

18-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
6-oji užduotis Nr. FT18-6 / 2024 10 21 – 2024 11 17

Drėgnas oras

Sąlyga / FT18-6 ▼

Uždaramame $V = 6,8$ l tūrio inde yra drėgnas oras, o ant indo dugno likę $m = 2$ g vandens skysčio pavidalu, kai temperatūra $t = 100^\circ\text{C}$ ir slėgis $p = 200$ kPa. Raskite:

- 1) Oro kiekį inde;
- 2) Vandens masę ant dugno, kai atšaldoma iki $t_1 = 50^\circ\text{C}$;
- 3) Oro ir vandens garų molekulių koncentracijų pokytį šaldant.

Universalioji dujų konstanta $R = 8,31 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$. Sočiųjų vandens garų dalinis slėgis $p_{01} = 12,33$ kPa.

Užduotį parengė doc. dr. Stasys Tamošiūnas – Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Fotonikos ir nanotechnologijų instituto senjoras, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, steigėjų tarybos narys ir dėstytojas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 10 21.

Aiškinamasis sprendimas / FT18-6 ▼

Duota: $V = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$; $m = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$; $T = 373 \text{ K}$; $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $T_1 = 323 \text{ K}$;
 $p_{01} = 12330 \text{ Pa}$; $M = 0,018 \text{ kg/mol}$; $R = 8,31 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Rasti: μ ; m_1 ; Δn_0 ; Δn_1 .

Drėgną orą, kurio duotas slėgis p , sudaro oro, kaipo mums žinomos azoto, deguonies ir anglies dioksido kompozicijos, kurio dalinis slėgis p_1 , ir sočiųjų vandens garų, kurių dalinis slėgis p_0 , mišinys, tai pagal Daltono dėsnį:

$$p = p_1 + p_0.$$

Sočiųjų vandens garų dalinis slėgis $p_0 = 101,3$ kPa, kai temperatūra $T = 373 \text{ K}$. Jei neatsižvelgtume į vandens skysčio pavidalu tankio priklausomybę nuo temperatūros (tarkim, neturime duomenų tokiam įvertinimui) ir laikytume jį $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, tai pagal Mendelejevo-Klapeirono lygtį orui būtų, kuris gaunamas iš indo tūrio V atėmus skysčio užimtą tūrį m/ρ , randame oro kiekį:

$$p_1 \left(V - \frac{m}{\rho} \right) = \mu RT; \quad \mu = \frac{p - p_0}{RT} \left(V - \frac{m}{\rho} \right);$$

$$\mu = \frac{(2 - 1,013) \cdot 10^5}{8,31 \cdot 373} \left(6,8 \cdot 10^{-3} - \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1000} \right) \approx 216 \text{ (mmol)}.$$

Pagal Mendelejevo-Klapeirono lygtį sotiesiems vandens garams:

$$p_0 \left(V - \frac{m}{\rho} \right) = \frac{m_0}{M} RT; \quad p_{01} \left(V - \frac{m_1}{\rho} \right) = \frac{m_{01}}{M} RT_1.$$

Čia reikia įvertinti, kad vandens skysčio pavidalu masė atšaldžius padidėja tiek pat, kiek ir sumažėja jo masė sočiuosiuose garuose:

$$m_1 - m = m_0 - m_{01}.$$

Randame padidėjusią skysto vandens masę:

$$m_1 - m = \frac{p_0 M}{RT} \left(V - \frac{m}{\rho} \right) - \frac{p_{01} M}{RT} \left(V - \frac{m_1}{\rho} \right);$$

$$m_1 = \frac{m \left(1 - \frac{p_0 M}{\rho RT} \right) + \frac{MV}{R} \left(\frac{p_0}{T} - \frac{p_{01}}{T_1} \right)}{1 - \frac{p_{01} M}{\rho RT_1}};$$

$$m_1 = \frac{2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 0,018}{1000 \cdot 8,31 \cdot 373} \right) + \frac{0,018 \cdot 6,8 \cdot 10^{-3}}{8,31} \left(\frac{1,013 \cdot 10^5}{373} - \frac{12330}{323} \right)}{1 - \frac{12330 \cdot 0,018}{1000 \cdot 8,31 \cdot 323}} \approx 5,43 \text{ (g)}.$$

Pagal pagrindinę dujų molekulinės-kinetinės teorijos lygtį jų slėgis yra tiesiai proporcingas koncentracijai ir absoliučiai temperatūrai:

$$p_1 = n_1 \frac{R}{N_A} T; \quad p_2 = n'_1 \frac{R}{N_A} T_1; \quad p_0 = n_0 \frac{R}{N_A} T; \quad p_{01} = n'_0 \frac{R}{N_A} T_1.$$

Raskime koncentracijas didesniu reikšminių ženklų skaičiumi tam, kad jas galėtume palyginti tarpusavyje ir tiksliau įvertinti jų pokyčius, kai drėgnas oras šaldomas.

Pradinė oro molekulių koncentracija:

$$n_1 = \frac{(p-p_0)N_A}{RT}; \quad n_1 = \frac{(2-1,013) \cdot 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{8,31 \cdot 373} \approx 191,692 \cdot 10^{23} \text{ (m}^{-3}\text{)}.$$

Šaldant oro molekulių skaičius inde nekinta, koncentracija padidėja nežymiai - tik tiek kartų, kiek kartų sumažėja skysčiu neužimtos indo dalies tūris, tai koncentracijos pokytis:

$$n'_1 = n_1 \frac{V - \frac{m}{\rho}}{V - \frac{m_1}{\rho}}; \quad n'_1 = 191,692 \cdot 10^{23} \frac{6,8 \cdot 10^{-3} - \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1000}}{6,8 \cdot 10^{-3} - \frac{5,43 \cdot 10^{-3}}{1000}} \approx 191,788 \cdot 10^{23} \text{ (m}^{-3}\text{)};$$

$$\Delta n_1 = n'_1 - n_1; \quad \Delta n_1 = (191,788 - 191,692) \cdot 10^{23} \approx 9,6 \cdot 10^{21} \text{ (m}^{-3}\text{)}.$$

Pradinė vandens garų molekulių koncentracija:

$$n_0 = \frac{p_0 N_A}{RT}; \quad n_0 = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{8,31 \cdot 373} \approx 196,742 \cdot 10^{23} \text{ (m}^{-3}\text{)}.$$

Šaldant sočiųjų vandens garų molekulių koncentracija, pradžioje buvusi beveik tokia pati, kaip ir oro ($n_0 \approx n_1$, kai $p_0 \approx p_1$), žymiai sumažėja (apie 7,1 karto), nes garų dalinis slėgis sumažėja sparčiau, nei absoliučioji temperatūra:

$$n'_0 = \frac{p_{01} N_A}{RT_1}; \quad n'_0 = \frac{12330 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{8,31 \cdot 323} \approx 27,654 \cdot 10^{23} \text{ (m}^{-3}\text{)};$$

$$\Delta n_0 = n'_0 - n_0; \quad \Delta n_0 = (27,654 - 196,742) \cdot 10^{23} \approx -169,2 \cdot 10^{23} \text{ (m}^{-3}\text{)}.$$

Aiškinamąjį sprendimą pateikė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 11 22.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT18-6 ▼

Užduotį teisingai išsprendė penki turnyro dalyviai, kiti įvairiai klydo.

Trys dalyviai buvo prigauti užduoties sąlygos neišsiaiškinus, kad joje duotas tik atšaldyto drėgno oro sočiųjų vandens garų dalinis slėgis, o pradinį jų dalinį slėgį reikia patiems susirasti, pasitelkiant žinias apie vandens virimo sąlygas.

Net aštuoni dalyviai neįvertino oro dujų molekulių koncentracijos padidėjimo, kai šaldant jo užimtas tūris sumažėja dėl vandens garų kondensacijos, inde padaugėjus vandens skysčio pavidalu. Be to, dar reikia priminti, kad oro dujų ir vandens garų molekulių koncentracijos įvertintinos ne medžiagos kiekiu, o jų molekulių skaičiumi tūrio vienetu.

Pateikimo bėdos, kai dalis informacijos praleidžiama - vienas dalyvis molekulių koncentraciją pateikė be dimensijos, o kitas koncentracijos pokytį pateikė itin mažą, tik 1,69 molekulės dalį litrui, be jokių ten didesnių eilių.

Sprendimų aptarimą parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 11 22.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT18-6 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Oro kiekis	4
2.	Vandens masė	3
3.	Koncentracijų pokyčiai	3
4.	Nerodomi skaičiavimai	-1
5.	Netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1-3)	iki (-1)
Didžiausias galimas sprendimų įvertinimas		10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2024 11 22.