

МОЛЕКУЛАЛЫҚ ФИЗИКА ЖӘНЕ ТЕРМОДИНАМИКА

Негізгі заңдар мен формулалар

3.1.1 Бір молекуланың массасы

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A},$$

μ - мольдік массасы,

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ - Авогадро саны;

3.1.2 Менделеев-Клапейрон теңдеуі

$$pV = \frac{m}{\mu} RT;$$

3.1.3 Зат мөлшері

$$\nu = \frac{N}{N_A} \text{ немесе } \nu = \frac{m}{\mu};$$

3.1.4 Молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі

$$p = \frac{1}{3} nm_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle = nkT;$$

3.1.5 Бір молекуланың орташа кинетикалық энергиясы (ілгерлемелі және айналмалы қозғалысы үшін)

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

k - Больцман тұрақтысы, i – еркіндік дәрежесінің саны

бір атомды газ үшін $i=3$

екі атомды газ үшін $i=5$

көп атомды газ үшін $i=6$;

3.1.6 Орташа квадраттық жылдамдық

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}};$$

3.1.7 Орташа арифметикалық жылдамдық

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\mu\pi}};$$

3.1.8 Ең ықтимал жылдамдық

$$v_s = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}};$$

3.1.9 Еркін жүру жолының орташа ұзындығы

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}nd^2n\pi};$$

3.1.10 1с уақыттағы молекулалар соқтығысуларының орташа $\langle z \rangle$ саны

$$\langle Z \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle \lambda \rangle} = \sqrt{2}nd^2\langle v \rangle\pi;$$

3.1.11 Газдың мольдік жылу сыйымдылығы

$$V=\text{const} \text{ болғанда } C_V = \frac{i}{2}R$$

$$P=\text{const} \text{ болғанда } C_P = \frac{i+2}{2}R;$$

3.1.12 Майер теңдеуі

$$C_P = C_V + R;$$

3.1.13 Мольдік жылу сыйымдылығы мен меншікті жылу сыйымдылығы арасындағы байланыс теңдеуі

$$C = \mu \cdot c;$$

3.1.14 Термодинамиканың бірінші бастамасы

$$\delta Q = dU + \delta A;$$

3.1.15 Газдың ішкі энергиясының өзгерісі

$$dU = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R dT;$$

3.1.16 Газдың ұлғаюы кезінде атқаратын жұмысы

Жалпы түрінде $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV;$

Изобаралық процесте ($p = \text{const}$) $A = p(V_2 - V_1);$

Изотермиялық процесте ($T = \text{const}$) $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1};$

Изохоралық процесте ($V = \text{const}$) $A = 0;$

Адиабаталық процесте ($Q = 0$)

$$A = \frac{m}{\mu} C_v (T_1 - T_2) = \frac{RT}{\gamma - 1} \frac{m}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

3.1.17 Адиабата көрсеткіші

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i + 2}{i}$$

3.1.18 Термодинамиканың бірінші бастамасын изопрцестерге қолдану:

Изобаралық процесс үшін $Q = \Delta U + A = \frac{m}{\mu} C_{v\mu} \Delta T + \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{m}{\mu} C_{p\mu} \Delta T$

Изохоралық процесс үшін ($A = 0$) $Q = \Delta U = \frac{m}{\mu} C_{v\mu} \Delta T$

Изотермиялық процесс үшін ($\Delta U = 0$) $Q = A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$

Адиабаталық процесс үшін ($dQ = 0$) $A = -\Delta U = -\frac{m}{\mu} C_{v\mu} \Delta T$

3.1.19 Циклдің термиялық пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК):

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$$

3.1.20 Карно циклінің ПӘК-і

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \text{ немесе } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

3.1.21 Энтропия өзгерісі $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$

Есеп шығару үлгісі

3.2.1 Есеп 1. Қалыпты жағдайдағы көмірқышқыл газының молекуласының орташа еркін жүру жолының ұзындығы $4 \cdot 10^{-6}$ см. Молекуланың орташа арифметикалық жылдамдығы қандай? Молекула әр секунд сайын қанша соқтығысуды бастап өткереді?

Берілгені:

$$\mu = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$\langle \lambda \rangle = 4 \cdot 10^{-6} \text{ см} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

$$\langle v \rangle - ?$$

$$\langle Z \rangle - ?$$

Шешуі: Молекуланың орташа арифметикалық жылдамдығы мына теңдеумен табылады

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\mu\pi}} \quad (14)$$

1 секунд ішіндегі $\langle Z \rangle$ молекуланың соқтығысу саны $\langle v \rangle$ молекуланың орташа арифметикалық жылдамдығы мен $\langle \lambda \rangle$ орташа еркін жүру жолының

ұзындығына байланысты және мынадай теңдеу арқылы өрнектеледі

$$\langle Z \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle \lambda \rangle} \quad (15)$$

Өлшем бірліктеріне анализ:

$$[v] = \sqrt{\frac{[R][T]}{[\mu]}} = \sqrt{\frac{\text{Дж} \cdot \text{К} \cdot \text{моль}}{\text{моль} \cdot \text{К} \cdot \text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$[\langle Z \rangle] = \frac{[\langle v \rangle]}{[\langle \lambda \rangle]} = \frac{m}{c \cdot m} = \frac{1}{c} = c^{-1}.$$

Есептеу:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8 \cdot 8,31 \cdot 273}{3,14 \cdot 44 \cdot 10^{-3}}} = 362 \left(\frac{m}{c} \right);$$

$$\langle Z \rangle = \frac{392}{4 \cdot 10^{-8}} = 9,05 \cdot 10^9 c^{-1}$$

Жауабы: $\langle v \rangle = 362 \left(\frac{m}{c} \right); \langle Z \rangle = 9,05 \cdot 10^9 c^{-1}$

3.2.2 Есеп 2. Оттегінің O_2 бір молекуласының айналмалы қозғалысы кезіндегі орташа кинетикалық энергиясын анықта. Массасы 4г O_2 құрамындағы барлық молекулалардың айналмалы қозғалысы кезіндегі кинетикалық энергиясын анықта.

Берілгені:

$$\mu(O_2) = 32 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}$$

$$m = 4г = 4 \cdot 10^{-3} кг$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$T = 286К$$

Шешуі: O_2 екі атомды газ болғандықтан $i=5$, ал айналмалы қозғалысына сай келетін еркіндік дәрежесі $i=2$. Осыдан айналмалы қозғалысы кезіндегі орташа кинетикалық энергиясы

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT = \frac{2}{2} kT = kT \quad (16)$$

Айналмалы қозғалыс кезіндегі барлық молекулалардың кинетикалық энергиясы мына теңдеумен анықталады:

$$\langle \varepsilon \rangle - ?$$

$$W - ?$$

$$W = n \cdot \langle \varepsilon \rangle \quad (17)$$

мұндағы n - газдағы барлық молекулалар саны. Молекулалар санын мына теңдеумен анықтаймыз:

$$n = N_A \cdot \nu \quad (18)$$

мұндағы N_A - Авогадро саны;

ν - зат мөлшері

$$\nu = \frac{m}{\mu} \quad (19)$$

m - газдың массасы, μ - мольдік масса.

Сондықтан

$$n = N_A \cdot \frac{m}{\mu} \Rightarrow W = N_A \cdot \frac{m}{\mu} \cdot \langle \varepsilon \rangle$$

Өлшем бірліктеріне анализ:

$$[\varepsilon] = [k] \cdot [T] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж};$$

$$[W] = [N_A] \cdot \frac{[m]}{[\mu]} \cdot [\varepsilon] = \frac{\text{кг} \cdot \text{моль} \cdot \text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{кг}} = \text{Дж}.$$

Есептеу:

$$\langle \varepsilon \rangle = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 286 = 3,94 \cdot 10^{-21} (\text{Дж})$$

$$W = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 3,94 \cdot 10^{-21} = 296 (\text{Дж})$$

Жауабы: $\langle \varepsilon \rangle = 3,94 \cdot 10^{-21} (\text{Дж}); W = 296 (\text{Дж}).$

3.2.3 Есеп 3. Цилиндр ішіндегі тығын астында температурасы $T_1 = 300 \text{ К}$ және массасы $m = 0,02 \text{ кг}$ сутегі газы бар. Газ адиабаталық түрде көлемін бес есе арттырған, содан кейін изотермиялық түрде көлемін бес есе кеміткен. Адиабаталық ұлғаюдың соңындағы T_2 температураны және газдың жұмысын анықта.

Берілгені:

$$\begin{aligned} \mu(H_2) &= 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \\ m &= 0,02 \text{ кг} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \\ N_A &= 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \\ k &= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \\ T_1 &= 300 \text{ К} \\ \frac{V_1}{V_2} &= \frac{1}{5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &-? \\ A &-? \end{aligned}$$

Шешуі: Адиабаталық процесс үшін температура мен көлем мынадай формуламен байланысқан:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \quad (20)$$

мұндағы γ – адиабата көрсеткіші (екі атомды газ – сутегі үшін $\gamma=1,4$).

Осы формуладан соңғы температураны өрнектейтін болсақ:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}.$$

Адиабаталық ұлғаю кезінде газдың атқаратын жұмысы мынадай формуламен анықталады:

$$A_1 = \frac{m}{\mu} C_V (T_1 - T_2) = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R (T_1 - T_2) \quad (21);$$

Изотермиялық сығылу кезіндегі жұмыс:

$$A_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (22).$$

Өлшем бірліктеріне анализ:

$$[T] = K \cdot \frac{M^3}{M^3} = K;$$

$$[A_1] = \frac{\frac{кг}{моль}}{\frac{кг}{моль}} \cdot \frac{Дж}{моль \cdot К} \cdot К = Дж;$$

$$[A_2] = \frac{\frac{кг}{моль}}{\frac{кг}{моль}} \cdot \frac{Дж}{моль \cdot К} \cdot К \cdot \frac{M^3}{M^3} = Дж.$$

Есептеу:

$$T_2 = 300 \cdot \left(\frac{1}{5}\right)^{1,4-1} = 300 \cdot \left(\frac{1}{5}\right)^{0,4} = 157K;$$

$$A_1 = \frac{0,02}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot (300 - 157) = 29,8 \cdot 10^3 Дж = 29,8кДж;$$

$$A_2 = \frac{0,02}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 157 \cdot \ln 5 = -21кДж.$$

Бұл жердегі «-» таңбасы изотермиялық сығылу кезінде жұмысты сыртқы күштердің атқаратынын көрсетеді. Сонымен, қарастырылған процестердегі толық жұмыс мынаған тең:

$$A = A_1 + A_2 = 29,8 - 21 = 8,8кДж.$$

Жауабы: $T_2 = 157K$; $A = 8,8кДж$.