

Внутренняя энергия

ЗАДАЧА 1. («Курчатов», 2017, 11) Электронагреватель с сопротивлением 90 Ом помещён в баллон, в котором находится одноатомный идеальный газ под давлением $3 \cdot 10^5$ Па. Электронагреватель на 5 минут подключают к источнику постоянного напряжения с ЭДС 100 В и внутренним сопротивлением 10 Ом, после чего давление в баллоне становится равным $6 \cdot 10^5$ Па. Определите объём баллона. Газ не обменивается теплотой с окружающей средой.

r 09

ЗАДАЧА 2. В двух теплоизолированных сосудах с объёмами V_1 и V_2 находятся одинаковые газы при давлениях p_1 и p_2 и температурах T_1 и T_2 . Найдите температуру, которая установится в сосудах после смешивания газов.

$$\frac{\nu_1 \xi_{\Lambda} \varepsilon_d + \nu_2 \xi_{\Lambda} \varepsilon_d}{\xi_{\Lambda} \varepsilon_d + \xi_{\Lambda} \varepsilon_d} \xi_{\Lambda} \varepsilon_d = \nu$$

ЗАДАЧА 3. («Физтех», 2019, 10) Теплоизолированный цилиндр объёмом V разделен на две части перегородкой. В одной части находится водород в количестве ν при температуре T_1 , а в другой — азот в количестве $1,5\nu$ при температуре $\frac{5}{4}T_1$ и другом давлении. Перегородка прорывается.

1. Какая температура T_2 , установится в смеси?
2. Найти давление P в смеси.

$$\frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = T_2$$

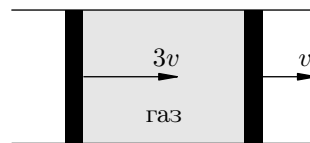
ЗАДАЧА 4. («Росатом», 2019, 11) Сосуд разделен нетеплопроводящей перегородкой на два отсека. В первом отсеке объёмом V находится идеальный газ при температуре T под давлением p . Во втором отсеке объёмом $2V$ находится такой же идеальный газ при температуре $4T$ под давлением $3p$. Какие температура и давление установятся в сосуде, если убрать перегородку? Потерями энергии в окружающее пространство пренебречь.

$$\frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{p_1 V_1 + p_2 V_2} = p$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 2004) В закреплённой длинной гладкой горизонтальной трубе расположены два поршня с массами m_1 и m_2 , между которыми в объёме V_0 при давлении p_0 находятся ν молей идеального одноатомного газа, масса которого много меньше массы поршней. Наружное давление на поршни пренебрежимо мало. Первоначально удерживаемые поршни отпускают, и к некоторому моменту времени температура газа между поршнями становится равной T_1 . Определить скорости поршней в этот момент времени, полагая, что газ между поршнями всё время остаётся равновесным. Теплопроводностью и теплоёмкостью поршней и трубы пренебречь.

$$\frac{(\nu m + m_1) \xi_{\Lambda}}{\xi_{\Lambda} \varepsilon_d + \xi_{\Lambda} \varepsilon_d} \Lambda = \xi_{\Lambda} \varepsilon_d, \frac{(\nu m + m_2) \xi_{\Lambda}}{\xi_{\Lambda} \varepsilon_d + \xi_{\Lambda} \varepsilon_d} \Lambda = \xi_{\Lambda} \varepsilon_d$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 2004) В закреплённой длинной гладкой горизонтальной трубе между двумя поршнями массой m каждый находятся ν молей идеального одноатомного газа. Наружное давление на поршни пренебрежимо мало. В начальный момент температура газа равна T_0 , а скорости поршней направлены в одну сторону и равны $3v$ и v (см. рисунок). В дальнейшем в некоторый момент времени один из поршней остановился. Полагая, что газ между поршнями всё время остаётся равновесным, определите температуру газа в этот момент. Масса газа мала по сравнению с массой поршней. Теплопроводностью и теплоёмкостью поршней и трубы пренебречь.



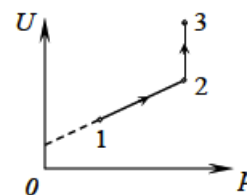
$$\frac{\nu R}{2^{\alpha} \nu m} - 0L = L$$

ЗАДАЧА 7. («Покори Воробьёвы горы!», 2014, 2019, 10–11) Горизонтальный теплоизолированный сосуд цилиндрической формы массой m закрыт с торцов и перегороден подвижным поршнем массой $M \gg m$. Сосуд и поршень покоятся в невесомости, с обеих сторон от поршня находится по одному молю идеального одноатомного газа. Сосуду коротким ударом сообщают скорость v , направленную вдоль оси сосуда. На сколько изменится температура ΔT газа после затуханий колебаний поршня? Трение между поршнем и стенками сосуда, теплоёмкость поршня и стенок не учитывать. Масса газа пренебрежимо мала. Универсальная газовая постоянная R .

$$\frac{\nu R}{2^{\alpha} \nu m} \approx \frac{\nu R}{2^{\alpha} (m - M) m} = L \Delta T$$

ЗАДАЧА 8. (МОШ, 2017, 10) Внутренняя энергия и давление идеального одноатомного газа изменялись в соответствии с приведённым графиком. Определите, увеличивалась или уменьшалась плотность газа на участках 1–2 и 2–3.

Увеличивалась; уменьшалась



ЗАДАЧА 9. (МФТИ, 1998) Воздух состоит в основном из азота и кислорода. Концентрация молекул азота при этом в $\alpha = 4$ раза больше концентрации молекул кислорода. Чему равна суммарная кинетическая энергия вращения всех молекул азота, содержащегося в комнате объёмом $V = 60 \text{ м}^3$? Атмосферное давление $p = 10^5 \text{ Па}$.

Указание. Внутренняя энергия моля двухатомного газа равна $\frac{5}{2}RT$ (R — газовая постоянная, T — температура), она возрастает по сравнению с энергией одноатомного газа за счёт кинетической энергии вращения молекул.

$$\frac{5}{2} p V = 4.8 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

ЗАДАЧА 10. (МФТИ, 2001) Температура гелия в процессе $pV^2 = \text{const}$ увеличивается в $k = 1,5$ раза (p — давление газа, V — его объём). При этом внутренняя энергия газа изменилась на $\Delta U = 300 \text{ Дж}$. Найти:

- 1) минимальное давление p_{\min} ;
- 2) начальный объём газа V_1 .

Максимальное давление, которое было у газа в этом процессе, составило $p_{\max} = 9 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

$$p_{\min} = 1 \text{ Па}; V_1 = \frac{3 \Delta U}{2 k^2 R} = 1 \text{ л}; p_{\max} = 9 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

ЗАДАЧА 11. (МФТИ, 2001) Температура гелия уменьшается в $k = 2$ раза в процессе $pV^2 = \text{const}$ (p — давление, V — объём газа). Найти:

- 1) начальный объём газа V_1 ;
- 2) изменение его внутренней энергии в процессе охлаждения.

Начальное давление газа $p_1 = 10$ Па, а минимальный объём, который он занимал в процессе охлаждения, составил $V_{\min} = 1$ л.

$$\Delta U = \frac{\nu}{\gamma-1} p_1 V_1 \left(\frac{2}{k} - 1 \right) = \frac{1}{2} p_1 V_1$$

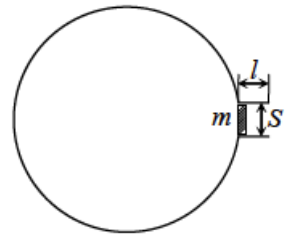
ЗАДАЧА 12. (МФТИ, 2005) В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под поршнем находится моль гелия при температуре $T_1 = 300$ К. На поршень поставили гирию массой, равной массе поршня.

- 1) Во сколько раз изменился объём газа после установления нового положения равновесия в условиях отсутствия теплообмена газа с окружающей средой?
- 2) Какую работу должен совершить газ, чтобы в изобарическом процессе при наличии теплообмена вернуться в состояние с первоначальным объёмом?

Наружным давлением, трением между цилиндром и поршнем, теплоёмкостью поршня и цилиндра пренебречь.

$$\Delta V = \frac{m}{\rho} \approx \frac{m}{\rho} \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{m}{\rho} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{m}{\rho \sqrt{2}}$$

ЗАДАЧА 13. (МОШ, 2016, 10) В колбе объёмом $V = 2$ л при комнатной температуре находится $\nu = 0,1$ моля гелия. Горлышко колбы имеет длину $l = 2$ см и сечение $S = 10$ см². Это горлышко закрыто цилиндрической пробкой массой $m = 10$ г, могущей скользить по нему без трения. В начальный момент пробка удерживается у основания горлышка, и гелий не выходит наружу. Пробку отпускают, и она вылетает из горлышка со скоростью $v = 10$ м/с. Найдите изменение ΔT температуры гелия в колбе к моменту вылета пробки из горлышка. Давление воздуха в комнате равно $p_0 = 1$ атм, теплообменом гелия в колбе с окружающими телами за время вылета пробки можно пренебречь.



$$\Delta T \approx \frac{m v^2}{2 \nu R} = \frac{m v^2}{2 \nu R}$$

ЗАДАЧА 14. («Росатом», 2013, 10) Теплоизолированный сосуд заполнен одноатомным идеальным газом. Со временем половина атомов газа соединилась в двухатомные молекулы. При образовании двухатомной молекулы выделяется энергия E . Найти новую температуру в сосуде, если начальная температура равна T . При рассматриваемых температурах внутренняя энергия одного моля двухатомного газа равна $\frac{5}{2}RT$. Объём газа не менялся.

$$\left(\frac{\gamma}{2} + 1 \right) \frac{1}{2} = \nu L$$

ЗАДАЧА 15. («Росатом», 2012, 10) В вертикальном цилиндрическом сосуде под массивным поршнем находится одноатомный идеальный газ при температуре T_0 , при этом поршень находится в равновесии. Температуру газа в сосуде мгновенно увеличивают в два раза. Какая температура установится в сосуде после того, как поршень перестанет двигаться? Теплоёмкостью поршня и сосуда пренебречь, теплопотери отсутствуют.

$$0L \frac{5}{2} = L$$

ЗАДАЧА 16. («Росатом», 2011, 11) В запаянном вертикальном цилиндрическом сосуде под массивным поршнем массой m находится одноатомный идеальный газ при температуре T . Над поршнем вакуум. Из-за неплотных контактов поршня со стенками газ медленно просачивается в верхнюю часть сосуда. Пренебрегая теплоёмкостью поршня и сосуда, а также теплопотерями, найти температуру газа, когда поршень опустится на дно сосуда.

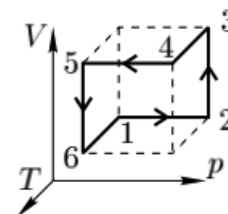


$$\boxed{L_{\text{га}} = \nu L}$$

ЗАДАЧА 17. («Покори Воробьёвы горы!», 2018, 10–11) Вертикальный цилиндрический теплоизолирующий гладкий сосуд разделён на две части лёгким горизонтальным поршнем. В нижней части сосуда находится гелий с температурой $t_1 = 15^\circ\text{C}$, а верхняя часть вакуумирована, и в ней находится невесомая вертикальная пружина в недеформированном состоянии. Поршень удерживается в этом положении. Затем его отпускают. После установления равновесия оказалось, что объём, занятый гелием, увеличился на 50%. Найти новую температуру гелия.

$$\boxed{L_{\text{га}} = \nu L}$$

ЗАДАЧА 18. (Всеросс., 2009, РЭ, 11) Над одноатомным идеальным газом производят сложный процесс, показанный на рисунке, который состоит из шести простых процессов. У точки 1 координаты (p, V, T) , а у точки 4 — $(3p, 3V, 3T)$. График каждого из простых процессов параллелен одной из координатных осей.



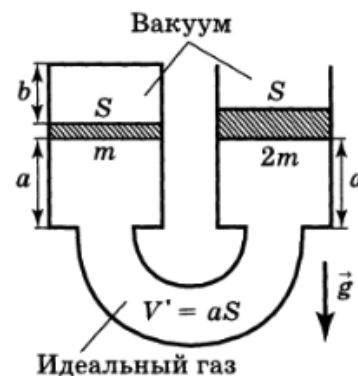
- 1) Среди простых процессов найдите все изотермические.
- 2) Определите в них изменение внутренней энергии газа.
- 3) Найдите все процессы, изменение внутренней энергии в которых равно нулю.

$$\boxed{L_{\text{га}} = \nu L}$$

ЗАДАЧА 19. (Всеросс., 1996, ОЭ, 10) Горизонтально расположенный закрытый с обеих сторон цилиндр разделён поршнем на две равные части. Поршень может свободно (без трения) перемещаться. В первоначальном состоянии в обеих частях цилиндра находилось по одному молю одноатомного идеального газа при одинаковой температуре T_0 . Разделяющий поршень может проводить тепло, причем тепловой поток через него линейно зависит от разности температур его стенок: $q_{12} = \alpha(T_1 - T_2)$. Одну часть цилиндра начинают нагревать, при этом газ получает тепло со скоростью q , а через время τ с такой же скоростью начинают отбирать тепло от газа из другой части цилиндра. Определите коэффициент теплопроводности α , если известно, что в стационарном состоянии (при $t \gg \tau$) отношение объёмов разных частей цилиндра равно 2.

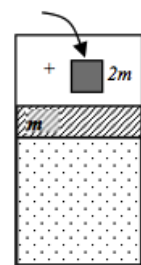
$$\boxed{L_{\text{га}} = \nu L}$$

ЗАДАЧА 20. (Всеросс., 1997, ОЭ, 10) В двух вертикальных сообщающихся цилиндрах (рис.) под поршнями массами $2m$ и m находится один моль идеального одноатомного газа. Над поршнями — вакуум. На рисунке показаны геометрические размеры: S — площадь поршня, V' — объём трубы, соединяющей сосуды. Поршень $2m$ закреплён, а поршень m свободен. Затем поршень $2m$ освобождают. Оба поршня начинают перемещаться без трения. Удар поршня m о верхнюю крышку цилиндра происходит абсолютно упруго. Найдите максимально большое отношение T_k/T_0 , которого можно достигнуть, изменяя расстояние b (T_k — конечная равновесная температура газа, а T_0 — начальная). Принять, что стенки цилиндров и поршни теплом с газом не обмениваются.



$$\frac{z_1}{z_1}$$

ЗАДАЧА 21. (Всеросс., 2018, ШЭ, 11) В вертикальном теплоизолированном цилиндре под тяжёлым подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ, занимающий объём V . На поршень ставят груз, имеющий массу вдвое большую, чем масса поршня. Найдите объём газа в новом положении равновесия. Давлением над поршнем и трением поршня о стенки цилиндра можно пренебречь.

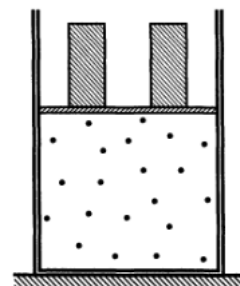


$$A_{\xi}^{\text{г}} = ,A$$

ЗАДАЧА 22. («Курчатов», 2019, 10) В закрытом горизонтальном цилиндре может без трения двигаться поршень, прикрепленный пружиной к правому торцу цилиндра. Слева от поршня находится гелий, справа — вакуум. В начальном состоянии поршень закреплён, пружина не деформирована, объём гелия $V_1 = 2$ л, температура $T_1 = 300$ К. Поршень отпускают, и через некоторое время система приходит в состояние механического и теплового равновесия, в котором объём гелия $V_2 = 3$ л. Считая, что стенки цилиндра и поршень не проводят тепло, найдите температуру T_2 гелия в этом состоянии.

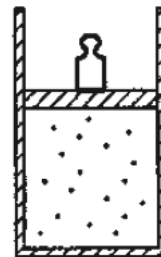
$$K 0Z = \frac{L - z_1 L}{z_1 L} \cdot L = z_1 L$$

ЗАДАЧА 23. (Всеросс., 1992, ОЭ, 11) В теплоизолированном цилиндре, поршень которого удерживается в неподвижном состоянии двумя одинаковыми гирями (рис.), находится 1 моль одноатомного идеального газа. Начальная температура газа равна T_0 . Давление воздуха вне цилиндра равно нулю. Как изменится температура газа, если одну из гирь снять, а затем через некоторое время поставить обратно? Поршень может скользить в цилиндре без трения.



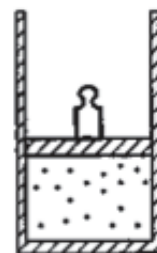
$$0L \frac{z_2}{z_2} = L$$

ЗАДАЧА 24. (Всеросс., 2005, финал, 10) В цилиндре с теплонепроницаемыми стенками под массивным теплонепроницаемым поршнем находится идеальный одноатомный газ. На поршень поставили гирию, масса которой равна массе поршня (рис.). После того как система пришла в новое состояние термодинамического равновесия, гирию быстро сняли и вновь дождались наступления равновесного состояния. Определите, какая температура T газа установится в цилиндре после четырёх таких циклов, если первоначальная температура равнялась $T_0 = 300$ К. Считайте, что трение между поршнем и стенками цилиндра пренебрежимо мало. Внешним давлением можно пренебречь.



$$T = T_0 \left(\frac{25}{28}\right)^4 \approx 472 \text{ К}$$

ЗАДАЧА 25. (Всеросс., 2005, финал, 11) В состоянии равновесия идеальный двухатомный газ занимает ровно половину объёма теплоизолированного сосуда с массивным теплоизолированным поршнем. На поршень поставили гирию (рис.). Когда система пришла в новое состояние термодинамического равновесия, оказалось, что давление газа возросло на 25%. Затем гирию быстро сняли и вновь дождались наступления равновесного состояния. Сколько таких циклов n установки и снятия гири можно совершить, пока поршень не вылетит из цилиндра при очередном удалении гири? Считайте, что трение между поршнем и стенками цилиндра пренебрежимо мало. Внешним давлением можно пренебречь.



$$n = \left\lfloor \frac{\ln \frac{98}{66}}{\ln 2} \right\rfloor = 89$$

ЗАДАЧА 26. («Росатом», 2018, 11) В вертикальном цилиндрическом сосуде площадью сечения S и длиной h находится очень лёгкий подвижный поршень, к которому с помощью длинного стержня прикреплена лёгкая чашка. В отсеках, на которые поршень делит сосуд, находится по одному молю идеального одноатомного газа под давлением p_0 , а поршень в равновесии делит сосуд на равные части. На чашку кладут тело массой m , и поршень после нескольких колебаний приходит в новое положение равновесия. Найти смещение поршня относительно первоначального положения. Сосуд теплоизолирован, поршень хорошо проводит тепло, теплоёмкостью поршня и сосуда пренебречь. Каким будет смещение поршня при $m \rightarrow \infty$ и почему?



$$\Delta l = x \nabla : \left(\varepsilon - \left(\frac{\partial \sigma}{\partial u} \right) \varepsilon + 6 \Lambda \right) \frac{\partial u \varepsilon}{\partial \sigma} = x \nabla$$