

9.7. Внутренняя энергия идеального газа

9.7.1. Определите внутреннюю энергию гелия массой $m = 1$ кг при температуре $T = 300$ К.

9.7.2. В вертикальном цилиндрическом сосуде площадью поперечного сечения $S = 40$ см² на высоте $h = 0,5$ м от основания находится поршень массой $m = 1$ кг, а под ним — газ аргон. Чему равна внутренняя энергия этого газа?

9.7.3. Идеальный одноатомный газ изотермически сжали из состояния с давлением $p_1 = 10^5$ Па и объемом $V_1 = 2$ л до объема, вдвое меньшего первоначального. Найдите внутреннюю энергию газа в конечном состоянии.

9.7.4. Один моль гелия нагрели так, что его внутренняя энергия изменилась на $\Delta U = 600$ Дж. Во сколько раз изменилась температура гелия, если его начальная температура $T = 400$ К?

9.7.5. Газ, находящийся при температуре $t = 27$ °С, нагрет на $\Delta t = 30$ °. На сколько процентов возросла его внутренняя энергия?

9.7.6. В закрытом сосуде находится $\nu = 3$ моль гелия при температуре $t = 27$ °С. На сколько процентов увеличится давление в сосуде, если внутреннюю энергию газа увеличить на $\Delta U = 3$ Дж?

9.7.7. Аргон в количестве $\nu = 5$ моль расширяется изобарно так, что его объем увеличивается в $n = 5$ раз, а внутренняя энергия изменяется на $\Delta U = 60$ кДж. Определите начальную температуру аргона.

9.7.8. Идеальный газ сжимают поршнем и одновременно нагревают. Во сколько раз изменится его внутренняя энергия, если объем газа уменьшить в $n = 4$ раза, а давление увеличить в $k = 3$ раза?

9.7.9. Один моль идеального одноатомного газа при температуре $T_1 = 290$ К расширяется изобарно до тех пор, пока его объем не увеличится в $n = 2$ раза. Затем газ нагревают изохорно так, что его давление увеличивается в $k = 3$ раза. Найдите изменение внутренней энергии газа.

9.7.10. Аргон в количестве $\nu = 1$ кмоль сжимают так, что его объем уменьшается в $n = 2$ раза. Сжатие происходит по закону $pV^2 = \text{const}$. Найдите изменение внутренней энергии газа. Начальная температура газа $T_1 = 200$ К.

9.7.11. Гелий занимает объем $V = 2$ л при давлении $p_1 = 2 \cdot 10^5$ Па. Газ расширяется так, что его объем увеличивается в $n = 2$ раза. Расширение происходит по закону $T = \alpha V^2$, где α — положительная постоянная. Найдите изменение внутренней энергии гелия.

• **9.7.12.** Идеальный одноатомный газ в количестве $\nu = 2$ моль расширяется так, что его объем увеличивается в $n = 2$ раза, при этом его внутренняя энергия уменьшается на $\Delta U = 3,74$ кДж. Расширение происходит по закону $p = \alpha/V^2$, где α — постоянная. Определите начальную температуру газа.

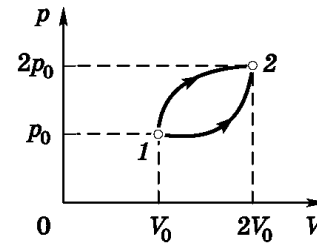


Рис. 9.7.1

9.7.13. Зависит ли изменение внутренней энергии газа от способа его перевода из состояния 1 в состояние 2 (рис. 9.7.1)? Найдите изменение внутренней энергии при переходе из состояния 1 в состояние 2, если газ одноатомный; $p_0 = 10^5$ Па, $V_0 = 2$ л.

9.7.14. Найдите внутреннюю энергию смеси газов, состоящей из $m_1 = 20$ г гелия и $m_2 = 40$ г аргона при температуре $t = 30$ °С.

9.7.15. В сосуде находится гелий массой $m_1 = 10$ г и криптон массой $m_2 = 84$ г. Найдите изменение внутренней энергии смеси при ее нагревании на $\Delta T = 40$ К.

9.7.16. Сосуд с аргонем движется прямолинейно со скоростью $v = 50$ м/с. На сколько возрастет температура газа, если сосуд остановить? Сосуд теплоизолирован. Теплоемкость сосуда не учитывать.

9.7.17. Поршень массой $m = 3$ кг закрывает с одного конца сосуд объемом $V_0 = 10$ л, в котором находится идеальный одноатомный газ при температуре $T_0 = 300$ К и давлении $p_0 = 10^5$ Па (рис. 9.7.2). Поршню сообщают скорость $v = 10$ м/с. Найдите температуру газа при его максимальном сжатии. Система теплоизолирована. Теплоемкость поршня и сосуда не учитывать.

• **9.7.18.** Закрытый с торцов горизонтальный теплоизолированный цилиндрический сосуд массой m перегороден подвижным поршнем массой $M \gg m$. С обеих сторон от поршня находится по одному моль идеального одноатомного газа. Коротким ударом сосуда сообщают скорость v , направленную вдоль оси сосуда. Насколько изменится температура ΔT газа после затухания колебаний поршня? Трение между поршнем и стенками сосуда, а также теплоемкость поршня не учитывать. Масса газа $m_g \ll m$.

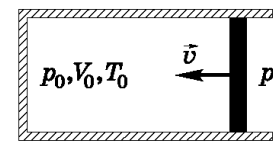


Рис. 9.7.2

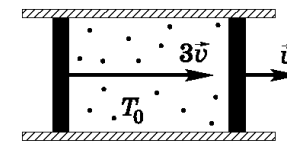


Рис. 9.7.3

9.7.19. В длинной горизонтальной трубе между двумя одинаковыми поршнями массой m каждый находится один моль одноатомного газа (рис. 9.7.3). При температуре газа T_0 скорости поршней направлены в одну сторону и равны v и $3v$. Какова максимальная температура газа? Труба теплоизолирована, массу газа и теплоемкость поршней не учитывать.

9.7.20. В длинной пустой горизонтальной теплоизолированной трубе находятся два поршня, массы которых $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 1$ кг. Между поршнями в объеме $V_0 = 18$ л при давлении $p_0 = 10^4$ Па находится одноатомный газ (рис. 9.7.4). Поршни отпускают. Оцените максимальные скорости поршней. Масса газа много меньше массы поршней.

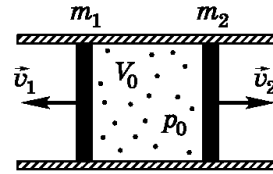


Рис. 9.7.4

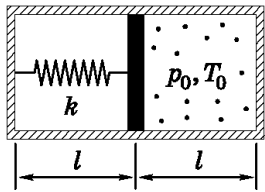


Рис. 9.7.5

9.7.21. В горизонтальном цилиндрическом теплоизолированном сосуде, площадь сечения которого S и длина $2l$, удерживается тонкий поршень, делящий объем сосуда на две равные части. Одну половину занимает одноатомный газ при температуре T_0 и давлении p_0 , а в другой половине — вакуум. Поршень соединен с торцом вакуумированной части сосуда пружиной с жесткостью k и длиной в недеформированном состоянии $2l$ (рис. 9.7.5). Пренебрегая трением, найдите установившуюся температуру газа после того, как поршень отпустили.

• **9.7.22.** В сосуде объемом V_1 находится одноатомный газ при температуре T_1 и давлении p_1 , а в сосуде объемом V_2 — такой же газ при температуре T_2 и давлении p_2 . Сосуды соединяют. Какое давление и какая температура установятся в сосудах? Теплообмен со стенками сосуда не учитывать.

Ответы:

- 9.7.1. $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = 9,34 \cdot 10^5$ Дж.
 9.7.2. $U = \frac{3}{2} (p_0 S + mg) h = 307,35$ Дж.
 9.7.3. $U_1 = U_2 = \frac{3}{2} p_1 V_1 = 300$ Дж.
 9.7.4. Увеличилась в $n = \frac{2\Delta U}{3\nu R} + 1 = 2$ раза.
 9.7.5. $\eta = \frac{\Delta t}{T} \cdot 100\% = 10\%$.
 9.7.6. $\eta = \frac{2\Delta U}{3\nu RT} \cdot 100\% = 27\%$.
 9.7.7. $T = \frac{2\Delta U}{3\nu R(n-1)} = 241$ К.
 9.7.8. $\frac{U_2}{U_1} = \frac{k}{n} = \frac{3}{4}$.
 9.7.9. $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (kn - 1) T_1 \approx 103,9$ Дж.
 9.7.10. $\Delta U = \frac{3}{2} \nu RT_1 \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) \approx 2,5$ МДж.
 9.7.11. $\Delta U = \frac{3}{2} p V (n - 1) = 600$ Дж.
 9.7.13. Нет; $\Delta U = \frac{9}{2} p_0 V_0 = 900$ Дж.
 9.7.14. $U = \frac{3}{2} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) RT \approx 22,7$ кДж.
 9.7.15. $\Delta U = \frac{3}{2} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) R \Delta T \approx 1,74$ кДж.
 9.7.16. $\Delta T = \frac{M v^2}{3R} = 4$ К.
 9.7.17. $T = T_0 \left(1 + \frac{m v^2}{3 p_0 V_0} \right) = 330$ К.
 9.7.19. $T = T_0 + \frac{2 m v^2}{3R}$.
 9.7.20. $v_1 = \sqrt{\frac{3 p_0 V_0 m_2}{m_1 (m_1 + m_2)}} = 300$ м/с;
 $v_2 = \sqrt{\frac{3 p_0 V_0 m_1}{m_2 (m_1 + m_2)}} = 600$ м/с.
 9.7.21. $T = T_0 \frac{3 p_0 S + k l}{4 p_0 S}$.