

Условие

Задание 10-3. Теплоемкость газа.

В восьмом классе вы познакомились с понятием теплоемкости тел. Пользовались таблицами удельных теплоемкостей веществ. Скорее всего, у Вас сложилось твердое убеждение, что удельная теплоемкость вещества некоторая табличная величина, данная ему Господом Богом в момент творения. Однако, в 10 классе вы должны понять, что теплоемкость — это не только характеристика тела, но и характеристика процесса изменения температуры тела. Более того, теплоемкость может изменяться в ходе процесса. При выполнении данного задания Вы должны показать, что хорошо понимаете эти особенности такой характеристики, как теплоемкость.

*Напомним: теплоемкость тела называется отношение количества теплоты, полученной телом δQ к изменению температуры этого тела ΔT :**

$$C = \frac{\delta Q}{\Delta T}. \quad (1)$$

Так теплоемкость может изменяться в ходе процесса, то использовать формулу (1) необходимо при малых изменениях параметров вещества.

Рассмотрим один моль идеального одноатомного газа, находящегося в сосуде объема V_0 при давлении P_0 . Газ начинает расширяться так, что его давление P и объем V оказываются связаны уравнением процесса

$$PV^n = \text{const}. \quad (2)$$

где n - некоторое постоянное число.

Математическая подсказка для этого процесса при малых изменениях объема и давления справедливо соотношение

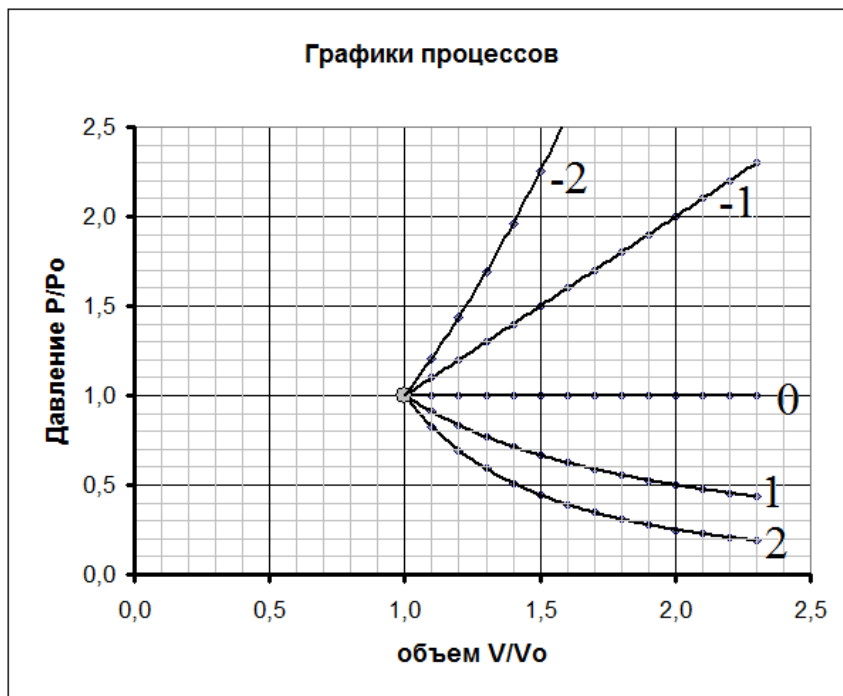
$$\frac{\Delta P}{P} = -n \frac{\Delta V}{V} \quad (3)$$

1. На бланке в Листах ответов постройте схематические графики процесса для следующих значений n : $n = -2$; $n = -1$; $n = 0$; $n = 1$; $n = 2$; $n \rightarrow \infty$.
2. Рассчитайте значение теплоемкости газа в процессе, описываемом уравнением (2). Покажите, что во всех этих процессах теплоемкость газа постоянная.
3. При каком значении n теплоемкость газа равна нулю. Как называется такой процесс?
4. При каких значениях n теплоемкость газа отрицательна? Объясните возможность такого процесса: почему при получении теплоты температура газа может понижаться?
5. При каком значении n теплоемкость газа стремится к бесконечности? Как называется такой процесс?

Решение

Задание 10-3. Теплоемкость газа. Решение.

1. Графики процессов показаны на рисунке. Числа возле кривых указывают значение параметра n . При $n \rightarrow \infty$ график стремиться к вертикальной прямой (изохорный процесс).



2. Для расчета теплоемкости газа запишем уравнение первого закона термодинамики

$$\delta Q = \Delta U + \delta A \quad (1)$$

Воспользуемся определением теплоемкости и запишем

$$c = \frac{\delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} + \frac{\delta A}{\Delta T} = \frac{3}{2}R + P \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2)$$

Для вычисления второго слагаемого воспользуемся уравнением состояния идеального газа

$$PV = RT \quad (3)$$

Из которого следует, что

$$R\Delta T = (P + \Delta P)(V + \Delta V) - PV \approx P\Delta V + V\Delta P. \quad (4)$$

С благодарностью используем подсказку

$$\frac{\Delta P}{P} = -n \frac{\Delta V}{V} \Rightarrow \Delta P = -n \frac{P}{V} \Delta V$$

Подставим в выражение (4)

$$R\Delta T = P\Delta V + V\Delta P = P\Delta V - Vn \frac{P}{V} \Delta V = (1 - n)P\Delta V. \quad (5)$$

Наконец, подставим это выражение в формулу (2), в результате получаем окончательную формулу для теплоемкости

$$c = \frac{3}{2}R + P \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{3}{2}R - \frac{R}{n-1} = \frac{3n-5}{2(n-1)}R \quad (6)$$

Так как теплоемкость не зависит от характеристик состояния газа, то она постоянна в данном процессе.

3. Теплоемкость равна нулю при $n = \frac{5}{3}$. Такой процесс происходит без теплообмена, называется адиабатным.
4. Теплоемкость отрицательна, если показатель степени лежит в интервале

$$1 < n < \frac{5}{3}. \quad (7)$$

В таких процессах газ совершает работу, большую, чем количество полученной теплоты. Эта работа совершается за счет внутренней энергии, поэтому температура газа понижается.

5. Теплоемкость стремится к бесконечности при $n = 1$. Этот процесс изотермический – газ теплоту получает, а его температура не растет.



Республиканская физическая олимпиада
2023 год
(III этап)
Теоретический тур
Решения задач