

9.8. Работа идеального газа

9.8.1. Найдите работу, совершаемую одним молем газа при его изобарном нагревании на $\Delta T = 1 \text{ К}$?

9.8.2. В цилиндре под поршнем находится газ. Температура газа $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{С}$, давление $p = 150 \text{ кПа}$, объем $V = 0,4 \text{ м}^3$. Насколько следует нагреть газ, чтобы он совершил работу $A = 10 \text{ кДж}$?

9.8.3. Найдите работу, совершаемую газом при его изобарном нагревании от температуры $t_1 = 17 \text{ }^\circ\text{С}$ до $t_2 = 104 \text{ }^\circ\text{С}$. Первоначальный объем газа $V = 10 \text{ л}$, давление $p = 100 \text{ кПа}$.

9.8.4. В вертикально расположенном цилиндре, площадь основания которого $S = 100 \text{ см}^2$, под поршнем, масса которого $m = 20 \text{ кг}$, находится воздух. При изобарном нагревании поршень поднялся на высоту $h = 50 \text{ см}$. Найдите работу, совершенную воздухом. Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

9.8.5. Кислород массой $m = 160 \text{ г}$ изобарно сжали до объема в $n = 5$ раз меньше первоначального. Определите работу, совершенную над газом. Начальная температура кислорода $t = 27 \text{ }^\circ\text{С}$.

9.8.6. Неон массой $m = 1,5 \text{ кг}$ сжимают при постоянном давлении $p = 200 \text{ кПа}$, совершая над ним работу $A = 100 \text{ кДж}$. Определите конечный объем газа, если начальная температура неона $T = 300 \text{ К}$.

9.8.7. Сравните работы, которые совершают гелий и азот при их изобарном нагревании. Массы газов, начальные и конечные температуры одинаковы.

9.8.8. Найдите работу, совершаемую одним молем идеального газа при изобарном расширении, если концентрация молекул в конечном состоянии в $n = 11$ раз меньше, чем в начальном при температуре $t = 27 \text{ }^\circ\text{С}$.

9.8.9. Азот массой $m = 2,8 \text{ кг}$ при температуре $T = 400 \text{ К}$ охлаждают изохорно так, что давление падает в $n = 4$ раза. Затем азот изобарно расширяется. Найдите работу, совершаемую газом, если его конечная и начальная температуры одинаковы.

9.8.10. Один моль газа, имевший начальную температуру $T = 300 \text{ К}$, изобарно расширился, совершив работу $A = 12,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$. Во сколько раз при этом увеличился объем газа?

9.8.11. Найдите работу, совершаемую идеальным газом в процессе, график которого показан на рисунке 9.8.1, если $p_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $V_0 = 2 \text{ л}$.

9.8.12. Найдите работу, совершаемую над идеальным газом в процессе, график которого показан на рисунке 9.8.2, если $p_0 = 10^5 \text{ Па}$, $V_0 = 1 \text{ л}$.

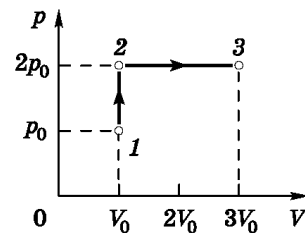


Рис. 9.8.1

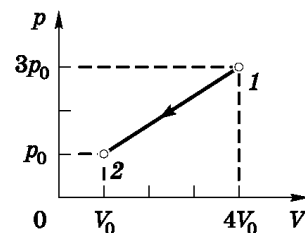


Рис. 9.8.2

9.8.13. Газ переводят из состояния 1 в состояние 3 (рис. 9.8.3). Найдите работу, совершаемую газом при переходе: а) из состояния 1 в состояние 2; б) из состояния 2 в состояние 3; в) из состояния 1 в состояние 3, если $p_0 = 100 \text{ кПа}$, $V_0 = 10 \text{ л}$.

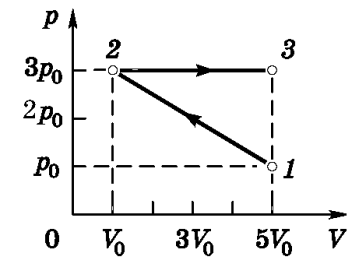


Рис. 9.8.3

9.8.14. Определите работу $\nu = 0,4$ моль газа при расширении от объема $V_1 = 40 \text{ л}$ до объема $V_2 = 80 \text{ л}$, если его температура изменяется по закону $T = \alpha V^2$, где $\alpha = 1,25 \cdot 10^5 \text{ К/м}^6$.

9.8.15. Определите работу, совершаемую одним молем газа при увеличении его давления от $p_1 = 10^5 \text{ Па}$ до $p_2 = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, если температура газа изменяется по закону $T = \alpha p^2$, где $\alpha = 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{К}/(\text{Дж} \cdot \text{Па})$.

9.8.16. Газ сжимают от давления $p_1 = 10 \text{ кПа}$ до давления $p_2 = 20 \text{ кПа}$ по закону $p = \alpha - bV$, где $\alpha = \text{const}$, $b = 6 \text{ Па/м}^3$. Определите работу, которую нужно совершить над газом при таком сжатии.

9.8.17. Идеальный газ в количестве $\nu = 0,2$ моль переводят из состояния 1 в состояние 4 (рис. 9.8.4; $T_1 = 300 \text{ К}$, $T_2 = 600 \text{ К}$). Найдите работу, совершенную газом при переходе: а) из состояния 1 в состояние 2; б) из состояния 2 в состояние 3; в) из состояния 3 в состояние 4; г) полную работу, совершенную газом.

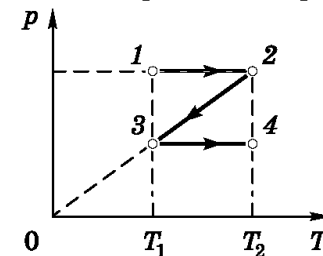


Рис. 9.8.4

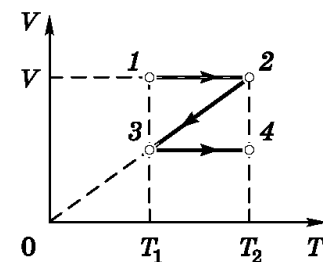


Рис. 9.8.5

9.8.18. Идеальный газ в количестве $\nu = 0,4$ моль переводят из состояния 1 в состояние 4 (рис. 9.8.5; $T_1 = 250 \text{ К}$, $T_2 = 450 \text{ К}$). Найдите работу, совершенную газом при таком переходе.

9.8.19. Один моль идеального газа, занимающий объем $V_1 = 1 \text{ л}$ при давлении $p_1 = 10 \text{ атм}$, расширился до давления $p_2 = 5 \text{ атм}$ и объема $V_2 = 2 \text{ л}$ по закону $p = \alpha - \beta V$, где α и β — известные постоянные. Затем при этом объеме давление газа было уменьшено в $n = 2$ раза. В дальнейшем газ расширился при постоянном давлении до объема $V_4 = 4 \text{ л}$. Начертите график зависимости давления от объема и, используя его, установите, в каком процессе газ совершил наибольшую работу. Определите температуру в конце каждого процесса.

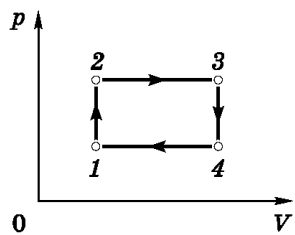


Рис. 9.8.6

9.8.20. Цикл, в котором рабочим веществом является газ, состоит из двух изохор и двух изобар (рис. 9.8.6). Найдите работу, совершаемую газом на каждом участке цикла и за весь цикл. Известно, что максимальные значения как объема, так и давления газа в $n = 2$ раза больше минимальных значений: $p_0 = 10^5$ Па, $V_0 = 0,5$ м³.

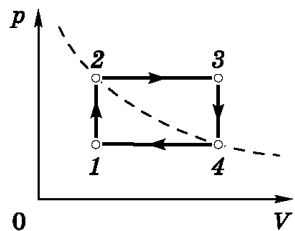


Рис. 9.8.7

9.8.21. С идеальным газом, взятым в количестве ν моль, проводят цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Температуры в точках 1 и 3 равны T_1 и T_3 (рис. 9.8.7). Определите работу, совершенную газом за цикл, если известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

9.8.22. Найдите отношение работ, совершаемых идеальным газом в циклических процессах 1—2—3—4—1 и 4—3—5—6—4, показанных на рисунке 9.8.8.

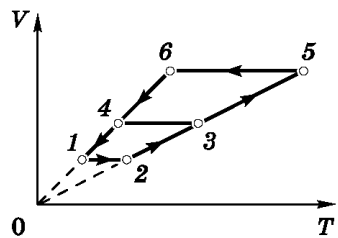


Рис. 9.8.8

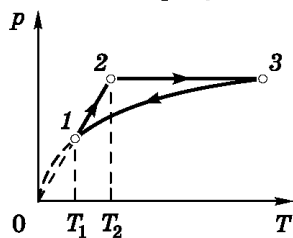


Рис. 9.8.9

Температуры газа в состояниях 2 и 4 одинаковы и в состояниях 3 и 6 тоже одинаковы. Температуры в состояниях 1 и 5 отличаются в $n = 8$ раз.

9.8.23. Идеальный газ совершает циклический процесс 1—2—3—1 (рис. 9.8.9). На участке 3—1 давление изменяется по закону $p = \alpha\sqrt{T}$, где α — положительная постоянная. Температуры газа в состояниях 1 и 2 равны соответственно $T_1 = 400$ К и $T_2 = 500$ К. Найдите работу, совершенную газом за цикл.

9.8.24. Определите работу, которую совершают $\nu = 2$ моль идеального газа в цикле 1—2—3—4—1 (рис. 9.8.10), где $T_0 = 100$ К.

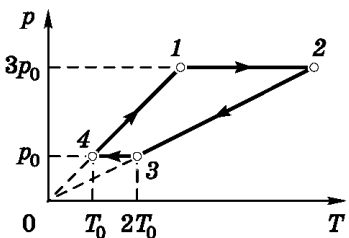


Рис. 9.8.10

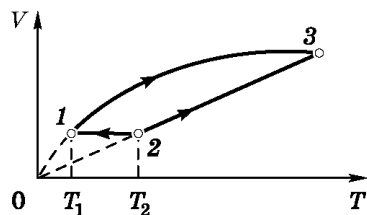


Рис. 9.8.11

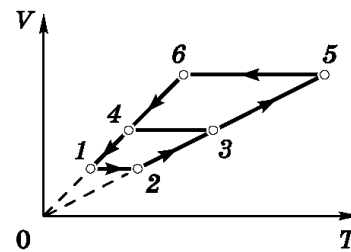


Рис. 9.8.8

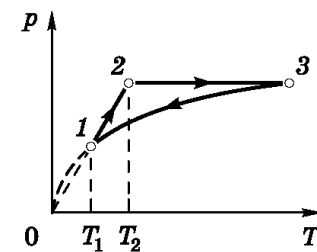


Рис. 9.8.9

Температуры газа в состояниях 2 и 4 одинаковы и в состояниях 3 и 6 тоже одинаковы. Температуры в состояниях 1 и 5 отличаются в $n = 8$ раз.

9.8.23. Идеальный газ совершает циклический процесс 1—2—3—1 (рис. 9.8.9). На участке 3—1 давление изменяется по закону $p = \alpha\sqrt{T}$, где α — положительная постоянная. Температуры газа в состояниях 1 и 2 равны соответственно $T_1 = 400$ К и $T_2 = 500$ К. Найдите работу, совершенную газом за цикл.

9.8.24. Определите работу, которую совершают $\nu = 2$ моль идеального газа в цикле 1—2—3—4—1 (рис. 9.8.10), где $T_0 = 100$ К.

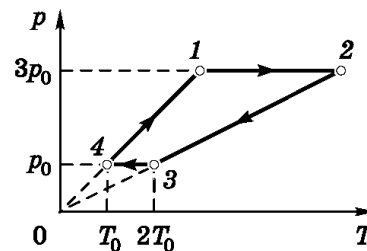


Рис. 9.8.10

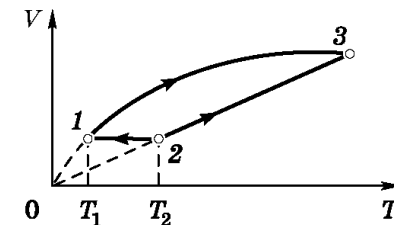


Рис. 9.8.11

9.8.27. Какую работу совершают $\nu = 8$ моль газа O_2 , находящегося первоначально при температуре $t = 0$ °С и давлении $p = 1$ атм, если объем его удваивается: а) изотермически; б) при постоянном давлении?

9.8.28. Один моль газа изотермически сжимают от давления $p_1 = 10^5$ Па до $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па. Температура газа $T = 300$ К. Найдите работу, которая была совершена при сжатии газа.

9.8.29. Во сколько раз работа $A_{\theta=0}$ идеального одноатомного газа при адиабатном расширении больше работы A_p при изобарном расширении, если начальные и конечные температуры газа в обоих процессах одинаковы?

Ответы:

9.8.1. $A = R = 8,31$ Дж.

9.8.2. $\Delta T = \frac{AT_0}{pV} = 45,5$ К.

9.8.3. $A = pV \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 300$ Дж.

9.8.4. $A = (p_0 S + mg)h = 598$ Дж.

9.8.5. $A = \frac{m}{M} RT(n-1) \approx 10$ кДж.

9.8.6. $V = \frac{mRT + MA}{Mp} \approx 0,43$ м³.

9.8.7. $\frac{A_{He}}{A_N} = \frac{M_N}{M_{He}} = 7$.

9.8.8. $A = \nu RT(n-1) = 24,93$ кДж.

9.8.9. $A = \frac{mRT}{M} \left(1 - \frac{1}{n} \right) = 249,3$ кДж.

9.8.11. $A = 4p_0V_0 = 1,6$ кДж.

9.8.12. $A = 6p_0V_0 = 600$ Дж.

9.8.13. а) $A = -8p_0V_0 = -8$ кДж;

б) $A = 12p_0V_0 = 12$ кДж; в) $A = 4$ кДж.

9.8.14.

$A = \frac{\nu R \alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 997,2$ Дж.

9.8.15. $A = \frac{P_2^2 - P_1^2}{2\nu R \alpha} = 4,8$ кДж.

9.8.16. $A = \frac{P_2^2 - P_1^2}{2b} = 2,5 \cdot 10^7$ Дж.

9.8.17.

а) $A_p = \nu R(T_2 - T_1) = 498,6$ Дж;

б) $A_V = 0$;

в) $A_p = \nu R(T_2 - T_1) = 498,6$ Дж;

г) $A = 997,2$ Дж.

9.8.18. $A = \nu R(T_1 - T_2) = -664,8$ Дж.

9.8.19. Рис. 31;

$A_{\max} = A_{1-2} = \frac{(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)}{2} = 750$ Дж;

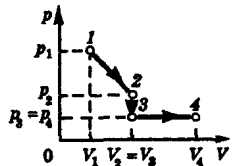


Рис. 31

$T_2 = \frac{p_2 V_2}{R} = 120$ К; $T_3 = \frac{p_2 V_2}{nR} =$

$= 60$ К; $T_4 = \frac{p_2 V_4}{nR} = 120$ К.

9.8.20. См. в условии рис. 9.8.6:

$A_{1,2} = 0$; $A_{2,3} = n(n-1)p_0V_0 = 10^5$ Дж; $A_{3,4} = 0$;

$A_{4,1} = -(n-1)p_0V_0 = -5 \cdot 10^4$ Дж;

$A = (n-1)^2 p_0V_0 = 5 \cdot 10^4$ Дж.

9.8.21. $A = \nu R (\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2$.

9.8.22. $\frac{A_{4-3-5-6-4}}{A_{1-2-3-4-1}} = 2$.

9.8.24. $A = 2\nu RT_0 \approx 3,3$ кДж.

9.8.25.

$A = \frac{\nu R(T_2 - T_1)^2}{2T_1} \approx 104$ Дж.

9.8.27. $A_T = \nu RT \ln 2 \approx 12,6$ кДж;

$A_p = \nu RT \approx 18,1$ кДж.

9.8.28. $A = \nu RT \ln \frac{p_2}{p_1} \approx 1,73$ кДж.

9.8.29. $\frac{A_0=0}{A_p} = \frac{3}{2}$.