text{ мм}$ покрыта с внутренней стороны слоем котельной накипи толщиной $\Delta x_2=1\text{мм}$. Определить тепловой поток, проходящий через 1 м^2 стенки котла и температуру стального листа под накипью, если температура внутренней поверхности стенки $t_1=250^\circ\text{С}$, а наружной $t_2=200^\circ\text{С}$. Коэффициент теплопроводности накипи $\lambda_2=0,6\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, коэффициент теплопроводности стали $\lambda_1=46\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Ответ: $j=29\text{ кВт/м}^2$, $t_2=201,6^\circ\text{С}$.

10.14. Площадь озера Тургояк составляет 27 км^2 . Найти, во сколько раз мощность теплового потока, передаваемого водой в атмосферу, превышает мощность электростанции в 10^6 кВт , если озеро покрыто слоем льда толщиной 200 мм , а температура на нижней и верхней поверхностях льда $t_1=0^\circ\text{С}$ и $t_2=-15^\circ\text{С}$. Теплопроводность льда $\lambda=2,5\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Ответ: 5.

10.15. Антикатоде рентгеновской трубки выполнен в виде медного стержня длиной 250 мм и диаметром 15мм . Определить разность температур между горячим и холодным концом стержня, если через боковую поверхность стержня тепло не проходит, а холодный конец омывается проточной водой. При этом вода нагревается на 3 градуса при расходе 1л/мин . Коэффициент теплопроводности меди $\lambda=390\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Ответ: $\Delta t=780^\circ\text{С}$.

10.16. Найти массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку $S=100\text{ см}^2$ за $t=10\text{ с}$, если градиент плотности в направлении перпендикулярном площадке $\frac{\Delta \rho}{\Delta x}=1,26\text{ кг/м}^4$, температура газа $t=27^\circ\text{С}$,

средняя длина свободного пробега молекул $\langle l \rangle=10\text{ мкм}$. Ответ: $0,2\text{ г}$.

10.17. На рисунке показано изменение температуры воздуха вблизи вертикальной металлической стенки, нагретой до 120°С . Найти тепловой и поток через площадку $S=15\text{ см}^2$, установленную параллельно стенке на расстоянии 3см от нее. Эффективный диаметр молекул воздуха принять равным $0,35\text{ нм}$. Ответ: $0,017\text{ Дж/с}$.

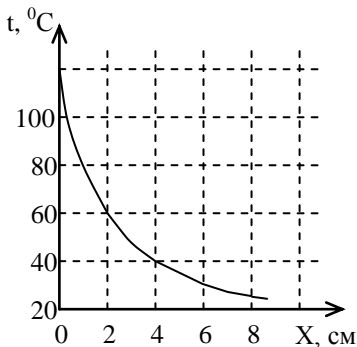


Рис. 1.

10.18. Концентрация молекул кислорода в азоте при нормальных условиях меняется вдоль некоторого направления X по закону

$n = n_0(1 - \kappa x)$, где $n_0 = 2 \cdot 10^{16} \text{ 1/м}^3$, $\kappa = 0,4 \text{ 1/м}$. Вычислить диффузионный поток кислорода через площадку 10 см^2 , которая установлена перпендикулярно оси X. Считать эффективные диаметры молекул азота и кислорода равными $0,35 \text{ нм}$. Ответ: $4,3 \cdot 10^{-18} \text{ кг/с}$.

10.19. Две металлические параллельные пластины площадью по 500 см^2 находятся в воздухе ($P = 10^5 \text{ Па}$) на расстоянии 1 см друг от друга. Температуры пластин разные и поддерживаются постоянными так, что температура воздуха между ними изменяется по закону $t^\circ\text{C} = 40(1 - 50x)$. Найти количество тепла, которое переносится за 5 мин от горячей пластины к холодной. Ответ: $Q = 325 \text{ Дж}$.

10.20. В направлении оси X в кислороде ($P = 10^5 \text{ Па}$, $T = 295 \text{ К}$) создано неравновесное распределение концентрации n аргона, зафиксированное в некоторый момент времени графиком, приведенном на рисунке. Рассчитайте для этого момента времени диффузионный поток аргона чрез площадку $S = 20 \text{ см}^2$, установленную перпендикулярно оси X в точке $x = 5 \text{ см}$. Эффективный диаметр молекул кислорода и аргона равен $3,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$. Ответ: $1,4 \cdot 10^{-17} \text{ кг/с}$.

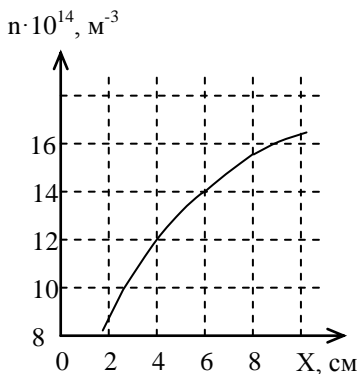


Рис. 2.

10.21. Между двумя пластинами с очень большой теплоемкостью, находящимися на расстоянии $\Delta x = 1 \text{ мм}$, находится воздух при нормальных условиях. Разности температур между пластинами $\Delta T = 1 \text{ К}$. Площадь каждой пластины $S = 100 \text{ см}^2$. Диаметр молекул $d = 0,35 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. Найти тепловой поток и количество теплоты, переданной за счет теплопроводности от одной пластины к другой за $t = 10 \text{ минут}$. Ответ: $W = 0,1 \text{ Вт}$, $Q = 62 \text{ Дж}$.

10.22. Какое количество тепла теряет помещение за время $t = 1 \text{ час}$ через окно за счет теплопроводности воздуха между рамами? Площадь каждой рамы $S = 4 \text{ м}^2$, расстояние между ними $\Delta x = 20 \text{ см}$, температура в помещении $t_1 = 18^\circ\text{C}$, температура наружного воздуха $t_2 = -20^\circ\text{C}$, давление $P = 10^5 \text{ Па}$, диаметр молекул воздуха $d = 0,35 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. Ответ: $Q = 28 \text{ кДж}$.

10.23. Самолет летит со скоростью 360 км/час . Считая, что толщина слоя воздуха, увлекаемая крылом самолета, равна $\Delta x = 2 \text{ см}$, найти касательную силу трения, действующую на единицу площади крыла. Температура воздуха $\Delta t = 0^\circ\text{C}$. Диаметр молекул воздуха $0,3 \text{ нм}$. Ответ: $0,09 \text{ Н}$.

10.24. Пространство между двумя коаксиальными цилиндрами заполнено газом. Радиусы цилиндров $r = 5$ см и $R = 5,2$ см, высота внутреннего цилиндра $h = 25$ см. Внешний цилиндр вращается с частотой $\nu = 360$ об/мин. Для того, чтобы внутренний цилиндр оставался неподвижным, к нему надо приложить касательную силу $F = 1,38$ мН. Найти по этим данным коэффициент вязкости газа, находящегося между цилиндрами. Ответ: $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Н·с/м².

10.25. Определить тепловой поток через огнеупорную обмуровку теплового агрегата, если толщина обмуровки равна 400 мм, температуры поверхностей обмуровки $t_1 = 900$ °С и $t_2 = 60$ °С, а коэффициент теплопроводности огнеупора изменяется по закону $\lambda = \lambda_0(1 + b \cdot t)$, где $\lambda_0 = 0,35$ Вт/м·К, $b = 1,5 \cdot 10^{-3}$ 1/К. Ответ: $j = 1265$ Вт/м².

10.26. Один конец стержня, заключенного в теплоизолирующую оболочку, поддерживается при температуре T_1 , а другой при температуре T_2 . Сам стержень состоит из двух частей, длины которых l_1 и l_2 , теплопроводности λ_1 и λ_2 . Найти температуру поверхности соприкосновения частей стержня. Ответ: $T = \left(\frac{\lambda_1 T_1}{\ell_1} + \frac{\lambda_2 T_2}{\ell_2} \right) : \left(\frac{\lambda_1}{\ell_1} + \frac{\lambda_2}{\ell_2} \right)$.

10.27. Стержень длиной l с теплоизолированной боковой поверхностью состоит из материала, коэффициент теплопроводности которого меняется с температурой $\lambda(T) = \frac{\alpha}{T}$, где α – постоянная. Торцы стержня поддерживаются при температуре T_1 и T_2 . Найти тепловой поток и зависимость $T(x)$, где x – расстояние от торца стержня с температурой T_1 . Ответ: 1) $j = \frac{\alpha}{l} \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$; 2) $T(x) = T_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{x}{l}}$

11. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

Поверхностная энергия жидкости:

$$W = \sigma \cdot S,$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения, S-площадь поверхности жидкости

Сила поверхностного натяжения:

$$F = \sigma \cdot l,$$

где l - длина контура, построенного на поверхности жидкости

Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры (для воды и спирта):

$$\sigma = \sigma_0(1 - \alpha \cdot t),$$

где α - температурный коэффициент,

t – температура в $^{\circ}\text{C}$, σ_0 – коэффициент поверхностного натяжения при $t=0^{\circ}\text{C}$

Давление Лапласа:

$$P = \frac{2\sigma}{r},$$

где r – радиус кривизны поверхности.

Давление Лапласа в капилляре:

$$P = \frac{2\sigma \cdot \cos \Theta}{R}, \text{ где } R - \text{ радиус капилляра, } \Theta - \text{ краевой угол.}$$

Справочные данные

Вещество	Коэффициент поверхностного натяжения σ при 20°C , мН/м	Коэффициент поверхностного натяжения σ_0 при 0°C , мН/м	Температурный коэффициент $\alpha \cdot 10^{-3}$, $1/^{\circ}\text{C}$	Плотность $\rho \cdot 10^3$ кг/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/кг
Вода	73	76	2,18	1,0	4180
Мыльная вода	40				
Ртуть	500			13,6	139
Спирт	23	24,4	3,64	0,79	
Сталь				7,8	
Свинец				11,3	

11.1. Найти поверхностную энергию: а) капли ртути диаметром 1,38 мм. б) мыльного пузыря диаметром 6 мм. Ответ: 3мкДж, 9мкДж.

11.2. Какую работу A против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы увеличить вдвое объем мыльного пузыря с начальным радиусом 1 см? Ответ: 59мкДж.

11.3. При выдувании мыльного пузыря против сил поверхностного натяжения была совершена работа равная $6,3 \cdot 10^{-4}$ Дж. Каков диаметр полученного пузыря? Ответ: 5 см.

11.4. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы разделить сферическую каплю ртути радиусом 3 мм на две одинаковые капли? Ответ: 4,9 мДж.

11.5. На сколько градусов нагреется ртуть при слиянии двух одинаковых капель диаметром 1,5 мм? Ответ: $2,2 \cdot 10^{-3}$ К.

11.6. Каким должен быть диаметр мыльного пузыря, чтобы давление газа в нем было на 0,1% больше внешнего атмосферного, равного 10^5 Па? Ответ: 3,2 мм.

11.7. Найти капиллярное давление а) в капельке ртути диаметром 1 мм, б) внутри мыльного пузыря диаметром 5 мм. Ответ: $2 \cdot 10^3$ Па, 64 Па.

11.8. Капилляр с внутренним радиусом 1 мм опущен вертикально нижним концом в жидкость. Найти коэффициент поверхностного натяжения жидкости, если известно, что в капилляр поднялась масса жидкости 46 мг. Смачивание считать полным. Ответ: 73 мН/м.

11.9. Найти разность уровней ртути в двух сообщающихся вертикальных капиллярах, диаметры которых $d_1=0,5$ мм и $d_2=1,0$ мм, если краевой угол равен 138° . Ответ: 1,1 см.

11.10. Стекланный капилляр с запаянным верхним концом длиной 11 см с внутренним диаметром 20 мкм опущен в вертикальном положении в воду. Внешнее давление воздуха нормальное. Какая длина капилляра должна быть погружена в воду, чтобы уровни воды в капилляре и вне его совпадали? Смачивание считать полным. Ответ: 1,4см.

11.11. Вертикальный стекланный капилляр диаметром 1 мм погружен нижним концом в воду. Вся система медленно нагревается от 0°C до 100°C . Найти и построить графически зависимость высоты жидкости в капилляре от температуры. Смачивание считать полным. Ответ:

11.12. Две стекланные трубки с внутренними диаметрами 1 и 0,7мм погружены нижними концами в ртуть. На сколько отличаются уровни ртути в этих трубках? Краевой угол принять равным 150° . Решение поясните рисунком. Ответ: 0,5 см.

11.13. U-образная стеклнная трубка установлена вертикально и в нее налили некоторое количество воды. Какова разность уровней воды в

коленах трубки, если внутренние радиусы их равны 0,2 мм и 0,5 мм? Смачивание водой поверхности стекла считать полным. Ответ: 4,4 см.

11.14. Один из двух сообщающихся внизу стеклянных вертикальных капилляров заполнен спиртом до высоты $h_1 = 50$ мм, а другой – водой. Найти уровень воды h_2 во втором капилляре. Радиусы капилляров 0,2 мм, смачивание считать полным. Ответ: 8 см.

11.15. Сообщающиеся сосуды в виде двух вертикальных стеклянных капилляров диаметром 0,5 мм заполнены до половины их высоты водой. Затем в один из капилляров поверх воды налили 2 мг спирта. Какой станет разность уровней жидкостей в капиллярах? Считать, что жидкости не перемешались, а смачивание полным. Ответ: 2,9 см.

11.16. В дне сосуда с ртутью имеется круглое отверстие диаметром 0,5 мм. При какой максимальной толщине слоя ртути в сосуде она еще не будет вытекать через отверстие? Ответ: 2,9 см.

11.17. В дне алюминиевой кастрюли есть отверстия диаметром 0,4 мм. В кастрюлю налили воды так, что толщина слоя жидкости составляет 6,8 см. До какой температуры надо нагреть кастрюлю, чтобы вода начала вытекать через отверстия? Считать, что вода не смачивает алюминиевую поверхность. Ответ: 48 °C.

11.18. В дне стеклянного сосуда площадью 30 см² имеется круглое отверстие диаметром 0,4 мм. В сосуд налили ртуть. Какова масса ртути, оставшейся в сосуде? Считать, что ртуть не смачивает стекло. Ответ: 1,5 кг.

11.19. На поверхность воды положили жирную (полностью не смачиваемую водой) стальную иглку. Каков наибольший диаметр иглки, при котором она еще может держаться на поверхности воды? Ответ: 2,2 мм.

11.20. Стальную цилиндрическую проволоку длиной 32 мм с массой 800 мг с не смачиваемой поверхностью положили на поверхность воды. До какой температуры необходимо нагреть воду, чтобы проволока утонула? Ответ: 81,5 °C.

11.21. На горизонтальную поверхность поместили каплю ртути массой 0,55 г и сверху на нее положили металлическую пластинку с массой 200 г. Какой будет толщина ртути между пластинкой и поверхностью? Считать, что ртуть не смачивает поверхности тел. Ответ: 0,2 мм.

11.22. Найти силу притяжения двух параллельных стеклянных пластин, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,2 мм после того, как между ними ввели каплю воды массой 20 г. Смачивание считать полным. Ответ: 146 Н.

11.23. Один из способов измерения коэффициента поверхностного натяжения жидкости состоит в измерении вертикальной силы, которую

необходимо приложить к кольцу для того, чтобы оторвать его от поверхности жидкости. В таком эксперименте для алюминиевого кольца с внутренним диаметром 5 см, внешним диаметром 5,2 см и массой 4 г получено, что сила отрыва составила $6,3 \cdot 10^{-2}$ Н. Найти коэффициент поверхностного натяжения жидкости. Ответ: 72 Н/м.

11.24. Для определения коэффициента поверхностного натяжения σ некоторой жидкости взвешивают капли, отрывающиеся от капилляра с внутренним диаметром 0,7 мм. В эксперименте оказалось, что 300 капель имеют массу 1,52 г. Считая, что диаметр шейки капли в момент отрыва равен внутреннему диаметру капилляра, найти σ для этой жидкости. Какую массу будет иметь такое же количество капель, если жидкость подогреть до 50°C ? Ответ: 23 мН/м, 1,32 г.

11.25. Вода по каплям вытекает из вертикальной трубки с внутренним диаметром 2 мм. Найти радиус капли в момент отрыва, считая ее сферической. Радиус шейки капли принять равным внутреннему радиусу трубки. Ответ: 2,2 мм.

11.26. Вода по каплям вытекает через короткий вертикальный капилляр. Установлено, что при охлаждении воды от 80°C до 20°C радиусы образующихся капель увеличиваются на 5%. Найти по этим данным температурный коэффициент поверхностного натяжения воды. Считать, что плотность воды в указанном температурном интервале практически не меняется. Ответ: $2,17 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

11.27. При плавлении нижнего конца вертикально установленной свинцовой проволоки диаметром 2 мм образовалось 20 капель, и при этом проволока укоротилась на 15,6 см. Найти по этим данным коэффициент поверхностного натяжения жидкого свинца. Считать, что радиус шейки капли в момент отрыва равен диаметру проволоки. Ответ: 0,44 Н/м.

11.28. На какой глубине под водой находится пузырек воздуха, если известно, что диаметр пузырька 15 мкм, плотность воздуха в нем 2 кг/м^3 , температура 20°C , атмосферное давление 10^5 Па. Ответ: 4,8 м.

11.29. Во сколько раз плотность воздуха в пузырьке, находящемся на глубине 5 м под водой, больше плотности воздуха над поверхностью воды, если радиус пузырька 1 мм, температура 20°C , атмосферное давление 10^5 Па? Ответ: 3.

11.30. В сосуде с воздухом при давлении P_0 находится мыльный пузырь диаметром d . Давление воздуха изотермически уменьшили в n раз, в результате чего диаметр пузыря увеличился в k раз. Найти по этим данным коэффициент поверхностного натяжения мыльной воды.

Ответ:
$$\sigma = \frac{d \cdot P_0 (1 - k^3 / n)}{8(k^2 - 1)}.$$

12. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Первое начало термодинамики:

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

Изменение внутренней энергии газа: $dU = \frac{i}{2} \nu R dT$

Работа, совершаемая газом: $A = \int P dV$

12.1. 12 г азота находятся в закрытом сосуде объемом 2 л при температуре 10°C. После нагревания давление в сосуде стало равно 10⁴ мм.рт.ст. Какое количество тепла было сообщено газу при нагревании? Ответ: 4,1·10³ Дж.

12.2. В результате изотермического расширения азота массой m=0.2 кг при температуре T=280 К объем его увеличивается в 2 раза. Определить: 1) работу A, совершенную газом при расширении; 2) изменение ΔU внутренней энергии; 3) количество теплоты Q, полученное газом. Ответ: 1,152·10⁴ Дж; 0 Дж; 1,152·10⁴ Дж.

12.3. В закрытом сосуде находится 14 г азота при давлении 10⁵ Па и температуре 27°C. После нагревания давление в сосуде увеличилось в 5 раз. Определить: 1) до какой температуры был нагрет газ; 2) каков объем сосуда; 3) какое количество тепла сообщено газу? Ответ: 1500 К; 12,5 л; 12,5 Кдж.

12.4. Объем водорода при изотермическом расширении при температуре T=300 К увеличивается в n=3 раза. Определить работу, совершенную газом, и теплоту, полученную при этом. Масса m водорода равна 200 г. Ответ: 273,8 кДж; 273,8 кДж.

12.5. В закрытом сосуде объемом 10 л находится воздух при давлении 10⁵ Па. Какое количество тепла надо сообщить воздуху, чтобы повысить давление в сосуде в 5 раз? Ответ: 10⁴ Дж.

12.6. При изотермическом расширении водород получил количество теплоты Q=800 Дж. Во сколько раз увеличился его объем, если расширению происходило при температуре T=300 К, а количество молей вещества ν=0,4 моль. Ответ: в 2,23 раза.

12.7. Азот находится в закрытом сосуде объемом 3 л при температуре 27°C и давлении 3 атм. После нагревания давление в сосуде повысилось до 25 атм. Определить: 1) температуру азота после нагревания; 2) количество тепла, сообщенного азоту. Ответ: 2500 К; 16,5 кДж.

12.8. Какая работа совершается при изотермическом расширении водорода массой m=5 г, взятого при температуре T=290 К, если объем газа увеличился в 3 раза. Ответ: 6619 Дж.

12.9. 10 г кислорода находятся под давлением $3 \cdot 10^5$ Па при температуре 10°C . После нагревания при постоянном давлении газ занял объем 10 л. Найти: 1) количество тепла, полученного газом; 2) энергию теплового движения молекул газа до и после нагревания. Ответ: $7,93 \cdot 10^3$ Дж; $1,84 \cdot 10^3$ Дж; $7,5 \cdot 10^3$ Дж.

12.10. Какое количество тепла надо сообщить 12 г кислорода, чтобы нагреть его на 50°C при постоянном давлении? Ответ: 545 Дж

12.11. 2 л азота находится под давлением 10^5 Па. Какое количество тепла надо сообщить азоту, чтобы: 1) при постоянном давлении его объем увеличился вдвое; 2) при постоянном объеме давление увеличилось вдвое? Ответ: 700 Дж, 500 Дж.

12.12. На нагревание 40 г кислорода от 16 до 40°C затрачено 628,5 Дж. При каких условиях нагревался газ? При постоянном давлении или при постоянном объеме? Ответ: при постоянном объеме.

12.13. 2 кмоль углекислого газа нагреваются при постоянном давлении на 50 градусов. Найти: 1) изменение его внутренней энергии; 2) работу расширения; 3) количество тепла, сообщенного газу. Ответ: 2493 кДж; 831 кДж; 3324 кДж.

12.14. Двухатомному газу сообщено 2,1 кДж тепла. При этом газ расширяется при постоянном давлении. Найти работу расширения газа. Ответ: 600 Дж.

12.15. При изобарическом расширении двухатомного газа была совершена работа в 157 Дж. Какое количество тепла было сообщено газу? Ответ: 549,5 Дж.

12.16. Газ, занимающий объем 5 л, находится под давлением $2 \cdot 10^5$ Па и температуре 17°C . Газ нагревают и он расширяется изобарически. Работа расширения оказалась равной 197 Дж. На сколько нагрели газ? Ответ: на 57° градусов.

12.17. Какая доля количества теплоты Q , подводимого к идеальному двухатомному газу при изобарном процессе, расходуется на увеличение ΔU внутренней энергии газа и какая доля - на работу A расширения? Ответ: $5/7$; $2/7$.

12.18. 7 г углекислого газа было нагрето на 10° в условиях свободного расширения. Найти работу расширения газа и изменение его внутренней энергии. Ответ: 13,2 Дж; 39,6 Дж.

12.19. 1 кмоль многоатомного газа нагревается на 100° в условиях свободного расширения. Найти: 1) количество теплоты, сообщенного газу; 2) изменение его внутренней энергии; 3) работу расширения. Ответ: $3,32 \cdot 10^6$ Дж; $2,49 \cdot 10^6$ Дж; $8,31 \cdot 10^5$ Дж.

12.20. В сосуде под поршнем с площадью поперечного сечения 10 см^2 находится 1 г азота при давлении 1 атм. Найти: 1) Какое количество тепла надо затратить, чтобы нагреть азот на 10° ? 2) На сколько при этом поднимается поршень? Ответ: 10,4 Дж; 3 см.

12.21. Азот массой 14 г сжимают изотермически при температуре 300 К от давления 100 кПа до давления 500 кПа. Определить: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу сжатия; 3) количество выделившейся теплоты. Ответ: 1) 0; 2) -2,01 кДж; 3) 2,01 кДж.

12.22. Азот массой 50 г находится при температуре 280 К. В результате изохорного охлаждения его давление уменьшилось в 2 раза, а затем в результате изобарного расширения температура газа в конечном состоянии стала равной первоначальной. Определить работу, совершенную газом и изменение его внутренней энергии. Ответ: 2,08 кДж; 0.

12.23. При адиабатном расширении кислорода в количестве 2 моль, находящегося при нормальных условиях, его объем увеличился в 3 раза. Определить изменение внутренней энергии и работу расширения этого газа. Ответ: -4,03 кДж; 4,03 кДж.

12.24. Азот массой 280 г расширяется в результате изобарного процесса при давлении 1 МПа. Определить: 1) работу расширения газа; 2) конечный объем газа, если на расширение затрачен теплота 5 кДж, а начальная температура азота 290 К. Ответ: 1,43 кДж; 0,026 м³.

12.25. Какую работу совершает 1 моль идеального одноатомного газа в процессе 1-2(рис.1), если температура увеличилась от T_1 до T_2 ? Ответ: $A=R(T_2-T_1)$.

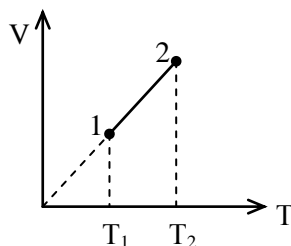


рис.1.

12.26. Идеальный газ, занимающий объем 2 л и находящийся под давлением 3 МПа при температуре 27⁰С, нагрели при постоянном объеме, а затем расширили изобарически. Работа расширения при этом оказалась равной 200 Дж. Изобразить процесс на диаграмме PV. На сколько нагрели газ в изобарическом процессе? Ответ: 10⁰С.

12.27. Некоторое количество одноатомного идеального газа совершает одну и ту же работу в изобарном и изотермическом процессах. Определить отношение количеств теплоты, полученных газом в этих процессах. Ответ: 2,5.

12.28. Кислород, находящийся при давлении 0,5 МПа и температуре 350 К, подвергли сначала изотермическому расширению от объема 1 л до объема 2 л, а затем изобарному расширению, в результате которого объем газа увеличился до 3 л. Определить: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной теплоты. Ответ: 596,6 Дж; 625 Дж; 1,2 кДж.

13. ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Изменение энтропии(формула Клаузиуса):

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

Удельная теплоемкость воды: $C=4180 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$;

Удельная теплоемкость льда: $C=2090 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$;

Удельная теплота плавления льда: $\lambda=3,3\cdot 10^5 \text{ Дж/К}$;

Удельная теплота парообразования для воды: $r=2,25\cdot 10^6 \text{ Дж/К}$.

13.1. Смешали воду массой $m_1=5\text{кг}$ при температуре $T_1=280 \text{ К}$ с водой массой $m_2=8\text{кг}$ при температуре $T_2=350 \text{ К}$. Найти: 1) температуру θ смеси; 2) изменение ΔS энтропии, происходящее при смешивании. Ответ: 323 К ; $0,3 \text{ кДж/К}$.

13.2. В результате изохорного нагревания водорода массой $m = 1\text{г}$ давление p увеличилось в два раза. Определить изменение ΔS энтропии газа. ? Ответ: $(7,2 \text{ Дж/К})$.

13.3. Найти изменение ΔS энтропии при изобарном расширении азота массой $m = 4 \text{ г}$ от объема $V_1 = 5\text{л}$ до объема $V_2 = 9\text{л}$. Ответ: $2,43 \text{ Дж/К}$.

13.4. Кусок льда массой $m = 200\text{г}$, взятый при температуре $t_1 = -10^\circ\text{C}$, был нагрет до температуры $t_2 = 0^\circ\text{C}$ и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры $t_3 = 10^\circ\text{C}$. Определить изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов. Ответ: 291 Дж/К .

13.5. Лед массой $m_1=2\text{кг}$ при температуре $t_1=0^\circ\text{C}$ был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру $t_2=100^\circ\text{C}$. Определить массу m_2 израсходованного пара. Каково изменение ΔS энтропии системы лед-пар? Ответ: 251 г ; 610 Дж/кг .

13.6. Кислород массой $m = 2\text{кг}$ увеличил свой объем в $n = 5$ раз один раз изотермически, другой адиабатно. Найти изменение энтропии в каждом из указанных процессов. Ответ: 836 Дж/К ; 0 .

13.7. Водород массой $m = 100\text{г}$ был изобарно нагрет так, что объем его увеличился в $n = 3$ раза, затем водород был изохорно охлажден так, что давление его уменьшилось в $n = 3$ раза. Найти изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов. Ответ: 457 Дж/К .

13.8. Найти изменение энтропии при превращении 10г льда при -20°C в пар при 100°C . Ответ: 88 Дж/град .

13.9. Найти прирост энтропии при превращении 1г воды при 0°C в пар при 100°C . Ответ: $7,4 \text{ Дж/град}$.

13.10. Найти изменение энтропии при плавлении 1кг льда, находящегося при 0°C . Ответ: 1230 Дж/град .

13.11. Найти изменение энтропии при переходе 8г кислорода от объема в 10л при температуре 80°C к объему в 40л при температуре 300°C. Ответ: 5,4 Дж/град)

13.12. Найти изменение энтропии при переходе 6г водорода от объема в 20л под давлением $1,5 \cdot 10^5$ Па к объему в 60 л под давлением в $1 \cdot 10^5$ Па? Ответ: 71,0 Дж/град.

13.13. 6.6г водорода расширяются изобарически до удвоения объема. Найти изменение энтропии при этом расширении. Ответ: 66,3 Дж/град.

13.14. Найти изменение энтропии при изобарическом расширении 8г гелия от объема $V_1 = 10$ л до объема $V_2 = 25$ л. Ответ: 38,1 Дж/град.

13.15. Найти изменение энтропии при изотермическом расширении 6г водорода от 10^5 до $0,5 \cdot 10^5$ Н/м². Ответ: 17,3 Дж/град.

13.16. 10,5г азота изотермически расширяются от объема $V_1 = 2$ л до объема $V_2 = 5$ л. Найти прирост энтропии при этом процессе. Ответ: 2,9 Дж/град.

13.17. 10г кислорода нагреваются от $t_1 = 50^\circ\text{C}$ до $t_2 = 150^\circ\text{C}$. Найти изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорически и 2) изобарически. Ответ: 1,76 Дж/град; 2,46 Дж/град.

13.18. При нагревании 1кмоля двухатомного газа его абсолютная температура увеличивается в 1,5раза. Найти изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорически, 2) изобарически. Ответ: $8,5 \cdot 10^3$ Дж/град; $11,8 \cdot 10^3$ Дж/град.

13.19. В результате нагревания 22 г азота его абсолютная температура возросла в 1,12 раза, а энтропия увеличилась на 4,19 Дж/град. При каких условиях производилось нагревание: при постоянном объеме или при постоянном давлении? Ответ: При постоянном давлении.

13.20. Найти приращение энтропии одного моля углекислого газа при увеличении его абсолютной температуры в $n = 2,0$ раза, если процесс нагревания: а) изохорический; б) изобарический. Газ считать идеальным. Ответ: 19 Дж/(К·моль); 25 Дж/(К·моль).

13.21. Во сколько раз следует увеличить изотермически объем $V = 4,0$ моля идеального газа, чтобы его энтропия испытала приращение $\Delta S = 23$ Дж/К? Ответ: 2,0.

13. 22. Два моля идеального газа сначала изохорически охладили, а затем изобарически расширили так, что температура газа стала равна первоначальной. Найти приращение энтропии газа, если его давление в данном процессе изменилось в $n = 3,3$ раза. Ответ: 20 Дж/К.

13.23. Гелий массы $m = 1,7$ г адиабатически расширили в $n = 3,0$ раза и затем изобарически сжали до первоначального объема. Найти приращение газа в этом процессе. Ответ: -10 Дж/К.

13.24. Процесс расширения $\nu=2$ моля аргона происходит так, что давление газа увеличивается прямо пропорционально его объему. Найти приращение энтропии газа при увеличении его объема в $\eta=2$ раза. Ответ: 46 Дж/К.

13.25. Один кубический метр воздуха, находящегося при температуре $t=17^\circ\text{C}$ и давлении $P=2$ атм, изотермически расширяется от объема V_1 до объема $V_2=2V_1$. Найти изменение энтропии в этом процессе. Ответ: 500 Дж/К.