

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

**Законы идеального газа.** Идеальным является газ, в котором пренебрегается взаимодействием молекул, не учитываются размеры молекул и при соударении молекулы не деформируются. Состояние газа характеризуется давлением  $P$ , объёмом  $V$ , абсолютной температурой  $T$  (температура по шкале Кельвина). Эти величины связаны уравнением  $PV = \frac{m}{M}RT$ , где  $m$  – масса газа,  $M$  – молярная масса,  $R = 8,31$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. При постоянной массе газа из этого уравнения следует  $\frac{PV}{T} = const$ . Для двух состояний это уравнение записывается  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ . Температура по шкале Кельвина связана с температурой по шкале Цельсия  $T = t + 273$ .

### **Изопроцессы.**

Изотермический  $T = const$ .  $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Изобарный  $P = const$ .  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ ;

Изохорный  $V = const$ .  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ .

Давление газа связано с концентрацией и абсолютной температурой

$P = nkT$ , где  $n = \frac{N}{V}$  – концентрация молекул,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана.  $k = R N_a$ ;

$N_a = 6 \cdot 10^{23}$  – число Авогадро, число молекул в одном моле вещества.

Средняя кинетическая энергия молекулы  $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} K T$ .

**Термодинамика.** Внутренняя энергия идеального газа  $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$ ;

$\frac{m}{M}$  – число молей в данной массе газа,  $U = \frac{3}{2} PV$ .

Работа газа. Газ совершает работу расширяясь.

Изохорный процесс,  $V = const$   $A = 0$ , работа не совершается.

Изобарный процесс,  $P = const$ ,  $A = P(V_2 - V_1)$ ;

$A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$ .

Первый закон термодинамики. Внутреннюю энергию можно изменить в процессе теплообмена и совершением работы. Первый закон термодинамики является законом сохранения энергии в тепловых процессах.

$\Delta U = Q + A_g$ ;  $\Delta U = U_2 - U_1$  изменение внутренней энергии.

$A_B$  – работа внешних сил. Если газ сам совершает работу, то первый закон термодинамики записывается;  $\Delta U = Q - A_r$   $A_r$  – работа газа.

$Q$  – количество теплоты, переданное газу при теплообмене.

$Q = cm(T_2 - T_1)$  – количество теплоты, необходимое для нагревания,

$c$  – удельная теплоемкость вещества.

Адиабатный процесс – это процесс без теплообмена,  $Q = 0$ .  $\Delta U = A_g$  или  $\Delta U = -A_r$ .

### Решение задач

1. Определить массу водорода, находящегося в баллоне объёмом 20 л под

Решение.  $V = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ,  $P = 830 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ,  $T = 273 + 17 = 290 \text{ К}$

$M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .  $m = ?$

Уравнение состояния идеального газа  $PV = \frac{m}{M}RT$ ,  $m = \frac{MPV}{RT}$ .

$$m = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 830 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 290} = 13,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 13,8 \text{ г.}$$

2. При охлаждении идеального газа его температура уменьшилась в 3 раза, как при этом изменилась его средняя кинетическая энергия молекул.

Решение. Средняя кинетическая энергия молекул  $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT$ , то есть кинетическая энергия молекул уменьшится в три раза.

3. При постоянной массе газа давление увеличили в 3 раза, уменьшив объём в два раза. Как при этом изменилась температура газа?

Решение.  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ ;  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{3P_1 V_1}{T_2 \cdot 2}$ ;  $2T_2 = 3T_1$ ;  $T_2 = 1,5 T_1$

Температура газа увеличилась в 1,5 раза.

4. При изохорном нагревании внутренняя энергия газа увеличилась на 350 Дж. Определить изменение внутренней энергии газа.

Решение.  $V = \text{const}$ , Работа не совершается. По первому закону термодинамики  $\Delta U = Q = 350 \text{ Дж}$ .

5. В процессе теплообмена газу было передано количество теплоты 400 Дж. Расширяясь, газ совершил работу 150 Дж. Определить изменение внутренней энергии газа.

Решение. Первый закон термодинамики  $\Delta U = Q - A_r = 400 - 150 = 250 \text{ Дж}$ .

6. Какую работу совершил кислород массой 0,32 кг при изобарном нагревании на 10 К? Молярная масса кислорода  $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

Решение.  $A = \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{0,32 \cdot 8,31 \cdot 10}{32 \cdot 10^{-3}} = 831 \text{ Дж}$ .