

2.7. I начало Термодинамики. Теплоемкость

Теплоемкостью C тела называют физическую величину, численно равную отношению количества теплоты ΔQ , сообщаемого телу, к изменению ΔT температуры тела в рассматриваемом термодинамическом процессе:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}.$$

Молярной теплоемкостью называют теплоемкость одного моля вещества:

$$C_\mu = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T}, \quad \nu = \frac{m}{\mu}.$$

Удельной теплоемкостью называют теплоемкость единицы массы вещества. Молярная теплоемкость идеального газа при постоянном объеме равна

$$C_V = \frac{i}{2} R,$$

где i число степеней свободы молекулы.

Молярная теплоемкость идеального газа при постоянном давлении равна

$$C_p = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R.$$

2.85². Удельные теплоемкости некоторого газа при постоянном объеме и постоянном давлении равны соответственно $c_V = 3,14 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) и $c_p = 5,23 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К). Найдите молярную массу газа

2.86². При нагревании в постоянном объеме кислород имеет удельную теплоемкость $c_V = 657$ Дж/(кг·К). Какова удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении c_p ?

2.87². В герметичном сосуде объема $V = 5,6$ дм³ содержится воздух под давлением $p_1 = 1,0 \cdot 10^5$ Па. Какое давление p_2 установится в сосуде, если воздуху сообщить количество теплоты $C_V = 1430$ Дж? Молярная теплоемкость воздуха при постоянном объеме $C_V = 21$ Дж/(моль·К).

2.88³. В процессе расширения азота его объем увеличился на 2 %, а давление уменьшилось на 1 %. Какая часть теплоты, полученной азотом, была превращена в работу? Параметры газа изменяются монотонно.

2.89². Идеальный газ, взятый в количестве $\nu = 1$ моль, первоначально находившийся при нормальных условиях ($p_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Па, $T_0 = 273$ К), переводят в состояние с вдвое большими объемом и давлением, последовательно осуществляя изобарный и изохорный процессы. Какое количество теплоты подведено к газу? Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме $C_V = 21$ Дж/(моль·К).

2.90³. Идеальный газ, взятый в количестве ν молей, участвует в некотором процессе, график которого изображен на рисунке, и проходит последовательно состояния 1, 2, 3. Найдите поглощенное газом в этом процессе количество теплоты, если известны объемы V_1 и V_2 и давления p_1 и p_2 . Внутренняя энер-

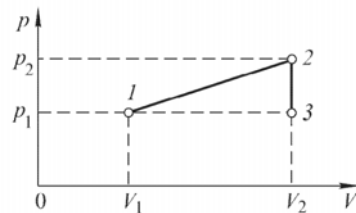


Рис. 2.90

гия одного моля газа определена соотношением $U_\mu = CT$.

2.91³. В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится кислород массы $m = 2,0$ кг. Для повышения температуры кислорода на $\Delta T = 5$ К ему было сообщено количество теплоты $Q = 9160$ Дж. Найдите удельную теплоемкость кислорода c_p , работу A , совершаемую им при расширении, и увеличение его внутренней энергии ΔU . Молярная масса кислорода 32 г/моль.

2.92². Азот нагревали при постоянном давлении. Зная, что масса азота $m = 280$ г, сообщенное ему количество теплоты $Q = 600$ Дж, а удельная теплоемкость азота при постоянном объеме $c_V = 745$ Дж/(кг·К), найдите изменение его температуры ΔT .

2.93². Какое количество теплоты Q необходимо для нагревания на $\Delta T = 16$ К кислорода массы $m = 7,0$ г, находящегося в цилиндре под поршнем, на котором лежит груз, если теплоемкость одного моля кислорода при постоянном объеме $C_V = 21$ Дж/(моль·К)?

2.94³. В длинном цилиндрическом сосуде, стоящем вертикально, на высоте h от дна висит на нити поршень массы m , отделяющий содержащийся в цилиндре газ от атмосферы. Внутри сосуда находится нагревательный элемент. Под поршнем находится $\nu = 1$ моль газа, давление которого в начальный момент времени равно внешнему атмосферному давлению p_0 , а температура равна T_0 . Какое количество теплоты Q нужно подвести к газу, чтобы поршень поднялся до высоты $2h$? Внутренняя энергия одного моля газа определена соотношением $U_\mu = CT$. Трением пренебречь. Стенки сосуда и поршень не теплопроводны.

2.95³. В вертикальном цилиндрическом сосуде, площадь сечения которого равна S , под поршнем массы m находится газ, разделенный закрепленной перегородкой на два одинаковых объема (см. рисунок). Давление газа в нижней части сосуда равно p , внешнее давление p_0 , температура газа в обеих частях сосуда равна T . На какое расстояние x К задаче сместится поршень, если убрать перегородку? Высота каждой части сосуда h . Внутренняя энергия одного моля газа равна $U_\mu = CT$. Стенки сосуда и поршень не проводят тепло, трением пренебречь.

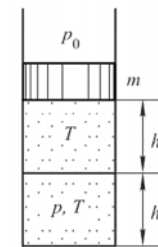


Рис. 2.95

2.96³. Теплоизолированный сосуд разделен на две части нетеплопроводным поршнем, который может перемещаться в сосуде без трения (см. рисунок). В левой части сосуда находится $\nu = 1$ моль идеального одноатомного газа, в правой вакуум.

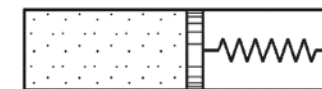


Рис. 2.96

Поршень соединен с правой стенкой сосуда пружиной, длина которой в свободном состоянии равна длине сосуда. Определите теплоемкость системы C . Теплоемкостью сосуда, пружины и поршня пренебречь.

2.97³. Поршень удерживается в середине неподвижного теплоизолированного закрытого цилиндрического сосуда длины $2L$, имеющего площадь сечения S . Левую половину сосуда занимает газ, температура и давление которого равны T_1

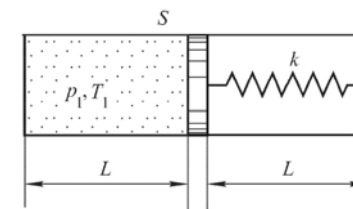


Рис. 2.97

и p_1 , в правой половине вакуум. Поршень соединен с правым торцом сосуда пружинной жесткости k (см. рисунок) Найдите установившуюся температуру газа T_2 после того, как поршень отпустили. Длина недеформированной пружины равна $2L$. Внутренняя энергия одного моля газа $U_\mu = CT$. Трением, а также теплоемкостью цилиндра, поршня и пружины пренебречь.

2.98². Над газом совершают два процесса, нагревая его из одного и того же начального состояния до одной и той же температуры. На pV -диаграмме процессы изображаются прямыми линиями 0 – 1 и 0 – 2 (см. рисунок). Определите, в каком процессе газу сообщается большее количество теплоты, и на сколько ΔQ больше. Значения объемов V_0, V_1, V_2 и давлений p_0, p_1 и p_2 известны.

2.99³ Идеальный одноатомный газ, взятый в количестве $\nu = 1$ моль, переводится из начального состояния с температур $T_0 = 300$ К в состояние, в котором его температура увеличивается в $n_1 = 3$ раза, а объем уменьшается в $n_2 = 2$ раза. Определите подведенное к газу количество теплоты ΔQ , если из всех путей перевода газа из начального состояния в конечное, при котором давление газа не падает ниже начального, был выбран путь, когда над газом совершается минимальная работа.

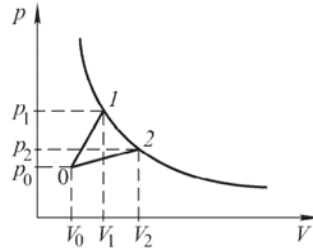


Рис. 2.98

Ответы:

2.85. $\mu = \frac{R}{c_p - c_v} = 4$ г/моль; газ – гелий.

2.86. $c_p = c_v + \frac{R}{\mu} \approx 916$ Дж/(кг·К).

2.87. $p_2 = p_1 + \frac{rQ}{VC_v} = 2,0 \cdot 10$ Па.

2.88. $\eta \approx \frac{\Delta V / V_0}{i \left(\frac{\Delta V}{V_0} + \frac{\Delta p}{p_0} + \frac{\Delta V \Delta p}{V_0 p_0} \right) + \frac{\Delta V}{V_0}} \approx 44 \%$.

2.89. $\Delta Q = \nu(3C_1 + R)T_0 = 19,5$ кДж.

2.90. $\Delta Q = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) + \nu \frac{C}{R} p_1 (V_2 - V_1)$.

2.91. $c_p = \frac{Q}{m\Delta T} = 916$ Дж/(кг·К); $A = \frac{m}{\mu} R\Delta T \approx 2,59$ кДж; $\Delta U = Q - A = 6,57$ кДж.

2.92. $\Delta T = \frac{Q}{m(c_v + R/\mu)} \approx 2$ К.

2.93. $Q = \frac{m}{\mu}(C_v + R)\Delta T = 102$ Дж.

2.94. $Q = mgh \left(1 + \frac{2C}{R} \right) + \nu T_0 (C + R)$.

2.95. $x = h \frac{C}{C + R} \frac{p_0 + \frac{mg}{S} - p}{p_0 + \frac{mg}{S}}$.

2.96. $C = \frac{i+1}{2} \nu R = 16,6$ Дж/К.

2.97. $T_2 = T_1 \frac{RkL + 2Cp_1S}{p_1S(R + 2C)}$.

2.98. $Q_2 > Q_1$; $\Delta Q_{12} = \frac{1}{2}[V_0(p_1 - p_2) + p_0(V_2 - V_1)]$.

2.99. $\Delta Q = \nu \left[\left(\frac{i}{2} + 1 \right) \left(\frac{1}{n_2} - 1 \right) + \frac{i}{2} \left(n_1 - \frac{1}{n_2} \right) \right] RT_0 = 6,23$ кДж.