

15-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
7-oji užduotis Nr. FT15-7 / 2021 11 08 – 2021 12 05

Prastas kalorimetras

Sąlyga / FT15-7 ▼

Apskaičiuokite, kokią masę 100°C temperatūros vandens garų reiktų įleisti į 500 J/K šiluminės talpos indą su jame esančiu -10°C temperatūros 200 g masės ledo gabalu, kad inde liktų tik skystas vanduo.

Ledo savitoji šiluma $c_1 = 2,1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ir savitoji lydymosi šiluma $L = 330 \text{ kJ/kg}$, o vandens savitoji šiluma $c = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ir savitoji garavimo šiluma $r = 2,3 \text{ MJ/kg}$.

Laikykite, kad pradinės indo ir ledo temperatūros buvo vienodos, o šildymas garais vykdomas pakankamai lėtai, kad spėtų nusistovėti šiluminė pusiausvyra tarp indo ir ne tik ledo, bet ir ledui tirpstant susidariusio vandens. Taip pat atsižvelkite į tai, kad nepavyko pasiekti šios sistemos uždaro, nes šilumos mainų metu į aplinką pateko 10% vandens garų atiduotos šilumos.

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 2021 11 08.

Aiškinamasis sprendimas / FT15-7 ▼

Duota: $t = 100^{\circ}\text{C}$; $C = 500 \text{ J/K}$; $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$; $m = 0,2 \text{ kg}$; $c_1 = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $L = 3,3 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$; $c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $r = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$; $k = 10 \% = 0,1$.

Rasti: m'_1 ; m'_2 .

Mažiausia vandens garų masė m'_1 yra reikalinga tik indą ir ledą sušildyti iki ledo lydymosi temperatūros $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ ir toje temperatūroje ledą ištirpdyti, o didžiausia m'_2 – ne tik indą ir ledą sušildyti bei ledą ištirpdyti, bet ir iš ledo gautą vandenį bei indą sušildyti iki $t = 100^{\circ}\text{C}$ temperatūros.

Vandens garams kondensuojantis ir kondensatui atauštant iki temperatūros t_0 atiduodamos šilumos kiekis:

$$Q_1 = rm'_1 + cm'_1(t - t_0).$$

Ledo sušildymui ir ištirpdimui bei indo sušildymui iki temperatūros t_0 gaunamos šilumos kiekis:

$$Q_2 = c_1m(t_0 - t_1) + Lm + C(t_0 - t_1).$$

Mažiausią vandens garų masę, kai ledas tik ištirpdomas, randame iš šilumos balanso lygties:

$$(1 - k)Q_1 = Q_2;$$

$$(1 - k)m'_1(r + ct - ct_0) = (c_1m + C)(t_0 - t_1) + Lm;$$

$$m'_1 = \frac{(c_1m + C)(t_0 - t_1) + Lm}{(1 - k)(r + ct - ct_0)};$$

$$m'_1 = \frac{(2,1 \cdot 10^3 \cdot 0,2 + 500) \cdot 10 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{0,9(2,3 \cdot 10^6 + 4,2 \cdot 10^3 \cdot 100)} \approx 30,7 \text{ (g)}.$$

Inde likusio vandens masė:

$$m_1 = m + m'_1; \quad m_1 = 200 + 30,7 = 230,7 \text{ (g)}.$$

Kai vandens garų masė didžiausia, tai jiems tik kondensuojantis atiduotos šilumos kiekis:

$$Q_3 = rm'_2.$$

Indo ir ledo, juos šildant nuo temperatūros t_1 iki temperatūros t , gautos šilumos kiekis:

$$Q_4 = C(t - t_1) + c_1m(t_0 - t_1) + Lm + cm(t - t_0).$$

Didžiausią vandens garų masę randame iš šilumos balanso lygties:

$$(1 - k)Q_3 = Q_4;$$

$$(1 - k)rm'_2 = C(t - t_1) + c_1m(t_0 - t_1) + Lm + cm(t - t_0);$$

$$m'_2 = \frac{C(t - t_1) + c_1m(t_0 - t_1) + Lm + cm(t - t_0)}{(1 - k)r};$$

$$m'_2 = \frac{500 \cdot 110 + 2,1 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 0,2 + 4,2 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 100}{0,9 \cdot 2,3 \cdot 10^6} \approx 101,1 \text{ (g)}.$$

Didžiausia inde likusio vandens masė:

$$m_2 = m + m'_2; \quad m_2 = 200 + 101,1 = 301,1 \text{ (g)}.$$

Taigi, reikėjo įleisti nuo 30,7 g iki 101,1 g vandens garų tam, kad gautume nuo 230,7 g 0 °C temperatūros iki 301,1 g 100 °C temperatūros vandens skysčio pavidalu.

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

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2021 12 10.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT15-7 ▼

Dauguma turnyro dalyvių nenagrinėjo, kad likęs inde vanduo gali būti ir didesnės, nei 0 °C temperatūros, tad rado tik mažiausią vandens garų masę, kai prastame kalorimetre prarandama dalis garų atiduotos šilumos ne tik jiems kondensuojantis, bet ir kondensatui lėtai atauštant iki galutinės temperatūros.

Keturi dalyviai nerodė atliekamų skaičiavimų, dar keturi – vėlavo pateikti sprendimus, nors pateikimui po užduoties paskelbimo fizikos turnyre visada yra duodamos keturios savaitės laiko. Taip paprastuoju būdu prarandama dalis balų pagal pateiktus sprendimų vertinimo kriterijus Nr. 3,4.

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

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2021 12 10.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT15-7 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Mažiausia garų masė	6
2.	Garų masės intervalas	4
3.	Pateikta ne pagal reikalavimus (nerodomi skaičiavimai, kiekvienam iš kriterijų Nr. 1,2)	-1(-0,5)
4.	Vėlavimas pateikti sprendimą (vienai parai)	-1
5.	Kiti netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr. 1,2)	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 nuolat skelbiamas nuo 2021 12 10.