

Fizika I

TOPLINA I TEMPERATURA

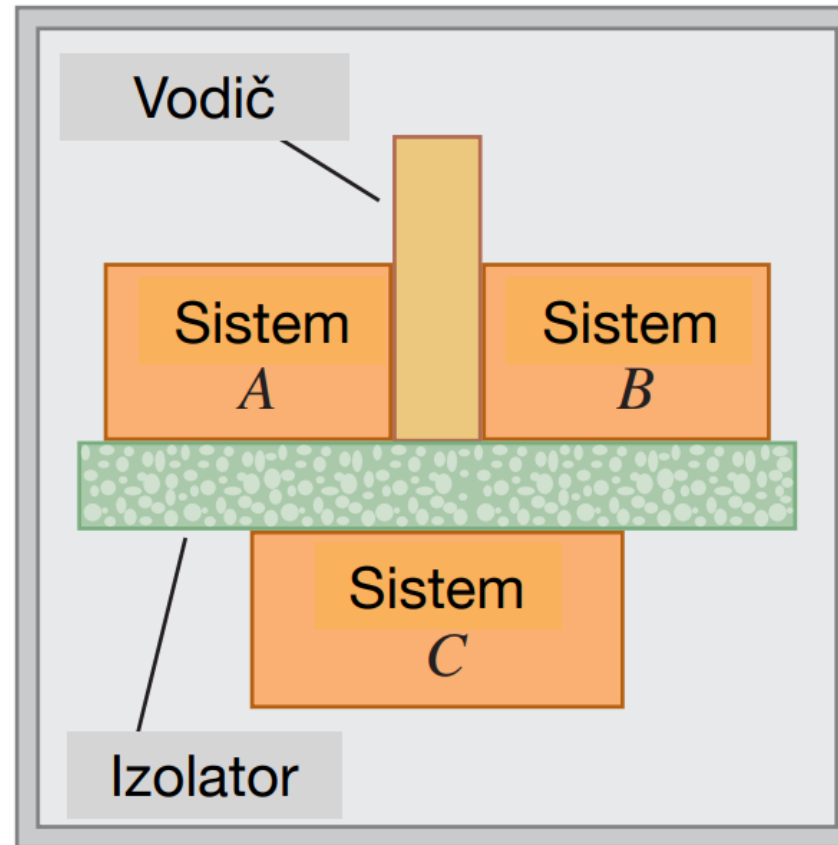
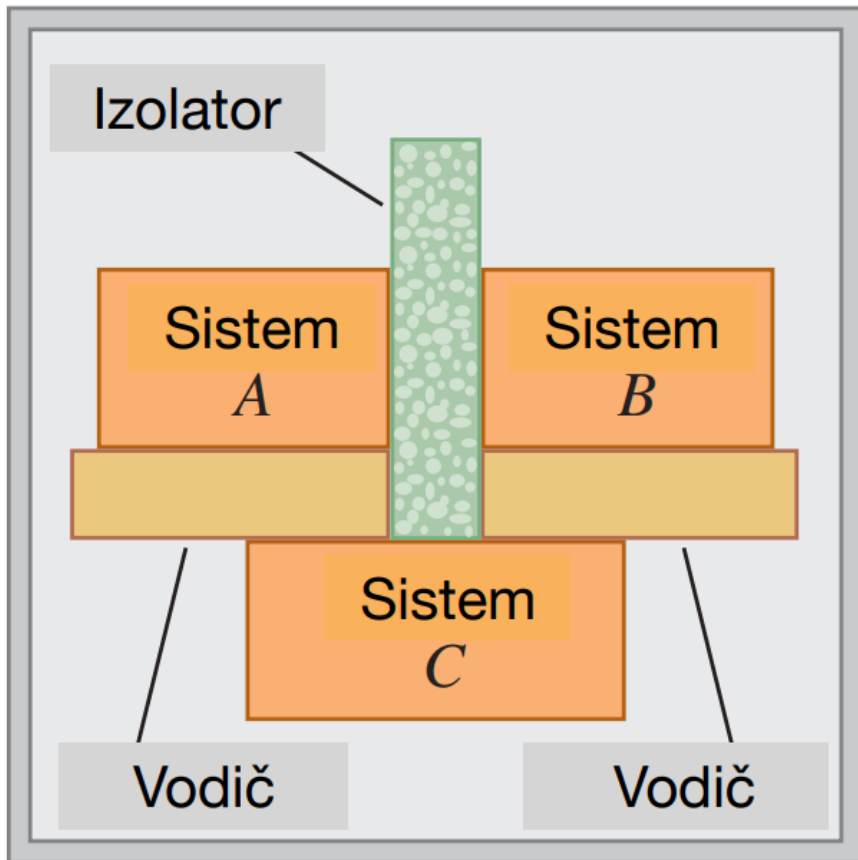
Doc. dr. sc. Iva Movre Šapić

TOPLINA I TEMPERATURA

- U svakodnevnom razgovoru to su često istoznačnice
- U fizici, to su dvije različite veličine
- **Temperatura** – fizikalna veličina koja karakterizira stupanj zagrijanosti nekog tijela.
- Temperaturu ćemo bolje definirati u kinetičkoj teoriji plinova, gdje ćemo vidjeti da je temperatura proporcionalna srednjoj kinetičkoj energiji molekula.
- **Toplina** – energija koju izmjenjuju tijela zbog različitih temperatura.
- Tijelo koje pri tome gubi energiju zovemo toplije, a tijelo na koje energija prelazi zovemo hladnije.
- Prijelaz topline se odvija sve dok tijela ne uspostave **toplinsku ravnotežu**.
- Dva su tijela (sustava) u toplinskoj ravnoteži ako imaju jednake temperature.

Nulti zakon termodinamike

Ako su dva odvojena tijela (sustava) u ravnoteži s trećim sustavom, onda su i oni međusobno u toplinskoj ravnoteži.

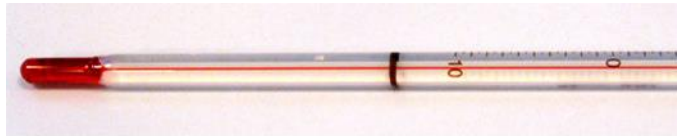


Vodič –
dozvoljava
izmjenu
topline

Izolator –
ne dozvoljava
izmjenu
topline
između
sustava

Termometri i temperaturne skale

- Mnoge su fizikalne veličine ovisne o temperaturi (dimenzije čvrstih tijela, volumen tekućina, električni otpor metala, boja, emisija infracrvenog zračenja)
- Mjerenjem tih veličina može se mjeriti temperatura



(a)



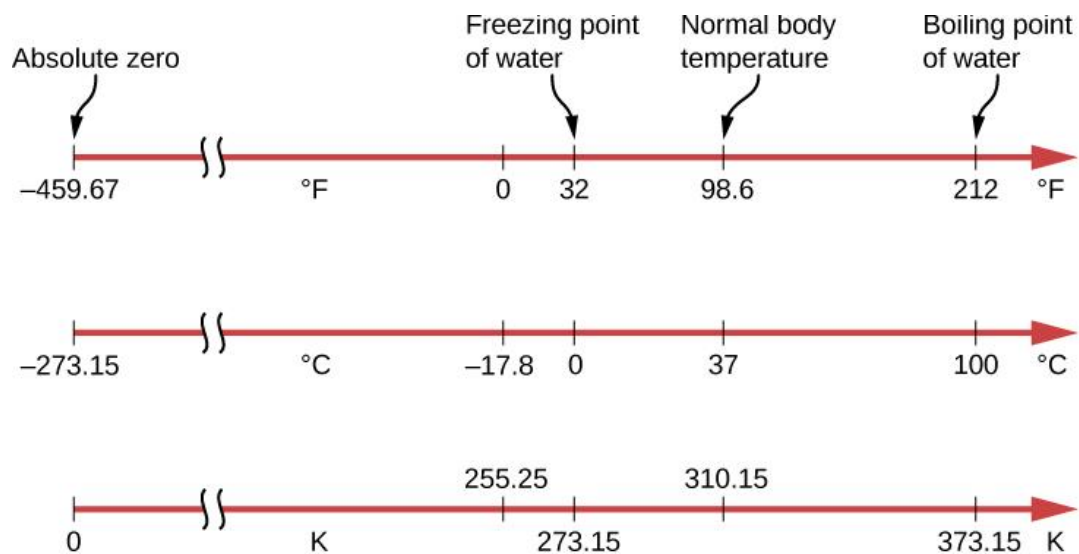
(b)



(c)

Termometri i temperaturne skale

Za definiranje temperaturne skale potrebne su dvije reproducibilne temperature (fiksne točke) – ledište i vrelište vode pri normiranom atmosferskom tlaku



To convert from...	Use this equation...
Celsius to Fahrenheit	$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$
Fahrenheit to Celsius	$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$
Celsius to Kelvin	$T_K = T_C + 273.15$
Kelvin to Celsius	$T_C = T_K - 273.15$
Fahrenheit to Kelvin	$T_K = \frac{5}{9}(T_F - 32) + 273.15$
Kelvin to Fahrenheit	$T_F = \frac{9}{5}(T_K - 273.15) + 32$

Temperaturna skala se ekstrapolacijom može proširiti i ispod prve, odnosno iznad druge fiksne točke.

Termometri i temperaturne skale

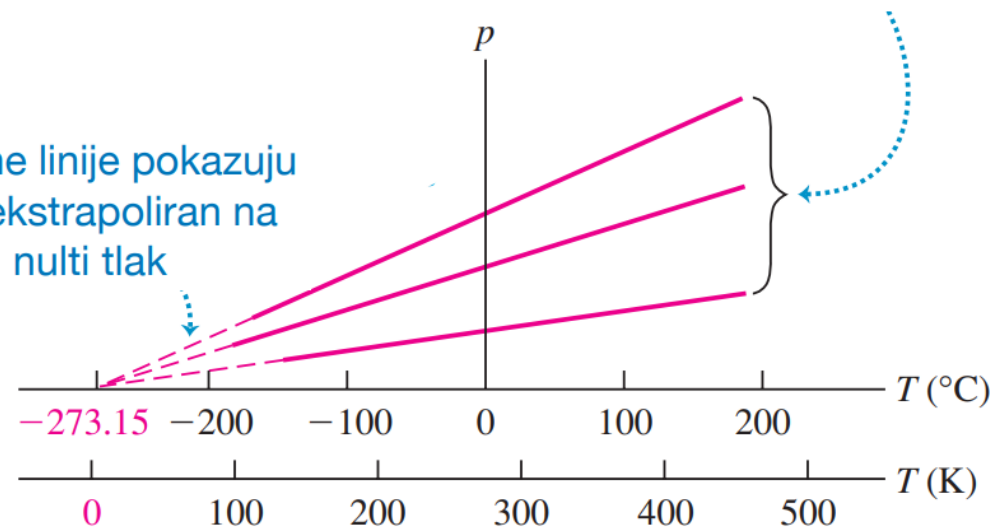
- Svaka temperaturna skala definirana s dvije fiksne točke donekle će ovisiti o specifičnim svojstvima korištenog materijala.
- Najbliži idealnom (neovisnom o svojstvima materijala) je **plinski termometar**

$$T_K = T_C + 273.15$$

Tlak kao funkcija temperature
za plinske termometre koji sadrže
različite količine plina



Crtkane linije pokazuju
graf ekstrapoliran na
nulti tlak



Ekstrapolirani grafovi dosežu nulti
tlak pri istoj temperaturi: $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tlak plina se
povećava s
temperaturom,
pri stalnom
volumenu

$$0\text{K} = -273.15^{\circ}\text{C}$$

Toplinsko rastezanje čvrstih tvari i tekućina

- Opažamo da zagrijavanjem predmeti mijenjaju duljinu, volumen, npr.: ŠTAP
- Linearno rastezanje:
 - temperatura T_0 , duljina l_0
 - temperatura T , duljina $l_0 + \Delta l = l$

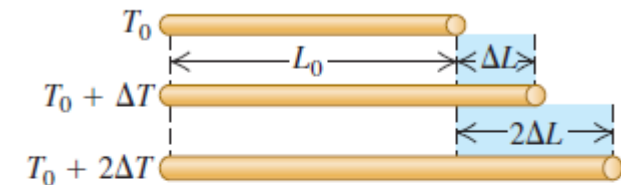
$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$$

$$\Delta t \equiv \Delta T = T - T_0$$

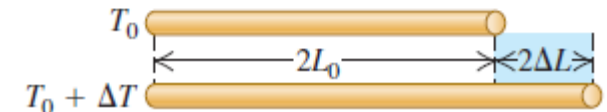
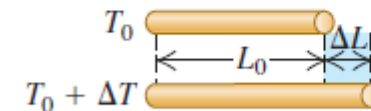
$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T)$$

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad \text{Koeficijent linearnog rastezanja [K}^{-1}\text{]}$$

Δl proporcionalan je s ΔT



Δl je proporcionalan i s l_0



Toplinsko rastezanje čvrstih tvari i tekućina

- Volumno rastezanje:
 - U sva tri prostorna smjera

$$V = l^3$$

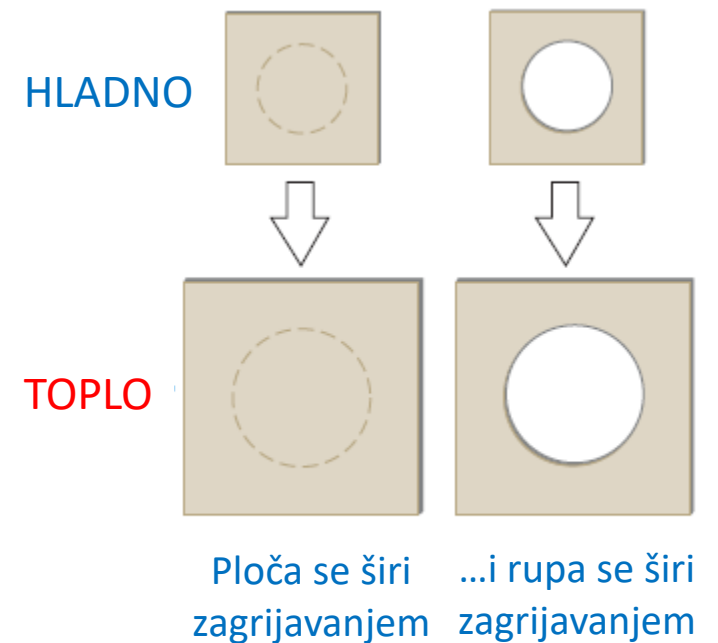
$$l = l_0(1 + \alpha\Delta T)$$

- Uz zanemarivanje članova višeg reda, $\alpha \ll 1$

$$V = V_0(1 + \gamma\Delta T)$$

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T} = 3\alpha \text{ - koeficijent volumnog širenja [K}^{-1}\text{]}$$

- Izraz vrijedi i za tekućine; širi se i posuda!



Toplinsko rastezanje čvrstih tvari i tekućina

Koeficijenti linearnog
širenja

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}

Koeficijenti volumnog
širenja

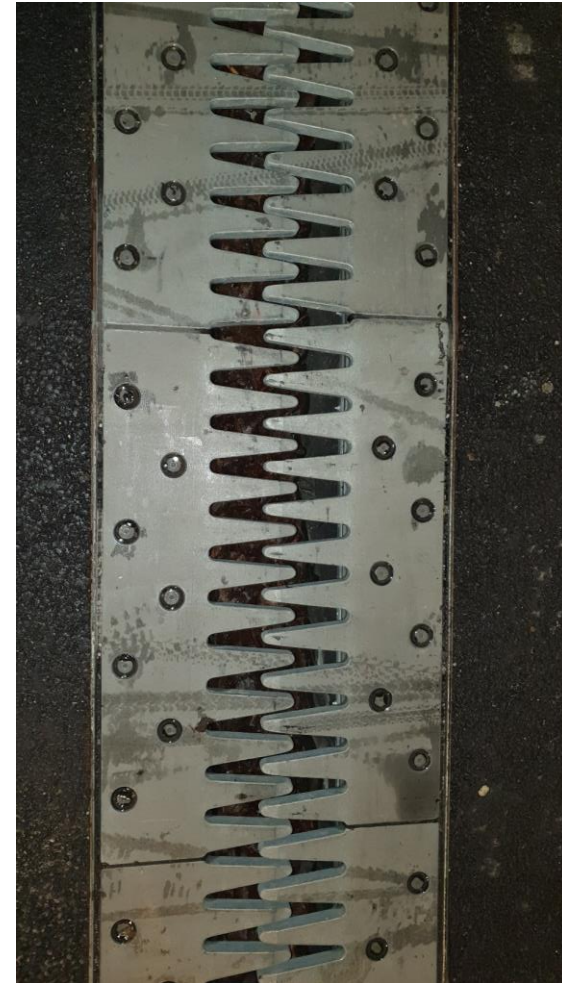
Solids	γ [K^{-1} or $(\text{C}^\circ)^{-1}$]	Liquids	γ [K^{-1} or $(\text{C}^\circ)^{-1}$]
Aluminum	7.2×10^{-5}	Ethanol	75×10^{-5}
Brass	6.0×10^{-5}	Carbon disulfide	115×10^{-5}
Copper	5.1×10^{-5}	Glycerin	49×10^{-5}
Glass	$1.2\text{--}2.7 \times 10^{-5}$	Mercury	18×10^{-5}
Invar	0.27×10^{-5}		
Quartz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

Toplinsko rastezanje čvrstih tvari i tekućina

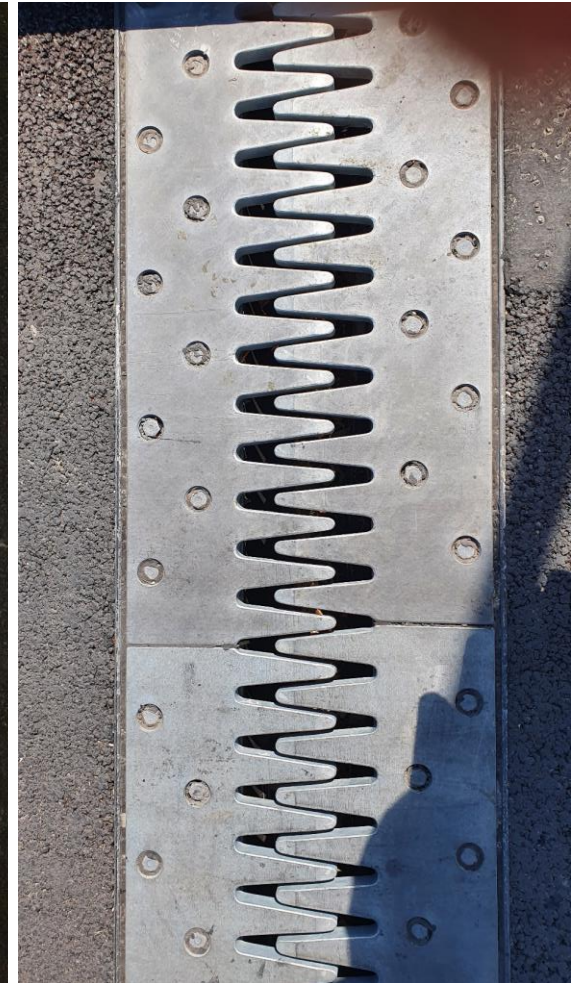
- Ako učvrstimo krajeve štapa tako da se njegova dužina ne može mijenjati, pri temperaturnim promjenama dolazi do mehaničkih napetosti koje mogu deformirati štap, čak i slomiti.
- Napetosti možemo izračunati pomoću Hookeova zakona:

$$p = \frac{\Delta F}{S} = E \frac{\Delta l}{l} = E \alpha \Delta T$$

- E – Youngov modul elastičnosti materijala



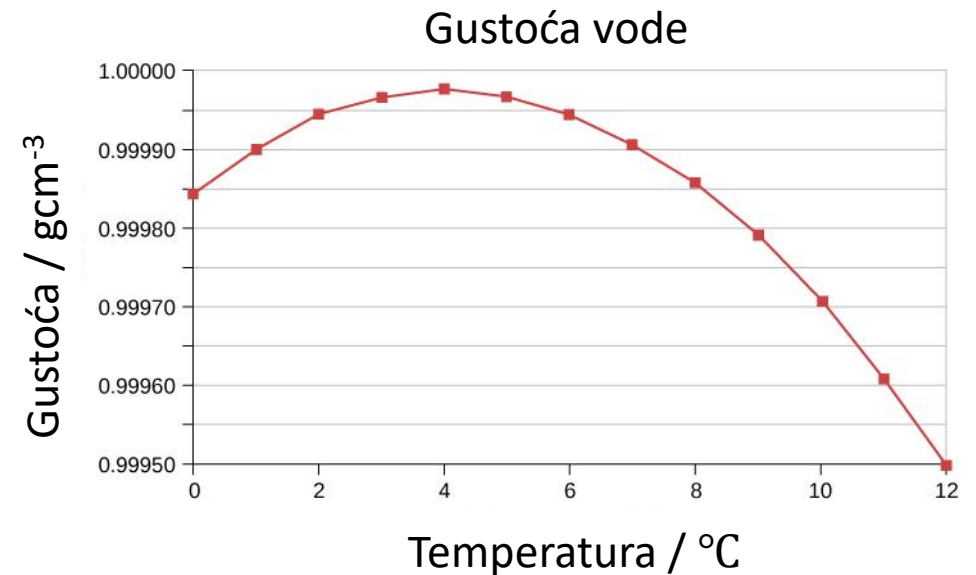
siječanj



srpanj

Toplinsko rastezanje vode

- Povećanjem temperature, volumen tvari se povećava
- Voda je iznimka:
 - $0^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$ → gustoća raste porastom temperature! (volumen se smanjuje)
→ koeficijent toplinskog širenja je negativan
 - 4°C na više → gustoća se smanjuje porastom temperature
- Anomalija vode s vrlo važnim posljedicama za živi svijet
 - Rijeke, jezera, vani $t < 4^{\circ}\text{C}$:
Toplija voda pada na dno, smrzava se najprije gornji, hladniji sloj



Plinski zakoni

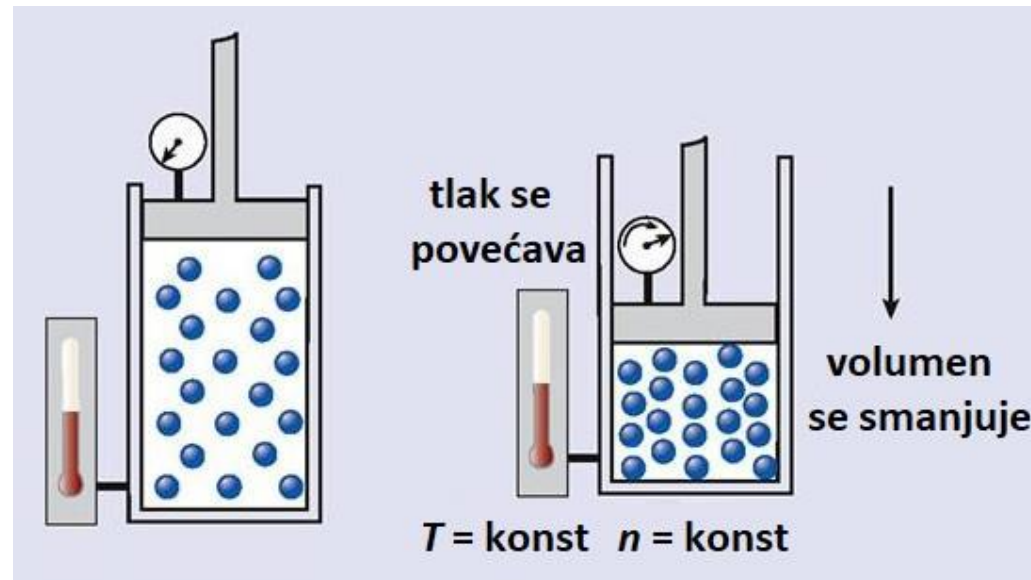
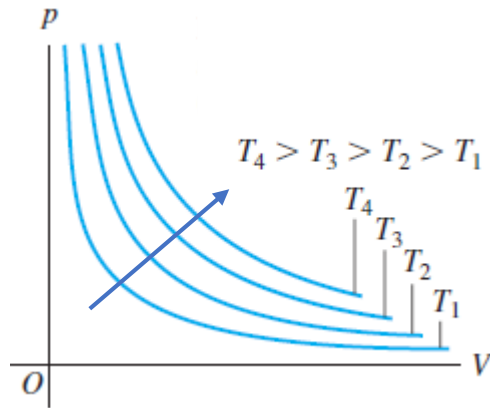
Idealni plin – međumolekularne sile su zanemarive

- molekule promatramo kao materijalne točke
- dobra aproksimacija za više temperature i niži tlak

• Boyle-Mariotteov zakon:

$$pV = \text{konst.} \quad (T = \text{konst.})$$

Izotermna promjena



Plinski zakoni

- Gay-Lusacov zakon:

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

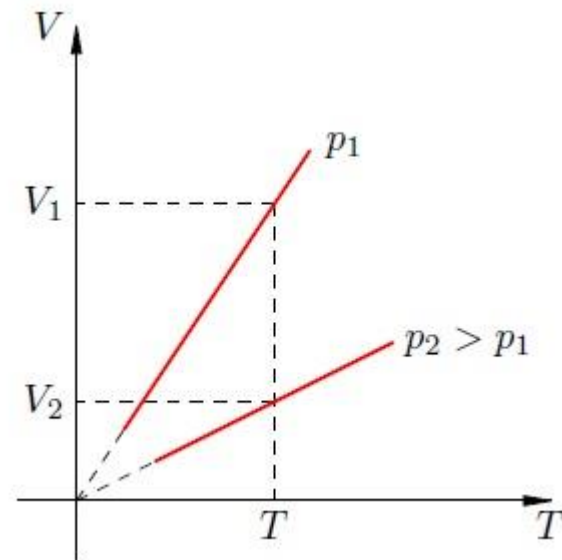
Volumen na 0°C

- toplinski koeficijent širenja plina:

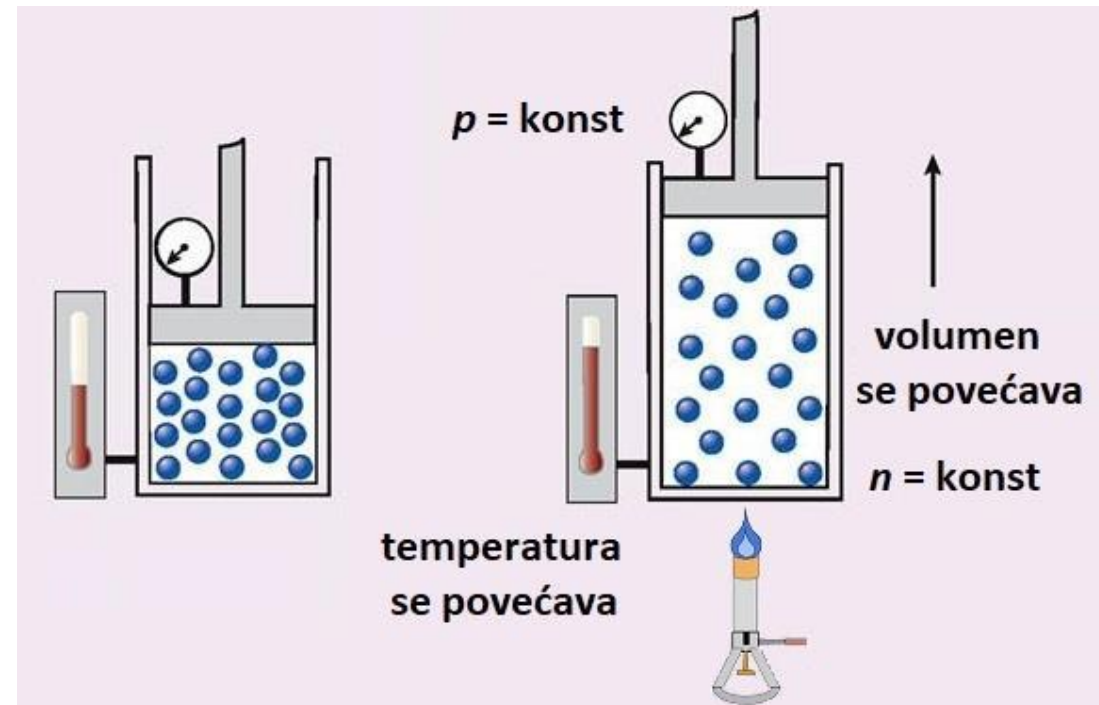
$$\alpha = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$$

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \quad \text{ili}$$

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



Izobarna promjena



Plinski zakoni

- Charlesov zakon:

$$p = p_0(1 + \beta t) \quad (V = \text{konst.})$$

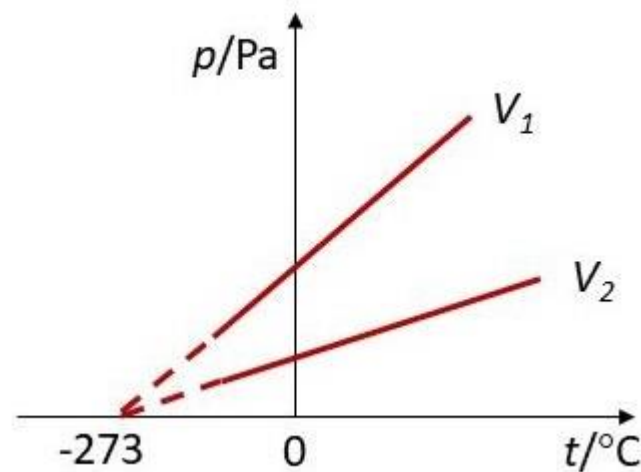
tlak na 0°C

- toplinski koeficijent promjene tlaka:

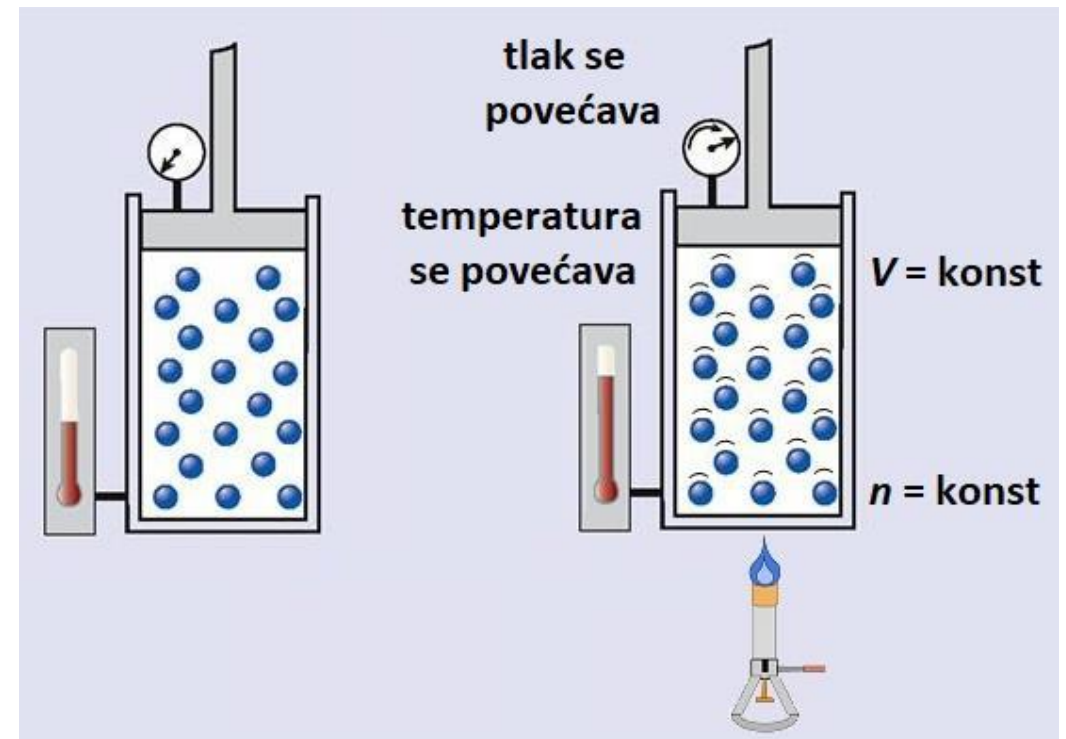
$$\beta = \alpha = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} \quad \text{ili}$$

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



Izohorna promjena



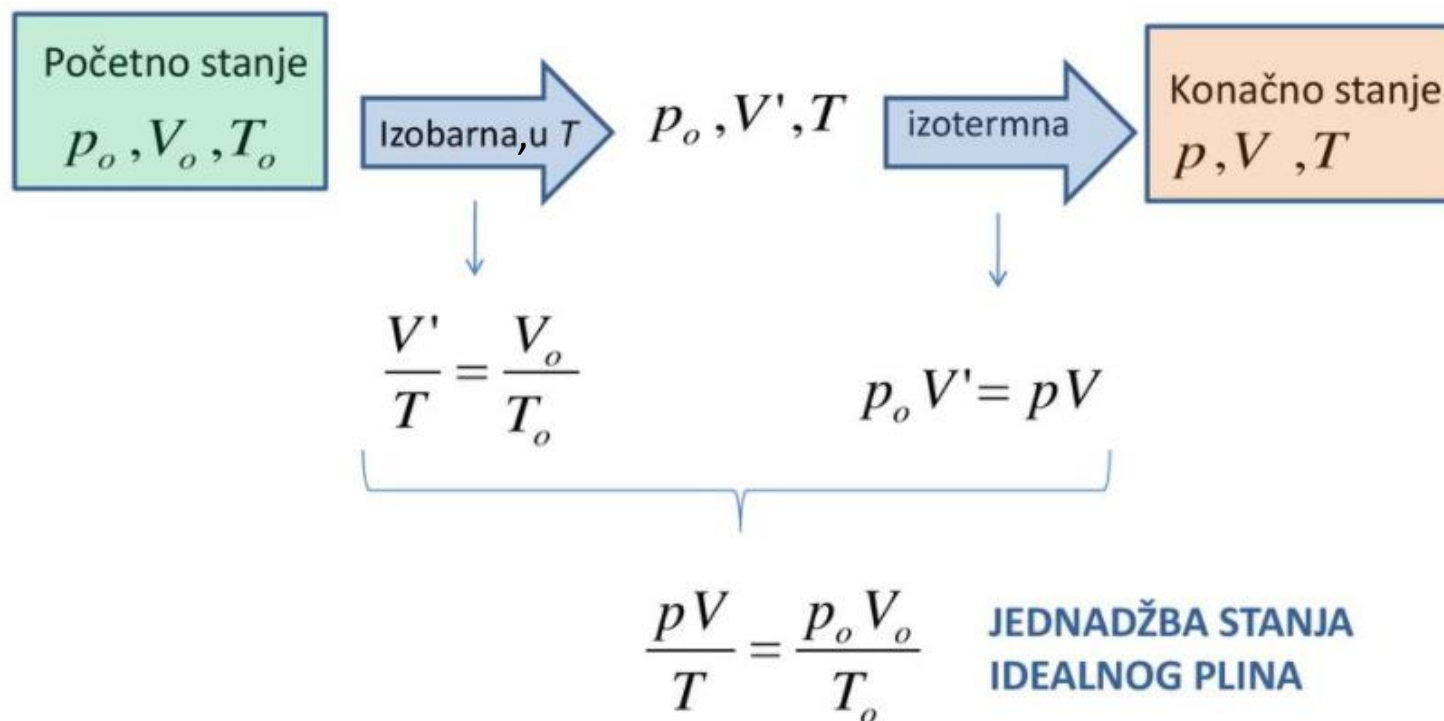
Jednadžba stanja plina

Stanje plina potpuno je određeno s tri parametra: temperatura, tlak i volumen

- To vrijedi i za idealne i za realne plinove, ali i za tekućine i čvrste tvari

Jednadžba stanja – za realne plinove jako složena, za idealne plinove ima jednostavni oblik

Jednadžba stanja idealnog plina



Avogadrov zakon

Za sve plinove vrijedi

- Jednaki volumeni pri istoj temperaturi i tlaku imaju jednak broj čestica

	Volumen plina	Masa plina	Broj čestica (atoma, molekula...)
Količina tvari (množina)	$n = \frac{V}{V_m}$	$= \frac{m}{M}$	$= \frac{N}{N_A}$
	Volumen jednog mola	Masa jednog mola	Broj čestica u jednom molu Avogadrova konstanta
$V_{m0} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$			$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Jednadžba stanja idealnog plina – drugi oblik

Za standardne uvjete: $p_0 = 101325 \text{ Pa}$, $T_0 = 273,15 \text{ K}$ (0°C)

Uvodi se veličina

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

Univerzalna plinska konstanta

Jednadžba stanja idealnog plina:

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \cdot \frac{V_{m0}}{V_{m0}}$$
$$\frac{p V}{T} = \frac{p_0 V_0 V_{m0}}{T_0 V_{m0}} \quad \leftarrow R$$

$$p V = nRT$$

uz $k = R/N_A$

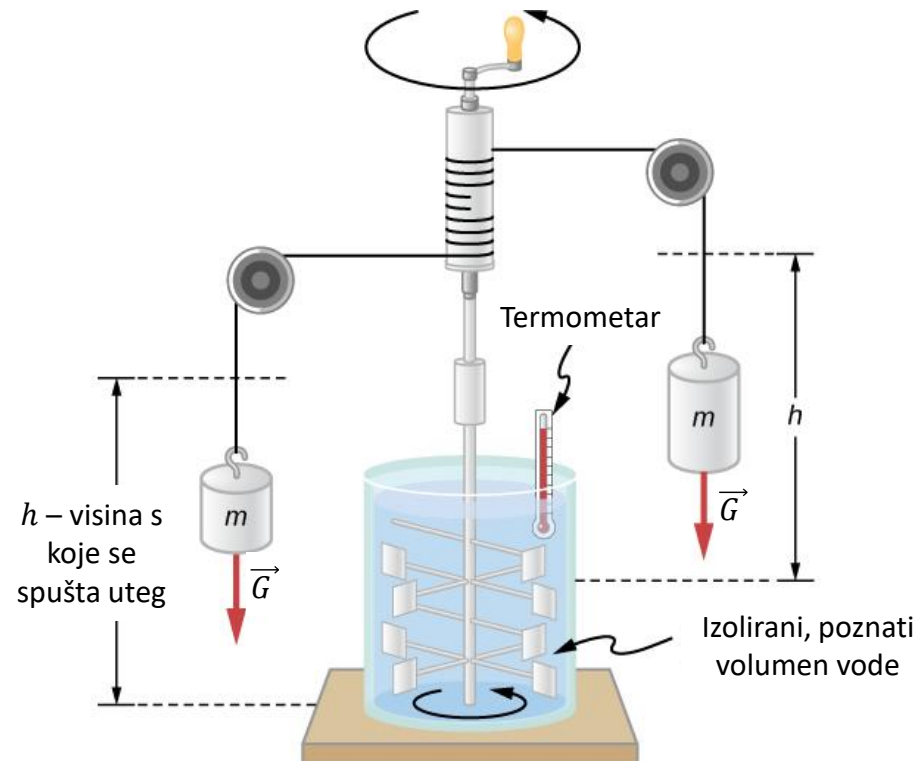
$$p V = NkT$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Boltzmannova konstanta

Količina topline

- **Toplina** – energija koja prelazi s jednog tijela na drugo zbog različitih temperatura.
- James Joule (1818.–1889.) povezuje toplinu s drugim oblicima energije.



- Nekada je jedinica topline bila kalorija (toplina potrebna da se jedan gram vode ugrije od $14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Danas znamo da je topline jedan od oblika energije pa je i jedinica džul, J

$$1\text{ cal} = 4,186\text{ J}$$

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

Količina topline, specifični toplinski kapacitet

- Dovođenjem topline tijelu povisuje se njegova temperatura

$$Q = mc\Delta T$$

Toplina koju dovodimo (ili odvodimo) tijelu mase m da mu se promijeni temperatura za ΔT

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$$

Specifični toplinski kapacitet (ovisi o elementu)

- Količina topline Q potrebna da se tijelu povisi temperatura za ΔT ovisi o načinu na koji zagrijavamo tijelo:
 - kruta tijela obično zagrijavamo pri konstantnom atmosferskom tlaku (izobarno),
 - plinovite tvari praktičnije je držati u posudama konstantnog volumena (izohorno).
- O procesu ovise i specifični toplinski kapaciteti:

Izobarni toplinski
kapacitet

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

$$c_V = \frac{1}{m} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{V=\text{konst.}}$$

Izohorni toplinski
kapacitet

Molarni toplinski kapacitet

- Toplinski kapacitet: $C_t = \frac{dQ}{dT}$; $\left(c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \right)$
- Molarni toplinski kapacitet, C = Količina topline potrebna da se 1 molu neke tvari povisi temperatura za 1 stupanj; omjer toplinskog kapaciteta i množine tvari

$$C = \frac{C_t}{n} = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT} = Mc \qquad m = nM$$

- Molarni toplinski kapaciteti čvrstih tvari u elementarnom obliku (metali) su približno isti i iznose oko 25 J/(mol K) – Dulong-Petitov zakon
 - Za čvrsta tijela potreban je isti iznos topline po molekuli da im se povisi temperatura za 1 K, bez obzira na masu molekule

Specifični i molarni toplinski kapaciteti

Substance	Specifični toplinski kapacitet, c (J/kg · K)	Molarna masa, M (kg/mol)	Molarni toplinski kapacitet, C (J/mol · K)
Aluminum	910	0.0270	24.6
Beryllium	1970	0.00901	17.7
Copper	390	0.0635	24.8
Ethanol	2428	0.0461	111.9
Ethylene glycol	2386	0.0620	148.0
Ice (near 0°C)	2100	0.0180	37.8
Iron	470	0.0559	26.3
Lead	130	0.207	26.9
Marble (CaCO ₃)	879	0.100	87.9
Mercury	138	0.201	27.7
Salt (NaCl)	879	0.0585	51.4
Silver	234	0.108	25.3
Water (liquid)	4190	0.0180	75.4

Promjene agregatnih stanja

- Prilikom prijenosa energije između tijela i okoline često dolazi do promjene temperature samog tijela.
- Postoje i situacije kada se to ne događa !!
- Prilikom promjene agregatnog stanja → Prijelaz iz čvrstog u tekuće stanje (taljenje) kao i prijelaz iz tekućeg u plinovito stanje (isparavanje) → promjena kristalne strukture čvrstog tijela.
- (Fazni prijelazi! Faza = homogeni dio nekog sustava koji u svim svojim dijelovima ima ista svojstva i koji je određenom granicom odvojen od ostalih dijelova sustava)
- U svim ovim procesima dolazi do promjene unutarnje energije sustava iako ne dolazi do promjene temperature samog sustava.
- Energija potrebna za faznu promjenu neke mase m čiste tvari iznosi:

$$Q = mL_{\text{procesa}} \quad L = \text{latentna toplina}$$

Promjene agregatnih stanja

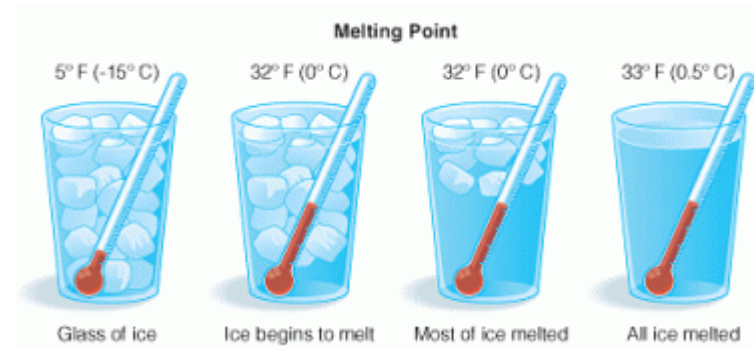
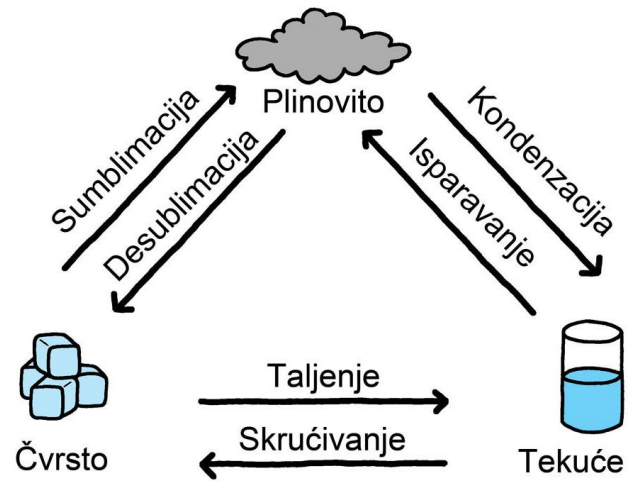


(a)

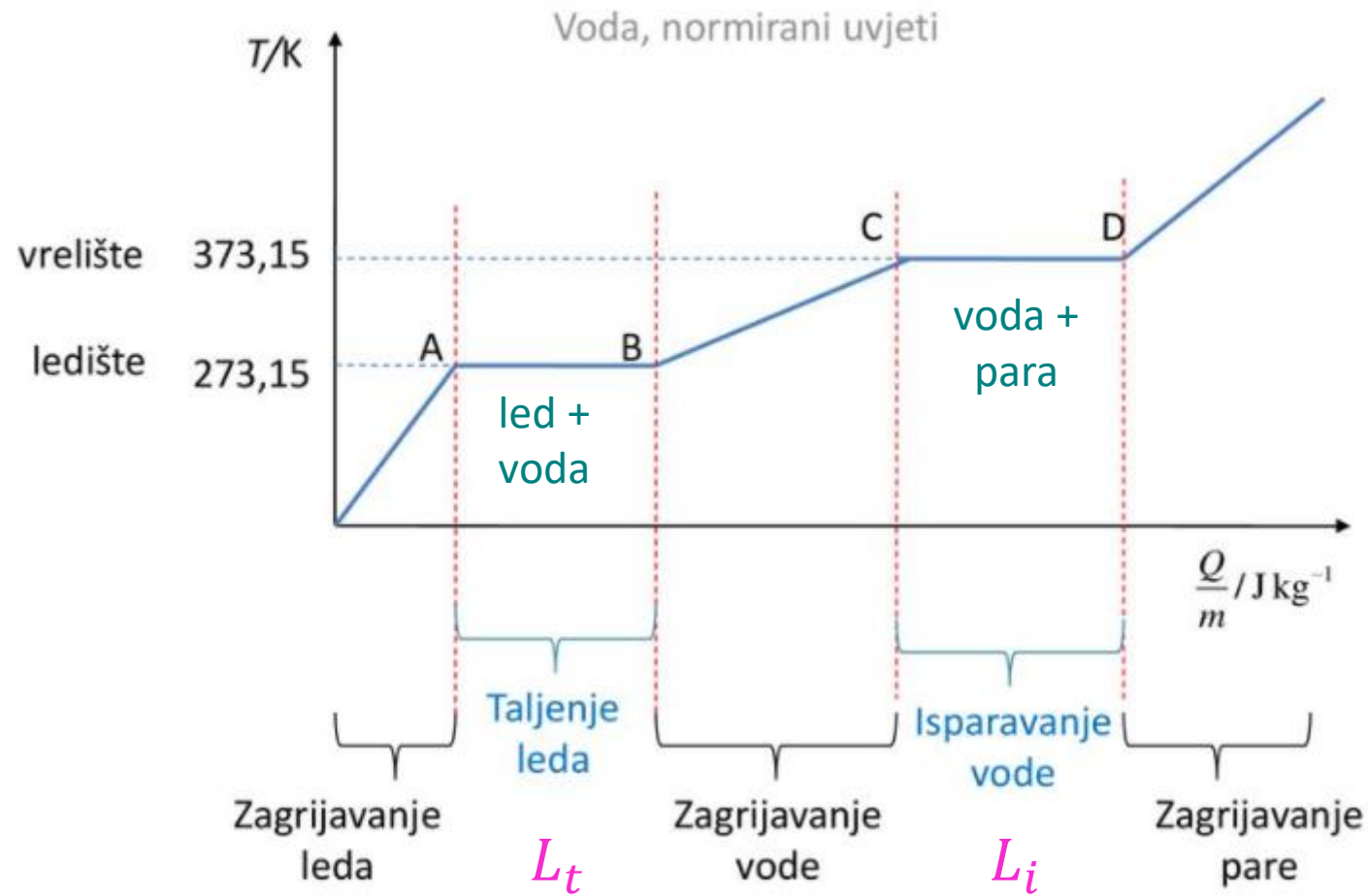
sublimacija



(b)

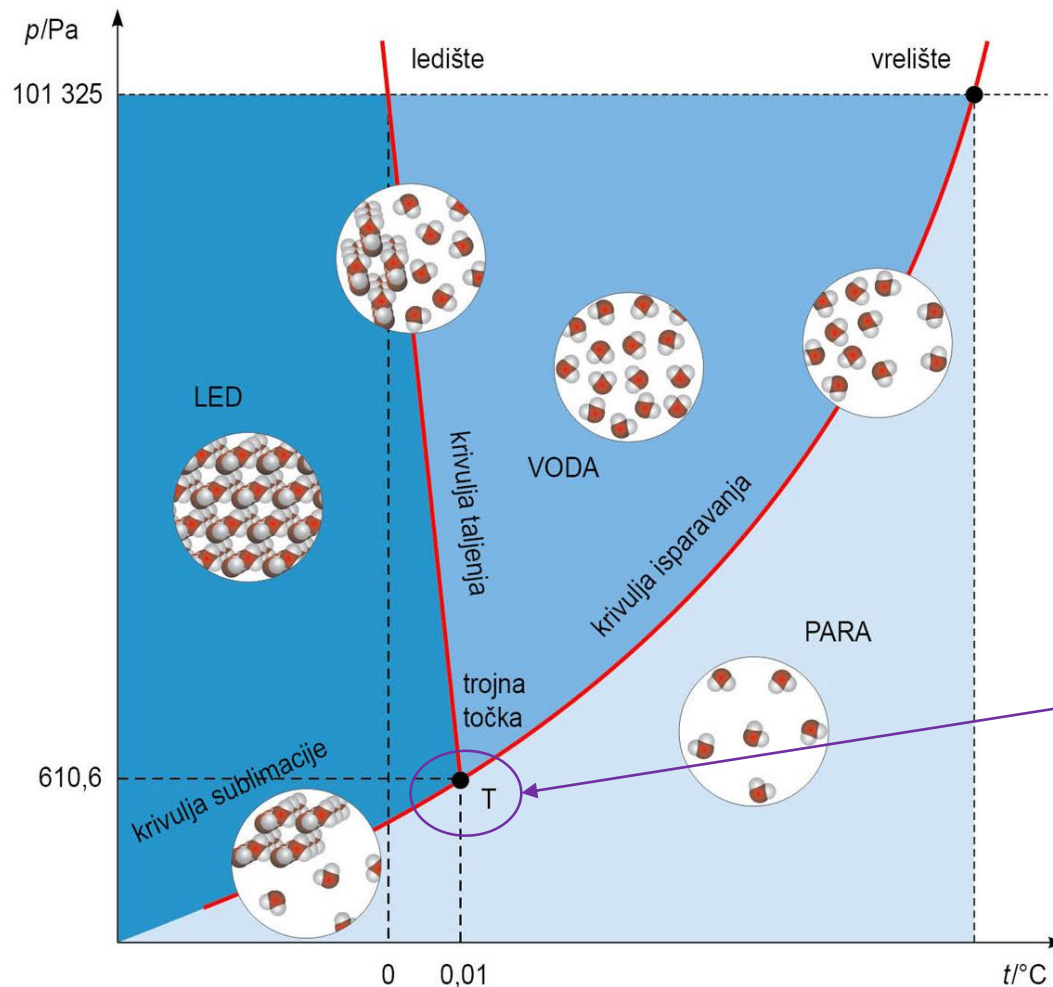


Promjene agregatnih stanja



Fazni dijagram vode

Fazni dijagrami pokazuju kako se mijenjaju svojstva sustava pri promjeni temperature, tlaka i volumena.



- Skala za tlak nije proporcionalna!

C – kritična točka

- Krivulja isparavanja ima kraj!
- T_C - najveća temperatura za koju tvar može postojati u tekućoj fazi
- $T_C = 647 \text{ K (374 °C)}$
uz $p_C = 22,1 \text{ MPa}$, $V_{mC} = 3,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$

T – trojna točka

- Sve tri faze su u ravnoteži, tj. tvar se nalazi istovremeno u sve tri faze
- $T_t = 273,16 \text{ K}$ uz $p_{zas} = 6,105 \cdot 10^2 \text{ Pa}$

Fazni diagram vode

