

Školska godina 2007./2008.



Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Studij računarstva

Fizika 1

Predavanje 12 i 13

Toplina i temperatura. Prijenos topline.

24. siječnja 2008.
Dr. sc. Ivica Puljak
(Ivica.Puljak@fesb.hr)

Danas ćemo raditi:

(P. Kulišić: "Mehanika i toplina", poglavlje 12)

- ◆ Termometrija
- ◆ Toplinsko rastezanje čvrstih tvari i tekućina
- ◆ Plinski zakoni
 - Boyle-Mariotov zakon
 - Guy-Lussacov zakon
 - Jednadžba stanja idealnog plina
 - Avogadrov zakon
- ◆ Količina topline. Specifični toplinski kapacitet
- ◆ Promjena agregatnog stanja. Latentna toplina
- ◆ Fazni dijagrami. Kritična i trojna točka
- ◆ Prijenos topline
 - Vođenje topline
 - Konvekcija
 - Toplinsko zračenje
 - Prijenos topline zračenjem

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

2

“Čovjek tuljan” u Dravi na minus 10

- ◆ Slobodna Dalmacija, 2. siječnja 2002.:
“... Već tradicionalno, šestu godinu za redom u podne na Silvestrovo u ledenoj Dravi okupao se Osječanin Duško Rudež, poznatiji kao *Čovjek tuljan*. Iako je bilo teškoća pronaći odgovarajuće mjesto za ulazak u Dravu i uz 10 stupnjeva ispod nule osječki *Tuljan* najavio je nastavak tradicije.”



Svima je uglavnom poznata činjenica da se tijela zagrijavanjem šire, tj. postaju rjeđa, a hlađenjem skupljaju, tj. zgušnjavaju se. Ovom analogijom led bi, zbog niže temperature, trebao biti gušći od vode i pasti na dno, što se ipak ne događa.

Zašto je to tako, tj. zašto se voda zaledi na vrhu a ne na dnu?

Odgovor ćete saznati na današnjem predavanju.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

3

Toplina i temperatura, toplinska ravnoteža

- ◆ Toplina je oblik energije (1798. Benjamin Thompson), odnosno izmjena energije između dva tijela zbog razlike u temperaturi.
- ◆ James P. Joule 1845 eksperimentalno odredio iznos mehaničkog rada potrebnog da se proizvede 1 cal topline (1 kalorija je toplina potrebna da se 1 g vode ugrije od 14,5°C do 15,5 °C, $1\text{ cal}=4,1868\text{ J}$).
- ◆ Temperatura je fizikalna veličina kojom se definira stupanj zagrijanosti tijela.
- ◆ Temperatura je proporcionalna srednjoj kinetičkoj energiji molekula.
- ◆ Toplina je oblik energije koji prelazi s tijela na okolinu (ili drugo tijelo) ili s okoline na tijelo samo zbog razlike temperatura.
- ◆ Kad se temperatura tijela izjednači s okolinom onda tijelo prima i predaje jednaku količinu topline te se kaže da je uspostavljena termodinamička (toplinska) ravnoteža.
- ◆ Nužan i dovoljan uvjet za toplinsku ravnotežu dvaju sistema je jednakost temperatura tih dvaju sistema.
- ◆ **MULTI ZAKON TERMODINAMIKE:** Ako je objekt A i objekt B u toplinskoj ravnoteži s objektom C onda su i objekti A i B međusobno u toplinskoj ravnoteži.

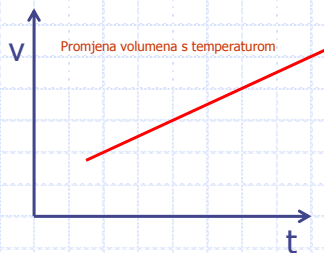
Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

4

Termometrija

◆ Kako izmjeriti temperaturu:

- odabrati mjerljivo svojstvo tijela (termometrijsko svojstvo) koje se mijenja s temperaturom npr. duljina, volumen, tlak, električni otpor
- poznavati ovisnost tog svojstva o temperaturi
- definirati temperaturnu ljestvicu pomoću dvije osnovne točke:
 - ♦ ledište vode pri 1 atm=101325 Pa (0°C; 32 °F, 0°R)
 - ♦ vrelište vode pri 1 atm=101325 Pa (100°C; 212°F, 80°R)



$$\frac{t_C - 0}{100} = \frac{t_R - 0}{80} = \frac{t_F - 32}{180}$$

Celsius Reaumu r Fahr enheit

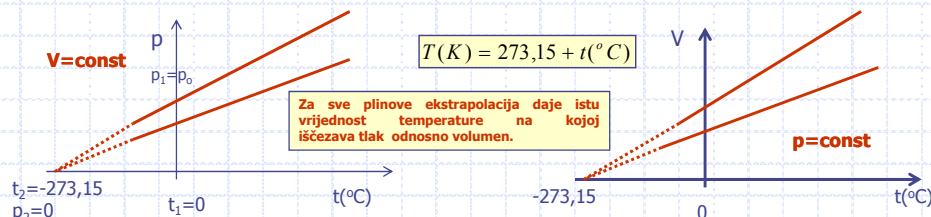
$$t_F = \frac{9}{5} t_C + 32$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

5

Termodinamička temperatura

- ◆ Celsiusova i Fahrenheitova temperaturna skala su proizvoljne, ne iskazuju fundamentalno značenje temperature, odnosno činjenicu da postoji univerzalna nulta temperatura, tzv. **apsolutna nula**.
- ◆ Kelvin je dio termodinamičke temperature koja je jednaka 1/273,16-tom dijelu termodinamičke temperature trojne točke vode ($t_T=0,01^\circ\text{C}$, $p_T=610\text{ Pa}$).
- ◆ Termodinamička definicija temperature ne ovisi o termometrijskim svojstvima tvari koja se koristi da se definiraju dvije referentne temperature.
- ◆ Granična najniža moguće temperatura je 0 K= - 273,15 °C (apsolutna nula)
- ◆ Najniža dostignuta temperatura iznosi 0,000 000 02 K
- ◆ Apsolutna nula odgovara stanju najmanjeg mogućeg gibanja atoma, ali ipak konačnog (kvantna mehanika)



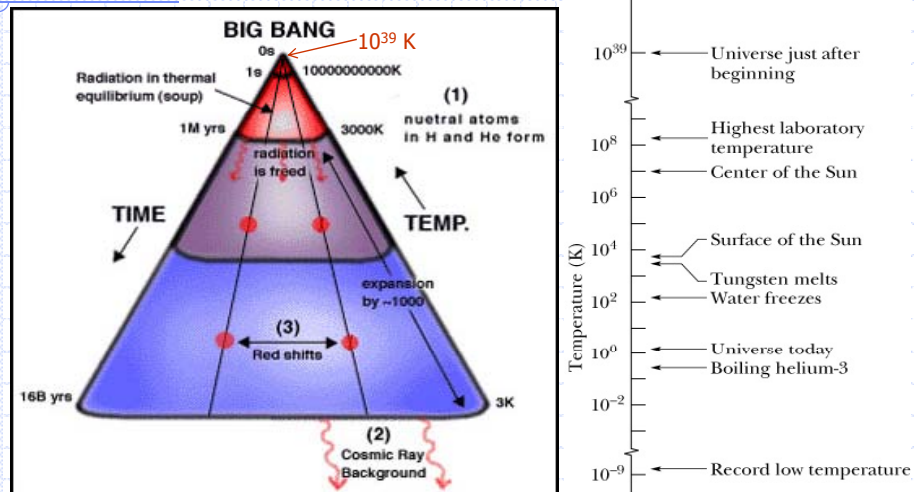
$$\begin{matrix} p_1 = p_o & t_1 = 0 & \text{izmjereni podaci} \\ p_2 = 0 & t_2 = -273,15 & \text{podaci ekstrapolacije} \end{matrix}$$

$$\text{jednadžba pravca kroz dvije točke: } \frac{p - p_o}{0 - p_o} = \frac{t - 0}{-273,15 - 0} \rightarrow p = p_o \left(1 + \frac{t}{273,15}\right)$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

6

Temperature u Svemiru

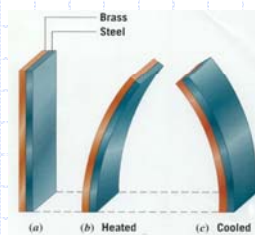


Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

7

Toplinsko rastezanje

Bimetal



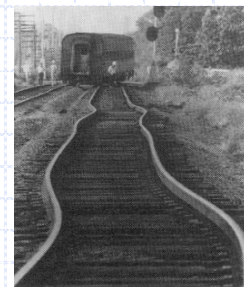
Dio mosta



Betonski blokovi



Željeznička pruga



Željeznička pruga u Ausbury Parku, New Jersey, deformirana zbog toplinskog rastezanja jednog vrućeg srpanjskog dana.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

8

Toplinsko rastezanje

- Toplinsko rastezanje je posljedica promjene srednje udaljenosti između molekula, ta se udaljenost povećava kako temperatura raste.

- Linearno rastezanje:

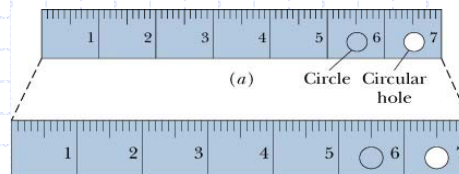
$$l = l_0(1 + \alpha(T - T_0)) = l_0(1 + \alpha\Delta T) \quad [\alpha] = K^{-1}$$

- Volumno rastezanje: ako se sve dimenzije jednako šire s temperaturom onda se volumen povećava s temperaturom.

$$V = l_0(1 + \alpha\Delta T) \cdot l_0(1 + \alpha\Delta T) \cdot l_0(1 + \alpha\Delta T) = l_0^3(1 + 3\alpha\Delta T + 3(\alpha\Delta T)^2 + (\alpha\Delta T)^3)$$

$\approx 0 \quad \approx 0$

$$V = V_0(1 + \gamma\Delta T) \quad \gamma = 3\alpha \quad [\gamma] = K^{-1}$$



Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

9

Toplinsko rastezanje

- Koeficijenti linearnog rastezanja za nekoliko materijala

Materijal	$\alpha (10^{-6}/K)$
Led (na 0°C)	51
Aluminij	29
Bakar	17
Beton	10
Čelik	12

Materijal	$\alpha (10^{-6}/K)$
Platina	9
Staklo (obično)	9
Staklo (Pyrex)	3
Dijamant	1,2
Kremen	0,5

- Koeficijenti toplinskog širenja za neke tekućine pri sobnoj temperaturi

Tekućina	$\gamma (10^{-3}/K)$
Alkohol (etanol)	1,1
Benzin	0,95

Tekućina	$\gamma (10^{-3}/K)$
Voda	0,2
Živa	0,18

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

10

Primjer 1 – Toplinsko rastezanje

- Jednog lijepog sunčanog dana u Splitu je u cisternu ukrvano 37 000 l dizel goriva koje je trebalo odvesti u Zagreb. Kad je cisterna stigla na odredište, u Zagrebu je temperatura bila 23 °C niža nego u Splitu. Koliko je litara goriva iskrcano u Zagrebu, ako je cisterna pri iskrcanju potpuno ispražnjena? Koeficijent toplinskog širenja dizel goriva je $9,5 \times 10^{-4} / K$, a koeficijent linearnog širenja čelika od kojeg je izgrađena cisterna je $11 \times 10^{-6} / K$.

$$V_{ZG} = V_{ST} (1 + \gamma \Delta T) \quad \Delta T = -23 K, \quad \gamma = 9,5 \cdot 10^{-4} K^{-1}$$

$$\Delta V = V_{ZG} - V_{ST} = V_{ST} \gamma \Delta T = 37000 (l) \cdot 9,5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K} (-23 K) = -808,45 l$$

$$V_{ZG} - V_{ST} = 37000 l - 808,45 l = 36191,55 l$$

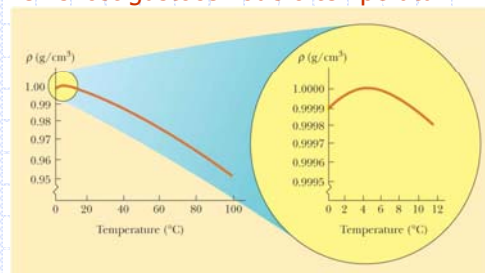
- Tko je platio razliku!?
- Rezultat: $V = 36,190 l$.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

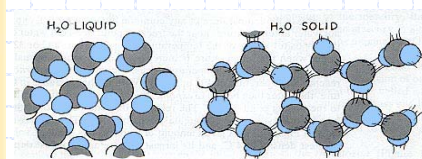
11

Toplinsko rastezanje - Anomalno ponašanje vode

Ovisnost gustoće vode o temperaturi



Molekule vode



Ovo ponašanje vode je razlog zašto se jezero smrzava od površine prema dnu, a ne obratno. Kako se voda hladi, od npr. 10 °C prema točki leđišta, postaje gušća (teža) od vode na većoj dubini i stoga tone na dno, sve dok joj temperatura ne dostigne iznos od 4°C. Ispod 4 °C, daljnjim hlađenjem voda postaje rjeđa (lakša) od vode na većoj dubini i stoga ostaje na površini dok se ne smrzne. Konačni rezultat je zamrznuta površina, uz tekući sloj vode na većoj dubini.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

12

Idealni plin

◆ Model **idealnog plina**

- Međumolekularne sile su zanemarive
- Volumen molekula je zanemariv u usporedbi s volumenom posude u kojoj se nalazi plin
- Molekule možemo smatrati materijalnim točkama koje jedna na drugu ne djeluju, osim u slučaju sudara.
- ◆ Većina plinova (npr. helij, vodik, zrak) može se dosta dobro aproksimirati modelom idealnog plina pri običnim tlakovima i temperaturama.
- ◆ Plin se to više približava idealnom što mu je tlak (gustoća) manji, a temperatura veća.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

13

Plinski zakoni

◆ Tri empirijska zakona:

- **Boyle-Mariottov zakon** (izotermni proces):

$$pV = konst. \quad (T = konst.)$$

- **Gay-Lussacov zakon** (izobarni proces):

$$V = V_0(1 + \alpha t) \quad (p = konst.)$$

$$\frac{V}{T} = konst.$$

- **Charlesov zakon** (izohorni proces):

$$p = p_0(1 + \alpha t) \quad (V = konst.)$$

$$\frac{p}{T} = konst.$$

$$\alpha = \frac{1}{273,15} K^{-1} \approx 3,66 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

14

Avogadrov zakon

- Mase atoma i molekula izražavaju se u atomskim jedinicama mase, $u=1,660 \times 10^{-27}$ kg.
- Masa $1/12$ ugljika C^{12} je 1 u, tj. praktički masa jednog protona ili neutrona.
- Atomska masa kisika je 16 u ili $16 \times 1/12$ ugljika C^{12} .
- Avogadrov zakon (1811):** Imaju li plinovi jednakog volumena i temperature jednake tlakove tada oni imaju jednaki broj molekula.
- Mol** je količina bilo koje tvari koji ima toliko osnovnih čestica (jedinki) koliko je atoma u 12 g ugljika ^{12}C . Pri tom jedinice mogu biti atomi, molekule, ioni i sl.
- 1 mol** bilo kojeg plina u pri $0^\circ C$ i normalnom tlaku $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ zauzima volumen od $22,4 \text{ l} = 22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, označavamo ga: V_{mo} volumen 1 mol
- Jedan mol bilo koje tvari sadrži **Avogadrov broj** istovrsnih jedinki (molekula, iona, atoma,...): $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Broj molova označava se s n, broj molekula je $N = N_A n$
- Kako nalazimo koliko grama neke tvari čini količinu tvari od jednog mola:**
 - Onoliko grama neke tvari koliko iznosi njezina atomska ili molekularna masa izražena u atomskim jedinicama mase (u) odnosno u jedinicama $1/12$ ugljika C^{12} je količina tvari od jednog mola.
 - M-molarna masa $[M] = \text{g/mol}$, $m(\text{g}) = n(\text{mol}) M(\text{g/mol})$, m-masa, n-broj molova

15

Jednadžba stanja idealnog plina

Početno stanje
(p_0, V_0, T_0)



Izobarno
zagrijavanje
(p_0, V', T)



Izotermna
kompresija
(p, V, T)

- Tri empirijska plinska zakona možemo sažeto izraziti jednom jednadžbom, koju zovemo jednadžba stanja idealnog plina

$$pV = n \frac{p_0 V_{mo}}{T_0} T = nRT$$

$$R = p_0 V_{mo} / T_0 = \frac{1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,0224 \text{ m}^3 / \text{mol}}{273,15 \text{ K}} = 8,314 \text{ J/(molK)}$$

- Jednadžba stanja idealnog plina**, u nekoliko oblika:

$$pV = nRT \quad pV = \frac{m}{M} RT \quad pV = Nk_B T \quad pV = \frac{N}{N_A} RT$$

$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1,38066 \times 10^{-23} \text{ (J/K)}, \text{ Boltzmanov a konstanta}$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

16

Količina topline, specifični toplinski kapacitet

- ◆ **Toplina** je energija koja prelazi s jednog tijela na drugo tijelo zbog njihove temperaturne razlike. Jedinica topline je džul (joule).
- ◆ **Toplinski kapacitet** nekog tijela definira se kao omjer topline Q , koju je potrebno dovesti tijelu da bi mu se povisila temperatura za ΔT , i temperaturne razlike ΔT :

$$C_i = Q / \Delta T$$
- ◆ **Specifični toplinski kapacitet**: veličina karakteristična za određeni materijal, ne ovisi o masi tijela, a definira se kao toplina potrebna da se nekoj tvari mase 1 kg promijeni temperatura za 1 K, $c = C_i / m$
- ◆ Pri zagrijavanju i hlađenju primljena odnosno predana toplina jest $Q = mc\Delta T$ gdje je c specifični toplinski kapacitet, m masa tijela, a ΔT promjena temperature.
- ◆ **Molarni toplinski kapacitet** jednak je umnošku molarne mase i specifičnog toplinskog kapaciteta $C = Mc$
- ◆ Pri definiciji specifičnog toplinskog kapaciteta moramo naznačiti proces kojim smo tijelo preveli iz početnog u konačno stanje, pa se obično definiraju **specifični toplinski kapaciteti pri stalnom tlaku c_p i pri stalnom volumenu c_v** :

$$c_p = \frac{1}{m} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{p=\text{konst.}} \quad c_v = \frac{1}{m} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{V=\text{konst.}}$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

17

Specifični toplinski kapacitet

- ◆ Specifični toplinski kapaciteti za neke čvrste tvari i tekućine

Tvar	c (kJ/kgK)
alkohol	2,4
aluminij	0,9
bakar	0,39
cink	0,39

Tvar	c (kJ/kgK)
led	2,1
olovo	0,13
platina	0,12
srebro	0,23

Tvar	c (kJ/kgK)
staklo	0,8
voda	4,19
željezo	0,45
živa	0,14

- ◆ Specifični toplinski kapaciteti nekih plinova

Plin	c_p (kJ/kg K)	c_v (kJ/kg K)
dušik (N_2)	1,04	0,74
helij (He)	5,23	3,15
kisik (O_2)	0,92	0,65
vodena para (H_2O)	1,9	1,4
vodik (H_2)	14,2	10,1
zrak ($N_2 + O_2$)	1	0,71

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

18

Fazni prijelazi i latentna toplina

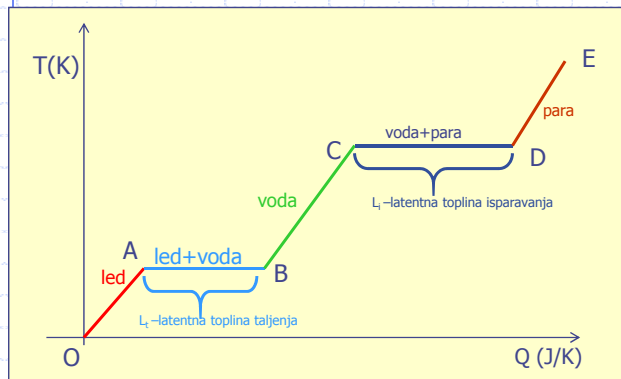
- ◆ Tvar se može nalaziti u tri različita agregatna stanja: **čvrstvom, tekućem i plinovitom**.
- ◆ Toplina koja se apsorbira ili oslobađa pri prijelazu jedne faze u drugu fazu zove se **latentna toplina transformacije**.
- ◆ Pri taljenju (očvršćivanju), tj. isparavanju (ukapljivanju) temperatura tališta ostaje nepromijenjena sve dok se sva tvar ne rastali, tj. sve dok ne ispari.
- ◆ **Toplina taljenja**, odnosno **očvršćivanja**, je $Q = \pm mL_t$, gdje je m masa tijela, a L_t specifična (latentna) toplina taljenja.
- ◆ **Toplina isparavanja**, odnosno **kondenzacije**, je $Q = \pm mL_i$, gdje je L_i specifična (latentna) toplina isparavanja.
- ◆ **Fazni dijagrami** pokazuju kako se mijenjaju svojstva sistema pri promjeni temperature, tlaka, odnosno volumena, posebno prijelaze sistema iz jednog agregatnog stanja u drugo.
- ◆ Sve tri faze su u ravnoteži, tj. tvar se može istovremeno nalaziti u istoj fazi, u tzv. **trojnoj točki**.
- ◆ Za vodu se ravnoteža svih triju faza postiže pri $p_t = 6,309 \text{ mbar}$ i $T_t = 273,16 \text{ K}$.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

19

Promjena agregatnog stanja

- ◆ Dovođenjem topline tvari ne samo da se mijenja temperatura tvari već se mijenja i agregatno stanje tj. fizikalna struktura tvari.



O → A zagrijavanje leda od 0 K do 273,15 K
A → B taljenje leda B → A skrućivanje
B → C zagrijavanje vode od 273,15 do 373,15 K
C → D vrenje vode (D → C kondenzacija vode)
D → E zagrijavanje pare
Talište i vrelište vode ovise o tlaku (L_v , L_i)
Voda vrije na 100 °C pri $p=1 \text{ atm}$
pri $P=5 \text{ atm}$ voda vrije na 152 °C

$Q = \pm mL_t$ L_t - latentna toplina transformacije
toplina koja se apsorbira ili oslobađa
pri prijelazu iz jednog agregatnog stanja u drugo

+ toplina ulazi u sistem tvar se tali
- toplina odlazi iz sistema tvar se skrućuje

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

20

Latentne topline transformacije

Materijal	Talište (°C)	L_t (kJ/kg)	Vrelište (°C)	L_v (kJ/kg)
alkohol	-114	105	78	850
aluminij	660	390	2 065	8 375
bakar	1 083	180	2 300	7 327
dušik	-210	26	-196	200
kisik	-219	14	-183	213
olovo	327	25		
platina	1 774	114	4 300	2 680
voda	0	333	100	2 260
željezo	1 535	23	3 000	6 780
živa	-39	12	357	280

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

21

Primjer 2–Promjena agregatnog stanja – *Domaći rad*

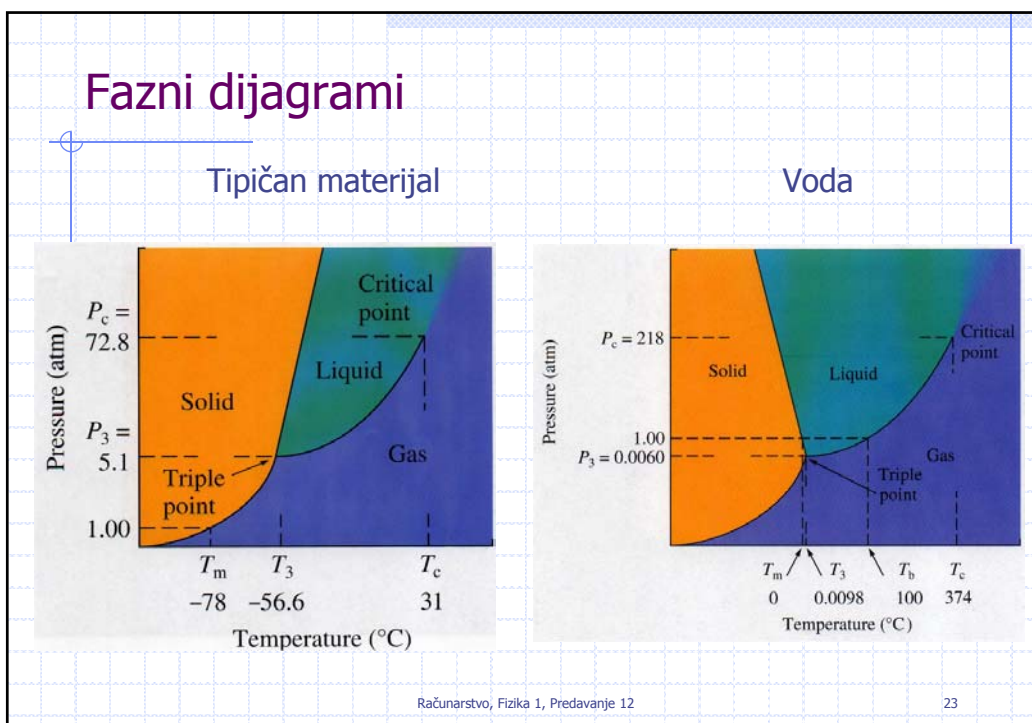
- ◆ a) Koliko topline bi absorbirao led mase $m = 720$ g i temperature -10 °C da se pretvori u vodu temperature 15 °C?
- ◆ b) Ako komad leda iste mase absorbira energiju od samo 210 kJ (u obliku topline) koje je onda konačno stanje i s kolikom temperaturom?

◆ Rezultat: a) $Q = 300$ kJ, b) 580 g vode i 140 g leda na 0 °C.

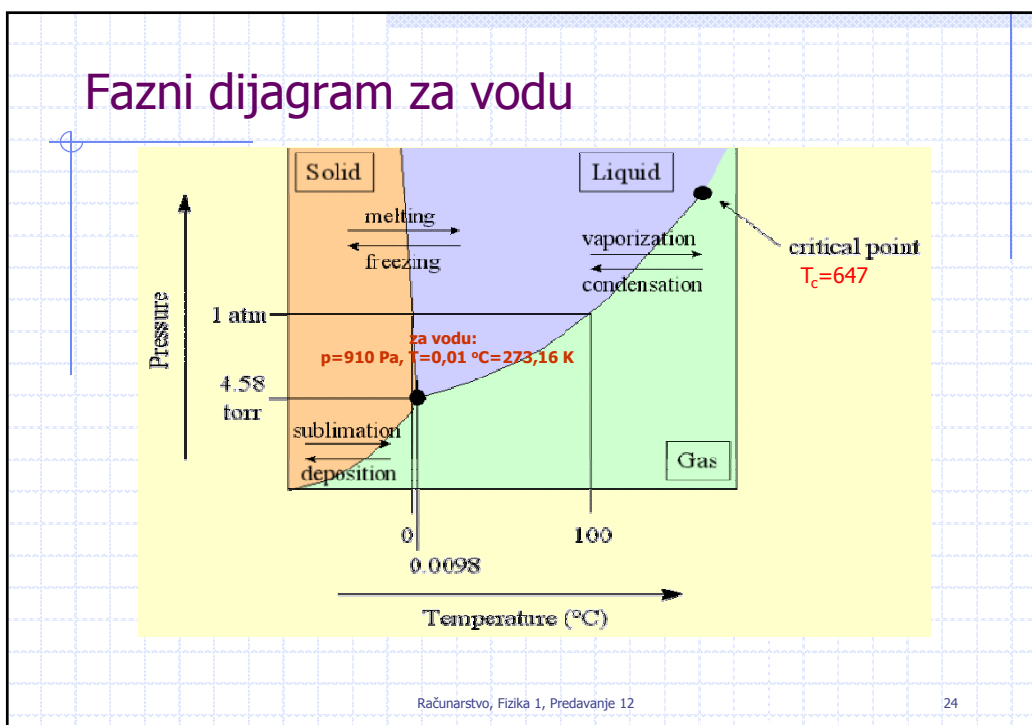
Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

22

Fazni dijagrami



Fazni dijagram za vodu



Koeficijenti toplinske vodljivosti nekih vrsta materijala na sobnoj temperaturi

Materijal	λ (W/mK)
srebro	420
bakar	385
aluminij	205
željezo	60
beton	1,3
staklo	0,8
žbuka	0,8
cigla	0,7
zemlja	0,5

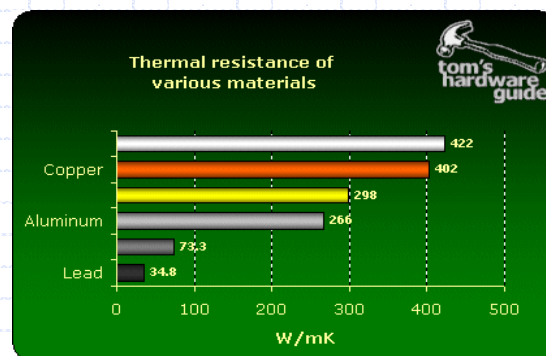
Materijal	λ (W/mK)
voda	0,6
azbestni cement	0,5
drvo	0,13
guma	0,15
papir	0,13
polistiren	0,01
staklena vuna	0,035
poliuretanska pjena	0,03
zrak	0,025

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

25

Toplinska vodljivost – Primjena u računalima

- Zbog izvrsne toplinske vodljivosti srebra za što bolje odvođenje topline pri hlađenju procesora koriste se **termalne paste bazirane na srebru** (i do 80% srebra) za što bolje prijanjanje procesora i hladnjaka, kako bi se izbjeglo stvaranje "zračnih čepova"



Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

26

Primjer 1 – Vođenje topline

- ◆ Betonski zid ($\lambda_1 = 1,3 \text{ W/(Km)}$), deo 30 cm, prekriven je s unutrašnje strane izolacijskim slojem debljine 2 cm i toplinske vodljivosti $\lambda_2 = 0,05 \text{ W/(Km)}$. Izračunajte gustoću toplinskog toka kroz zid ako je temperatura unutrašnje površine zida 20°C , a vanjske površine 0°C .

- ◆ Rezultat: $q = 33 \text{ W/m}^2$
- ◆ Domaći rad: pokažite da bi gustoća toplinskog toka kroz taj zid, ali bez izolacije, iznosila 87 W/m^2 .

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

27

Primjer 2 – Konvekcija

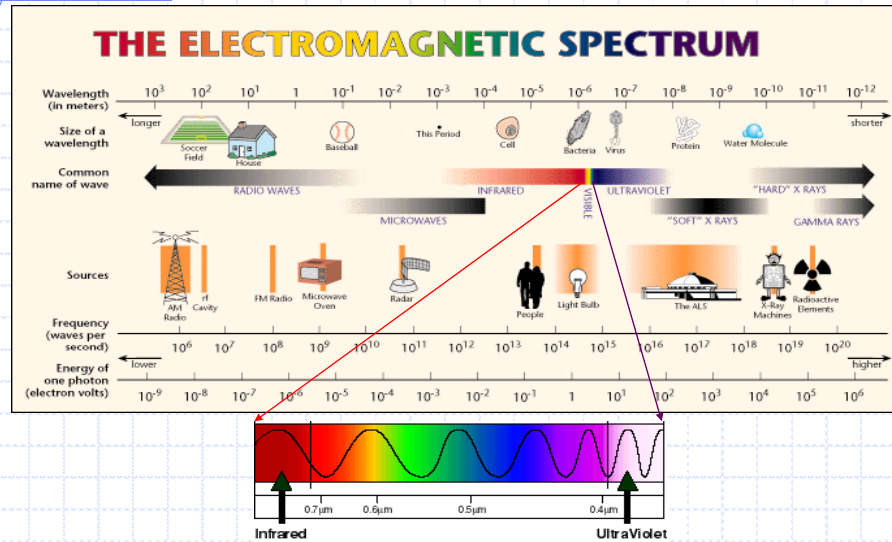
- ◆ A) Kolika je gustoća toplinskog toka kroz prozorsko staklo debljine 2 mm ako je temperatura zraka u sobi 20°C , a temperatura vanjskog zraka -10°C . Pretpostavite da je koeficijent konvekcije s vanjske strane $h_1 = 20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, a s unutrašnje strane $h_2 = 6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Toplinska vodljivost stakla je $\lambda = 0,8 \text{ W/(Km)}$.
- ◆ B) Kolika je gustoća toplinskog toka kroz dvostruki prozor, načinjen tako da je između stakala debljine 2 mm sloj zraka debljine 5 mm, ako je koeficijent prijenosa topline kroz taj sloj zraka $h_z = 4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$?

- ◆ Rezultat: a) $q = 137 \text{ W/m}^2$, b) $q = 64 \text{ W/m}^2$.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

28

Spektar elektromagnetskih valova



Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

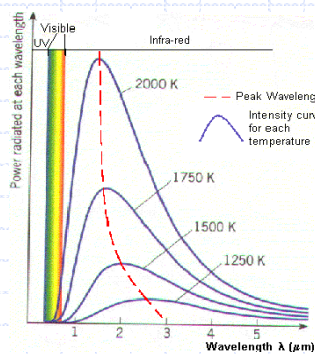
29

Toplinsko zračenje

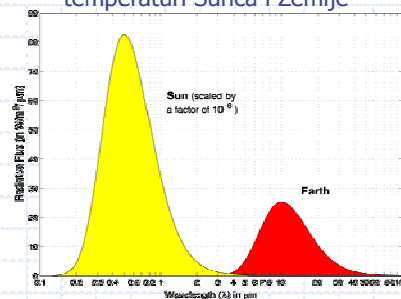
- Termogram kuća duž jedne ulice



- Zračenje crnog tijela



- Zračenje crnog tijela na temperaturi Sunca i Zemlje



Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

30

Sažetak (1)

- ❖ **Temperatura** je fizikalna veličina koja karakterizira stupanj zagrijanosti nekog tijela i **proporcionalna je srednjoj kinetičkoj energiji molekula** tijela, a mjeri se u kelvinima (K).
- ❖ **Definicija temperature:** kelvin je $1/273,16$ -ti dio termodinamičke temperature trojnog stanja vode.
- ❖ **Toplina** prelazi s toplijeg na hladnije tijelo sve dok se ne uspostavi toplinska ravnoteža. Tada oba tijela imaju istu temperaturu.
- ❖ Pri izradi uređaja za mjerenje temperature (termometri) iskorištavaju se slijedeća svojstva: dimenzije krutih tijela, volumen tekućina, električni otpor metala, tlak plina pri stalnom volumenu, elektromotorna sila termočlanka i ovisnost zračenja o temperaturi.
- ❖ U Celsiusovoj temperaturnoj skali temperatura ledišta vode označava se kao nula ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), a temperatura vrelišta kao $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Razmak između te dvije fiksne točke dijeli se na 100 dijelova, od kojih svaki odgovara promjeni temperature za $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- ❖ Veza između termodinamičke temperature T_K i Celsiusove temperature T_C jest: **$T_K = 273,15 + T_C$** .
- ❖ Temperaturni interval izražen u kelvinima **jednak je** temperaturnom intervalu izraženom Celsiusovima stupnjevima.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

31

Sažetak (2)

- ❖ **Linearno rastezanje:** dužina nekog tijela, zagrijanog od početne dužine l_0 pri temperaturi T_0 do konačne temperature T i dužine l , mijenja se prema izrazu,

$$l = l_0(1 + \alpha(T - T_0)) = l_0(1 + \alpha\Delta T)$$
gdje je α koeficijent linearnog rastezanja.
- ❖ **Volumno rastezanje** čvrstih tijela i tekućina računa se pomoću relacije $V = V_0(1 + \gamma\Delta T)$ gdje je $\gamma = 3\alpha$ koeficijent volumnog rastezanja (toplinskog širenja).
- ❖ Koeficijent toplinskog širenja tekućina je za red veličine veći nego čvrstih tijela.
- ❖ **Idealni plin:** međumolekularne sile zanemarive, volumen molekula zanemariv u usporedbi s volumenom posude u kojoj se nalazi plin, molekule možemo smatrati materijalnim točkama koje jedna na drugu ne djeluju, osim u slučaju sudara.
- ❖ **Boyle-Mariottov zakon** (izotermni proces):

$$pV = \text{konst.} \quad (T = \text{konst.})$$
- ❖ **Gay-Lussacov zakon** (izobarni proces):

$$V = V_0(1 + \alpha t) \quad (p = \text{konst.}) \Rightarrow V/T = \text{konst.}$$
- ❖ **Charlesov zakon** (izohorni proces):

$$p = p_0(1 + \alpha t) \quad (V = \text{konst.}) \Rightarrow p/T = \text{konst.}$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

32

Sažetak (3)

- ◆ **Avogadrov zakon:** Jednaki volumeni svih plinova pri istoj temperaturi i tlaku imaju jednak broj čestica.
- ◆ **Mol** je količina tvari sustava koji ima toliko osnovnih čestica (jedinki) koliko je atoma u 12 g ugljika ^{12}C . Pri tom jedinice mogu biti atomi, molekule, ioni i sl.
- ◆ **Količina tvari 1 mol** bilo kojeg plina u istim uvjetima ima jednak volumen, koji se zove molarni volumen plina. U normiranim uvjetima molarni volumen V_{m0} iznosi 22,4 l.
- ◆ **Univerzalna plinska konstanta R** definirana je izrazom:

$$R = p_0 V_{m0} / T_0 = 8,314 \text{ J/(molK)}$$

- ◆ **Jednadžba stanja idealnog plina**, u nekoliko oblika:

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \quad pV = nRT$$

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad pV = NkT$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

33

Sažetak (4)

- ◆ **Toplina** je energija koja prelazi s jednog tijela na drugo tijelo zbog njihove temperaturne razlike. Jedinica topline je džul (joule).
- ◆ **Toplinski kapacitet** nekog tijela definira se kao omjer topline Q , koju je potrebno dovesti tijelu da bi mu se povisila temperatura za ΔT , i temperaturne razlike ΔT :

$$C_t = Q / \Delta T$$

- ◆ **Specifični toplinski kapacitet:** veličina karakteristična za određeni materijal, ne ovisi o masi tijela, a definira se kao toplina potrebna da se nekoj tvari mase 1 kg promijeni temperatura za 1 K, $c = C_t / m$

- ◆ Pri zagrijavanju i hlađenju primljena odnosno predana toplina jest $Q = mc\Delta T$ gdje je c specifični toplinski kapacitet, m masa tijela, a ΔT promjena temperature.

- ◆ **Molarni toplinski kapacitet** jednak je umnošku molarne mase i specifičnog toplinskog kapaciteta $C = Mc$

- ◆ Pri definiciji specifičnog toplinskog kapaciteta moramo naznačiti proces kojim smo tijelo preveli iz početnog u konačno stanje, pa se obično definiraju **specifični toplinski kapaciteti pri stalnom tlaku** c_p i **pri stalnom volumenu** c_v :

$$c_p = \frac{1}{m} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{p=\text{konst.}} \quad c_v = \frac{1}{m} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{V=\text{konst.}}$$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

34

Sažetak (5)

- ◆ Tvar se može nalaziti u tri različita agregatna stanja: **čvrstvom, tekućem i plinovitom.**
- ◆ Toplina koja se apsorbira ili oslobađa pri prijelazu jedne faze u drugu fazu zove se **latentna toplina transformacije.**
- ◆ Pri taljenju (očvršćivanju), tj. isparavanju (ukapljivanju) temperatura tališta ostaje nepromijenjena sve dok se sva tvar ne rastali, tj. sve dok ne ispari.
- ◆ **Toplina taljenja**, odnosno **očvršćivanja**, je $Q = mL_t$, gdje je m masa tijela, a L_t specifična (latentna) toplina taljenja.
- ◆ **Toplina isparavanja**, odnosno **kondenzacije**, je $Q = mL_i$, gdje je L_i specifična (latentna) toplina isparavanja.
- ◆ **Fazni dijagrami** pokazuju kako se mijenjaju svojstva sistema pri promjeni temperature, tlaka, odnosno volumena, posebno prijelaze sistema iz jednog agregatnog stanja u drugo.
- ◆ Sve tri faze su u ravnoteži, tj. tvar se može istovremeno nalaziti u istoj fazi, u tzv. **trojnoj točki.**
- ◆ Za vodu se ravnoteža svih triju faza postiže pri $p_t = 6,309$ mbar i $T_t = 273,16$ K.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

35

Sažetak (6) – Prijenos topline

- ◆ **Vođenje topline**
 - Ako u nekom sredstvu postoji temperaturna razlika, nastat će **vođenje** topline, i toplinska energija će prelaziti iz područja više temperature u područje niže temperature.
 - Vođenje topline kroz homogeni materijal može se računati pomoću **Fourierovog zakona**: $Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S t$
- gdje je λ koeficijent toplinske vodljivosti materijala, ΔT razlika temperatura na krajevima slojeva udaljenih za Δx , a S površina kroz koju prolazi toplina u vremenu t .
- **Toplinski tok** je omjer topline i vremena: $\Phi = Q/t$
 - **Gustoća toplinskog toka** je omjer toplinskog toka i površine: $q = \Phi/S$
 - **Toplinski otpor R** definira se izrazom $R = \Delta T/\Phi$
 - Za vođenje topline vrijedi: $R = \Delta x / (\lambda S)$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

36

Sažetak (7) – Prijenos topline

◆ Konvekcija

- U tekućinama i plinovima topline se prenosi uglavnom konvekcijom, tj. strujanjem fluida s jednog mjesta na drugo mjesto.
- Prijenos topline konvekcijom možemo računati pomoću Newtonova zakona hlađenja: $q = h_c(T_p - T_f)$
gdje je T_p temperatura čvrste plohe uz koju struji fluid, T_f temperatura fluida dalje od granične plohe, a h_c koeficijent konvekcije.
- Toplinski otpor za konvekciju: $R = 1/(h_c S)$

◆ Toplinsko zračenje

- Toplinsko zračenje nastaje kad atomi ili molekule tijela, pobuđeni termičkim gibanjem, emitiraju elektromagnetske valove.
- Kada zračenje upada na površinu nekog neprozirnog tijela, dio upadnog zračenja se odbija, a dio apsorbira.
- Omjer apsorbiranog i upadnog toka zove se faktor apsorpcije: $\alpha = \Phi_a / \Phi_u$
- Omjer reflektiranog i upadnog toka zove se faktor refleksije: $\rho = \Phi_r / \Phi_u$

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

37

Sažetak (8) – Prijenos topline

◆ Toplinsko zračenje

- Idealno crno tijelo potpuno apsorbira sve upadno zračenje, tj. $\alpha_{ct} = 1$.
- Tijelo koje djelomično, ali podjednako reflektira sve valne dužine zove se sivo tijelo.
- Stefan-Boltzmannov zakon: ukupna energija koju u jedinici vremena izrači jedinica površine crnog tijela u čitav poluprstor iznad te površine jednaka je $M_{ct} = \sigma T^4$
gdje je $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.
- (Wienov zakon: valna dužina λ_m kod koje spektralna gustća zračenja postiže maksimum, ovisi o temperaturi crnog tijela i pomiče se prema kraćim valnim duljinama, tj. vrijedi $\lambda_m T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ Km}$)

◆ Prijenos topline zračenjem

- Pri razmatranju prijenosa topline zračenjem treba uzeti u obzir energiju koju tijelo izrači i energiju što je apsorbira, te rezultatni toplinski tok dobiti kao razliku tih dvaju tokova.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

38

Pitanja za provjeru znanja

1. **Što je toplina, a što temperatura? Ukratko objasnite: a) toplinsko rastezanje čvrstih tijela, tekućina i plinova i b) jednadžbu stanja idealnog plina. (obavezno)**
2. **O čemu ovisi količina toplina potrebna da se zagrije neko tijelo? Definirajte i ukratko objasnite specifični toplinski kapacitet nekog tijela. Ukratko objasnite agregatna stanja tvari. (obavezno)**
3. Što je temperatura? Kako možemo temperaturu tijela povezati s gibanjem molekula? Kako se mjeri temperatura? Koje temperaturne skale poznajete?
4. Kako se računa linearno i volumno rastezanje? Kako se računa koeficijent linearnog rastezanja čvrstog tijela? Što znate o temperaturnom rastezanju tekućina, posebno vode? Navedite neke primjene toplinskog rastezanja.
5. Što je idealni plin? Objasnite Boyle-Mariotteov zakon, Gay-Lussacov i Charlesov zakon za idealni plin. Iz plinskih zakona izvedite jednadžbu stanja idealnog plina.
6. Što kaže Avogadrov zakon? Što je univerzalna plinska konstanta? Iz činjenice da molarni volumen idealnog plina iznosi 22,4 l u normiranim uvjetima, izračunajte plinsku konstantu.
7. O čemu ovisi količina toplina potrebna da se zagrije neko tijelo? Definirajte i objasnite: toplinski kapacitet, specifični toplinski kapacitet i molarni toplinski kapacitet. Kako se definira specifični toplinski kapacitet pri stalnom tlaku i stalnom volumenu?
8. Nacrtajte T-Q dijagram za vodu u području $263 < T < 400$ K i objasnite prijelaz iz jednog agregatnog stanja u drugo agregatno stanje. Što su specifične (latentne) topline transformacije? Objasnite što je trojna točka vode.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 12

39

Pitanja za provjeru znanja

1. **Na koje načine se može prenositi toplina? Ukratko objasnite svaki od načina. (obavezno)**
2. Kako se toplina prenosi vođenjem? Što kaže Fourierov zakon? Što je toplinska vodljivost materijala? Što je toplinski otpor?
3. Kako se toplina prenosi konvekcijom? Definirajte koeficijent konvekcije.
4. Što znate o toplinskom zračenju? O čemu ovisi toplinsko zračenje nekog tijela? Kako se toplina prenosi zračenjem?

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 13

40