

### Белгілеулер және тұрақтылар

$N$  — бөлшектер саны;  $\nu$  — зат мөлшері;

$n = N/V$  — сандық концентрация;

$p$  — қысым, ал фазалық есептердегі  $p$  — импульс;

$\beta = 1/(k_B T)$ .  $C_V$  — бүкіл жүйенің,

$C_{V,m}$  — бір мольдің жылусыйымдылығы.

Барлық логарифмдер — натурал логарифмдер.

$k_B = 1.380649 \times 10^{-23}$  J/K;

$N_A = 6.02214076 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>;

$R = N_A k_B = 8.314462618$  J/(mol K).

$h = 6.62607015 \times 10^{-34}$  J s;

$\hbar = h/(2\pi)$ ;

$c = 2.99792458 \times 10^8$  m/s;

1 eV =  $1.602176634 \times 10^{-19}$  J.

## Жылулық тепе теңдік және жүйе параметрлері

Макроскопиялық жүйелердің сыртқы және ішкі параметрлері. Термодинамикалық тепе-теңдік.

**Шарты.** Сыртқы қабырғалары жылу өткізбейтін қатты ыдыс жылу өткізетін, қозғалмайтын және бөлшектерді өткізбейтін қалқамен екі бөлікке бөлінген. Бірінші бөлікте  $\nu_1 = 1.00$  моль біратомды идеал газ,  $V_1 = 0.0100 \text{ м}^3$  және  $T_1 = 400 \text{ К}$ ; екіншісінде  $\nu_2 = 2.00$  моль сондай газ,  $V_2 = 0.0300 \text{ м}^3$  және  $T_2 = 250 \text{ К}$  бар. Қалқа мен ыдыстың жылу сыйымдылығы ескерілмейді. Тепе-теңдік температурасын, соңғы қысымдарды және әр газ алған жылуды табыңыз. Сыртқы және ішкі параметрлерді атаңыз.

**Модель.** Газдар арасында тек жылу алмасады. Қалқа қозғалмайтындықтан, көлемдер өзгермейді және газдардың атқаратын жұмысы нөлге тең. Бүкіл жүйе оқшауланған.

**1. Энергияның сақталуын жазу.** Біратомды идеал газ үшін  $U = 3\nu RT/2$ . Екі газдың соңғы температурасы бірдей болады:

$$\frac{3}{2}R(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) = \frac{3}{2}R(\nu_1 + \nu_2)T_f.$$

Осыдан

$$T_f = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{1 \times 400 + 2 \times 250}{3} = 300 \text{ К}.$$

**2. Соңғы қысымдарды есептеу.** Әр бөлікке жеке күй теңдеуін қолданамыз:

$$p_{1f} = \frac{\nu_1 R T_f}{V_1} = 2.4943 \times 10^5 \text{ Па}, \quad p_{2f} = \frac{\nu_2 R T_f}{V_2} = 1.6629 \times 10^5 \text{ Па}.$$

**3. Жылу мөлшерін табу.**  $Q > 0$  — газ алған жылу. Көлем тұрақты болғандықтан,  $Q_i = \Delta U_i$ :

$$Q_1 = \frac{3}{2}\nu_1 R(T_f - T_1) = -1.2472 \times 10^3 \text{ Дж},$$
$$Q_2 = \frac{3}{2}\nu_2 R(T_f - T_2) = +1.2472 \times 10^3 \text{ Дж}.$$

**4. Параметрлер мен тепе-теңдікті түсіндіру.** Ыдыс геометриясымен бекітілген  $V_1, V_2$  — сыртқы параметрлер.  $T_i, p_i, U_i$  — газдардың ішкі күй параметрлері.  $\nu_1, \nu_2$  бөлшек алмасуға тыйым салынғандықтан тұрақты. Соңында жылулық тепе-теңдік орнайды, бірақ қысымдар теңесуге міндетті емес: олардың айырмасын қатты қалқаның механикалық кернеуі ұстап тұрады. Қозғалмалы еркін поршень қолданылса, механикалық тепе-теңдік шарты өзгеше болар еді.

**Жауабы.**  $T_f = 300 \text{ К}$ ;  $p_{1f} = 249.4 \text{ кПа}$ ;  $p_{2f} = 166.3 \text{ кПа}$ ;  $Q_1 = -1.247 \text{ кДж}$ ;  $Q_2 = +1.247 \text{ кДж}$ .

**Тексеру.**  $250 < T_f < 400$  және  $Q_1 + Q_2 = 0$ . Бұл жылу алмасудың бағыты мен энергияның сақталуына сәйкес келеді.