

2-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
Užduotis Nr. FT2-6 / 2008 10 28 – 11 23

Užduoties sąlyga / FT2-6 ▼

Šratų arbata

Izoliuoto indo su jame įtaisytu vandens maišytuvu šiluminė talpa (šilumos kiekis, reikalingas jų temperatūrą padidinti vienu laipsniu) yra 5 kartus mažesnė už tame inde esančio 17°C temperatūros vandens šiluminę talpą. Į vandenį tame inde vienodais laiko tarpais, pakankamai ilgais, kad nusistovėtų temperatūra ir ją pavyktų išmatuoti, įmetami vienodi 317°C temperatūros metaliniai šratai. Elektroninis termometras, kurio vandenyje panardinto puslaidininkinio jutiklio šiluminė talpa sudaro tik 0,02 dalį indo šiluminės talpos, prieš įmetant trečiąjį šratą rodė 47°C temperatūrą.

1. Kiek šratų įmetus vanduo turėtų užvirti?
2. Kiek daugiau tam reiktų šratų, jei įvertintume tai, kad palyginti ilgo eksperimento metu apie 10% kiekvieno šrato atiduotos šilumos visgi patenka į aplinką?
3. Ar Jums pavyktų taip namie užvirinti vandenį puodelyje arbatai?

Užduotį parengė Vilniaus universiteto Medžiagotyros ir taikomųjų mokslų instituto direktoriaus pavaduotojas, Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Puslaidininkių fizikos katedros docentas, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, steigėjų tarybos narys ir šio Fizikos turnyro užduočių parengimo, jų pateikimo spręsti ir sprendimų vertinimo komisijos pirmininko pavaduotojas dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2008 10 28.

Užduoties aiškinamasis sprendimas / FT2-6 ▼

1. Pagal sąlygą šildomos sistemos (indo su maišytuvu, vandens ir jutiklio) šiluminė talpa $C = 1,204 C_v$, kur C_v – vandens šiluminė talpa.

Šilumos balanso lygtis įmetus du šratų:

$$C(t_2 - t_0) = 2 C_s(t_s - t_2),$$

o n šratų:

$$C(t_n - t_0) = n C_s(t_s - t_n),$$

kur $t_2 = 47^\circ\text{C}$, $t_0 = 17^\circ\text{C}$, C_s – šrato šiluminė talpa, $t_s = 317^\circ\text{C}$, o t_n – temperatūra įmetus n šratų.

Įrašę šiuos duomenis į pirmąją lygybę gauname šiluminių talpų sąryšį $C = 18 C_s$.

Į antrąją lygybę vietoje t_n įrašome vandens virimo temperatūrą 100°C , tada

$$n_1 = 18(100 - 17)/(317 - 100) \approx 7.$$

2. Pirmasis šratas atauš daugiausiai, temperatūrą po jo įmetimo rasime iš šilumos balanso lygties

$$C(t_1 - t_0) = 0,9 C_s(t_s - t_1),$$
$$t_1 = (0,9 t_s + 18 t_0)/18,9 \approx 31,3^\circ\text{C}.$$

Po antrojo šrato įmetimo

$$(C + C_s)(t_2 - t_1) = 0,9 C_s(t_s - t_2),$$
$$t_2 = (0,9 t_s + 19 t_1)/19,9 \approx 44,2^\circ\text{C} < 47^\circ\text{C},$$

tad termometras rodytų žemesnę temperatūrą nei užduoties sąlygoje buvo duota.

Po kitų šratų įmetimo

$$(C + 2C_s)(t_3 - t_2) = 0,9 C_s(t_s - t_3),$$
$$t_3 = (0,9 t_s + 20 t_2)/20,9; \dots t_4 = (0,9 t_s + 21 t_3)/21,9; \dots$$

ir taip toliau skaičiuodami (daugiklis ties trupmenos skaitiklio antruoju nariu, kur įrašoma ankstesnė temperatūra, ir jos vardiklis padidėja vienetu) gauname

$$t_8 = (0,9 t_8 + 25 t_7)/25,9 \approx 101,7^\circ\text{C}.$$

Taigi, $n_2 = 8$ – vienu šratu daugiau.

3. Užvirinant vandenį svarbu žinoti, kad tokios kaip užduotyje pateikta didelės temperatūros šratas dalį vandens sąlyčio su juo vietoje įkaitina iki virimo ir išgarina. Taigi, dalis vandens užvirinama įmetus ir pirmąjį iš tų aštuonių šratų, gi užduotyje prašo užvirinti visą vandenį. Tos pačios metalo masės didelio kiekio mažų šratų paviršiaus plotas didesnis nei mažo kiekio didesnių šratų. Tos pačios masės šratų paviršiaus plotas ir tūris didesni, jei šratai yra iš mažesnio tankio metalo. Šrato šiluminė talpa yra lygi metalo savitosios šilumos ir šrato masės sandaugai, o masė lygi tankio ir tūrio sandaugai. Didelio tūrio šratų dalis gali likti virš vandens puodelyje. Tad šratų gamybai reikia nedeficitinio metalo, kurio savitosios šilumos ir tankio sandauga yra didžiausia. Tai galėtų būti plienas, kurio ši sandauga pagal savitosios šilumos ir tankio duomenis iš metalų fizikinių savybių lentelių mokyklos vadovėliuose gaunama apie $3,6 \text{ MJ}/(\text{K}\cdot\text{m}^3)$ ir varis (3,5); blogiau dėl alavo ir švino, kurių tai apie $1,8$ ir $1,4 \text{ MJ}/(\text{K}\cdot\text{m}^3)$.

Vanduo puodelyje yra neizoliuotas, todėl šratas po vieną metant ilgais laiko tarpais jis aušta dėl šilumos mainų su aplinka per puodelio sienelės bei laisvąjį paviršių ir gali neužvirti. Šratas reikia įmesti kuo greičiau, geriau visus iškart, tuo labiau, kad vandens temperatūra įmetant šratas nebus matuojama, o tik bus laukiama užvirimo. Vandens išgarinimą jam užverdant dėl atsiradusio sąlyčio su šratu jam panyrant galima sumažinti parenkant šratui metalą, kurio savitasis šilumos laidis (šilumos kiekis, perduodamas pro ploto vienetą per laiko vienetą statmena plotui kryptimi, kai ta kryptimi temperatūra skiriasi vienu laipsniu ilgio vienetui) yra mažiausias – tada panyrant sąlyčio su vandeniu vietoje šratas greit ataus paviršiuje, bet liks pakankamai karštas viduje, ypač centre. Tos iš jau panirusio šrato vidaus išeinančios į vandenį šilumos gali pakakti jam užvirinti. Tad šratas turėtų būti iš plieno, kurio savitasis šilumos laidis $75 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ yra apie 5,3 karto mažesnis nei vario.

Tarkim, $D = 7 \text{ cm}$ vidinio skersmens ritinio formos inde yra $V_v = 200 \text{ cm}^3$ kambario temperatūros (tegu 20°C) vandens, kurį pagal ką tik pateiktus motyvus bandysime užvirinti vienu įkaitintu (tegu iki 330°C) plieniniu šratu su įtaisytu kabliuku, prie kurio pririšta viela galime tą šratą panardinti į vandenį, o vėliau pakabinti kur nors virtuvėje kaip unikalų fizikinį rakandą. Šiluminė talpa

$$C = 1,2 \times 4,2 \cdot 10^3 \times 0,2 \approx 1000 \text{ J/K},$$

tada neįskaičius šilumos nuostolių vandeniu užvirinti reikalinga šrato šiluminė talpa, randama pagal šilumos balanso lygtį, turi būti ne mažesnė kaip

$$C_s = 80 C/220 \approx 370 \text{ J/K}.$$

Plieno savitoji šiluma $c = 460 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, tankis $\rho = 7,9 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$, tada šrato tūris

$$V_s = C_s / c \rho; V_s \approx 100 \text{ cm}^3,$$

o jo skersmuo

$$d = (6 V_s / \pi)^{1/3}; d \approx 5,8 \text{ cm} < D,$$

tad šratas tilptų į indą.

Jei neatsižvelgtume į dalies vandens išgarinimą nardinant į jį šratą, tai vandens paviršius panardinus šratą būtų virš indo dugno aukštyje

$$h = (V + V_s) / 0,25\pi D^2; h \approx 7,8 \text{ cm} > D,$$

tad šratas būtų visas vandenyje net inde su plokščiu dugnu. Populiarūs puodukai arbatai, siaurėjantys ties dugnu, būna ir dugnas įdubęs, tad įmanoma pilnai panardinti šratą ir daliai vandens išgaravus jį nardinant.

Tokių didelių šratų galima ištekinti specialiomis staklėmis (nebūtinai šratas, gali čia būti naudojamas ir kitokios formos kūnas), apvaliu dugnu ir šilumai nelaidžių sienelių būna termosai, o kuo ir kiek įkaitinti tą šratą ar daugiau mažesnių įsigytų parduotuvėje šratų priklauso nuo „virėjo“ išmonės ir patirties.

Svarbu laikytis saugaus darbo taisyklių – neliesti įkaitintų šratų plikomis rankomis ir neduoti palaikyti kitiems šeimos nariams, ypač mažamečiams, neprimėtyti šratų ant grindų dėl

pavojaus susižeisti paslydus. Patartina juos laikyti dėžutėje. Be to, taip verdant vandenį arbatai ryte yra pavojus pavėluoti į pamokas ar į darbą. O pabandyti verta! ☺

Užduoties aiškinamąjį sprendimą parengė užduoties autorius doc.dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2008 12 08.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT2-6 ▼

Šia užduotimi siekta pagilinti žinias apie kūnų šiluminę talpą, šilumos balansą įvertinant ir galimus energijos nuostolius tiriamoje sistemoje, o jos trečiuoju klausimu – išprovokuoti ir eksperimentą namų sąlygomis, deja, eksperimento nebuvo. Didžioji turnyro dalyvių dauguma apsiribojo tik paniurnėjimu, kad vandens virimo arbatai eksperimentas nepavyks – be kokio nors paskaičiavimo ar kitokio pagrindimo.

Užduoties pirmoje dalyje buvo galima į vandenį mesti po vieną šratą ir paeiliui po kiekvieno šrato įmetimo rašyti šilumos balanso lygtis vis suskaičiuojant galutinę temperatūrą panašiai kaip aiškinamajame sprendime pateikta atsakant į antrąjį klausimą. Daug kas taip ir sprendė, daugiau formulių surašydami ir ilgiau skaičiuodami, nors nesant šilumos nuostolių gaunamas tas pats rezultatas ir iškart rašant pirmąsias aiškinamajame sprendime pateiktas dvi šilumos balanso lygtis po dviejų ir n šratų įmetimo. Gi tų dviejų lygčių rašymas antruoju atveju, kai laikoma, jog termometras po antrojo šrato įmetimo vis tiek rodo 47°C ir esant nuostoliams, duoda galutinį rezultatą, kad užtenka tų pačių 7 šratų. Tad neatsakoma, kad lašų daugiau. Visgi motyvavusiems tokį sprendimą ir už tai buvo skirta iki 1,5 balo. Du turnyro dalyviai gavo po 0,5 balo papildomai, nes papuošė savo sprendimą ir paveikslėliais su indu, vandeniu jame, termometru ir šratais.

Užduoties sprendimo aptarimą parengė užduoties autorius ir jos sprendimų vertintojas doc.dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2008 12 08.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT2-6 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Šratų skaičiaus radimas	5
2.	Nustatymas, kiek reikia daugiau šratų	3
3.	Galimybių užvirinti vandenį analizė	2
4.	Nepakankami paaiškinimai (kiekvienam klausimui)	iki -1
5.	Sprendimo pateikimas neatitinka reikalavimų	-1
6.	Kiti netikslumai (kiekvienam klausimui)	iki -0,5
7.	Premijavimas už sprendimo išskirtinumą	iki 1
Maksimalus sprendimo įvertinimas		10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius ir jos sprendimų vertintojas doc.dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2008 12 08.