

3-IASIS FIZIKOS TURNYRAS
4-oji užduotis Nr. FT3-4 / 2009 09 07 – 2009 10 04

Sąlyga / FT3-4 ▼

Šiluma alpinistų poilsio namelyje

Alpinistas užėjo į poilsio namelį, kai oro temperatūra buvo $t = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$, o jo slėgis $p = 60\text{ kPa}$. Alpinistui užkūrus židini, temperatūra namelyje po kurio laiko pakilo iki $t_1 = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$, o židiniui išblėsus – sumažėjo iki $t_2 = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Namelyje esančio oro tūris visą laiką buvo $V = 10\text{ m}^3$, o slėgis taip pat pastovus ir lygus aplinkinio oro slėgiui.

1. Kaip kito namelyje esančio oro šilumos kiekis viso aprašyto vyksmo metu?
2. Kokį šilumos kiekį oras gavo šildant?
3. Kaip pakistų atsakymai į 1 – 2 klausimus, jei alpinistui verdant arbatą aprasotų namelio langai?

Užduotį parengė mokyklos „Fizikos olimpas“ steigėjų tarybos narys, šio Fizikos turnyro užduočių parengimo spęsti ir sprendimų vertinimo komisijos pirmininkas prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2009 09 07.

Aiškinamasis sprendimas / FT3-4 ▼

1) Namelyje esančio oro šilumos kiekis (vidinė energija) išreiškiamas taip:

$$Q = \frac{im}{2M} RT,$$

čia i – oro molekulių laisvės laipsnių skaičius, m – oro masė namelyje, M – oro molio masė, R – universalioji dujų konstanta, T – namelyje esančio oro absoliučioji temperatūra. Orą daugiausia sudaro dviatomės dujos – azotas ir deguonis, todėl $i = 5$, vidutinė molio masė $M = 0,029\text{ kg/mol}$.

Panaudodami dujų būvio lygtį

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

gauname:

$$Q = \frac{i}{2} pV.$$

Kadangi nei namelio tūris, nei oro slėgis nekinta, nekis ir esančio namelyje oro šilumos kiekis: šylant oras plėsis, tam tikras jo kiekis iš namelio išeis, išsinešdamas ir dalį šilumos, o šalant oras trauksis, į namelį ateis oro iš lauko su atitinkamu šilumos kiekiu.

2) Orui gautą nedidelį šilumos kiekį ir jo temperatūros pokytį sieja sąryšis

$$dQ' = \frac{m}{M} C_p dT,$$

čia C_p – oro molio savitoji šiluma esant pastoviam slėgiui, $C_p = \frac{i+2}{2} R$. Visas orui atiduota šilumos kiekis gaunamas integruojant nuo $T = 263\text{ K}$, iki $T_1 = 288\text{ K}$:

$$Q' = \int_T^{T_1} \frac{m}{M} C_p dT.$$

Iš dujų būvio lygties gauname:

$$m = \frac{MpV}{RT}, \quad Q' = \frac{(i+2)pV}{2} \int_T^{T_1} \frac{dT}{T} = \frac{(i+2)pV}{2} \ln \frac{T_1}{T}, \quad Q' = 190\text{ kJ}.$$

3) Verdant arbatą namelyje atsiranda vandens garų, todėl dujų būvio lygtis įgauna pavidalą

$$pV = \left(\frac{m'}{M} + \frac{m_g}{M_g} \right) RT,$$

čia m' – esančio namelyje oro masė, m_g – vandens garų masė, M_g – vandens garų molio masė.

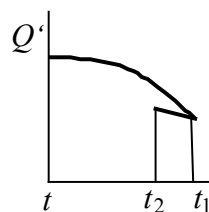
Iš šios lygties

$$m' = M \left(\frac{pV}{RT} - \frac{m_g}{M_g} \right).$$

Akivaizdu, jog $m' < m$, taigi ir orui namelyje tenka mažesnis šilumos kiekis:

$$Q' = \frac{i}{2} p'V, \quad p'V = \frac{m'}{M} RT,$$

t. y., vandeniui garuojant, namelyje esančio oro šilumos kiekis mažėja (dalį oro vandens garai iš namelio išstumia, kartu išstumdami ir tą orą atitinkantį šilumos kiekį). Laikant, kad blėstančiame židinyje arbata nebeverdama, garų kiekį toliau galime laikyti pastoviu. Tada mažėjant temperatūrai garams atitinkanti slėgio dalis mažės, ir pradiniam slėgiui palaikyti oro kiekis didės, tuo pačiu didės ir jį atitinkantis šilumos kiekis. Kokybinis šilumos kiekio kitimo grafikas pateiktas pav.



Vertinant kiekybiškai, vandens garų tankį ribos sočiųjų garų tankis esant 0°C temperatūrai $\rho_0 = 4,84 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ (namelio langas aprasojo, o ne apšarmojo) ir sočiųjų garų tankis esant 15°C temperatūrai $\rho_{15} = 12,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. Taigi,

$$48,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} < m_g < 12,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg}.$$

Tada m ir m' skirtumas yra nuo 1 % (lango paviršiumi esant 0°C temperatūros) iki 3 % (namelyje esant 15°C temperatūrai, susidaro sotieji garai). Visas orui atiduotas šilumos kiekis priklauso nuo vandens garavimo priklausomybės nuo laiko. Jei laikysim, kad vanduo intensyviai garuoja tik trumpą laiką virdamas, o į neverdančio vandens garavimą neatsižvelgsime, tai vandeniui užvirus ir tokiau jo nebevirinant tuo metu, kai namelyje temperatūra yra T' , o lango paviršiaus temperatūra yra T'' , orui atiduotas šilumos kiekis Q'' bus toks:

$$Q'' = \frac{(i+2)}{2} \left(pV \ln \frac{T'}{T} + p'V \ln \frac{T_1}{T'} \right).$$

Čia $p' = p - p''$, o p'' – sočiųjų vandens garų slėgis esant T'' temperatūrai.

Taigi,

$$Q' - Q'' = \frac{(i+2)}{2} p''V \ln \frac{T_1}{T''}.$$

Matome, kad esant $T' = T_1$ orui atiduotas šilumos kiekis bus toks pat, kaip ir neverdant arbatos. Laikant, kad lango paviršius ne šiltesnis už orą, mažiausia $T'' = 273 \text{ K}$. Mažiausią orui atiduotas šilumos kiekį gauname, kai $T' = T'' = 273 \text{ K}$. Tada $p'' = 0,61 \text{ kPa}$, skirtumas $Q' - Q''$ tik 114 J. Vandeniui garuojant kitaip, skirtumas $Q' - Q''$ bus dar mažesnis.

Užduoties aiškinamąjį sprendimą pateikė užduoties autorius prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2009 11 02.

Sprendimų aptarimas / FT3-4 ▼

Daugelis sprendusiųjų neatsižvelgė į tai, kad kylant temperatūrai, oro kiekis namelyje mažėja (išeina pro kamina su dūmais), o orui vėstant, jo kiekis didėja. Vertinant orui atiduotą šilumos kiekį, neatsižvelgta į šildomo oro masės mažėjimą kylant temperatūrai, o taip pat į šildymo pobūdį: šildant išlieka pastovus slėgis, todėl reikia naudoti savitąją šilumą C_p , o ne C_v . Daugumoje sprendimų klausimas neatsakytas net kokybiškai, o kiekybinio vertinimo nepateikė niekas.

Užduoties sprendimo aptarimą parengė užduoties autorius ir jos sprendimų vertintojas prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2009 11 02.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT3-4 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Panaudojant dujų būvio lygtį parodyta, kad vidinės energijos (šilumos) kiekis $Q \sim pV$ nekinta.	2
2.	Apskaičiuotas šilumos kiekis dujoms izobariškai plečiantis esant kintamai dujų masei: $Q' \sim \ln T_1/T$.	2
3.	Nustatyta, kad vandens garai išstumia dalį oro, todėl likusio oro masė ir jai atitinkantis šilumos kiekis Q sumažėja.	2
4.	Vandens garų masė atitinka $0 \div 15^\circ\text{C}$ sočiuosius garus.	2
5.	Pagal galimą garų kiekį Q' sumažėtų ne daugiau 0,5 % (arba liktų nepakitęs).	2
6.	Sprendimas pateiktas ne pagal reikalavimus	-1
7.	Kiti sprendimo netikslumai (p. 1-5)	po -0,5
Maksimalus sprendimo įvertinimas		10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius ir jos sprendimų vertintojas prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2009 11 02.