

Внутренняя энергия

ЗАДАЧА 1. («Курчатов», 2017, 11) Электронагреватель с сопротивлением 90 Ом помещён в баллон, в котором находится одноатомный идеальный газ под давлением $3 \cdot 10^4$ 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 $6 \cdot 10^4$ Па. Определите объём баллона. Газ не обменивается теплотой с окружающей средой.

r 09

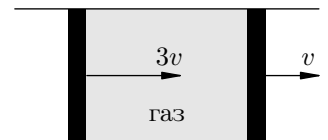
ЗАДАЧА 2. В двух теплоизолированных сосудах с объёмами V_1 и V_2 находятся одинаковые газы при давлениях p_1 и p_2 и температурах T_1 и T_2 . Найдите температуру, которая установится в сосудах после смешивания газов.

$$\frac{\nu_L \xi_{\Lambda} z_d + \xi_L \nu_{\Lambda} \nu_d}{\xi_{\Lambda} z_d + \nu_{\Lambda} \nu_d} \xi_L \nu_L = J$$

ЗАДАЧА 3. (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.

$$\frac{(\xi_{\Lambda} + \nu_{\Lambda}) \xi_{\Lambda}}{\nu_{\Lambda} \xi_{\Lambda} - \nu_{\Lambda} \nu_d} \nu_{\Lambda} = \xi_{\Lambda} \cdot \frac{(\xi_{\Lambda} + \nu_{\Lambda}) \nu_{\Lambda}}{\nu_{\Lambda} \xi_{\Lambda} - \nu_{\Lambda} \nu_d} \nu_{\Lambda} = \nu_{\Lambda}$$

ЗАДАЧА 4. (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.



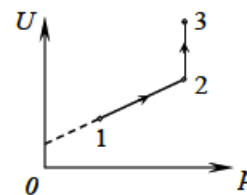
$$\frac{\nu_{\Lambda}}{\xi_{\Lambda} \nu_{\Lambda}} - \nu_L = J$$

ЗАДАЧА 5. («Покори Воробьёвы горы!», 2014, 10–11) Горизонтальный теплоизолированный сосуд цилиндрической формы массой m закрыт с торцов и перегороден подвижным поршнем массой $M \gg m$. Сосуд и поршень покоятся, с обеих сторон от поршня находится по $\nu = 1$ молю идеального одноатомного газа. Сосуду коротким ударом сообщают скорость v , направленную вдоль оси сосуда. На какую величину ΔT изменится температура газа после затуханий колебаний поршня? Трение между поршнем и стенками сосуда, теплоёмкость поршня и стенок не учитывать. Масса газа $m_g \ll M$. Универсальная газовая постоянная R .

$$\frac{\nu_{\Lambda} g}{\xi_{\Lambda} \nu_{\Lambda}} = J \nabla$$

Задача 6. (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 7. (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.

$$E = \frac{5}{2} p V \frac{1+\alpha}{\alpha} = 4,8 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Задача 8. (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 $p_{\max} = 9 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

$$p_{\min} = \frac{\Delta U}{\frac{5}{2} V_1} = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}; \quad V_1 = \frac{\Delta U}{\frac{5}{2} p_{\min}} = 1,5 \text{ л}$$

Задача 9. (МФТИ, 2001) Температура гелия уменьшается в $k = 2$ раза в процессе $p^2V = \text{const}$ (p — давление, V — объём газа). Найти:

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

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

$$V_1 = \frac{V_{\min}}{k^2} = \frac{1}{4} \text{ л} = 0,25 \text{ л}; \quad \Delta U = \frac{5}{2} p_1 V_1 (1 - k^2) = -10 \text{ Дж}$$

Задача 10. (МФТИ, 2005) В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под поршнем находится моль гелия при температуре $T_1 = 300 \text{ К}$. На поршень поставили гирю массой, равной массе поршня.

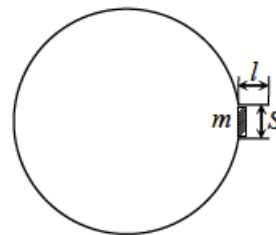
1) Во сколько раз изменился объём газа после установления нового положения равновесия в условиях отсутствия теплообмена газа с окружающей средой?

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.

$$V_2 = 2V_1 = 2 \text{ л}; \quad A = p(V_2 - V_1) = 10^5 \text{ Дж}$$

ЗАДАЧА 11. (МОШ, 2016, 10) В колбе объемом $V = 2$ 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.



$$\Delta T \approx \frac{\nu \mu \varepsilon}{15^{0,4} \nu + \varepsilon^{0,4} \nu} = \Delta T$$

ЗАДАЧА 12. («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 $\frac{5}{2}RT$. Объем газа не менялся.

$$\left(\frac{\nu}{2} + \nu\right) \frac{11}{2}$$

ЗАДАЧА 13. («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? Теплоемкостью поршня и сосуда пренебречь, теплотери отсутствуют.

$$0L \frac{\varepsilon}{2} = J$$

ЗАДАЧА 14. («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 теплоемкостью поршня и сосуда, а также теплотерями, найти температуру газа, когда поршень опустится на дно сосуда.

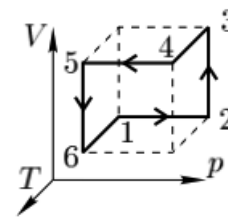


$$L \frac{\varepsilon}{2} = \nu J$$

ЗАДАЧА 15. («Покори Воробьевы горы!», 2018, 10–11) Вертикальный цилиндрический теплоизолирующий гладкий сосуд разделён на две части лёгким горизонтальным поршнем. В нижней части сосуда находится гелий с температурой $t_1 = 15$ °С, 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.

$$1L6'0 = \nu L$$

ЗАДАЧА 16. (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.



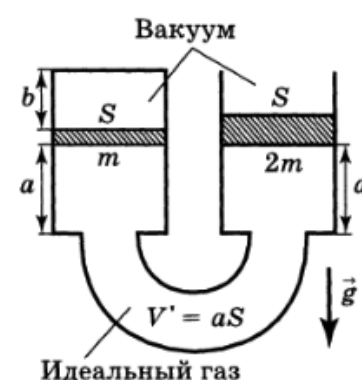
- 1) Среди простых процессов найдите все изотермические.
- 2) Определите в них изменение внутренней энергии газа.
- 3) Найдите все процессы, изменение внутренней энергии в которых равно нулю.

$$\int_1^2 p \, dV = \int_2^3 p \, dV = \int_3^4 p \, dV = \int_4^5 p \, dV = \int_5^6 p \, dV = \int_6^1 p \, dV$$

ЗАДАЧА 17. (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.

$$\frac{9R}{2} = \frac{2(3V_1 T_1 + q\tau)}{9R}$$

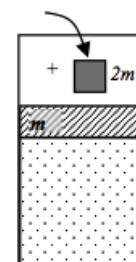
ЗАДАЧА 18. (Всеросс., 1997, ОЭ, 10) В двух вертикальных сообщающихся цилиндрах (рис.) под поршнями массами $2m$ и m находится один моль идеального одноатомного газа. Над поршнями — вакуум. На рисунке показаны геометрические размеры: S — площадь поршня, V' — объём трубы, соединяющей сосуды. Поршень $2m$ 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.



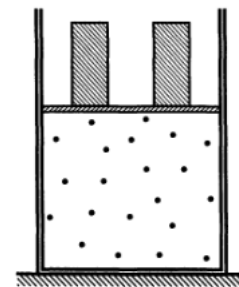
$$\frac{T_k}{T_0}$$

ЗАДАЧА 19. (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.

$$A_{\text{г}} = A$$

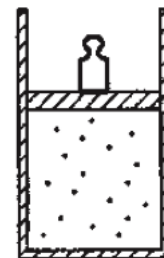


ЗАДАЧА 20. (Всеросс., 1992, ОЭ, 11) В теплоизолированном цилиндре, поршень которого удерживается в неподвижном состоянии двумя одинаковыми гирями (рис.), находится 1 моль одноатомного идеального газа. Начальная температура газа равна T_0 . Давление воздуха вне цилиндра равно нулю. Как изменится температура газа, если одну из гирь снять, а затем через некоторое время поставить обратно? Поршень может скользить в цилиндре без трения.



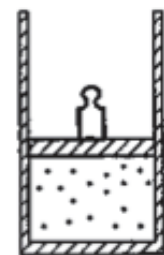
$$0L \frac{gZ}{gZ} = L$$

ЗАДАЧА 21. (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.



$$K 2L T \approx T_0 \left(\frac{28}{28}\right)^4 = T$$

ЗАДАЧА 22. (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.



$$89 = \left[\frac{86}{66} \frac{m}{m} \right] \geq u$$

ЗАДАЧА 23. («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?



$$\frac{g}{g} \Lambda \leftarrow x \nabla : \left(\varepsilon - \frac{(S^0 d)}{b u u} \right) \varepsilon \Gamma + 6 \Lambda \left(\frac{b u u \varepsilon}{1 S^0 d} \right) = x \nabla$$