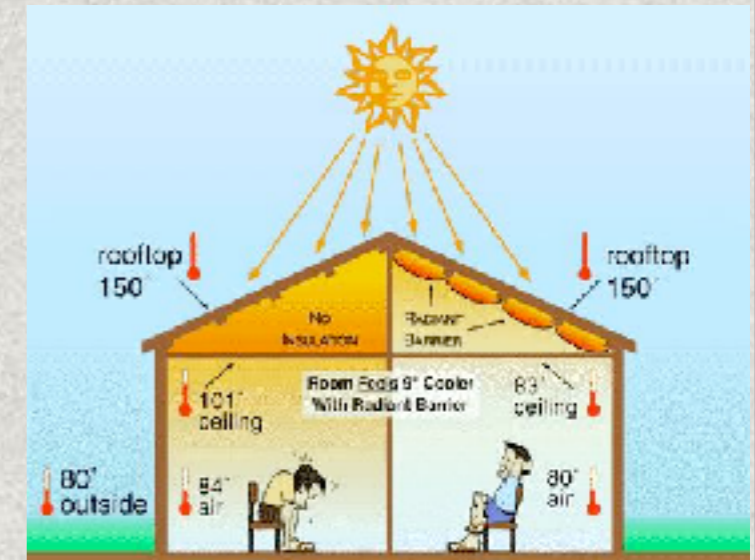




Temperatura i toplina

Temperatura i termička ravnoteža

- koncept temperature ukorijenjen je u kvalitativnim predodžbama o 'toplom' i 'hladnom'
- tijelo koje je po osjetu toplo obično ima višu temperaturu nego isto tijelo koje je po osjetu hladno
- no, osjetila često varaju
- postoji mnogo svojstava tvari koje se mogu mjeriti a ovise izravno o temperaturi
- npr. dužina metalnog štapa, tlak pare u grijaču vode, električna vodljivost žice, boja užarenog objekta, ...
- temperatura je također usko povezana s kinetičkom energijom molekula tijela
- važno je ne brkati temperaturu i toplinu!
- da bi koristili temperaturu kao mjeru topline ili hladnoće nužno je konstruirati temperaturnu skalu - koristeći bilo koje mjerljivo svojstvo koje ovisi o 'toplini', odnosno 'hladnoći'



- visina tekućine L , tlak p i električna otpornost ρ se mijenjaju ovisno o temperaturi
- svako od ovih svojstava može se iskoristiti za izradu **termometra**

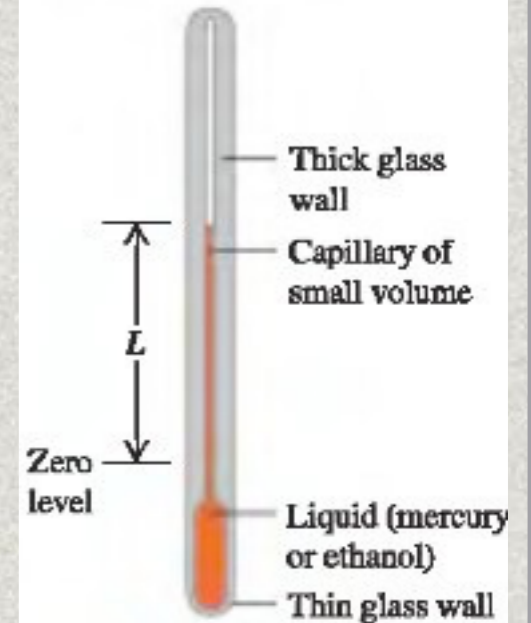
Mjerenje temperature:

1. termometar se stavlja u dodir s tijelom
2. zbog interakcije s tijelom, termometar se zagrijava (tijelo se hladi!)
3. kada je razina žive prestala rasti očita se temperatura
4. sustav je došao u ravnotežno stanje - interakcija između termometra i tijela više ne izaziva promjenu u sustavu

Ovo stanje nazivamo termička ravnoteža (ekvilibrij)

- Ukoliko su tijela razdvojena **toplinskim izolatorom** (drvo, plastična pjena, staklena vuna) njihova međusobna interakcija se znatno usporava - npr. vreće za spavanje
- nasuprot tome: **toplinski vodič**

(a) Changes in temperature cause the liquid's volume to change.



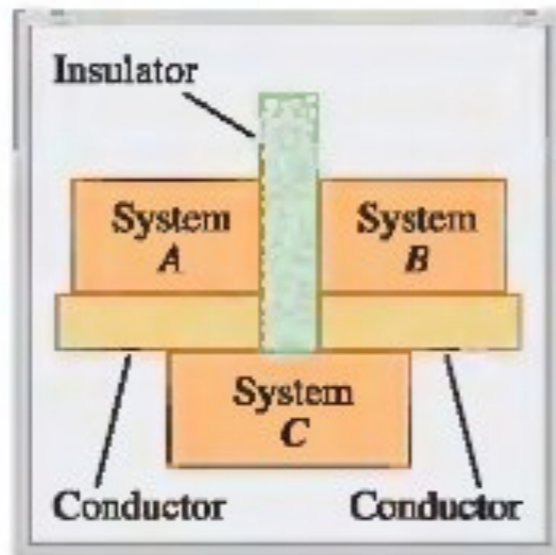
(b) Changes in temperature cause the pressure of the gas to change.



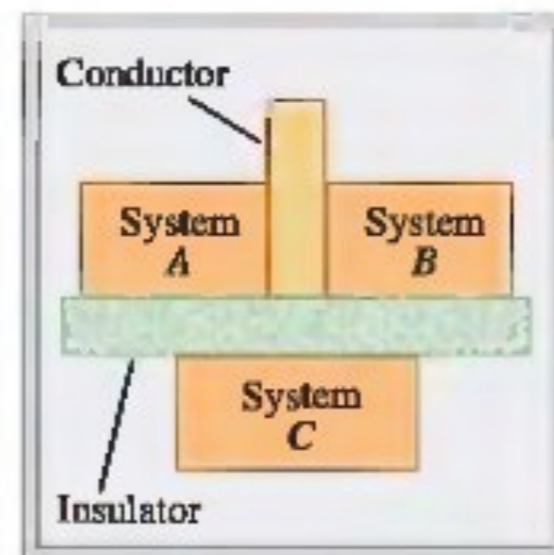
Nulti zakon termodinamike

Tri tijela: A, B i C. A i B su međusobno razdvojena idealnim izolatorom, a C je u kontaktu i s tijelom A i s tijelom B.

(a) If systems A and B are each in thermal equilibrium with system C ...



(b) ... then systems A and B are in thermal equilibrium with each other.



UKOLIKO JE TIJELO C U TERMIČKOJ RAVNOTEŽI S TIJELIMA A I B, TADA SU I TIJELA A I B U MEĐUSOBNOJ TERMIČKOJ RAVNOTEŽI

DVA SUSTAVA SU U TERMIČKOJ RAVNOTEŽI AKO I SAMO AKO IMAJU ISTU TEMPERATURU

Termometri i temperaturne skale

Celzijeva temperaturna skala:

- temperaturu ledišta vode označimo s 0, temperaturu vrelišta vode označimo sa 100 međusobni razmak podijelimo na 100 ekvidistantnih dijelova koje nazivamo stupnjevi
- celzijev stupanj (°C)

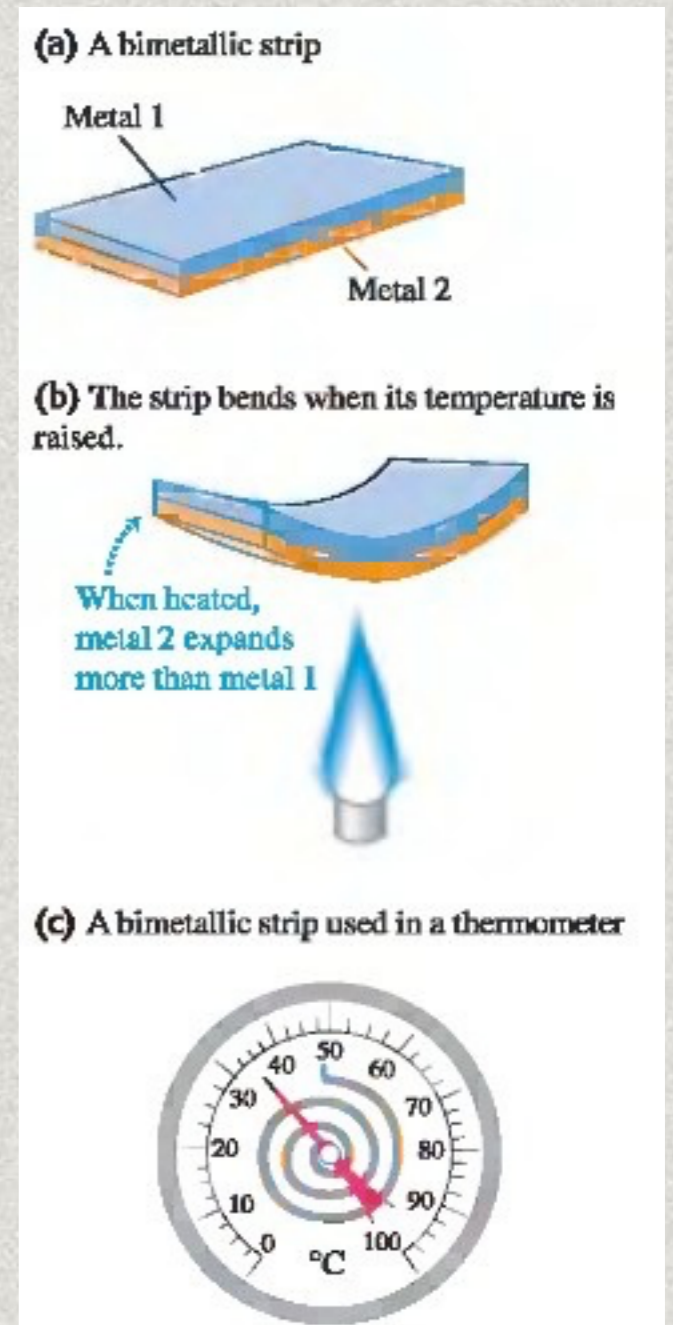
Termometri: živin, bimetalni, otporni, infracrveni...

Fahrenheitova temperaturna skala:

- temperatura ledišta vode je 32°F
- temperatura vrelišta vode je 212°F
- pretvorba u Celzijevu skalu

- * smjesa leda, vode, amonijevog klorida
1:1:1; 0°F = -17.78°C
- * smjesa leda i vode; 32°F = 0°C
- * temperatura ljudske krvi; 96°F = 37°C

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ$$
$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32^\circ)$$



BIMETAL

<https://www.youtube.com/watch?v=sP5NwEkd3ds>

Kelvinova skala

Problem: dva različita termometra (npr. živin i bimetal) baždareni tako da se podudaraju na dvije temperature (npr. 0°C i 100°C) ne moraju nužno pokazivati istu vrijednost za neku međutemperaturu!

Želimo definirati skalu koja ne ovisi o svojstvima materijala.

U tu svrhu koristimo gotovo idealan termometar - **plinski termometar**.

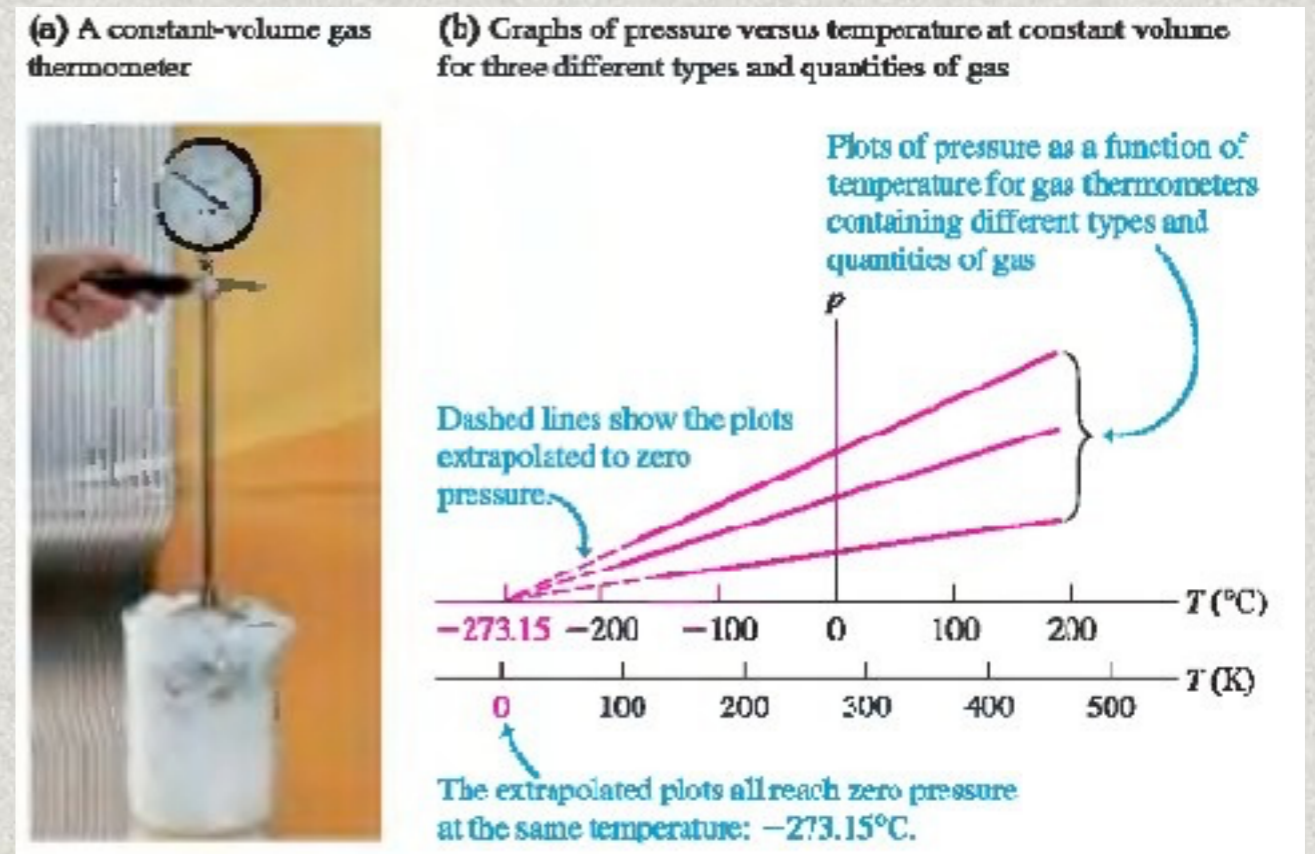
On radi na principu povećanja tlaka plina s temperaturom pri konstantnom volumenu.

Ekstrapolacija grafova dovodi do temperature od -273.15°C gdje je tlak za sve plinove jednak 0 Pa!

KELVINOVA SKALA:

$$T_K = T_C + 273.15 K$$

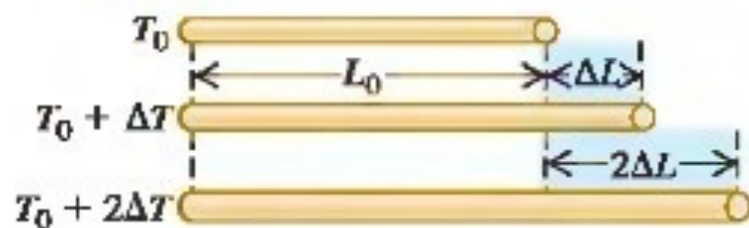
Kelvin (K) je SI jedinica za temperaturu!



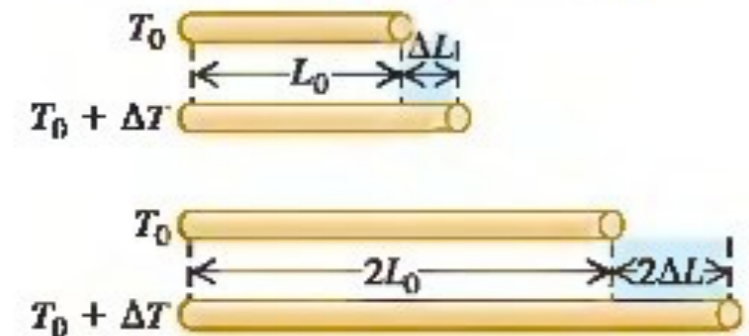
Termičko širenje

Većina stvari se širi s povećanjem temperature - **termičko širenje**.

(a) For moderate temperature changes, ΔL is directly proportional to ΔT .



(b) ΔL is also directly proportional to L_0 .



Linearno širenje

- šipka početne duljine L_0 i početne temperature T_0
- temperatura se promijeni za ΔT , duljina šipke se promijeni za ΔL
- eksperiment pokazuje da je ΔL proporcionalan s ΔT
- ΔL je također proporcionalan s L_0

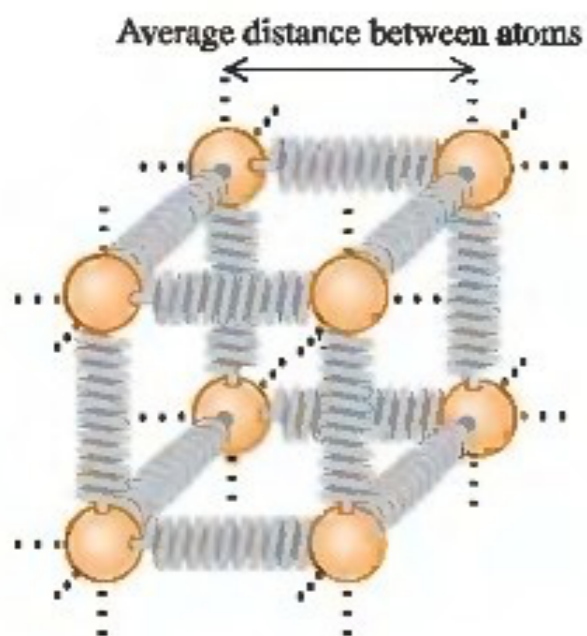
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

$$L = L_0 + \Delta L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

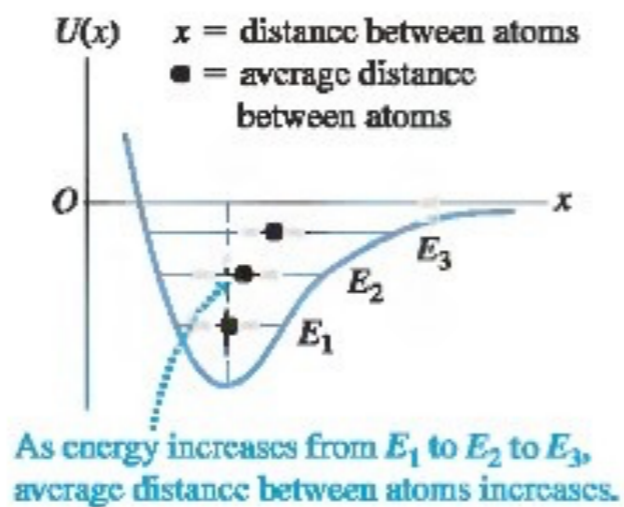
Konstanta α naziva se koeficijent linearnog širenja i karakteristika je svakog materijala. Mjerna jedinica je K^{-1} ili $(^\circ C)^{-1}$

Ovo vrijedi za svaku linearnu dimenziju tijela: duljinu, visinu, promjer....

(a) A model of the forces between neighboring atoms in a solid



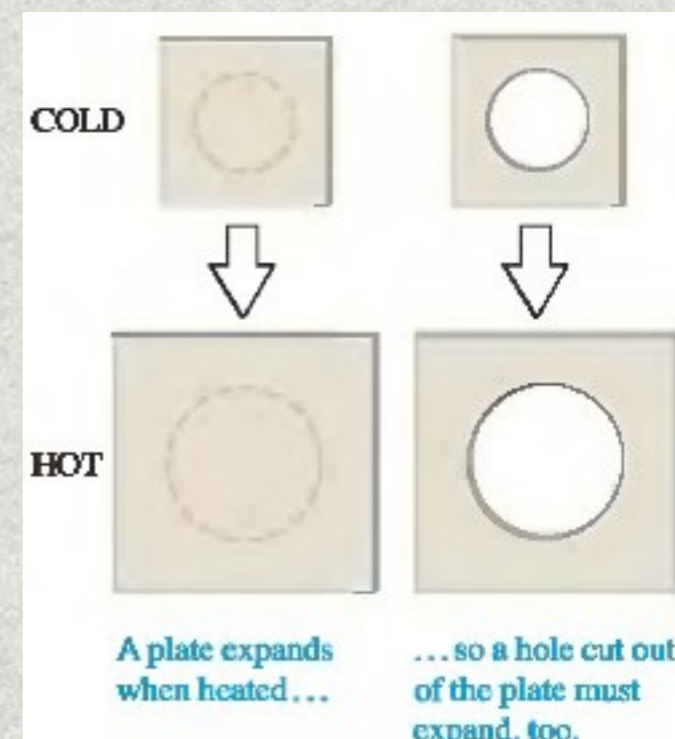
(b) A graph of the "spring" potential energy $U(x)$



Model termičke ekspanzije:
- viša temperatura \rightarrow veća energija i amplituda titranja atoma

Konceptualno pitanje:

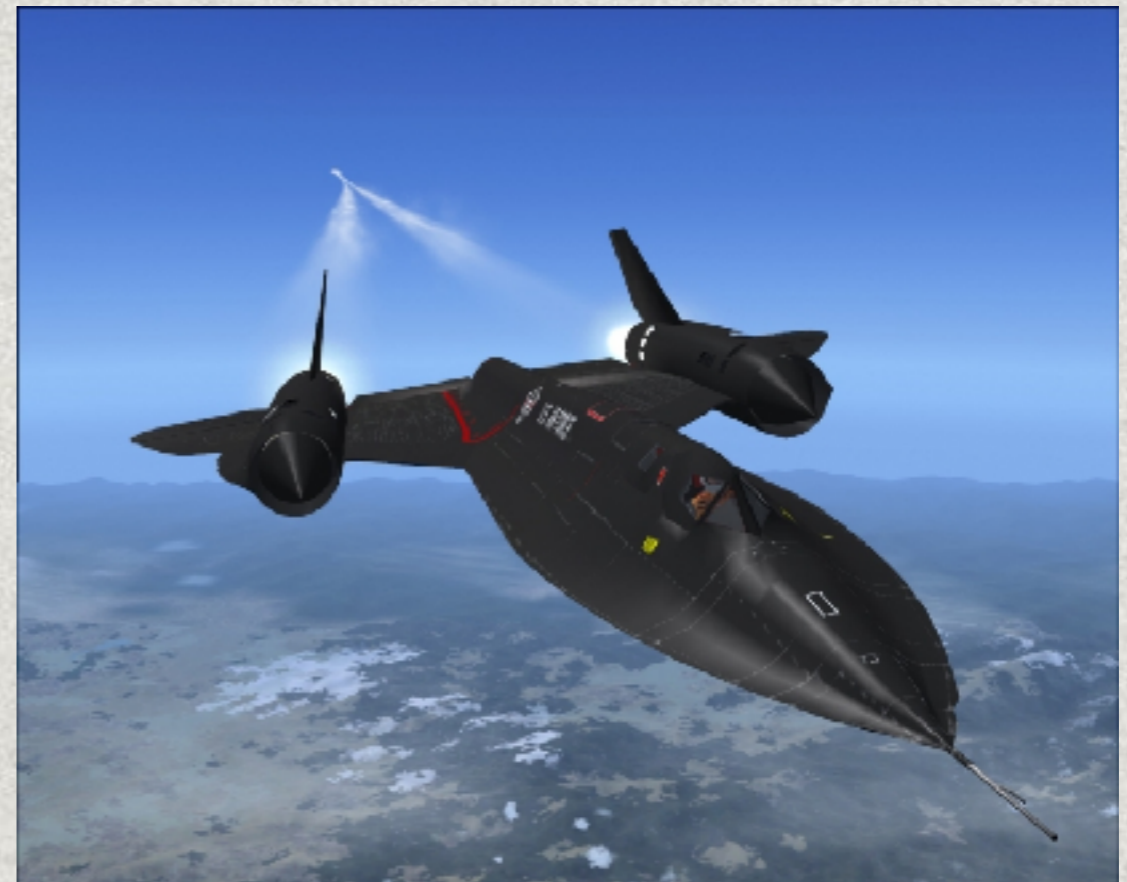
ukoliko grijemo objekt koji u sebi ima rupu, što se dešava s dimenzijama rupe? da li se promjer povećava ili smanjuje?



Koeficijenti linearnog širenja:

Table 17.1 Coefficients of Linear Expansion

Material	α [K^{-1} or $(\text{C}^\circ)^{-1}$]
Aluminum	2.4×10^{-5}
Brass	2.0×10^{-5}
Copper	1.7×10^{-5}
Glass	$0.4\text{--}0.9 \times 10^{-5}$
Invar (nickel-iron alloy)	0.09×10^{-5}
Quartz (fused)	0.04×10^{-5}
Steel	1.2×10^{-5}



Primjer: nadzvučni avion SR-71

Volumno širenje

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

Konstanta β naziva se koeficijent volumnog širenja i karakteristika je svakog materijala.

Mjerna jedinica je K^{-1} ili $(^\circ\text{C})^{-1}$

Veza između linearnog i volumnog koeficijenta širenja:

- zamislimo kocku brida L i obujma L^3
- na početnoj temperaturi L_0 i V_0
- temperatura se povisi za dT , brid i volumen za dL , tj. dV :

$$dV = \frac{dV}{dL} dL = 3L^2 dL$$

$$dL = \alpha L_0 dT$$

$$dV = 3L_0^2 \alpha L_0 dT = 3\alpha L_0^3 dT = 3\alpha V_0 dT$$

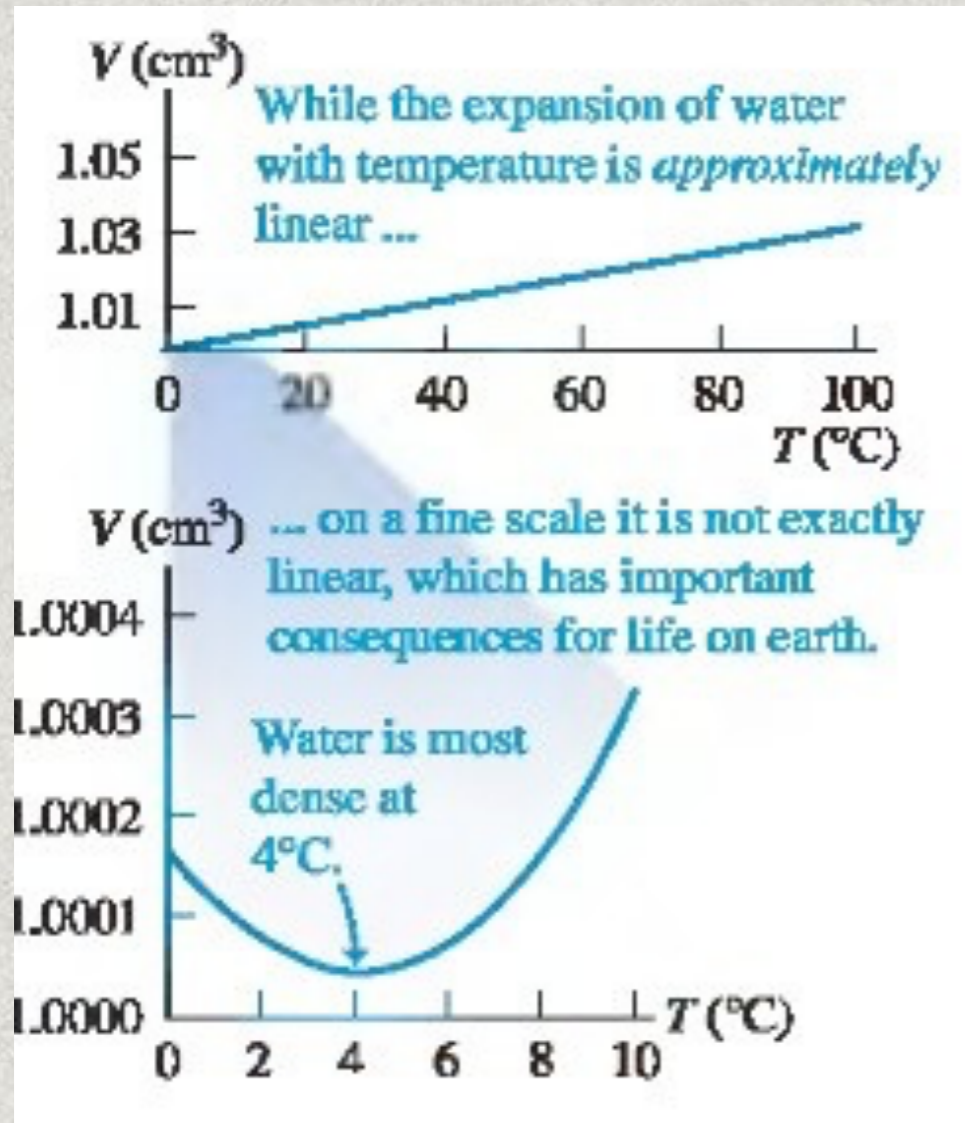
$$\beta = 3\alpha$$

Koeficijenti volumnog širenja:

Table 17.2 Coefficients of Volume Expansion

Solids	β [K^{-1} or $(^\circ\text{C})^{-1}$]	Liquids	β [K^{-1} or $(^\circ\text{C})^{-1}$]
Aluminum	7.2×10^{-5}	Ethanol	75×10^{-5}
Brass	6.0×10^{-5}	Carbon disulfide	115×10^{-5}
Copper	5.1×10^{-5}	Glycerin	49×10^{-5}
Glass	$1.2\text{--}2.7 \times 10^{-5}$	Mercury	18×10^{-5}
Invar	0.27×10^{-5}		
Quartz (fused)	0.12×10^{-5}		
Steel	3.6×10^{-5}		

Termičko širenje vode



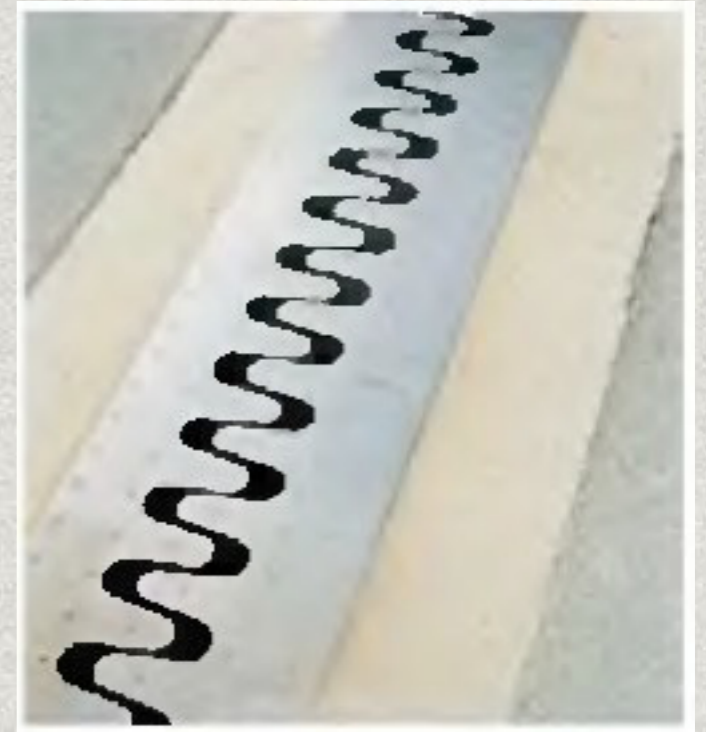
Gustoća voda se povećava od 0°C do 4°C gdje je najveća! ($\beta < 0$)
Nakon toga gustoća pada gotovo linearno. ($\beta > 0$)

Ovaj fenomen ima veliki efekt na biljni i životinjski svijet u jezerima! Voda na dnu jezera ostaje pri temperaturi od 4°C dok gotovo cijelo jezero nije zamrznuto. Kada to ne bi bilo tako, topla voda bi se kretala prema površini i jezero bi se smrzavalo od dna i to mnogo brže!

Termičko naprezanje

- učvrstimo oba kraja metalne šipke i grijemo ju (ili hladimo)
- šipka ima tendenciju širenja (ili skupljanja) i djeluje silom na držače
- ta pojava naziva se **termičko naprezanje**
- naprezanje može biti toliko jako da dolazi do pucanja šipke
- posebno je bitno u graditeljstvu!

spojka na mostu



- gledamo šipku presjeka A i duljine L_0
- duljinu držimo konstantnom, a temperaturu smanjimo za ΔT
- kada duljina ne bi bila konstantna:

$$\left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)_{term} = \alpha \Delta T$$

- ΔT i ΔL su negativni
- naprezanje se mora povećati za iznos F koji je baš dovoljan da izazove jednako (ali suprotnog smjera) produljenje u duljini šipke

Prisjetimo se definicije Youngovog modula:

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} \Rightarrow \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)_{\text{naprezanje}} = \frac{F}{AY}$$

$$F = Y \cdot A \cdot \frac{\Delta l}{l_0}$$

Da bi duljina ostala nepromijenjena, ukupna promjena mora biti 0:

$$\left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)_{\text{term}} + \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)_{\text{naprezanje}} = \alpha \Delta T + \frac{F}{AY} = 0$$

Čime dolazimo do:

$$\frac{F}{A} = -Y \alpha \Delta T \quad (\text{termičko naprezanje})$$

Količina topline

Hladnoj žličici uronjenoj u vruću kavu temperatura polako raste sve dok se temperature kave i žličice se ne izjednače - stanje termičke ravnoteže

- interakcija koja dovodi do izjednačavanja temperatura je esencijalno **prijenos energije**

- prijenos energije koji nastaje isključivo zbog razlike u temperaturi naziva se **tok topline** ili **prijenos topline**

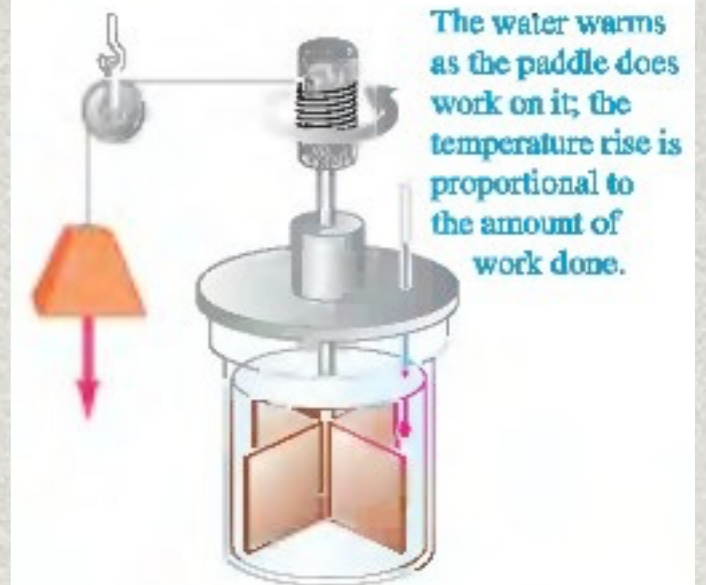
-razumijevanje veze između topline i drugih oblika energije polako se razvijalo za vrijeme 18. i 19. stoljeća

- Sir James Joule (1818-1889) proučavao zagrijavanje vode tako da su u nju bile uronjene rotirajuće lopatice

- rad koji je obavljen na vodi izaziva **proporcionalan** porast temperature → pretvorba energije

Toplina je energija u prijelazu s jednog sustava na drugi zbog razlike u temperaturi!

(a) Raising the temperature of water by doing work on it



(b) Raising the temperature of water by direct heating



- jedinicu količine topline možemo definirati pomoću temperature:

Kalorija (cal) je količina topline potrebna da bi se 1 g vode temperatura povisila s 14.5°C na 15.5°C

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$$

Kalorija nije SI jedinica. SI jedinica za energiju je Joule.

Estimated Calorie Requirements (in Kilocalories) for Each Gender and Age Group at Three Levels of Physical Activity*

Gender	Age (years)	Activity Level ^{1,2,3}			
		Sedentary ⁴	Moderately Active ⁵	Active ⁶	
Child	2-3	1,000	1,000-1,400 ⁶	1,000-1,400 ⁶	
	Female	4-8	1,200	1,400-1,600	1,400-1,800
		9-13	1,600	1,600-2,000	1,800-2,200
		14-18	1,800	2,000	2,400
		19-30	2,000	2,000-2,200	2,400
		31-50	1,800	2,000	2,200
51+	1,600	1,800	2,000-2,200		
Male	4-8	1,400	1,400-1,600	1,600-2,000	
	9-13	1,800	1,800-2,200	2,000-2,600	
	14-18	2,200	2,400-2,800	2,800-3,200	
	19-30	2,400	2,600-2,800	3,000	
	31-50	2,200	2,400-2,600	2,800-3,000	
	51+	2,000	2,200-2,400	2,400-2,800	

Source: HHS/USDA Dietary Guidelines for Americans, 2005



Specifični toplinski kapacitet

- oznaka za toplinu je Q
- povezana s promjenom temperature dT označavamo ju dQ
- količina topline Q potrebna da bi masi m neke tvari povišala temperaturu s T_1 na T_2 proporcionalna je razlici $(T_1 - T_2)$
- također je proporcionalna masi m
- ovisi o materijalu: da bi se 1 kg vode temperatura povišala za 1°C potrebno je 4190 J, a 1 kg aluminija 910 J

$$Q = mc\Delta T$$

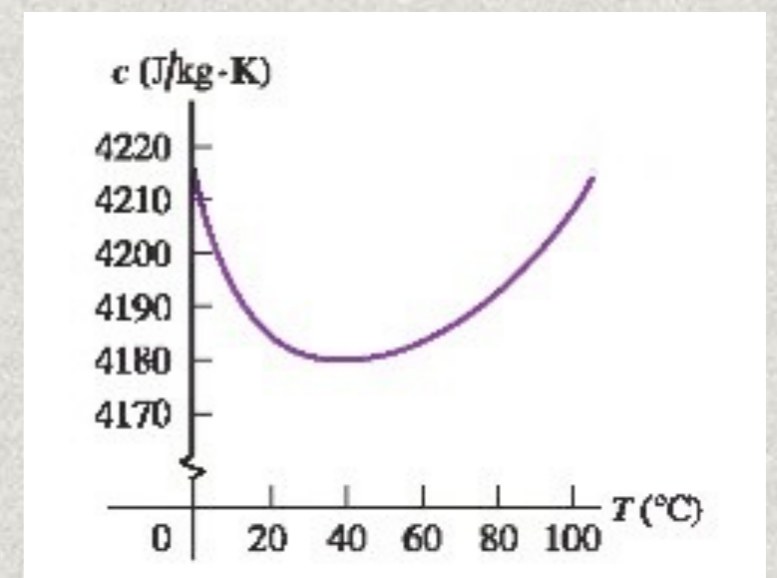
(količina topline potrebna da bi se nekoj tvari mase m temperatura povišala za ΔT)

c je konstanta, različita za različite materijale i naziva se specifični toplinski kapacitet

- toplina potrebna da bi se 1 kg neke tvari temperatura povišala za 1 K

**Specifična toplina vode
4190 J/kg · K = 1 cal/g · °C**

$$dQ = mcdT$$
$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt}$$



**specifični toplinski
kapacitet vode**

Molni toplinski kapacitet

Kemija: molna masa (M) je masa po molu

$$M = \frac{m}{n}$$

(npr. molna masa vode je 18 g/mol)

Tada možemo pisati: $dQ = nMcdT$

Umnožak Mc nazivamo molni toplinski kapacitet i označavamo ga s C

$$dQ = nCdT$$

(toplina potrebna da bi se n molova neke tvari temperatura povisila za 1 K)

$$C = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT}$$

(molni toplinski kapacitet)

Razlikujemo toplinske kapacitete pri stalnom volumenu i stalnom tlaku!

$$C_p > C_v$$

Kalorimetrija i fazne pretvorbe

- kalorimetrija: mjerenje topline
- fazne pretvorbe: npr. led ↔ voda

Faza - stanje tvari; npr. kruto, tekuće, plinovito
- prijelaz iz jedne faze u drugu naziva se **fazna pretvorba**

- za bilo koju vrijednost tlaka fazna pretvorba odvija se pri određenoj temperaturi, obično uz apsorpciju ili emisiju topline i promjenu volumena i gustoće



Primjer: polako zagrijava mješavine leda i vode

- da bi se 1 kg leda pri temperaturi 0°C pretvorio u 1 kg vode pri temperaturi 0°C (pri standardnom atmosferskom tlaku) potrebna je energija 3.34×10^5 J

Toplina potrebna da bi se rastalo 1 kg neke tvari naziva se latentna toplina taljenja (L_t)

$$Q = L_t \cdot m$$

latentna toplina taljenja

- no, ovaj proces je reverzibilan!
- ista količina topline potrebna je za smrzavanje 1 kg vode

Općenito pišemo:

$$Q = \pm L \cdot m$$

L se zove latentna toplina (fazne pretvorbe)

Fazna ravnoteža - točka gdje je više faza u ravnoteži

Ista priča vrijedi i za isparavanje!

Latentna toplina isparavanja vode: $L_i = 2.256 \times 10^6 \text{ J}$

Da bismo 1 kg vode zagrijali od 0°C do 100°C potrebno je

$$Q = 1 \text{ kg} \cdot 4190 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \cdot 100^\circ\text{C} = 4.19 \times 10^5 \text{ J}$$

Za isparavanje 1 kg vode potrebno je skoro 5 puta više topline!

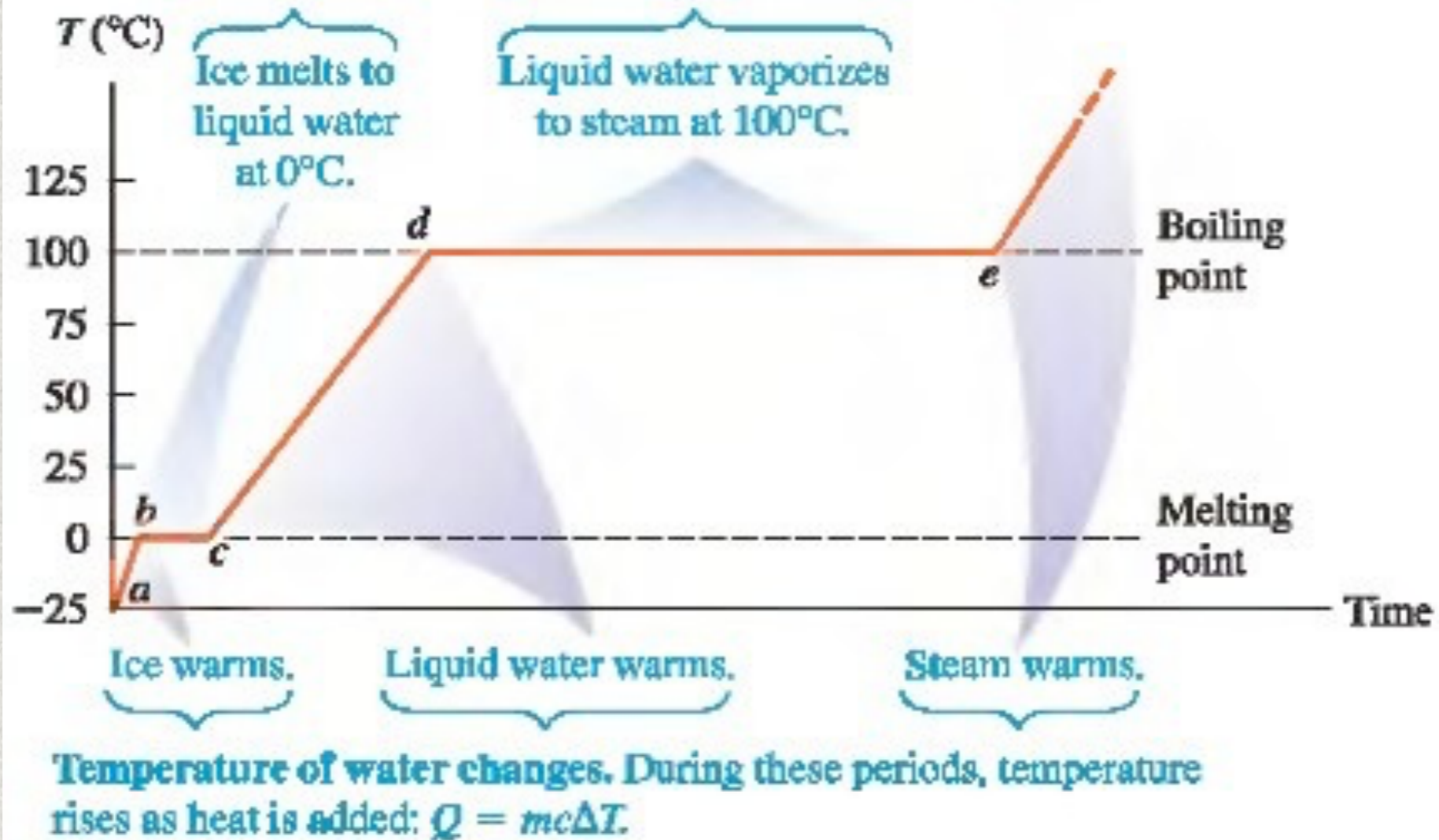
Latentne topline taljenja i isparavanja:

Substance	talište		Heat of Fusion, L_f (J/kg)	vrelište		Heat of Vaporization, L_v (J/kg)
	K	°C		K	°C	
Helium	*	*	*	4.216	-268.93	20.9×10^3
Hydrogen	13.84	-259.31	58.6×10^3	20.26	-252.89	452×10^3
Nitrogen	63.18	-209.97	25.5×10^3	77.34	-195.8	201×10^3
Oxygen	54.36	-218.79	13.8×10^3	90.18	-183.0	213×10^3
Ethanol	159	-114	104.2×10^3	351	78	854×10^3
Mercury	234	-39	11.8×10^3	630	357	272×10^3
Water	273.15	0.00	334×10^3	373.15	100.00	2256×10^3
Sulfur	392	119	38.1×10^3	717.75	444.60	326×10^3
Lead	600.5	327.3	24.5×10^3	2023	1750	871×10^3
Antimony	903.65	630.50	165×10^3	1713	1440	561×10^3
Silver	1233.95	960.80	88.3×10^3	2466	2193	2336×10^3
Gold	1336.15	1063.00	64.5×10^3	2933	2660	1578×10^3
Copper	1356	1083	134×10^3	1460	1187	5069×10^3

*A pressure in excess of 25 atmospheres is required to make helium solidify. At 1 atmosphere pressure, helium remains a liquid down to absolute zero.

**Latentna toplina isparavanja i vrelište ovise o tlaku!
Voda će na Mount Everestu proključati pri 69°C**

Phase of water changes. During these periods, temperature stays constant and the phase change proceeds as heat is added: $Q = +mL$.

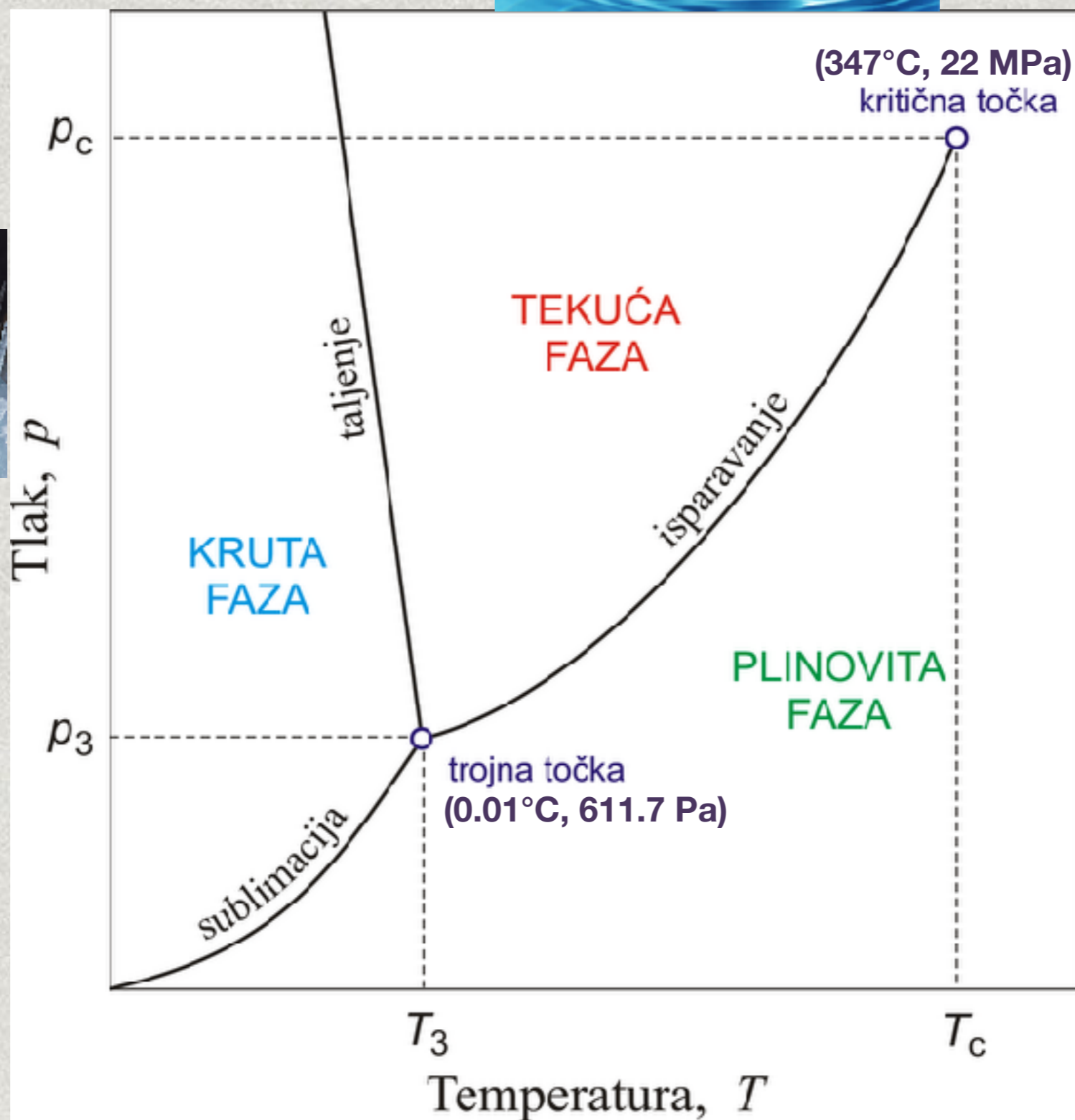
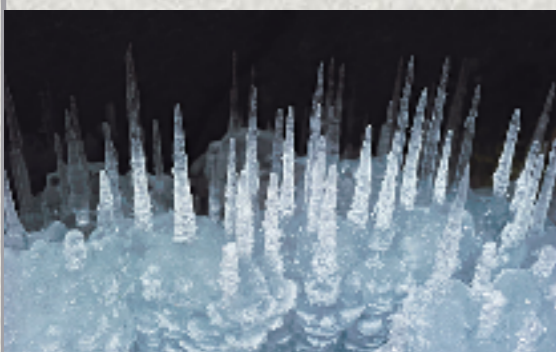


- ovisnost temperature vode pri konstantnom dovođenju topline

Sublimacija: izravan prijelaz iz krutog u plinovito stanje!

- latentna toplina sublimacije, L_s

FAZNI DIJAGRAM VODE



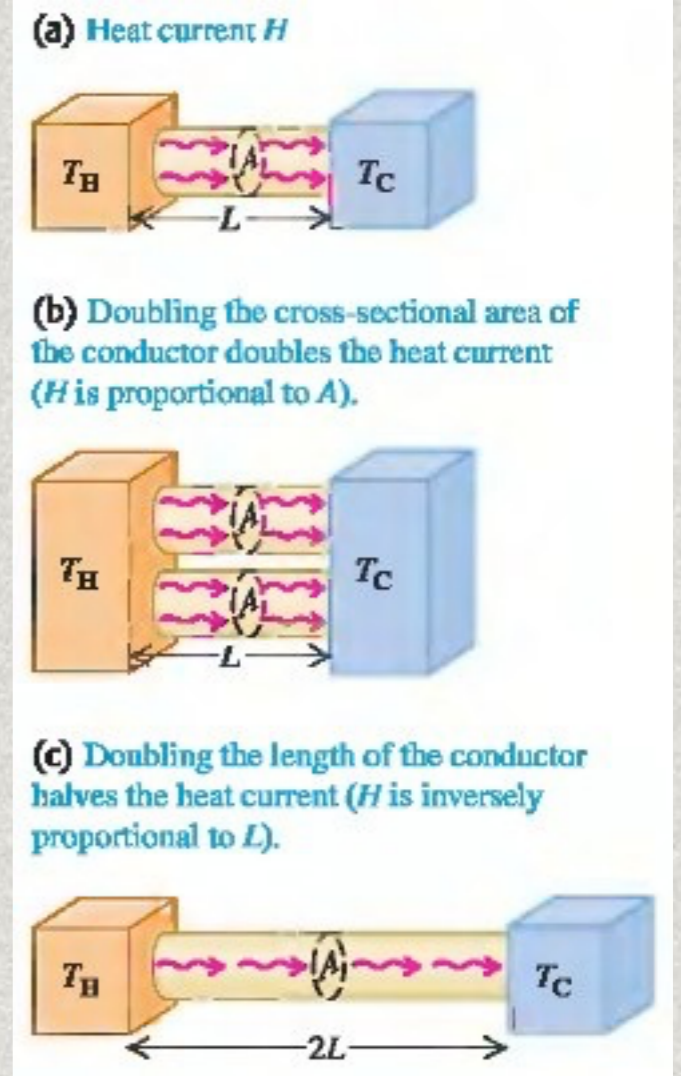
Načini prijenosa topline

- spomenuli smo već toplinske vodiče i izolatore
- sada nas zanima brzina prijenosa topline (energije)

Načini prijenosa: kondukcija, konvekcija i zračenje

KONDUKCIJA

- prijenos topline kada su dva tijela u kontaktu
- primjer: šipka, različite temperature na krajevima
- dvostruko veća površina presjeka šipke - dvostruko veći tok topline
- dvostruko veća dužina šipke - dvostruko manji tok topline
- **metali su dobri vodiči zbog slobodnih elektrona**
- metalna šipka se čini 'hladnijom' od drvenog štapa pri istoj temperaturi
- prijenos topline postoji samo ukoliko postoji razlika u temperaturi i uvijek se kreće od područja više temperature u područje niže



Tok topline:

$$H = \frac{dQ}{dt} = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

$$\frac{T_H - T_C}{L} \quad \text{- gradijent temperature}$$

k ovisi o materijalu

- veliki k predstavlja dobru toplinska vodljivost

- mjerna jedinica za H je watt (W=J/s), a za k je (W/m · K)

- ukoliko se T mijenja nejednoliko:

$$H = \frac{dQ}{dT} = -kA \frac{dT}{dL}$$

Substance	k (W/m · K)
<i>Metals</i>	
Aluminum	205.0
Brass	109.0
Copper	385.0
Lead	34.7
Mercury	8.3
Silver	406.0
Steel	50.2
<i>Solids (representative values)</i>	
Brick, insulating	0.15
Brick, red	0.6
Concrete	0.8
Cork	0.04
Felt	0.04
Fiberglass	0.04
Glass	0.8
Ice	1.6
Rock wool	0.04
Styrofoam	0.01
Wood	0.12–0.04
<i>Gases</i>	
Air	0.024
Argon	0.016
Helium	0.14
Hydrogen	0.14
Oxygen	0.023

KONVEKCIJA

- prijenost topline pomoću gibanja fluida iz jednog područja u drugo
- primjer: kućni sustavi za grijanja zraka i vode
- vrlo kompleksan proces koji se ne može opisati jednostavnom jednačbom
- eksperimentalne činjenice:
 1. tok topline proporcionalan je površini. zato radijatori imaju veliku površinu
 2. viskoznost fluida usporava prijenos topline oko stacionarne plohe, stvarajući izolirajući film
 3. topliski tok proporcionalan je

$$(T_{\text{površina}} - T_{\text{unutrašnjost}})^{5/4}$$

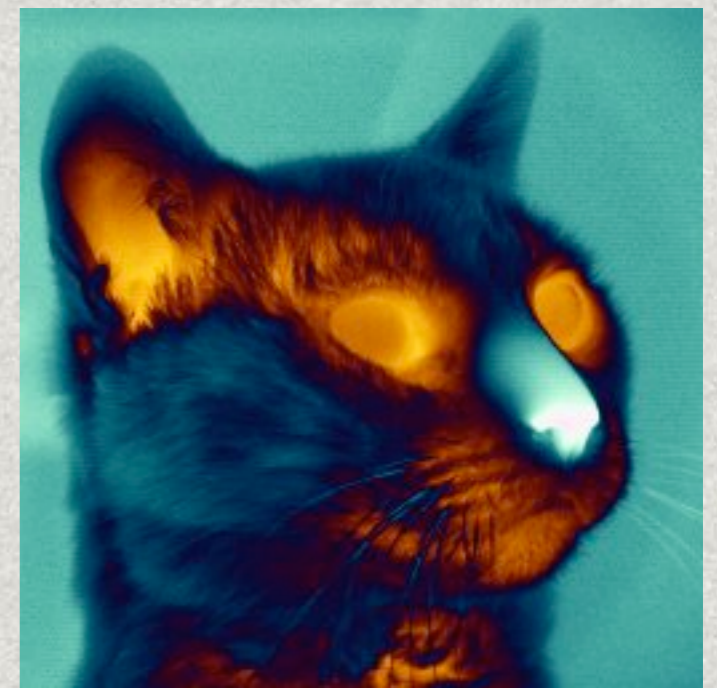


ZRAČENJE

- prijenos topline elektromagnetskim zračenjem (vidljiva svjetlost, infracrveno i ultraljubičasto zračenje)
- ovakav način prijenosa topline moguć je i u vakuumu
- svako tijelo, pri svakoj temperaturi emitira zračenje u obliku EMV
- valna frekvencija tog zračenja smanjuje se s povišenjem temperature
- pri sobnoj temperaturi to zračenje je u području spektra infracrvenih valova
- pri temperaturi 800°C zračenje je već u području vidljive svjetlosti - užarena tijela

Tok topline: $H = Ae\sigma T^4$

e - koeficijent emisije, bezdimenzijski broj između 0 i 1
 σ - Stefan-Boltzmannova konstanta, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$



[LINK](#)

www.youtube.com/watch?v=WJchBDfsGHU