

**17-ASIS FIZIKOS TURNYRAS**  
**9-oji užduotis Nr. FT17-9 / 2024 01 08 – 2024 02 04**

**Dujų šaldymas jas išplečiant**

**Sąlyga / FT17-9 ▼**

Gerai termiškai izoliuotame  $6 \text{ dm}^3$  tūrio inde (cilindre su paslankiu stūmokliu) yra  $8,8 \text{ g}$  anglies dvideginio ir  $2,8 \text{ g}$  azoto mišinys, kurio temperatūra lygi  $27^\circ\text{C}$ . Staigiai paslinkus stūmoklį, dujų mišinio slėgis buvo sumažintas 2 kartus. Raskite:

- 1) Pradinį slėgį;
- 2) Savitąsias šilumas  $c_p$  ir  $c_v$ ;
- 3) Tūrio pokytį;
- 4) Temperatūros pokytį;
- 5) Vidinės energijos pokytį.

*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](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 01 08.

**Aiškinamasis sprendimas / FT17-9 ▼**

Duota:  $V_0 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ;  $m_1 = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ;  $M_1 = 0,044 \text{ kg/mol}$ ;  $m_2 = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ;  $M_2 = 0,028 \text{ kg/mol}$ ;  $T_0 = 300 \text{ K}$ ;  $N = 2$ ;  $R = 8,31 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}$ .

Rasti:  $p_0$ ;  $c_p$ ;  $c_v$ ;  $\Delta V$ ;  $\Delta T$ ;  $\Delta U$ .

Mendelejevo ir Klapeirono lygtis dujoms inde:

$$p_{01}V_0 = \frac{m_1}{M_1}RT_0; \quad p_{02}V_0 = \frac{m_2}{M_2}RT_0.$$

Dujų mišinio pradinis slėgis pagal Daltono dėsnį lygus dalinių slėgių  $p_{01}$  ir  $p_{02}$  sumai:

$$p_0 = p_{01} + p_{02} = \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \frac{RT_0}{V_0};$$

$$p_0 = \left( \frac{8,8}{44} + \frac{2,8}{28} \right) \frac{8,31 \cdot 300}{0,006} \approx 125 \text{ (kPa)}.$$

Pagal pirmąjį termodinamikos dėsnį dujų gautos (atiduotos) šilumos kiekis  $Q$  lygus jų vidinės energijos pokyčio  $\Delta U$  ir darbo prieš išorines jėgas  $A$  sumai:

$$Q = \Delta U + A.$$

Tegu temperatūros pokytis yra  $\Delta T$ . Izobariniam vyksmui:

$$Q_1 = c_p(m_1 + m_2)\Delta T = c_{p1}m_1\Delta T + c_{p2}m_2\Delta T = \left[ \frac{(i_1 + 2)m_1}{M_1} + \frac{(i_2 + 2)m_2}{M_2} \right] \frac{R\Delta T}{2};$$

$$c_p = \left[ \frac{(i_1 + 2)m_1}{M_1} + \frac{(i_2 + 2)m_2}{M_2} \right] \frac{R}{2(m_1 + m_2)}.$$

Anglies dvideginio (triatomių molekulių) laisvės laipsnių skaičius  $i_1 = 6$ , o azoto (dviatomių molekulių) -  $i_2 = 5$ , tai savitoji šiluma pastoviam slėgiui:

$$c_p = \left[ \frac{(6+2) \cdot 8,8}{44} + \frac{(5+2) \cdot 2,8}{28} \right] \frac{8,31}{2 \cdot (8,8+2,8) \cdot 10^{-3}} \approx 824 \text{ (J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}.$$

Izochoriniam vyksmui  $A = 0$ , tai:

$$Q_2 = \Delta U = c_V(m_1 + m_2)\Delta T = c_{V1}m_1\Delta T + c_{V2}m_2\Delta T = \left( \frac{i_1 m_1}{M_1} + \frac{i_2 m_2}{M_2} \right) \frac{R\Delta T}{2};$$

$$c_V = \left( \frac{i_1 m_1}{M_1} + \frac{i_2 m_2}{M_2} \right) \frac{R}{2(m_1 + m_2)};$$

$$c_V = \left( \frac{6 \cdot 8,8}{44} + \frac{5 \cdot 2,8}{28} \right) \frac{8,31}{2 \cdot (8,8+2,8) \cdot 10^{-3}} \approx 609 \text{ (J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}.$$

Gerai izoliuotame inde, o pagal užduoties sąlygą dar ir labai greitai išplečiamos dujos ( $A > 0$ ) negauna šilumos iš aplinkos, o ir nespėja jos gauti, kai greitai išplečiamos (šilumos kiekis  $Q = 0$ ), tad turime adiabatinių vyksmą, kurio metu dujų vidinė energija sumažėja, jos atšąla, tad gauname taip vadinamą adiabatinių šaldymą:  $\Delta U = -A < 0$ .

Adiabatiniame vyksme dujų mišinio slėgį ir tūrį susieję pagal Puasono lygtį, randame tūrio pokytį:

$$pV^\gamma = p_0V_0^\gamma; \quad p = \frac{p_0}{N}; \quad \gamma = \frac{c_p}{c_V}; \quad \Delta V = V - V_0 = (N^{c_V/c_p} - 1)V_0;$$

$$\Delta V = (2^{609/824} - 1) \cdot 0,006 \approx 4,1 \text{ (dm}^3\text{)}.$$

Puasono lygtyje dujų tūrį susieję su slėgiu ir temperatūra pagal Mendelejevo ir Klapeirono lygtis, turime slėgio ir temperatūros sąryšį, iš kurio randame temperatūros pokytį:

$$p^{(1-\gamma)/\gamma} T = p_0^{(1-\gamma)/\gamma} T_0; \quad \Delta T = T - T_0 = (N^{c_V/c_p - 1} - 1)T_0;$$

$$\Delta T = (2^{609/824 - 1} - 1) \cdot 300 \approx -48 \text{ (K)}.$$

Taigi, dujų mišinys atšals iki  $t = 27 - 48 = -21^\circ\text{C}$ , o jo vidinė energija sumažės:

$$\Delta U = 609 \cdot (8,8 + 2,8) \cdot 10^{-3} \cdot (-48) \approx -340 \text{ (J)}.$$

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

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 03 12.

### **Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT17-9 ▼**

Trys turnyro dalyviai rado molines savitąsias šilumas, du dalyviai suklydo įvertindami molekulių laisvės laipsnių skaičius.

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

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 03 12.

***Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT17-9 ▼***

<b>Nr.</b>	<b>Sprendimų vertinimo kriterijus</b>	<b>Vertė balais</b>
1.	Pradinis slėgis	2
2.	Savitosios šilumos	3
3.	Tūrio pokytis	2
4.	Temperatūros pokytis	2
5.	Vidinės energijos pokytis	1
6.	Nerodomi skaičiavimai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1-5)	-0,5
7.	Netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1-5)	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](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2024 03 12.