

Тема: решения задач по теме: «Первый закон термодинамики»

Примеры решения задач по теме: «Первый закон термодинамики»

В большей части задач используется не общая форма первого закона термодинамики, а его различные частные формулировки, применимые к определённым процессам. Задачи на теплообмен в изолированной системе решаются с помощью уравнения теплового баланса (13.10).

При решении задач надо чётко выделять начальное и конечное состояния системы, а также характеризующие её параметры.

Задача 1. Во время расширения газа, вызванного его нагреванием, в цилиндре с площадью поперечного сечения $S = 200 \text{ см}^2$ газу было передано количество теплоты $Q = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$, причём давление газа оставалось постоянным и равным $p = 2 \cdot 10^7 \text{ Па}$. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если поршень передвинулся на расстояние $\Delta h = 30 \text{ см}$?

Решение. Согласно первому закону термодинамики в форме (13.12) $Q = \Delta U + A'$, где $A' = pS\Delta h$ — работа, совершённая газом. Отсюда $\Delta U = Q - pS\Delta h = 30 \text{ кДж}$.

Задача 2. Газ расширяется от объёма V_1 до объёма V_2 один раз изотермически, другой изобарно и третий адиабатно. При каком процессе газ совершает большую работу и при каком газу передаётся большее количество теплоты?



Решение. На диаграмме p — V (рис. 13.10) изобразим все три процесса. Работа численно равна площади криволинейной трапеции. Из рисунка очевидно, что работа при изобарном процессе будет максимальной, при адиабатном минимальной, т. е. $A'_{1-2'} > A'_{1-2} > A'_{1-2''}$.

Температура газа в состоянии 2' больше, чем в состоянии 2, а температура в состоянии 2 больше, чем в состоянии 2'' ($T_{2'} > T_2 > T_{2''}$). В этом легко убедиться, начертив изотермы, проходящие через точки 2' и 2''. При процессе 1—2' изменение внутренней энергии $\Delta U > 0$, при процессе 1—2 $\Delta U = 0$. Очевидно, что поскольку $Q = \Delta U + A'$ (первый закон термодинамики), то $Q_{1-2'} > Q_{1-2} > Q_{1-2''}$ ($Q_{1-2''} = 0$).

Задача 3. Пусть азот нагревается при постоянном давлении. Зная, что масса азота $m = 280$ г, количество затраченной теплоты $Q = 600$ Дж и удельная теплоёмкость азота при постоянном объёме $c_v = 745$ Дж/(кг • К), определите, на сколько повысилась температура азота. Молярная масса азота $M = 0,028$ кг/моль.

Р е ш е н и е. Согласно первому закону термодинамики $Q = \Delta U + A'$.

Изменение внутренней энергии $\Delta U = c_v m \Delta T$.

Работа при изобарном процессе $A' = p \Delta V = (m/M) R \Delta T$.

Следовательно, $Q = m \Delta T (c_v + R/M)$, откуда

$$\Delta T = \frac{Q}{m(c_v + R/M)} \approx 2,1 \text{ К.}$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Для изобарного нагревания газа, взятого в количестве 800 моль, на 500 К газу сообщили количество теплоты $9,4 \cdot 10^6$ Дж. Определите работу газа и изменение его внутренней энергии.
2. В цилиндрическом сосуде с площадью основания 250 см^2 находится азот массой 10 г, сжатый поршнем, на котором лежит гиля массой 12,5 кг. Какую работу совершит азот при нагревании его от 25 до 625 °С. На какую высоту при этом поднимется поршень? Атмосферное давление равно 1 атм.
3. Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль, находящийся при температуре 0 °С, сначала изохорно перевели в состояние, в котором давление в 2 раза больше первоначального, а затем изобарно в состояние, в котором объём в 2 раза больше первоначального. Определите изменение внутренней энергии газа.
4. В цилиндре под поршнем находится воздух. На его нагревание при постоянном давлении затрачено количество теплоты, равное 5 кДж. Определите работу, совершённую при этом воздухом. Теплоёмкость воздуха при постоянном давлении $c_p = 10^3$ Дж/(кг • К), молярная масса 29 г/моль.

5. Положительна или отрицательна работа газа в процессах 1—2, 2—3 и 3—1 на рисунке 10.9? Получает газ тепло или отдаёт в этих процессах?

6. Какое количество теплоты необходимо для изохорного нагревания гелия массой 4 кг на 100 К?

7. Вычислите увеличение внутренней энергии водорода массой 2 кг при изобарном его нагревании на 10 К. (Удельная теплоёмкость водорода при постоянном давлении равна 14 кДж/(кг • К).)

8. В цилиндре компрессора сжимают идеальный одноатомный газ, количество вещества которого 4 моль. Определите, насколько поднялась температура газа за один ход поршня, если при этом была совершена работа 500 Дж. Процесс считайте адиабатным.

9. На одинаковые газовые горелки поставили два одинаковых плотно закупоренных сосуда вместимостью по 1 л. В одном сосуде находится вода, а в другом — воздух. Какой сосуд быстрее нагревается на 50 °С? Почему?



10. Предложен следующий проект вечного двигателя (рис. 13.11). Закрытый сосуд разделён на две половинки герметичной перегородкой, сквозь которую пропущены трубка и водяная турбина в кожухе с двумя отверстиями. Давление воздуха в нижней части больше, чем в верхней. Вода поднимается по трубке и наполняет открытую камеру. В нижней части очередная порция воды выливается из камеры турбины, подошедшей к отверстию кожуха. Почему данная машина не будет работать вечно?

11. В вакууме закреплён горизонтальный цилиндр, в котором слева находится гелий в количестве 0,1 моль, запёртый поршнем. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, и застревает в нём. Как изменится температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении? Считайте, что газ не успевает обмениваться теплом с поршнем и цилиндром