

14-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
7-oji užduotis Nr. FT14-7 / 2020 11 23 – 2020 12 20

Gyvsidabrio stulpelis spaudžia orą

Sąlyga / FT14-7 ▼

Uždarame stačiame 1 m ilgio vamzdelyje yra oras, o jo viduryje – 20 cm ilgio gyvsidabrio ($13,6 \text{ t/m}^3$) stulpelis. Oro slėgis virš gyvsidabrio lygus 100 kPa. Koks yra oro slėgis po gyvsidabriu? Kiek pasislinks gyvsidabris ir kiek pakis oro slėgis vamzdelį paguldžius? Koku pagreičiu gulsčia kryptimi turėtų pajudėti vamzdelis, kad gyvsidabris grįžtų į jo vidurį? $g = 9,8 \text{ N/kg}$.

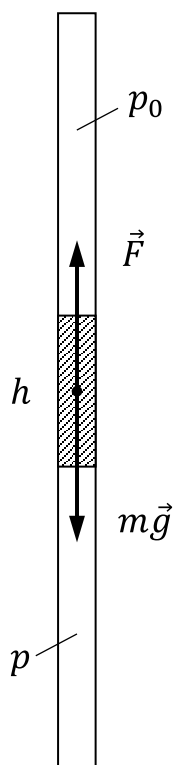
Užduotį parengė doc. dr. Stasys Tamošiūnas – Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Fotonikos ir nanotechnologijų instituto inžinierius, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, jos steigėjų tarybos narys ir dėstytojas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2020 11 23.

Aiškinamasis sprendimas / FT14-7 ▼

Duota: $l = 1 \text{ m}$; $h = 0,2 \text{ m}$; $\rho = 1,36 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^3$; $g = 9,8 \text{ N/kg}$; $p_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

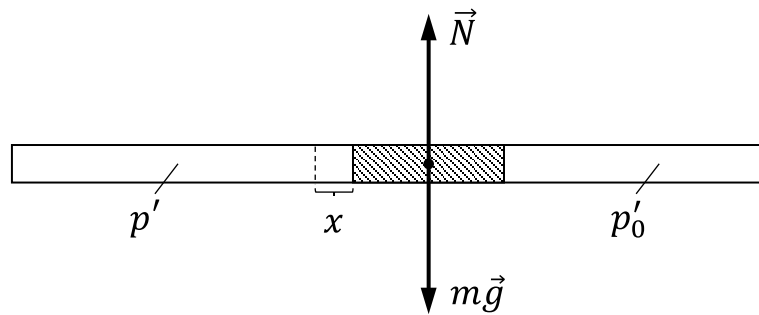
Rasti: p ; x ; Δp_0 ; Δp ; a .



Gyvsidabrio stulpelio pusiausvyros sąlyga stačiame vamzdelyje, kai oro slėgis po juo p , atsveria persidavusį pagal Paskalio dėsnį nepakitusį oro slėgį virš jo p_0 ir stulpelio slėgį ρgh :

$$p = p_0 + \rho gh;$$

$$p = 1 \cdot 10^5 + 1,36 \cdot 10^4 \cdot 9,8 \cdot 0,2 \approx 126,7 \text{ (kPa)}.$$



Vamzdelį paguldžius, gyvsidabris pasislenka atstumu x ir oro slėgis abiejose vamzdelio dalyse susilygina: $p' = p_0$. Pagal Boilio-Marioto dėsnį orui vamzdelio dalyse (tegu jo skersinio pjūvio plotas yra S):

$$pS \frac{l-h}{2} = p'S \left(\frac{l-h}{2} + x \right); \quad p_0S \frac{l-h}{2} = p_0'S \left(\frac{l-h}{2} - x \right).$$

Irašę slėgį p ir padaliję pastarąsias lygtis, randame atstumą x :

$$\frac{p_0 + \rho gh}{p_0} = \frac{l-h+2x}{l-h-2x}; \quad x = \frac{\rho gh(l-h)}{4p_0 + 2\rho gh};$$

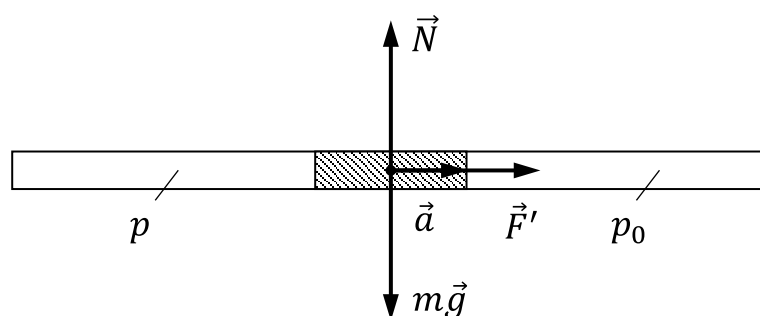
$$x = \frac{1,36 \cdot 10^4 \cdot 9,8 \cdot 0,2(1-0,2)}{4 \cdot 10^5 + 2 \cdot 1,36 \cdot 10^4 \cdot 9,8 \cdot 0,2} \approx 4,7 \text{ (cm)}.$$

Sudėję tas lygtis, randame oro slėgį paguldytame vamzdelyje ir jo pokytį:

$$\Delta p_0 = p'_0 - p_0 = 0,5\rho gh; \quad \Delta p_0 = 0,5 \cdot 1,36 \cdot 10^4 \cdot 9,8 \cdot 0,2 \approx 13,3 \text{ (kPa)}.$$

$$\Delta p = p' - p = p'_0 - p = -0,5\rho gh; \quad \Delta p \approx -13,3 \text{ kPa}.$$

Taigi, oro slėgis buvusioje viršutinėje vamzdelio dalyje apie 13,3 kPa padidėja, o buvusioje apatinėje dalyje – tiek pat sumažėja.



Sprendimo pradžioje gyvsidabrio stulpelio pusiausvyros sąlyga buvo pateikta įvertinus tai, kad jį veikiančių oro slėgio jėgų atstojamoji jėga \vec{F} , kurios modulis lygus $(p - p_0)S$, atsveria gyvsidabrio sunkį $m\vec{g}$ (čia gyvsidabrio masė $m = \rho Sh$). Gulsčiame tolygiai greitėjančiame vamzdelyje grįžusio į vidurį gyvsidabrio sunkį stačia kryptimi atsveria vamzdelio sienelių reakcijos jėga \vec{N} , o gulsčia kryptimi veikia tos pačios oro slėgio jėgos, kokios jos buvo stačiame vamzdelyje iš pradžių ($F' = F$), ir gyvsidabris taip pat, kaip ir vamzdelis, greitėja pagreičiu a . Pagal I ir II Niutono dėsnius:

$$\vec{F} + m\vec{g} = 0; \quad m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}' = m\vec{a}.$$

Suprojektavę vektorius stačia ir gulsčia kryptimis, turime:

$$(p - p_0)S - mg = 0; N - mg = 0; (p - p_0)S = ma;$$

$$a = g = 9,8 \text{ m/s}^2.$$

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

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2020 12 30.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT14-7 ▼

Užduotis daugumai turnyro dalyvių nebuvo sudėtinga, pritaikiusių dujų būvio lygtį izoterminiam vyksmui, kai nekreipiama dėmesio į galimą adiabatinį oro atvėsimą toje vamzdelio dalyje, kurioje jis yra praretinamas, ir išilimą kitoje dalyje, kurioje jis yra suspaudžiamas, bei Niutono dėsnius gyvsidabrio pusiausvyrai vamzdyje, nusistovėjusiai nuslopūs svyravimams, kurie pradžioje atsiranda ne tik po staigaus vamzdelio pavertimo, bet ir po pagreitinimo gulsčia kryptimi.

Galima būtų diskutuoti dėl suskaičiuoto 126656 Pa slėgio pateikimo net 1 Pa ar jo dalies tikslumu, o ir čia pat keletą dalyvių suskaičiuoto gyvsidabrio stulpelio pasislinkimo, suapvalinto iki 5 cm, kai apvalinant prarandami net 0,3 cm. Jei norime atsakymą apie slėgį pateikti stambesniais vienetais (kPa), tai nereikia jo rašyti $1,26656 \cdot 10^2$ kPa, kaip tai padarė vienas turnyro dalyvis.

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

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2020 12 30.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT14-7 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Oro slėgis po gyvsidabriu	2
2.	Gyvsidabrio stulpelio poslinkis	3
3.	Oro slėgio pokytis	2
4.	Vamzdelio pagreitis	3
5.	Pateikta ne pagal reikalavimus	-1
6.	Vėlavimas pateikti sprendimą (vieną parą)	-1
7.	Kiti netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr.1-4)	iki (-2)
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 2020 12 30.