

**5-ASIS FIZIKOS TURNYRAS**  
**10-oji užduotis Nr. FT5-10 / 2012 01 16 – 2012 02 13**

***Užduoties sąlyga / FT5-10 ▼***

**Užkimštas mėgintuvėlis**

Ritinio formos mėgintuvėlis plokščiu dugnu, kurio talpa  $V = 60$  ml, užkemšamas standžiai įeinančiu kamščiu, kurio skersmuo  $d = 2$  cm, ilgis  $l = 4,5$  cm, masė  $m = 1,5$  g. Maksimali kamščio trinties jėga į mėgintuvėlį  $F = 30$  N, ji yra proporcinga kamščio ir mėgintuvėlio sąlyčio paviršiaus plotui. Oro temperatūra  $t = 20^\circ\text{C}$ , slėgis  $p = 100$  kPa.



1) Koks darbas atliekamas lėtai užkemšant mėgintuvėlį taip, kad į mėgintuvėlį sueitų visas kamštis (oro temperatūra nekinta)?

2) Iki kokios temperatūros pašildžius orą mėgintuvėlyje kamštis pradės slinkti iš kaklelio?

3) Kokį darbą atlieka dujos išstumdamos kamštį, jei oras daugiau nebešildomas?

4) Kokį greitį įgaus kamštis išlėkimo iš kaklelio momentu?

5) Kokiai mažiausiai mėgintuvėlio talpai esant pajudėjęs kamštis bus išstumtas iš mėgintuvėlio oro nebešildant?

*Užduotį parengė mokyklos „Fizikos olimpas“ steigėjų tarybos narys, ilgametis mokyklos direktorius (11 m.) ir šio Fizikos turnyro užduočių parengimo spęsti ir jų sprendimų vertinimo komisijos pirmininkas prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.*

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2012 01 16.

***Užduoties aiškinamasis sprendimas / FT5-10 ▼***

1) Kamščio sunkio jėga žymiai mažesnė už kitas jėgas, todėl į ją neatsižvelgiame. Mėgintuvėlį užkemšant nugalima trinties jėga ir izotermiškai suspaudžiamas mėgintuvėlyje kamščiu uždarytas oras, oro tūris pakinta nuo  $V$  iki  $\left(V - \frac{\pi d^2 l}{4}\right)$ . Išorinio slėgio atliekamas darbas atimamas. Gauname

$$A = \frac{Fl}{2} - pV \ln\left(1 - \frac{\pi d^2 l}{4V}\right) - \frac{\pi d^2 lp}{4}, \quad A = 0,87 \text{ J.}$$

2) Oras mėgintuvėlyje turi būti pašildytas tiek, kad jo slėgis sukurtų kamštį veikiančią jėgą, viršijančią kamščio trinties jėgą ir išorinio slėgio sukuriamą jėgą. Pažymime mėgintuvėlio ertmės ilgį  $L = 4V / \pi d^2$ . Gauname:

$$\frac{p' \pi d^2}{4} \geq F + \frac{p \pi d^2}{4}, \quad \frac{p}{T} \left(1 - \frac{l}{L}\right) = \frac{p'}{T'}$$
$$T' = T \left(1 + \frac{4F}{\pi d^2 p}\right) \left(1 - \frac{l}{L}\right), \quad T' = 438 \text{ K}, \quad t' = 165^\circ\text{C}.$$

3) Mėgintuvėlyje esantis oras plečiasi adiabatiskai atlikdamas darbą  $A'$ . Pradžioje dujų tūris  $V' = V - \pi d^2 l / 4$ , slėgis  $p' = p + 4F / \pi d^2$ , kamščiu išlekiant tūris  $V$ . Kamščio nueitą kelią pažymime  $0 \leq x \leq l$ . Tada

$$A' = \int_0^l p(x) dV(x), \quad p(x) = p \left( \frac{L-l}{L-l+x} \right)^\gamma, \quad dV(x) = \frac{\pi d^2 dx}{4}, \quad p' = \frac{pL}{L-l},$$

$$A' = \frac{\left( \frac{\pi d^2 p}{4} + F \right) (L-l)}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{l}{L} \right)^{\gamma-1} \right], \quad A' = 2,28 \text{ J.}$$

4) Besiplečiančių dujų atliktas darbas panaudojamas kamščio trinčiai ir išoriniam slėgiui nugalėti bei suteikia kamščiu ir mėgintuvėlyje esančioms dujoms kinetinę energiją. Mėgintuvėlyje esančio oro masė

$$m' = \frac{MpV}{RT}, \quad M = 0,029 \text{ g.}$$

$$A' = \left( \frac{F}{2} + \frac{\pi d^2 p}{4} \right) l + \frac{mv^2}{2} + \frac{m'v^2}{8},$$

$$v = \sqrt{\frac{A' - \frac{Fl}{2} - \frac{\pi d^2 lp}{4}}{\frac{m}{2} + \frac{m'}{8}}}, \quad v = 16 \text{ m/s.}$$

5) Kamščiu judant trinties jėga  $F_t$  turi mažėti greičiau, negu dujų slėgio sukurta kamštį stumianti jėga  $F_p$ .

$$F_p(x) = F_1 \left( \frac{L-l}{L-l+x} \right)^\gamma - \frac{\pi d^2 p}{4}, \quad F_t(x) = F \left( \frac{l-x}{l} \right), \quad F_1 = 61 \text{ N,}$$

$$\frac{dF_p(0)}{dx} \geq \frac{dF_t(0)}{dx}, \quad -\frac{F_1 \gamma}{L-l} \geq -\frac{F}{l}, \quad L \geq l \left( \frac{F_1 \gamma}{F} + 1 \right),$$

$$L_{\min} = 17,3 \text{ cm}, \quad V_{\min} = 54,4 \text{ ml.}$$

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

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2012 06 13.

### **Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT5-10 ▼**

1) Daugelis sprendusiųjų atsižvelgė tik į kamščio ir mėgintuvėlio trintį, ir neatsižvelgė į darbą suspaudžiant mėgintuvėlyje esantį orą. Vertinant oro poveikį reikia atsižvelgti į esančio mėgintuvėlyje ir išorinio oro slėgių skirtumą.

2) Dažniau pasitaikanti netikslumas – naudojamas Šarlio dėsnis pradiniu slėgiu imant  $p$ , o ne suspausto oro slėgį įstūmus kamštį.

3) Darbas turi būti apskaičiuotas adiabatiniam procesui atsižvelgiant į išorinį slėgį.

4) Daugelis sprendusiųjų neatsižvelgė į tai, kad mėgintuvėlyje esančio oro masė sudaro apie 5 % kamščio masės, jo masės centro greitis kamščiu išlekiant dvigubai mažesnis už

kamščio greitį. Todėl taikant energijos tvermės dėsnį reikia atsižvelgti ir į oro kinetinę energiją. Neteisinga apskaičiavus vidutinį pagreitį  $a_{\text{vid}}$  naudoti kelio formulę  $S = a_{\text{vid}}t^2 / 2$ , ta formulė tinka tik tolygiai greitėjančiam judėjimui.

5) Tik keli sprendusieji pastebėjo, kad trinties jėgos ir slėgio jėgos kitimas kamščiui judant skirias ir tuo remdamiesi nustatė minimalų mėgintuvėlio tūrį.

*Užduoties sprendimų aptarimą parengė jos autorius prof. habil. dr. Antanas Rimvidas Bandzaitis.*

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2012 06 13.

***Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT5-10 ▼***

<b>Nr.</b>	<b>Sprendimų vertinimo kriterijus</b>	<b>Vertė balais</b>
1.	Mėgintuvėlį užkemšant nugalima trinties jėga ir izotermiškai suspaudžiamas mėgintuvėlyje kamščiu uždarytas oras	1
2.	Oras mėgintuvėlyje turi būti pašildytas tiek, kad jo slėgis sukurtų kamštį veikiančią jėgą, viršijančią kamščio trinties jėgą ir išorinio slėgio sukuriama jėgą	2
3.	Mėgintuvėlyje esantis oras plečiasi adiabatiškai nugalėdamas trintį ir išorinį slėgį	2
4.	Besiplečiančių dujų atliktas darbas panaudojamas kamščio trinčiai ir išoriniam slėgiui nugalėti bei suteikia kamščiui ir dujoms kinetinę energiją	2
5.	Kamščiui judant trinties jėga turi mažėti greičiau, negu dujų slėgio sukurta kamštį stumianti jėga	3
Didžiausias galimas sprendimo įvertinimas		10

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

▲ Šis tekstas svetainėje [www.olimpas.lt](http://www.olimpas.lt) nuolat skelbiamas nuo 2012 06 14.