

## 9.9. Первое начало термодинамики

**9.9.1.** При нагревании газа его внутренняя энергия увеличилась на  $\Delta U = 900$  Дж, при этом газ совершил работу  $A = 300$  Дж. Какое количество теплоты сообщили газу?

**9.9.2.** Над идеальным газом совершена работа  $A = 100$  Дж, при этом его внутренняя энергия возросла на  $\Delta U = 250$  Дж. Какое количество теплоты получил газ в этом процессе?

**9.9.3.** Газу сообщено количество теплоты  $Q = 3 \cdot 10^5$  Дж. Какая часть теплоты пошла на увеличение внутренней энергии газа, если работа расширения газа в этом процессе  $A = 10^5$  Дж?

**9.9.4.** Известно, что  $\eta = 20\%$  сообщаемого газу количества теплоты идет на увеличение его внутренней энергии, которое равно  $\Delta U = 4$  кДж. Определите работу газа в процессе.

**9.9.5.** При сообщении идеальному газу количества теплоты  $Q$  газ совершает работу  $A$ . Какой была внутренняя энергия газа  $U_1$ , если его температура возросла в  $n = 4$  раза?

**9.9.6.** В закрытом сосуде находится  $\nu = 4$  моль аргона при температуре  $T = 300$  К. На сколько процентов увеличится давление в сосуде, если газу сообщить количество теплоты  $Q = 900$  Дж?

**9.9.7.** В баллоне объемом  $V = 10$  л находится азот под давлением  $p_1 = 10$  МПа при температуре  $t_1 = 17$  °С. К газу подводят количество теплоты  $Q = 98$  кДж. Определите температуру и давление газа после нагревания.

**9.9.8.** Баллон содержит  $\nu = 10$  моль одноатомного идеального газа при температуре  $t = 30$  °С. Газу сообщили количество теплоты  $Q = 30,2$  кДж. Во сколько раз увеличится средняя квадратичная скорость молекул газа?

**9.9.9.** Один киломоль гелия расширяется изобарно. Температура газа увеличивается на  $\Delta T = 30$  К. Определите изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и количество теплоты, полученное газом.

**9.9.10.** Температуру одноатомного газа в количестве  $\nu = 2$  моль повышают на  $\Delta T = 20$  К один раз при постоянном давлении, а другой — при постоянном объеме. На сколько больше требуется количество теплоты в первом случае, чем во втором?

**9.9.11.** При изобарном нагревании газа от температуры  $T_1 = 288$  К до  $T_2 = 340$  К потребовалось количество теплоты  $Q_1 = 5$  кДж, при изохорном —  $Q_2 = 3,56$  кДж. Какой объем занимает газ при температуре 288 К и давлении  $p = 19,6$  кПа?

**9.9.12.** В вертикальном цилиндрическом сосуде под легким поршнем находится гелий. На поршне стоит груз массой  $m = 74$  кг. Какое количество теплоты нужно подвести к газу, чтобы груз поднялся на высоту  $h = 0,6$  м? Атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па, площадь поршня  $S = 10$  см<sup>2</sup>. Трение не учитывать.

**9.9.13.** При нагревании газа массой  $m = 1$  кг на  $\Delta T = 1$  К при постоянном давлении газу сообщают  $Q_p = 909$  Дж теплоты, а при нагревании при постоянном объеме —  $Q_V = 649$  Дж. Какой это газ?

**9.9.14.** Гелий находится в цилиндре и заперт поршнем. Цилиндр может занимать положения, показанные на рисунке 9.9.1. Одинаковые ли количества теплоты необходимо сообщить газу в обоих случаях, чтобы нагреть его на  $\Delta t = 1$  °С? Трение не учитывать.

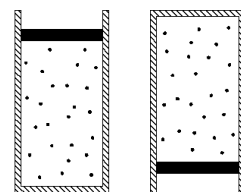


Рис. 9.9.1

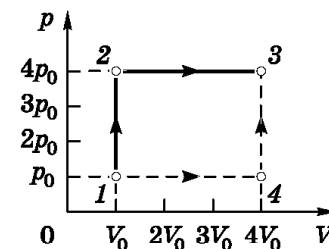


Рис. 9.9.2

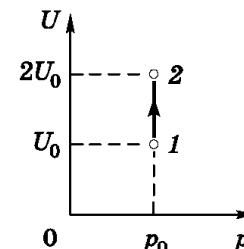


Рис. 9.9.3

**9.9.15.** Одноатомный газ совершает процесс  $1-2-3$ , если ему сообщить количество теплоты  $Q_1 = 4,6$  кДж (рис. 9.9.2). Какое количество теплоты надо передать газу, чтобы он совершил процесс  $1-4-3$ ?

**9.9.16.** Найдите изменение внутренней энергии, работу и количество теплоты, полученное идеальным одноатомным газом в процессе, график которого показан на рисунке 9.9.3, если  $p_0 = 10^5$  Па и  $U_0 = 600$  Дж.

**9.9.17.** Идеальный одноатомный газ совершает процесс, график которого показан на рисунке 9.9.4. Найдите количество теплоты, сообщенное газу, если  $p_0 = 10^5$  Па,  $V_0 = 4$  л.

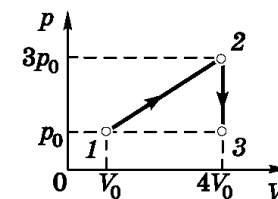


Рис. 9.9.4

**9.9.18.** При адиабатном расширении газ совершил работу  $A = 400$  Дж. Как и насколько изменилась его внутренняя энергия?

**9.9.19.** При адиабатном сжатии гелия массой  $m = 0,1$  кг над газом совершают работу  $A = 300$  Дж. Насколько изменилась температура газа?

**9.9.20.** Идеальный одноатомный газ совершает циклический процесс  $1-2-3-4-1$  (рис. 9.9.5). Определите количества теплоты, полученное  $Q_1$  и отданное  $Q_2$  газом в цикле. Найдите количество теплоты  $Q$ , полученное газом за цикл, и сравните с работой, которую совершает газ за один цикл.  $p_0 = 10^5$  Па,  $V_0 = 2$  л.

**9.9.21.** Одноатомный газ участвует в циклическом процессе, график которого показан на рисунке 9.9.6. Количество газа  $\nu = 2$  моль. Температуры газа в состояниях 1 и 2 равны  $T_1 = 300$  К и  $T_2 = 400$  К соответственно. Найдите работу, совершенную газом за цикл, если на участке  $3-4$  газу сообщили количество теплоты  $Q = 2$  кДж.

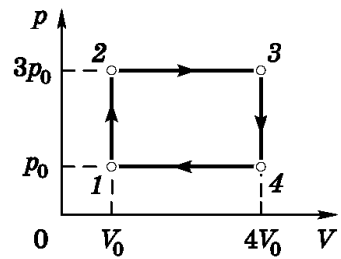


Рис. 9.9.5

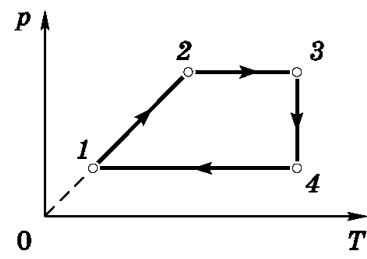


Рис. 9.9.6

**9.9.22.** Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 1,5$  моль участвует в циклическом процессе  $1-2-3-4$ , показанном на рисунке 9.9.7. Температуры газа в состояниях 3 и 4 равны  $T_3 = 600$  К и  $T_4 = 300$  К соответственно. На участке  $1-2$  газ отдает количество теплоты  $Q = 2740$  Дж. Найдите работу, совершенную газом за цикл.

**9.9.23.** Один моль идеального одноатомного газа из начального состояния 1 с температурой  $T_1 = 100$  К адиабатно переводят в состояние 2. Затем газ сжимают так, что давление изменяется прямо пропорционально объему, и, наконец, изохорно переводят в начальное состояние 1 (рис. 9.9.8). Найдите работу, совершенную газом при расширении  $1-2$ , если в процессах  $2-3-1$  газу было сообщено  $Q = 72$  Дж теплоты, а точки 2 и 3 принадлежат одной изотерме.

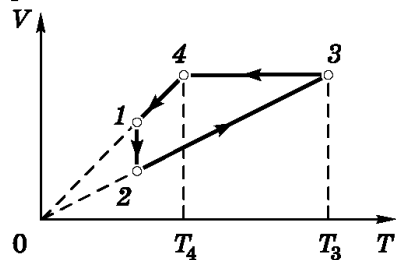


Рис. 9.9.7

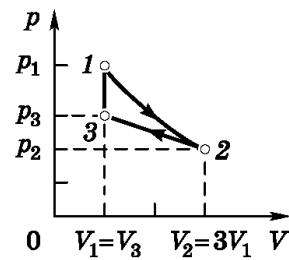


Рис. 9.9.8

**9.9.24.** Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 5$  моль участвует в циклическом процессе  $1-2-3-4-1$ , представленном на рисунке 9.9.9. Температуры газа в состояниях 1 и 4 равны  $T_1 = 300$  К и  $T_4 = 450$  К соответственно. Найдите работу, совершенную газом за цикл, если на участке  $2-3$  газу сообщили  $Q = 8000$  Дж теплоты.

**9.9.25.** В горизонтальном закрытом цилиндрическом сосуде может без трения перемещаться тонкий поршень, соединенный с торцом сосуда пружиной жесткостью  $k = 10^3$  Н/м (рис. 9.9.10). Длина недеформированной пружины равна длине сосуда. В левой части сосуда находится один моль идеального одноатомного газа, в правой части — вакуум. В начальный момент поршень расположен на расстоянии  $x_0 = 3$  см от левого торца сосуда. Найдите зависимость положения поршня в сосуде от сообщаемого газу количества теплоты. Определите положение поршня, если газу сообщить  $Q = 3,2$  Дж теплоты.

**9.9.26.** В цилиндрическом сосуде под легким поршнем находится идеальный одноатомный газ, занимающий объем  $V_0 = 10^{-2}$  м<sup>3</sup>. Перемещение поршня ограничено сверху упорами (рис. 9.9.11). Газу сообщили  $Q_1 = 10$  кДж теплоты. При этом газ, расширяясь, занимает максимально возможный объем, который в  $n = 3$  раза больше первоначального. Какое количество теплоты нужно сообщить газу в этом состоянии, чтобы его давление превышало первоначальное в  $n$  раз? Атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па.

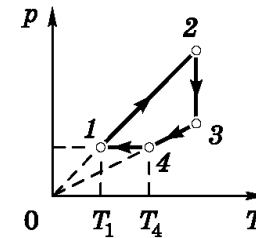


Рис. 9.9.9

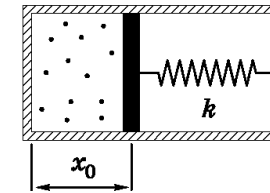


Рис. 9.9.10

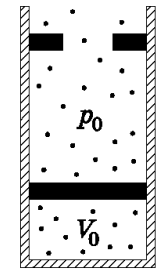


Рис. 9.9.11

**Ответы**

9.9.1.  $Q = \Delta U + A = 1,2$  кДж.

9.9.2.  $Q = \Delta U - A = 150$  Дж.

9.9.3.  $\eta = \frac{Q - A}{Q} = \frac{2}{3}$ .

9.9.4.  $A = \Delta U \frac{1 - \eta}{\eta} = 16$  кДж.

9.9.6.  $\frac{\Delta p}{p} = \frac{2Q}{3\nu RT} \cdot 100\% = 6\%$ .

9.9.7.  $p_2 = p_1 + \frac{2Q}{iV} = 13,92$  МПа,

$T_2 = T_1 \left( 1 + \frac{2Q}{iV p_1} \right) = 403$  К, где  $i = 5$  — число степеней свободы.

9.9.8.  $n = \sqrt{1 + \frac{2Q}{3\nu RT}} = 1,34$ .

9.9.9.  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = 373,95$  кДж;

$A = \nu R \Delta T = 249,3$  кДж;  $Q = \Delta U + A = 623,25$  кДж.

9.9.10.  $Q_1 - Q_2 = \nu R \Delta T = 332,4$  кДж.

9.9.11.  $V = \frac{T_1(Q_1 - Q_2)}{p(T_2 - T_1)} = 0,49$  м<sup>3</sup>.

9.9.12.  $Q = \frac{5}{2} (mg + p_0 S) h = 1,24$  кДж.

9.9.13.  $M = \frac{m R \Delta T}{Q_p - Q_v} = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, кислород.

9.9.14. Одинаковые.

9.9.15.  $Q_2 = \frac{15}{23} Q_1 = 3$  кДж.

9.9.16.  $\Delta U = U_0 = 600$  Дж;  $A = \frac{2}{3} U_0 = 400$  Дж;  $Q = \frac{5}{3} U_0 = 1000$  Дж.

9.9.17.  $Q = 10,5 p_0 V_0 = 4,2$  кДж.

9.9.18. Уменьшилась на  $\Delta U = -A = -400$  Дж.

9.9.19. Увеличилась на  $\Delta T = \frac{2AM}{3mR} = 0,96$  К.

9.9.20.  $Q_1 = 25,5 p_0 V_0 = 5,1$  кДж;  $Q_2 = -19,5 p_0 V_0 = -3,9$  кДж;  $Q = A = 6 p_0 V_0 = 1,2$  кДж.

9.9.22.  $A = \nu R(T_3 - T_4) - Q = 999,5$  Дж.

9.9.23.  $A_{1-2} = Q + \frac{4\nu R T_1}{3\sqrt{3}} \approx 285$  Дж.

9.9.24.  $A = Q - \nu R(T_4 - T_1) = 1767,5$  Дж.

9.9.25.  $x = \sqrt{\frac{Q}{2k} + x_0^2}$ ;  $x = 5$  см.