

TOPLOTA NIHANJE IN VALOVANJE

Dejan Zupan

REŠENE NALOGE IZ FIZIKE 2

za srednje šole

Kazalo

I	TOPLOTA	9
1	Temperatura, toplota in notranja energija	11
1.1	Temperatura	12
1.2	Toplota, delo in notranja energija (energijski zakon termodinamike)	12
1.3	Specifična toplota in toplotna kapaciteta	13
1.4	Kalorimetrija	17
1.5	Notranja energija plinov	21
2	Prevajanje toplote	23
2.1	Toplotni tok in gostota toplotnega toka	24
2.2	Prevajanje toplote skozi snov	24
2.3	Toplotni upor	26
3	Toplotni stroji	33
3.1	Toplotni stroji	34
4	Plinska enačba in plinski zakoni	39
4.1	Plinska enačba in plinski zakoni	40
4.2	Zmes plinov	45
5	Termično raztezanje snovi	47
5.1	Termično raztezanje snovi	48
6	Fazne spremembe	55
6.1	Fazne spremembe	56
6.2	Kalorimetrija s faznimi prehodi	58
6.3	Vlažnost zraka	65
II	NIHANJE IN VALOVANJE	69
7	Nihanje	71
7.1	Harmonično nihanje	72
7.2	Nitno ali matematično nihalo	78
7.3	Vzmetno nihalo	84
7.4	Težno nihalo	87
7.5	Vsiljeno nihanje in resonanca	89
7.6	Dušeno nihanje	91

8 Mehanska valovanja	97
8.1 Potujoče transverzalno valovanje na vrvi	98
8.2 Stojee transverzalno valovanje na vrvi	102
8.2.1 Vpeti krajišči	102
8.2.2 Eno ali obe prosti krajišči	108
8.3 Potujoče longitudinalno valovanje na vzmeti	111
8.3.1 Stojee longitudinalno valovanje na vzmeti	112
9 Valovanje na gladini kapljevine	115
9.1 Valovanje na gladini kapljevine	116
9.2 Lom in odboj	116
9.3 Interferenca	122
10 Zvok	127
10.1 Zvok	128
10.2 Stojee zvočno valovaje	133
10.3 Dopplerjev pojav	136
10.4 Lom in odboj zvoka	142
10.5 Energija zvoka in glasnost	145
10.6 Interferenca zvoka	150
11 Svetloba	155
11.1 Odboj in lom	156
11.2 Preslikava z lomom	162
11.3 Interferenca	164
11.4 Energija svetlobe in osvetljenost	167
11.5 Zrcala	172
11.6 Leče	180

1.1 Temperatura

1. Telo segrejemo od začetnih 14°C do končnih 65°C . Pretvori začetno in končno temperaturo v absolutne enote. Kolikšna je temperaturna razlika med začetnim in končnim stanjem v stopinjah Celzija in kolikšna v absolutni temperaturni skali?

Podatki:

$$T_z = 14^{\circ}\text{C}$$

$$T_k = 65^{\circ}\text{C}$$

Absolutno temperaturo merimo v kelvinih. Temperaturo 0 K (nič kelvinov) imenujemo absolutna ničla temperature, ker je spodnja meja temperature. Absolutna ničla (0 K), merjeno v $^{\circ}\text{C}$ (stopinjah Celzija) je pri nekaj manj kot -273°C . Tako je 0°C približno enako 273 K . Pri pretvarjanju temperature teles iz $^{\circ}\text{C}$ v K moramo samo prišteti 273 stopinj (enot), saj je velikost enote v Kelvinovi skali enaka kot v Celzijevi skali.

Tako je

$$14^{\circ}\text{C} = (14 + 273)\text{ K} = \underline{\underline{287\text{ K}}}$$

in

$$65^{\circ}\text{C} = (65 + 273)\text{ K} = \underline{\underline{338\text{ K}}}$$

Razliko med končno in začetno temperaturo imenujemo temperaturna razlika in jo označimo z ΔT :

$$\Delta T = T_k - T_z$$

Temperaturna razlika v našem primeru izražena v $^{\circ}\text{C}$ je tako

$$\Delta T = 65^{\circ}\text{C} - 14^{\circ}\text{C} = \underline{\underline{51^{\circ}\text{C}}}$$

izražena v absolutnih enotah (kelvinih) pa

$$\Delta T = 338\text{ K} - 287\text{ K} = \underline{\underline{51\text{ K}}}$$

Zapomnimo si, da je temperaturna razlika v obeh primerih enaka, saj je velikost stopinje oziroma enote v obeh skalah enaka. V podobnih primerih je pogosta napaka, da temperaturno razliko, izraženo v kelvinih, pretvorimo v stopinje Celzija.

2. Kovinsko telo z začetno temperaturo 20°C smo segreli za 15 K . Kolikšna je končna temperatura, izražena v absolutnih enotah?

Podatki:

$$T_z = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 15\text{ K}$$

Najprej pretvorimo spremembo temperature v stopinje Celzija. V prejšnji nalogi smo spoznali, da je sprememba v obeh skalah enaka:

$$\Delta T = 15\text{ K} = 15^{\circ}\text{C}$$

Da dobimo končno temperaturo, začetni temperaturi prištejemo spremembo:

$$T_k = T_z + \Delta T = 20^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C}$$

Sedaj še dobljeno končno temperaturo pretvorimo v kelvine:

$$T_k = (35 + 273)\text{ K} = \underline{\underline{308\text{ K}}}$$

3. V loncu imamo vodo pri temperaturi 317 K . Koliko je to v $^{\circ}\text{C}$? Vodo nato ohladimo za 30 K . Kolikšna je končna temperatura vode v $^{\circ}\text{C}$?

Podatki:

$$T_z = 317\text{ K}$$

$$\Delta T = 30\text{ K}$$

Da pretvorimo temperaturo, izraženo v kelvinih, v stopinje Celzija, od temperature v kelvinih odštejemo 273 :

$$T_z = (317 - 273)^{\circ}\text{C} = \underline{\underline{44^{\circ}\text{C}}}$$

Spremembo temperature pretvorimo v stopinje Celzija

$$\Delta T = 30\text{ K} = 30^{\circ}\text{C}$$

in odštejemo spremembo od začetne temperature, da dobimo končno temperaturo v stopinjah Celzija:

$$T_k = T_z - \Delta T = 44^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = \underline{\underline{14^{\circ}\text{C}}}$$

1.2 Toplota, delo in notranja energija (energijski zakon termodinamike)

1. Telesu dovedemo 250 J toplote. Kolikšna je sprememba notranje energije telesa, če telo pri tem ne prejme ali opravi dela?

Podatki:

$$Q = 250\text{ J}$$

Po energijskem zakonu termodinamike je **sprememba notranje energije telesa enaka dovedeni ali odvedeni toploti in prejetemu ali opravljenemu delu:**

$$\Delta W_n = Q + A$$

V tej nalogi telo ne prejme ali opravi dela, tako da je sprememba notranje energije enaka dovedeni toploti:

$$\Delta W_n = Q = 250 \text{ J}$$

2. Sistemu dovedemo 1,5 kJ toplote, sistem pa pri tem opravi 0,50 kJ dela. Kolikšna je sprememba notranje energije telesa? Kaj pa če sistem prejme 0,50 kJ dela, pri tem pa mu odvedemo 1,5 kJ toplote?

Podatki:

$$Q_1 = 1,5 \text{ kJ}$$

$$A_1 = -0,50 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = -1,5 \text{ kJ}$$

$$A_2 = 0,50 \text{ kJ}$$

Z energijskim zakonom termodinamike izračunajmo spremembo notranje energije sistema v prvem primeru, ko sistem prejme toploto in opravi delo:

$$\Delta W_{n1} = Q_1 + A_1 = 1,5 \text{ kJ} - 0,50 \text{ kJ} = \underline{\underline{1,0 \text{ kJ}}}$$

S pozitivnim predznakom pri toploti in negativnim predznakom pri delu smo upoštevali, da sistem toploto prejme in delo odda. Notranja energija se je tako povečala za 1,0 kJ. V drugem primeru pa sistem toploto odda in delo prejme:

$$\Delta W_{n2} = Q_2 + A_2 = -1,5 \text{ kJ} + 0,50 \text{ kJ} = \underline{\underline{-1,0 \text{ kJ}}}$$

Notranja energija sistema se v drugem primeru zmanjša za 1,0 kJ.

3. Telesu dovedemo 450 J toplote. Koliko dela naj telo opravi (prejme), da bo sprememba notranje energije telesa enaka nič?

Podatki:

$$Q = 450 \text{ J}$$

V energijskem zakonu termodinamike upoštevajmo, da je sprememba notranje energije telesa enaka nič:

$$\Delta W_n = 0$$

1.3 Specifična toplota in toplotna

Tako je

$$0 = Q + A$$

in

$$A = -Q = \underline{\underline{-450 \text{ J}}}$$

Telo naj opravi 450 J dela, da bo $\Delta W_n = 0$.

1.3 Specifična toplota in toplotna kapaciteta

1. Kovinsko kroglico z maso 300 g in specifično toploto $450 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ segrejemo za 35°C . Za koliko se pri tem poveča notranja energija kroglice?

Podatki:

$$m = 300 \text{ g} = 0,30 \text{ kg}$$

$$c_{\text{kov}} = 450 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$\Delta T = 35^\circ\text{C} = 35 \text{ K}$$

Spremembo notranje energije telesa v primeru, ko imamo podano maso, specifično toploto in spremembo temperature telesa, izračunamo z enačbo

$$\Delta W_n = mc_{\text{kov}} \Delta T$$

Sprememba notranje energije kroglice je tako

$$\Delta W_n = 0,30 \text{ kg} \cdot 450 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 35 \text{ K} = 4725 \text{ J} = \underline{\underline{4,7 \cdot 10^3 \text{ J}}}$$

2. Kolikšna je toplotna kapaciteta 2 litrov olja? Koliko toplote mu moramo dovesti, da se segreje od 20°C do 50°C ? Specifična toplota olja je $2200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, gostota pa $850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Podatki:

$$V = 2,0 \text{ l} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 50^\circ\text{C}$$

$$c_o = 2200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$\rho = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Najprej z gostoto in prostornino izračunajmo maso olja:

$$m = \rho V = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,7 \text{ kg}$$

kapaciteta

Toplotna kapaciteta in specifična toplota sta povezani z enačbo

$$C = mc$$

Tako je

$$C_o = mc_o = 1,7 \text{ kg} \cdot 2200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 3740 \frac{\text{J}}{\text{K}} = 3,7 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Z dobljeno toplotno kapaciteto izračunajmo spremembo notranje energije olja, če ga segrejemo za $\Delta T = T_2 - T_1 = 30^\circ\text{C} = 30 \text{ K}$:

$$\Delta W_n = C_o \Delta T = 3740 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 30 \text{ K} = 112200 \text{ J}$$

Ker v tem primeru ne opravi ali prejme dela, je toplota, ki mu jo moramo dovesti, enaka spremembi njegove notranje energije:

$$Q = \Delta W_n = 112200 \text{ J} = \underline{\underline{1,1 \cdot 10^5 \text{ J}}}$$

3. Telo s toplotno kapaciteto $200 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ je prejelo 10 kJ toplote, pri tem pa se je segrelo za 80°C . Koliko dela je telo prejelo ali opravilo? Rezultat podaj v joulih in kilovatnih urah.

Podatki:

$$C = 200 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$Q = 10 \text{ kJ} = 10 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$T = 80^\circ\text{C} = 80 \text{ K}$$

Najprej izračunajmo, za koliko se je telesu pri segrevanju povečala notranja energija:

$$\Delta W_n = C \Delta T = 200 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 80 \text{ K} = 16 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Ker je telo prejelo le $10 \cdot 10^3 \text{ J}$ toplote, očitno prejme še nekaj dela. Iz energijskega zakona termodinamike $\Delta W_n = Q + A$ sledi:

$$A = \Delta W_n - Q = 16 \cdot 10^3 \text{ J} - 10 \cdot 10^3 \text{ J} = 6 \cdot 10^3 \text{ J} = \underline{\underline{6,0 \cdot 10^3 \text{ J}}}$$

Telo je torej poleg 10 kJ toplote prejelo tudi $6,0 \text{ kJ}$ dela. Pretvorimo rezultat še v kilovatne ure. Ker je $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ (en Joule je ena vat-sekunda) velja:

$$A = 6,0 \text{ kJ} = 6,0 \text{ kW s}$$

Upoštevajmo še, da je $1 \text{ s} = \frac{1 \text{ h}}{3600}$:

$$A = 6,0 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600} = 0,001667 \text{ kWh} = \underline{\underline{1,7 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}}}$$

4. Na štedilniku je lonec s petimi litri vode pri 20°C . Koliko toplote mora oddati plošča štedilnika, da se bo voda segrela do vrelišča? Predpostavimo, da se 80% toplote, ki jo odda štedilnik, porabi za segrevanje vode. Specifična toplota vode je $4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$.

Podatki:

$$V = 5 \text{ l}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$\eta = 80\%$$

$$c_{\text{vode}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

Izračunajmo toploto, ki jo naj prejme voda, da se bo segrela od začetnih 20°C do vrelišča. Upoštevajmo, da je masa 5 litrov vode 5 kg , da je temperatura vrelišča vode 100°C in da je dovedena toplota kar enaka spremembi notranje energije, saj voda ne prejme ali opravi dela:

$$Q = \Delta W_n = mc_{\text{vode}} \Delta T =$$

$$= 5 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 1,680 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Ker pa to predstavlja le 80% toplote, ki jo je oddal štedilnik, zapišimo

$$Q = \eta Q' = 80\% Q' = 0,8 Q'$$

Q' je toplota, ki jo je oddal štedilnik. Od tod je

$$Q' = \frac{Q}{0,8} = 1,680 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{0,8} = 2,100 \cdot 10^6 \text{ J} = \underline{\underline{2,1 \text{ MJ}}}$$

5. Kos kovinske zlitine z maso $2,5 \text{ kg}$ vsebuje 35% kovine s specifično toplotno $260 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ in 65% kovine s specifično toplotno $340 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$. Najmanj koliko vatnih ur toplote moramo odvzeti zlitini, da se shladi za 150°C ?

Podatki:

$$m = 2,5 \text{ kg}$$

$$c_1 = 260 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$\eta_1 = 35\%$$

$$c_2 = 340 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$\eta_2 = 65\%$$

$$\Delta T = 150^\circ\text{C} = 150 \text{ K}$$