

**16-ASIS FIZIKOS TURNYRAS**  
**9-oji užduotis Nr. FT16-9 / 2022 12 19 – 2023 01 15**

**Sąlyga / FT16-9 ▼**

**Dujų ciklas**

Cilindriniam inde su stūmokliu yra uždaryta  $m = 7$  g azoto, kuris užima  $V_1 = 6$  l tūrį esant  $p_1 = 100$  kPa slėgiui. Stūmoklį specialiu fiksiatoriumi įtvirtinus nejudamai, azotas buvo kaitinamas iki  $t_2 = 216$  °C temperatūros, po to, atleidus stūmolio padėties fiksiatorių, izotermiškai plėtėsi tol, kol slėgis sumažėjo iki pradinės vertės, o vėliau buvo izobariškai suspaustas iki pradinio tūrio.

Inde esantį azotą laikydami idealiosiomis dujomis ir neatsižvelgdami į galimą jų dalinę jonizaciją bei indo plėtimąsi kaitinant, nubrėžkite dujų slėgio priklausomybę nuo tūrio ir raskite:

- 1) pradinę temperatūrą (°C);
- 2) gautos šilumos kiekį šildant;
- 3) dujų plėtimosi darbą;
- 4) prarastos šilumos kiekį šaldant.

Azoto molinė masė  $M = 0,028$  kg/mol.

*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 2022 12 19.

**Aiškinamasis sprendimas / FT16-9 ▼**

Duota:  $m = 0,007$  kg;  $M = 0,028$  kg/mol;  $V_1 = 0,006$  m<sup>3</sup>;  $p_1 = 1 \cdot 10^5$  Pa;  $T_2 = 489$  K;  $R = 8,31$  J/(K·mol).

Rasti:  $p(V)$ ,  $t_1$ ,  $Q_{13}$ ,  $A_{23}$ ,  $Q_{31}$ .

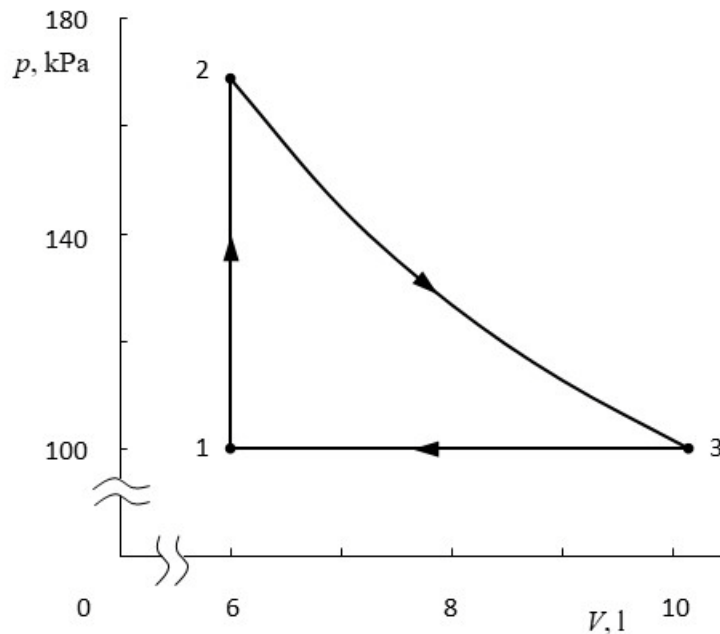
Paveiksle pateikta azoto slėgio priklausomybė nuo tūrio su užduoties sąlyga atitinkančiomis tų fizikinių dydžių vertėmis.

Pradinę temperatūrą randame iš Klapeirono ir Mendelejevo lygties:

$$p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1; t_1 = T_1 - 273 = \frac{p_1 V_1 M}{m R} - 273; t_1 = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 0,006 \cdot 0,028}{0,007 \cdot 8,31} - 273 \approx 16 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Kai stūmoklis nejuda, turime izochorinį vyksmą, kurio metu dujos darbo neatlieka, o joms suteiktos (jų gautos) šilumos kiekis pagal pirmąją termodinamikos dėsnį lygus vidinės energijos pokyčiui:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = c_V m (T_2 - T_1).$$



Pagal idealiųjų dujų molekulinę kinetinę teoriją savitoji šiluma pastoviam tūriui:  $c_v = iR/2M$ . Laisvės laipsnių skaičius  $i = 5$ , nes dviatomės azoto molekulės turi tris slenkamojo ir du sukamojo judesių laisvės laipsnius. Dabar jau turime:

$$Q_{12} = \frac{5Rm}{2M} \left( T_2 - \frac{p_1 V_1 M}{mR} \right) = 2,5 \left( \frac{mRT_2}{M} - p_1 V_1 \right).$$

Pagal Boilio ir Marioto dėsnį izterminiam vyksmui dujų slėgio ir tūrio sandauga nekinta, tai randame slėgio priklausomybę nuo tūrio  $V$ , kai  $V_3 > V > V_2 = V_1$ :

$$pV = p_2 V_2; \quad p(V) = \frac{p_2 V_2}{V} = \frac{p_2 V_1}{V}.$$

Izoterminio vyksmo metu dujų vidinė energija nekinta,  $\Delta U_{23} = 0$ , tai pagal pirmąjį termodinamikos dėsnį joms suteiktos šilumos kiekis naudojamas darbui prieš išorines jėgas atlikti:

$$Q_{23} = A_{23} = \int_{V_2}^{V_3} p(V) dV = p_2 V_2 \int_{V_1}^{V_3} \frac{dV}{V} = \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_1}.$$

Reikalingą dujų tūrį  $V_3$  randame iš Klapeirono ir Mendelejevo lygties, kai  $p_3 = p_1$ , o  $T_3 = T_2$ :

$$p_3 V_3 = \frac{m}{M} RT_3; \quad V_3 = \frac{mRT_2}{Mp_1}.$$

Dujų gautos šilumos kiekis randamas sudėjus tai, kas gauta izochorinio ir izoterminio vyksmų metu:

$$Q_{13} = Q_{12} + Q_{23} = \frac{mRT_2}{M} \left( 2,5 + \ln \frac{mRT_2}{Mp_1 V_1} \right) - 2,5 p_1 V_1;$$

$$Q_{13} = \frac{0,007 \cdot 8,31 \cdot 489}{0,028} \left( 2,5 + \ln \frac{0,007 \cdot 8,31 \cdot 489}{0,028 \cdot 10^5 \cdot 0,006} \right) - 2,5 \cdot 10^5 \cdot 0,006 \approx 1575 \text{ (J)}.$$

Dujų plėtimosi darbas:

$$A_{23} = \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{mRT_2}{Mp_1 V_1}; \quad A_{23} = \frac{0,007 \cdot 8,31 \cdot 489}{0,028} \ln \frac{0,007 \cdot 8,31 \cdot 489}{0,028 \cdot 10^5 \cdot 0,006} \approx 535 \text{ (J)}.$$

Izobariškai suspaudžiamos dujos yra šaldomos, jų savitoji šiluma pastoviam slėgiui  $c_p = (i + 2)R/2M$ , o prarastos šilumos kiekis:

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} = c_p m (T_1 - T_2) = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \frac{m}{M} R (T_1 - T_2) = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \left(p_1 V_1 - \frac{mRT_2}{M}\right);$$

$$Q_{31} = \left(\frac{5}{2} + 1\right) \left(1 \cdot 10^5 \cdot 0,006 - \frac{0,007 \cdot 8,31 \cdot 489}{0,028}\right) \approx -1456 \text{ (J)}.$$

Didžiausi dujų slėgis pagal Šarlio dėsnį ir tūris pagal Gei Liusako dėsnį:

$$p_2 = \frac{p_1}{T_1} T_2; p_2 = \frac{1 \cdot 10^5}{16+273} 489 \approx 1,7 \cdot 10^5 \text{ (Pa)};$$

$$V_3 = \frac{V_1}{T_1} T_2; V_3 = \frac{0,006}{16+273} 489 \approx 10,2 \text{ (l)}.$$

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

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2023 01 27.

### **Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT16-9 ▼**

Pradinę temperatūrą visiems suradus teisingai, net pusė turnyro dalyvių klydo laikydami, kad dujos šildomos tik izochorinio vyksmo metu, tad rado mažesnius gautos šilumos kiekius. Keletui kilo problemų dėl slėgio priklausomybių nuo tūrio nubraižymo, kai nenurodomos konkrečios tų fizikinių dydžių vertės ar masteliai tiesinėse skalėse neatitinka realių slėgio ir tūrio verčių. Penki dalyviai tą priklausomybę izoterminiam vyksmui neteisingai nubrėžė tiesinę, du jos net nebraižė.

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

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2023 01 27.

### **Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT16-9 ▼**

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Slėgio priklausomybė nuo tūrio	2
2.	Pradinė temperatūra	2
3.	Gautos šilumos kiekis	2
4.	Plėtimosi darbas	2
5.	Prarastos šilumos kiekis	2
6.	Nerodomi skaičiavimai (kiekvienam iš kriterijų Nr.2-5)	-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 2023 01 27.