

# Нагревать или сообщать количество теплоты?

**Н.КОРЖОВ**

**КАК СООТНОСЯТСЯ МЕЖДУ СОБОЙ понятия «нагревание тела» и «сообщение телу количества теплоты»?**

Нагревание – это повышение температуры тела. Температура  $T$  есть параметр состояния системы, находящейся в термодинамическом равновесии, а внутренняя энергия  $U$  – функция состояния. Это означает, что в данном состоянии система обладает определенными температурой и внутренней энергией, которые не зависят от того, каким образом система приведена в это состояние. Это – экспериментальный факт.

Переход системы из одного состояния в другое происходит в результате теплообмена или совершения механической работы. Поэтому количество теплоты  $Q$ , как и работа  $A$  над системой (или работа  $A'$  системы над внешними телами), связано не с внутренней энергией системы, а с ее приращением. В соответствии с первым законом термодинамики,

$$\Delta U = Q + A \text{ или } Q = \Delta U + A'.$$

Таким образом, сообщение телу некоторого количества теплоты вовсе необязательно ведет к его нагреванию. Приведем примеры. Веществу, нагретому до температуры плавления, для плавления требуется определенное количество теплоты, хотя температура при плавлении будет оставаться неизменной. При изотермическом расширении температура газа остается одной и той же, хотя к газу подводится тепло. В первом случае тепло идет не на изменение средней кинетической энергии хаотического движения молекул вещества, мерой которого и является температура, а на изменение потенциальной энергии их взаимодействия. Во втором случае все тепло идет на совершение газом работы над внешними телами.

Далее, передача одного и того же количества теплоты двум системам, находящимся в совершенно одинако-

вых начальных состояниях, может привести к их различному нагреванию. Например, при сообщении идеальному газу в цилиндре под подвижным поршнем некоторого количества теплоты он нагреется меньше, чем тот же газ, но под неподвижным поршнем. Это происходит потому, что при изобарном нагревании передаваемое газу тепло идет не только на увеличение его внутренней энергии, но и на совершение им работы, в то время как при изохорном нагревании – только на увеличение его внутренней энергии.

Нагреть вещество, т.е. повысить его температуру, можно и не сообщая ему количества теплоты, а совершив над ним работу – например, потеряв монету о сукно или быстро сжав газ насосом. Наконец, бывает и так, что телу сообщают тепло, а оно охлаждается. Соответствующий пример приведем попозже, а пока заметим, что возможность такого случая следует из первого закона термодинамики. Так, применительно к идеальному газу при  $A' > Q$  из соотношения  $Q = \Delta U + A'$  следует, что  $\Delta U < 0$ , т.е.  $T_2 < T_1$  (для идеального газа  $U$  прямо пропорционально  $T$ ).

А сейчас проанализируем следующую конкретную ситуацию. Пусть  $\nu$  молей идеального одноатомного газа переводят из состояния 1 в состояние 2 так, как это показано на рисунке 1.

Сначала найдем уравнение процесса. Поскольку зависимость  $p$  от  $V$  линейная, можно записать

$$p = aV + b. \quad (1)$$

Из уравнений

$$p_1 = aV_1 + b \text{ и } p_2 = aV_2 + b$$

найдем постоянные  $a$  и  $b$ :

$$a = \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1}, \quad b = \frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{V_2 - V_1}.$$

Очевидно, что  $a < 0$ ,  $b > 0$ .

С помощью уравнения состояния

идеального газа  $pV = \nu RT$  выразим температуру газа  $T$  через его объем:

$$T(V) = \frac{aV^2 + bV}{\nu R}.$$

Максимальная температура в данном процессе будет достигнута при объеме

$$V' = -\frac{b}{2a} = \frac{1}{2} \frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{p_1 - p_2}. \quad (2)$$

Теперь найдем количество теплоты, переданное газу с начала процесса, как функцию от объема, используя первый закон термодинамики в форме  $Q = \Delta U + A'$ . Зафиксируем какой-то объем газа  $V$ . Работа расширения газа от объема  $V_1$  до объема  $V$  равна пло-

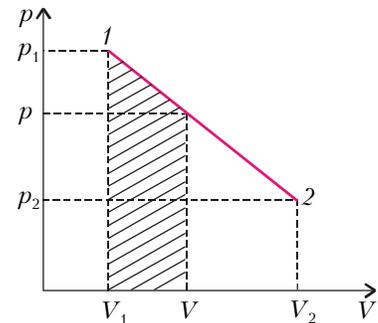


Рис. 1

щади соответствующей трапеции (заштрихованной на рисунке 1):

$$A'(V) = \frac{p_1 + p}{2} (V - V_1),$$

или, учитывая уравнение процесса,

$$A'(V) = \frac{a}{2} V^2 + \frac{p_1 - aV_1 + b}{2} V - \frac{p_1 + b}{2} V_1.$$

Изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа равно

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{3}{2} \nu R(T - T_1) = \\ &= \frac{3}{2} aV^2 + \frac{3}{2} bV - \frac{3}{2} p_1 V_1. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} Q(V) &= \Delta U + A'(V) = \\ &= 2aV^2 + \frac{p_1 - aV_1 + 4b}{2} V - \frac{4p_1 + b}{2} V_1. \end{aligned}$$

Так как  $2a < 0$ , функция  $Q(V)$  достигает максимального значения при объеме

$$V^{\&} = -\frac{p_1 - aV_1 + 4b}{8a} = \frac{5}{8} \frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{p_1 - p_2}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что при  $V_1 < V < V^{\&}$

(Продолжение см. на с. 34)