



Fizika I

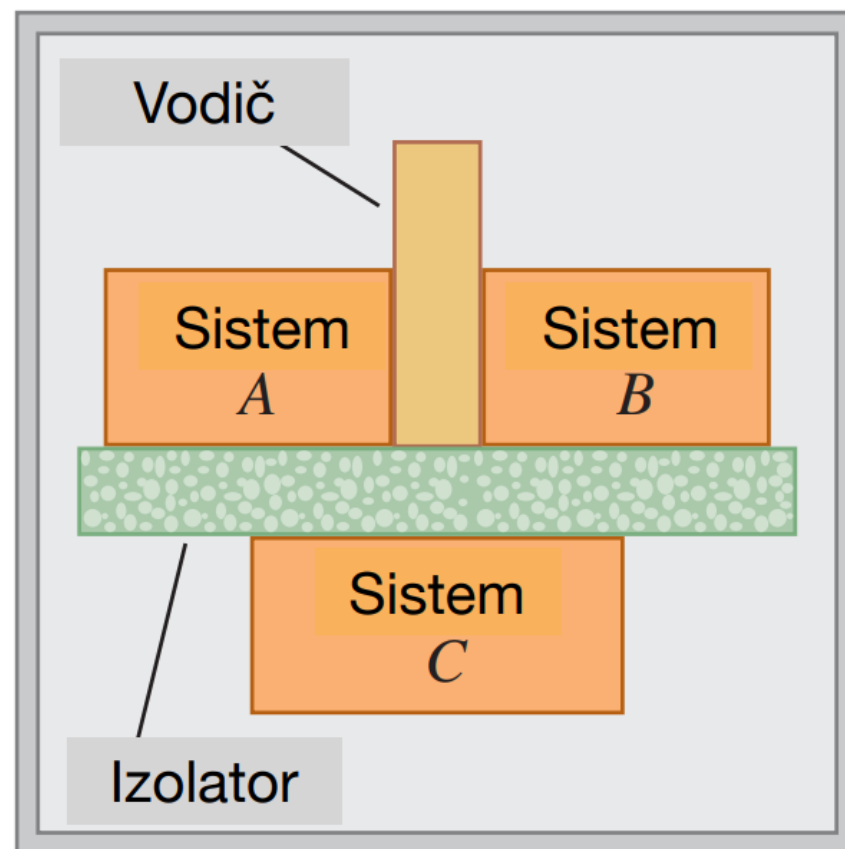
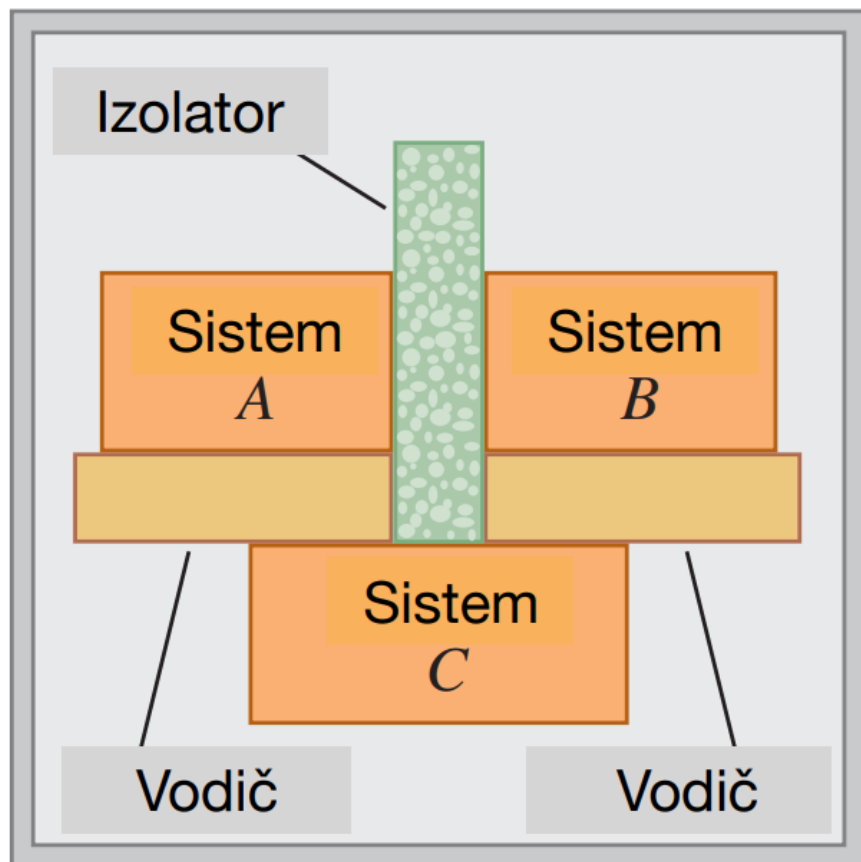
TOPLINA I TEMPERATURA



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



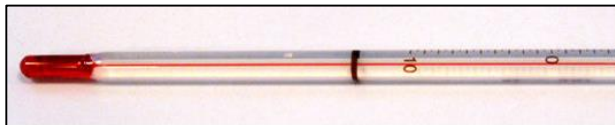
Vodič -
dozvoljava
izmjenjenu
toplina

Izolator -
ne
dozvoljava
izmjenjenu
toplina
između
sustava

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

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)



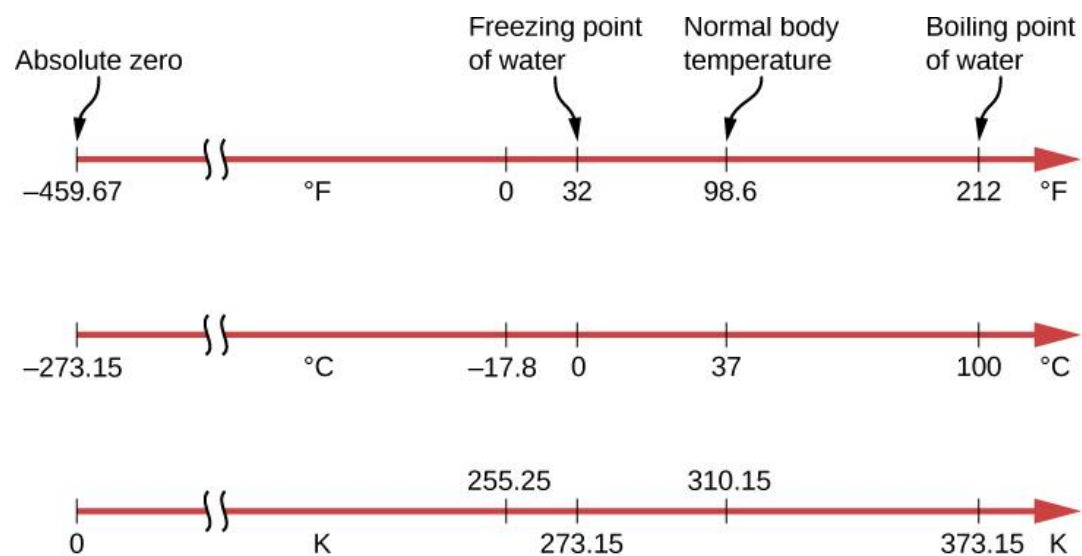
(b)



(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

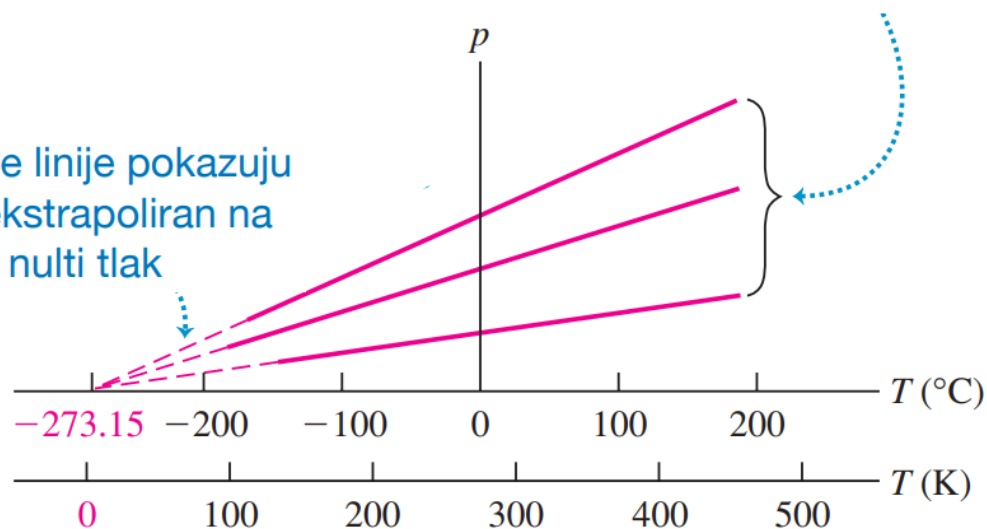
- Svaka temperaturna skala definirana s dvije fiksne točke donekle će ovisiti o specifičnim svojstvima korištenog materijala.
- Najbliži idealnom (neovisnom o svojstvima materijala) je plinski termometar.

$$T_K = T_C + 273.15$$

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



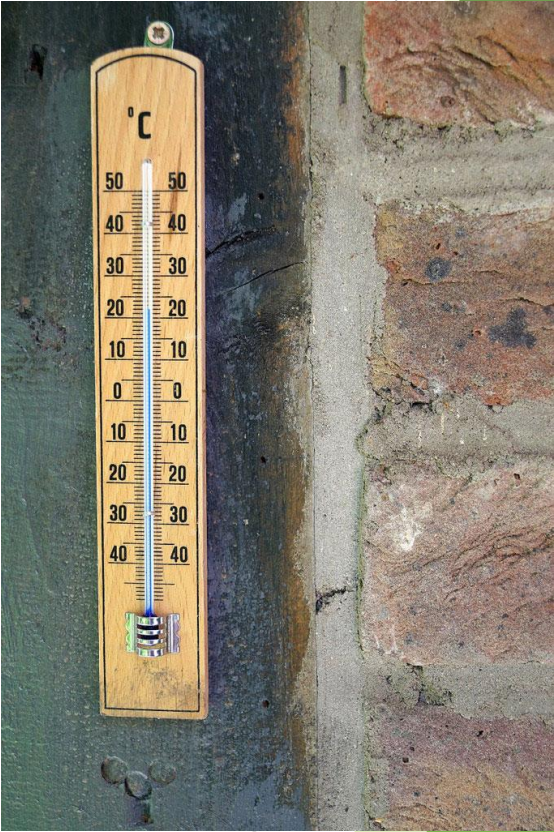
Crtkane linije pokazuju
graf ekstrapoliran na
nulti tlak



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 $l_0 + \Delta l = l$

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

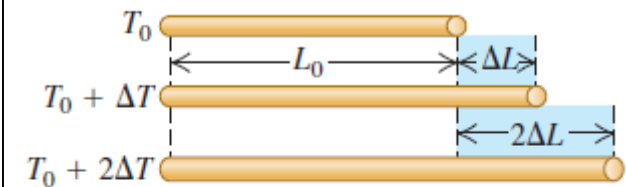
$$\Delta t \equiv \Delta T = T - T_0$$

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

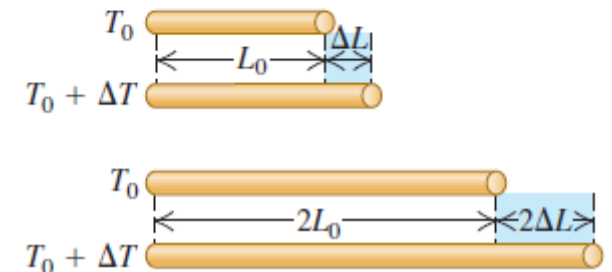
$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T}$$

Koeficijent linearnog rastezanja [K^{-1}]

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:

$$V = l^3$$

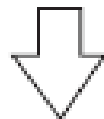
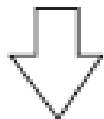
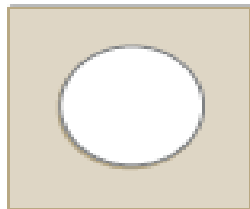
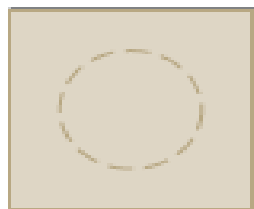
$$l = l_0(1 + \alpha\Delta T)$$

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

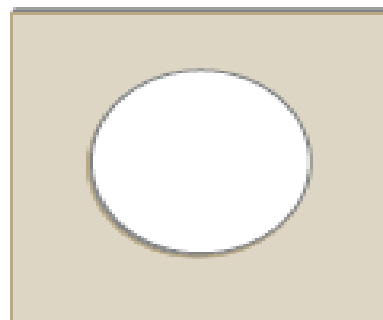
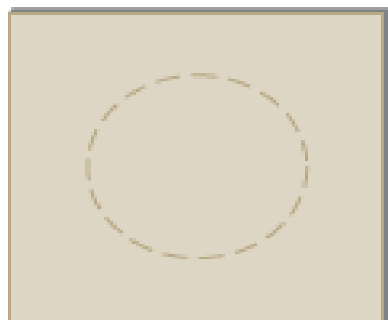
$$V = V_0(1 + \gamma\Delta T)$$

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

HLADNO



TOPLO



Ploča se širi
zagrijavanjem

...i rupa se širi
zagrijavanjem

- 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

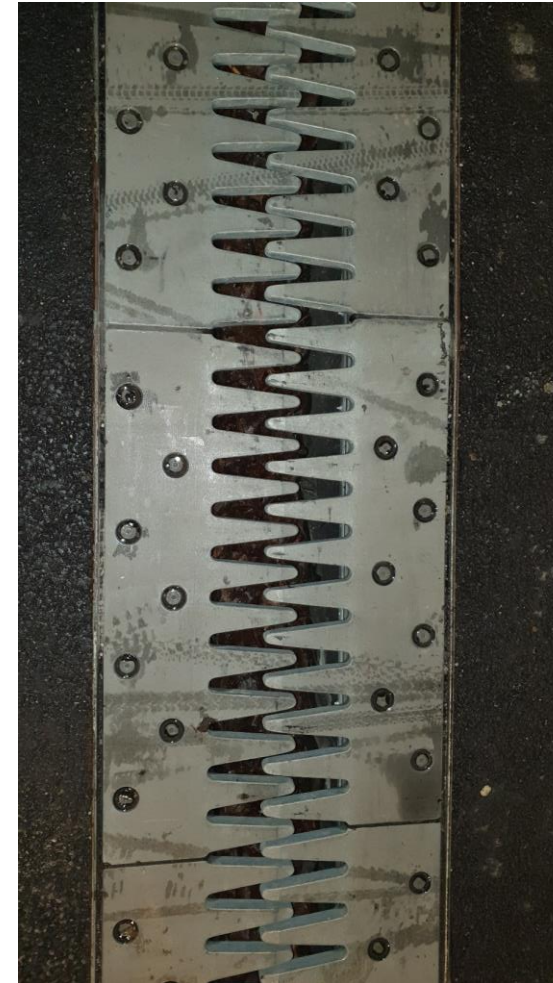
Solids	γ [K^{-1} or $(\text{C}^\circ)^{-1}$]	Liquids	γ [K^{-1} or $(\text{C}^\circ)^{-1}$]
Aluminum	7.2×10^{-5}	Ethanol	75×10^{-5}
Brass	6.0×10^{-5}	Carbon disulfide	115×10^{-5}
Copper	5.1×10^{-5}	Glycerin	49×10^{-5}
Glass	$1.2\text{--}2.7 \times 10^{-5}$	Mercury	18×10^{-5}
Invar	0.27×10^{-5}		
Quartz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

Toplinsko rastezanje čvrstih tvari i tekućina

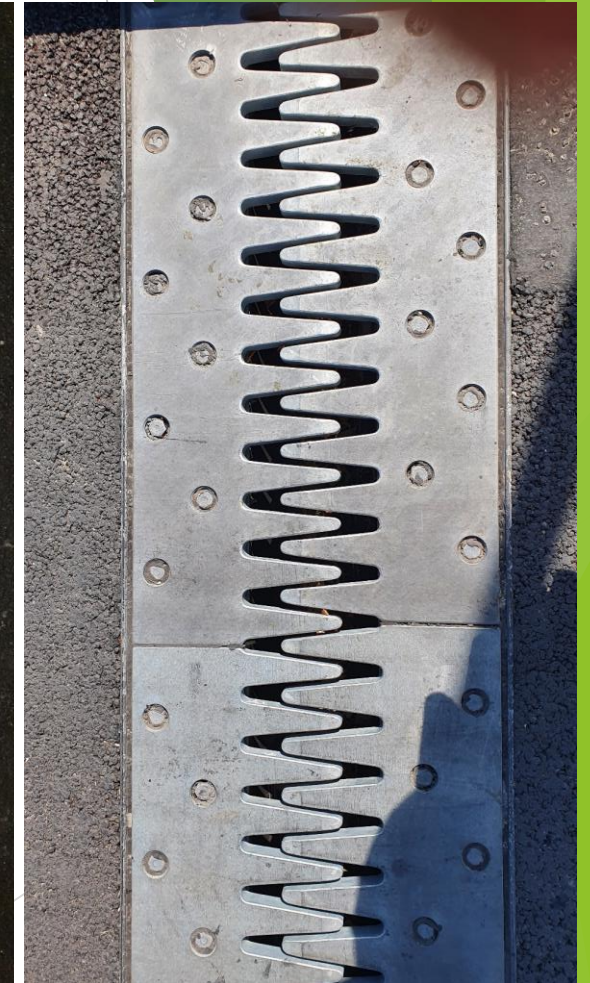
- Ako učvrstimo krajeve štapa tako da se njegova dužina ne može mijenjati, pri temperaturnim promjenama dolazi do mehaničkih napetosti koje mogu deformirati štap, čak i slomiti.
- Napetosti možemo izračunati pomoću Hookeova zakona:

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

- E - Youngov modul elastičnosti materijala



siječanj

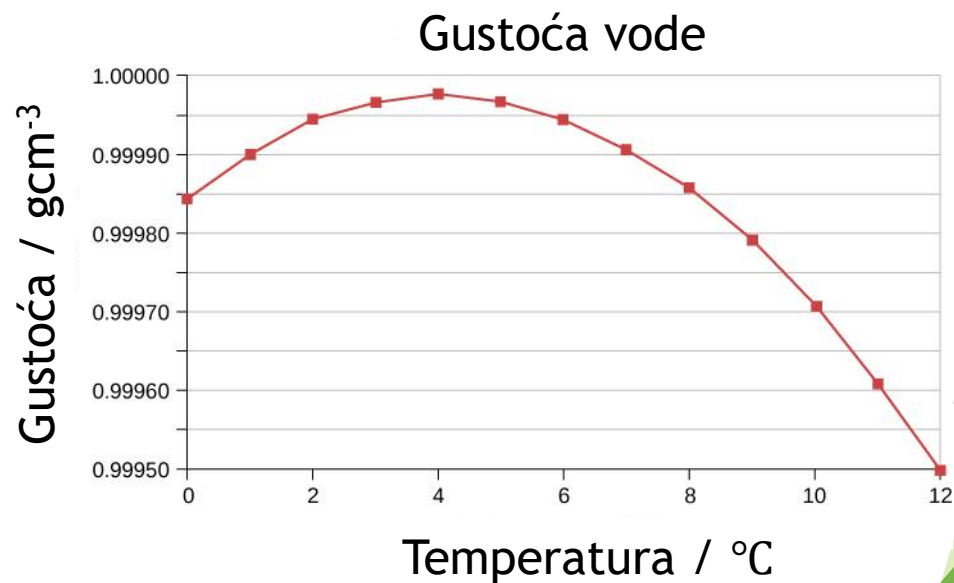


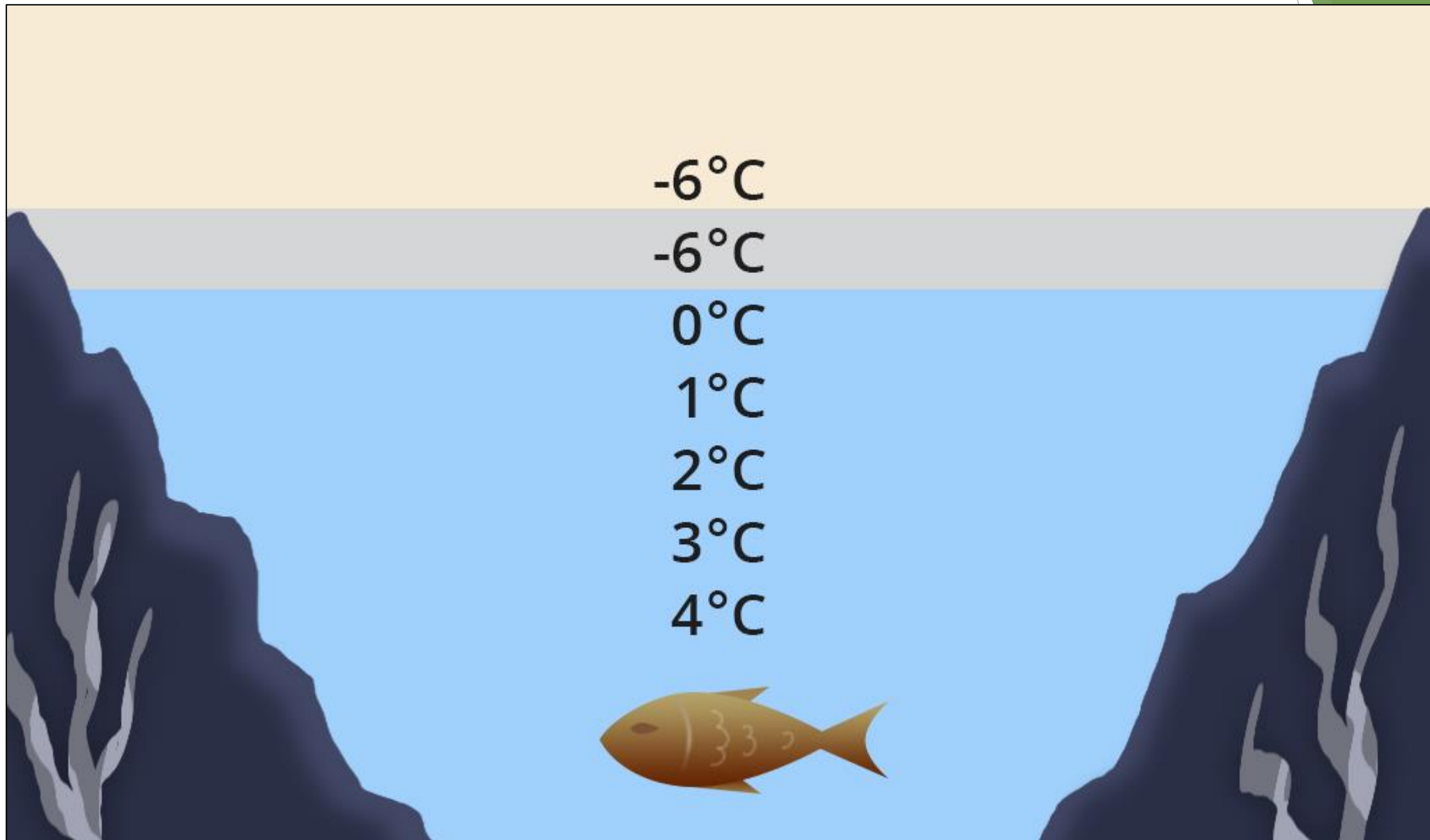
srpanj



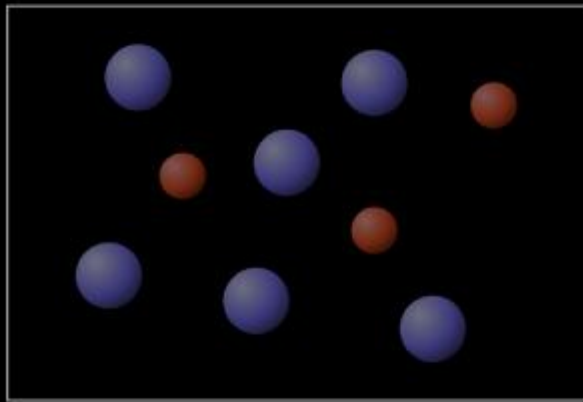
Toplinsko rastezanje vode

- 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.

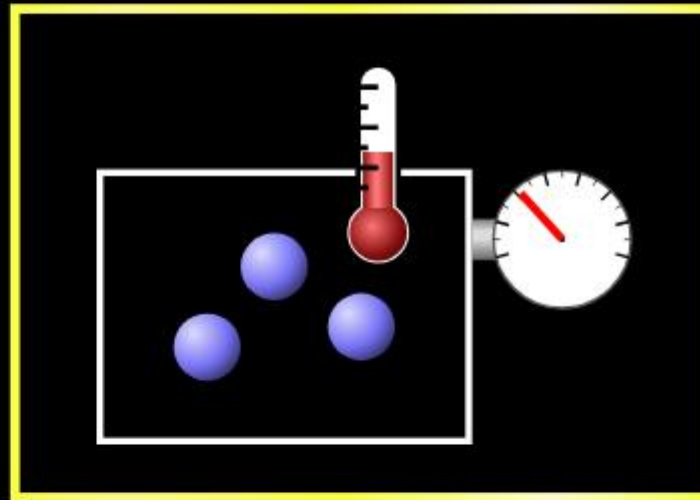




Gases Intro



Intro



Laws

Ovisnost Tlaka i Volumena

Plinski zakoni

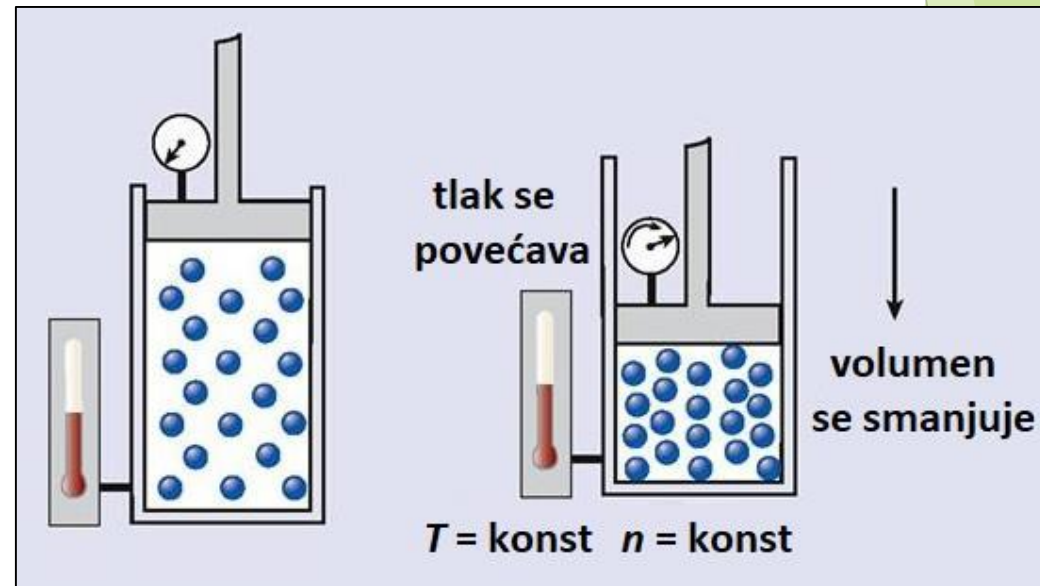
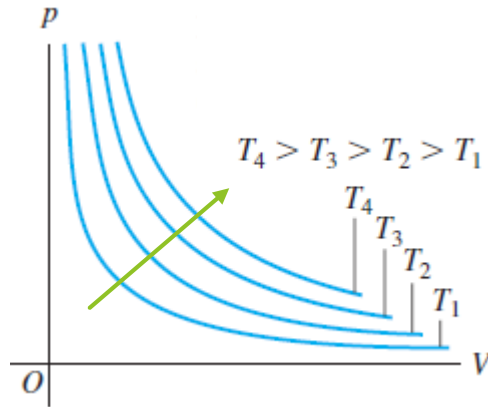
Idealni plin - međumolekularne sile su zanemarive

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

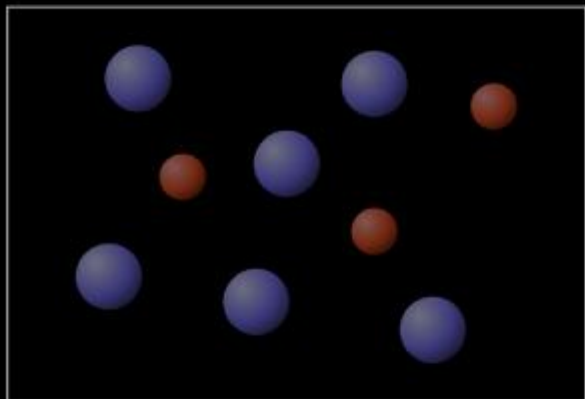
- Boyle-Mariotteov zakon:

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

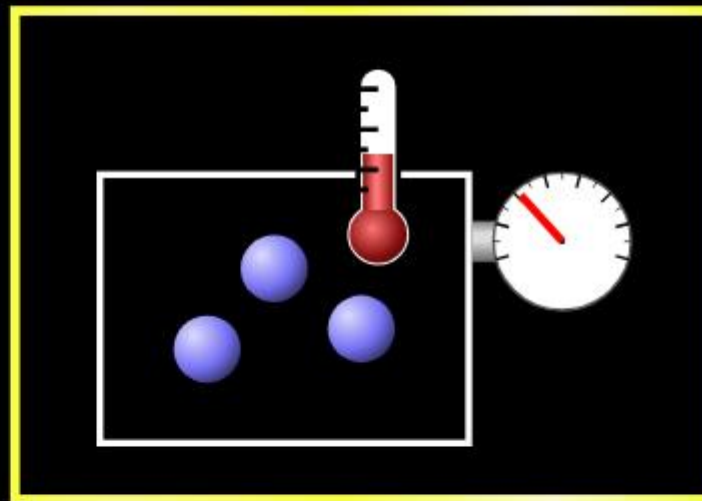
Izotermna promjena



Gases Intro



Intro



Laws

Ovisnost Volumena i Temperature

Plinski zakoni

- Gay-Lusacov zakon: Izobarna promjena

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

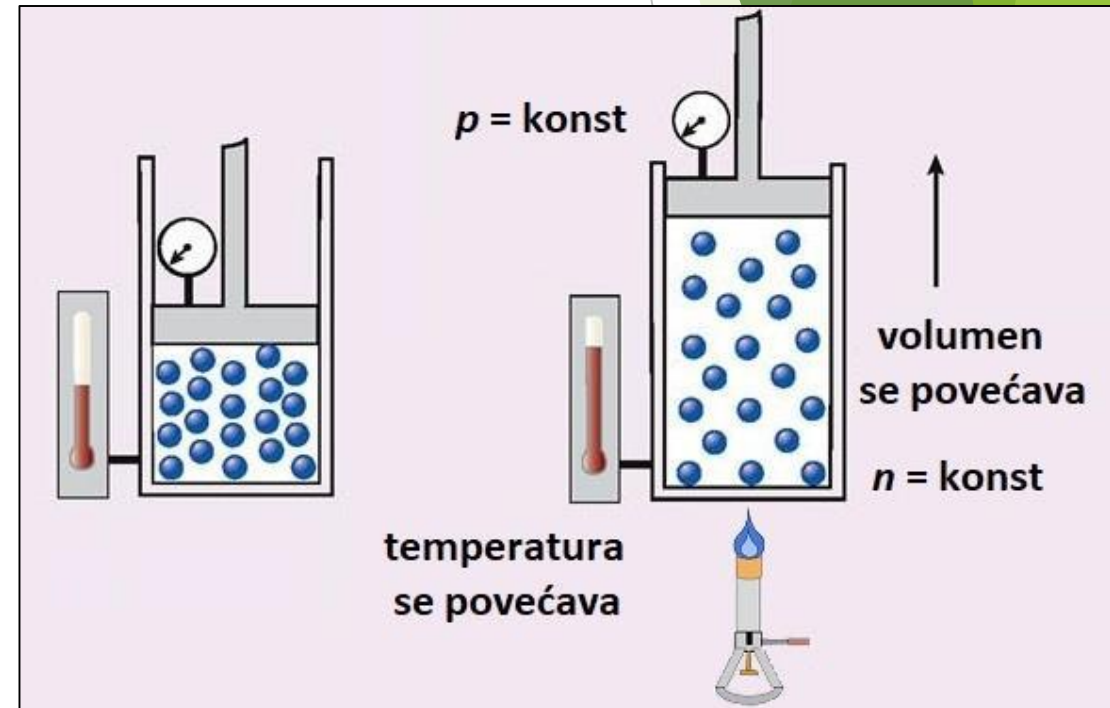
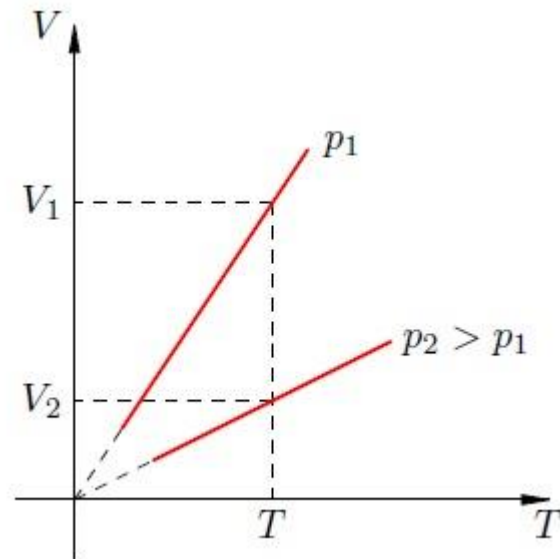
Volumen na 0°C

- toplinski koeficijent širenja plina:

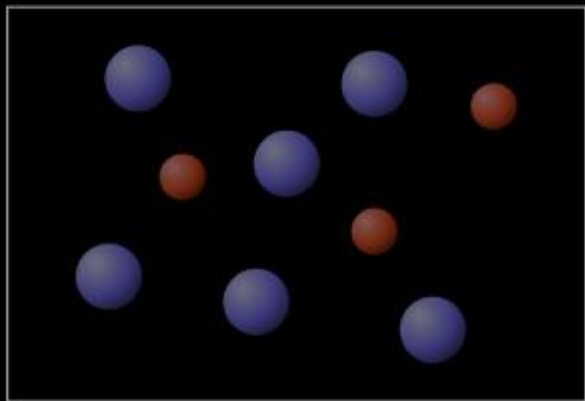
$$\alpha = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$$

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

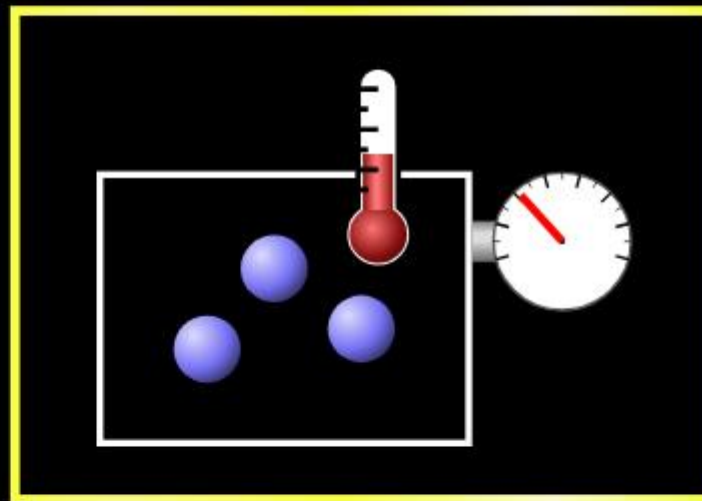
$$\frac{V}{T} = \text{konst.}$$



Gases Intro



Intro



Laws

Ovisnost Tlaka i Temperature

Plinski zakoni

- Charlesov zakon: Izohorna promjena

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

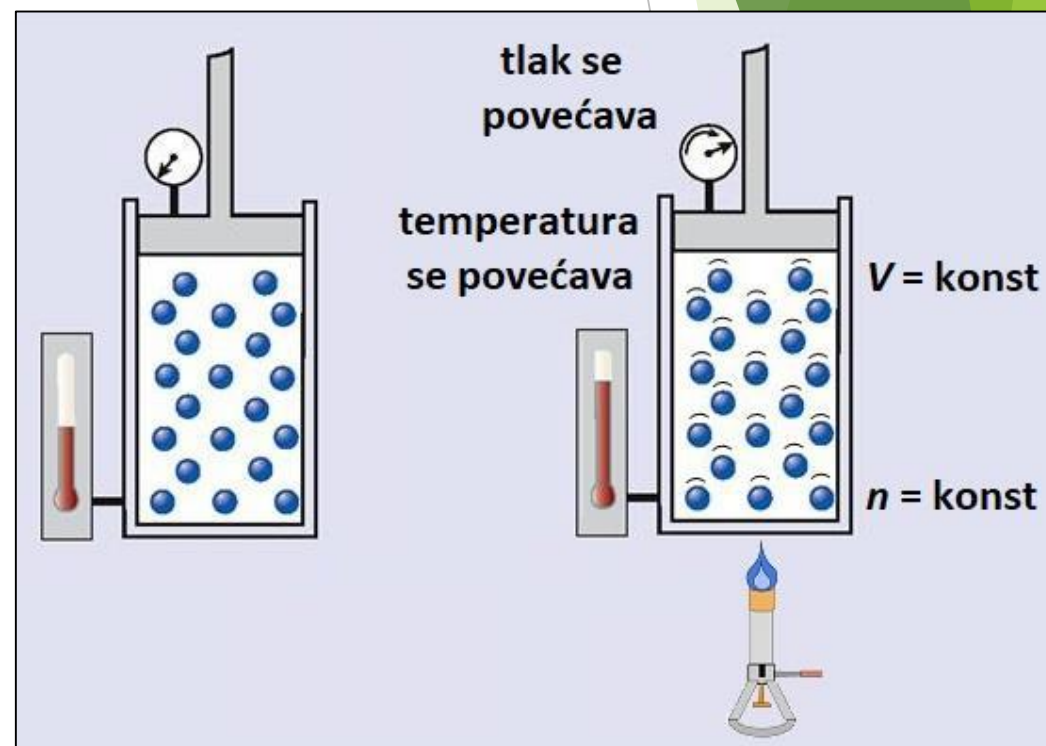
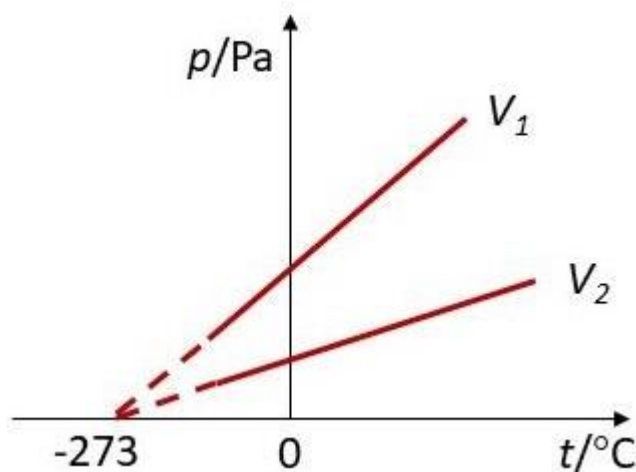
tlak na 0°C

- toplinski koeficijent promjene tlaka:

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

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

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



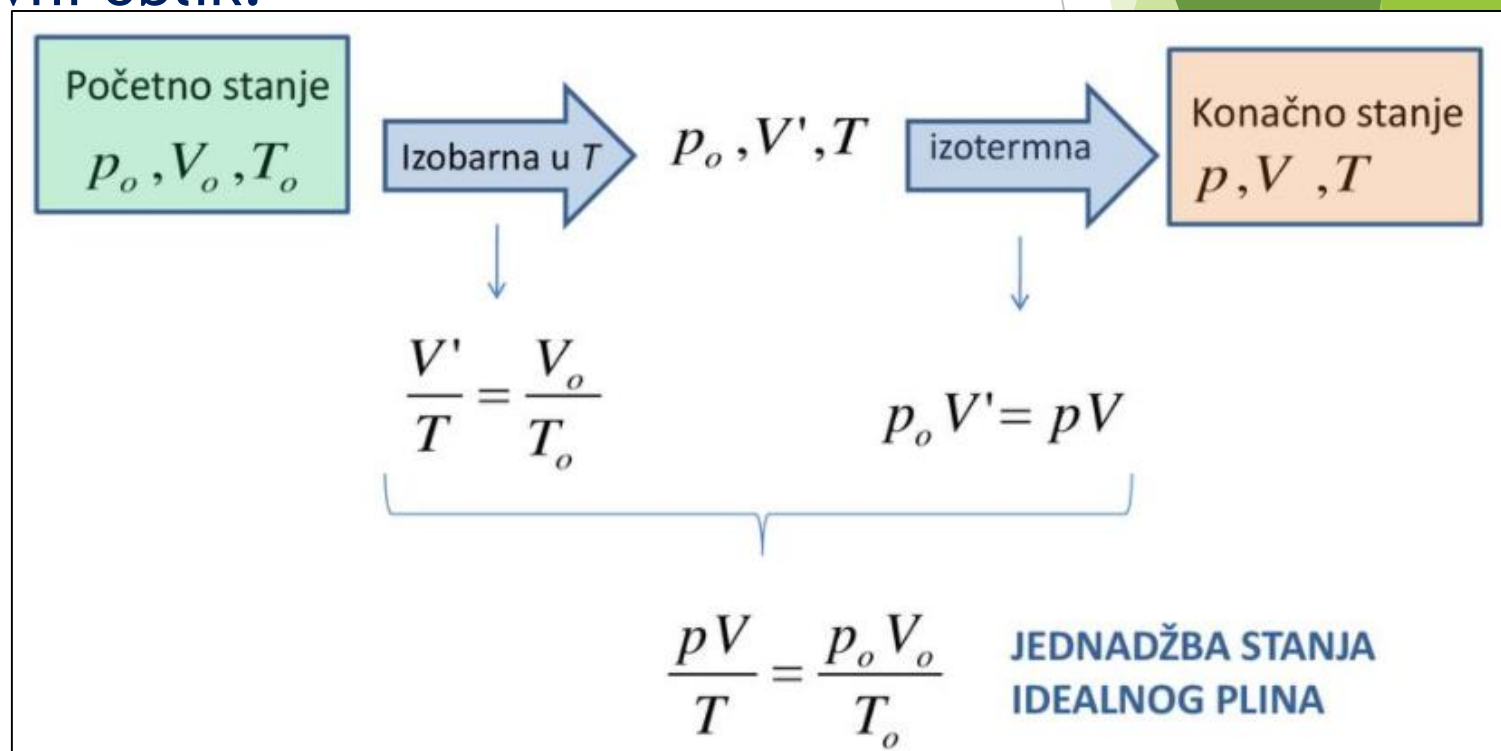


Jednadžba stanja plina

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:

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

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_0 V_0 V_{m0}}{T_0 V_{m0}}$$

R

$$p V = nRT$$

uz $k = R/N_A$

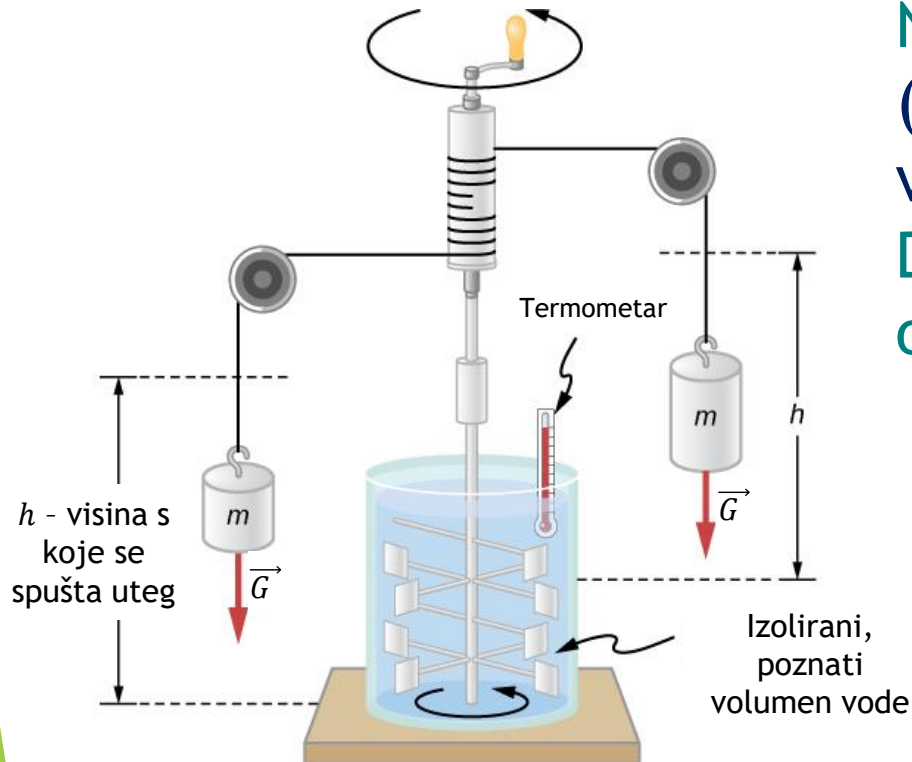
$$p V = NkT$$

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

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

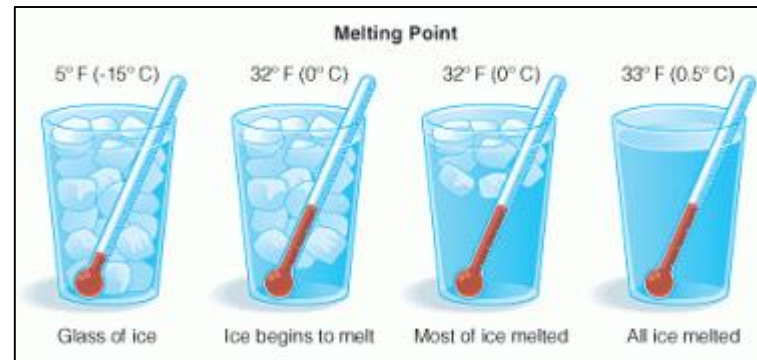
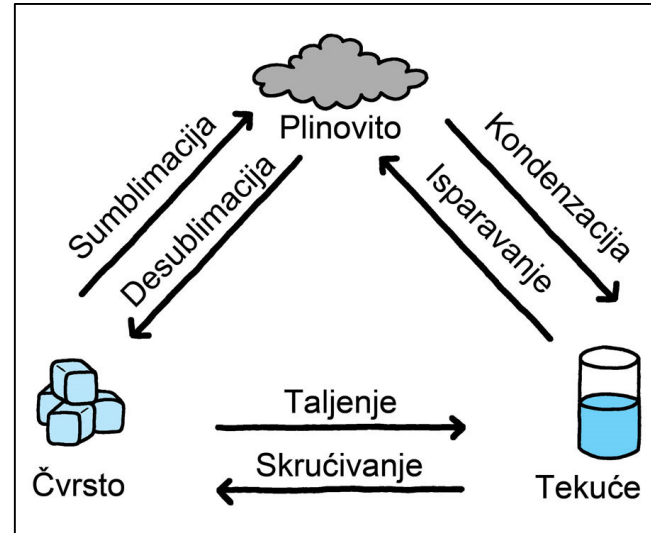


(a)

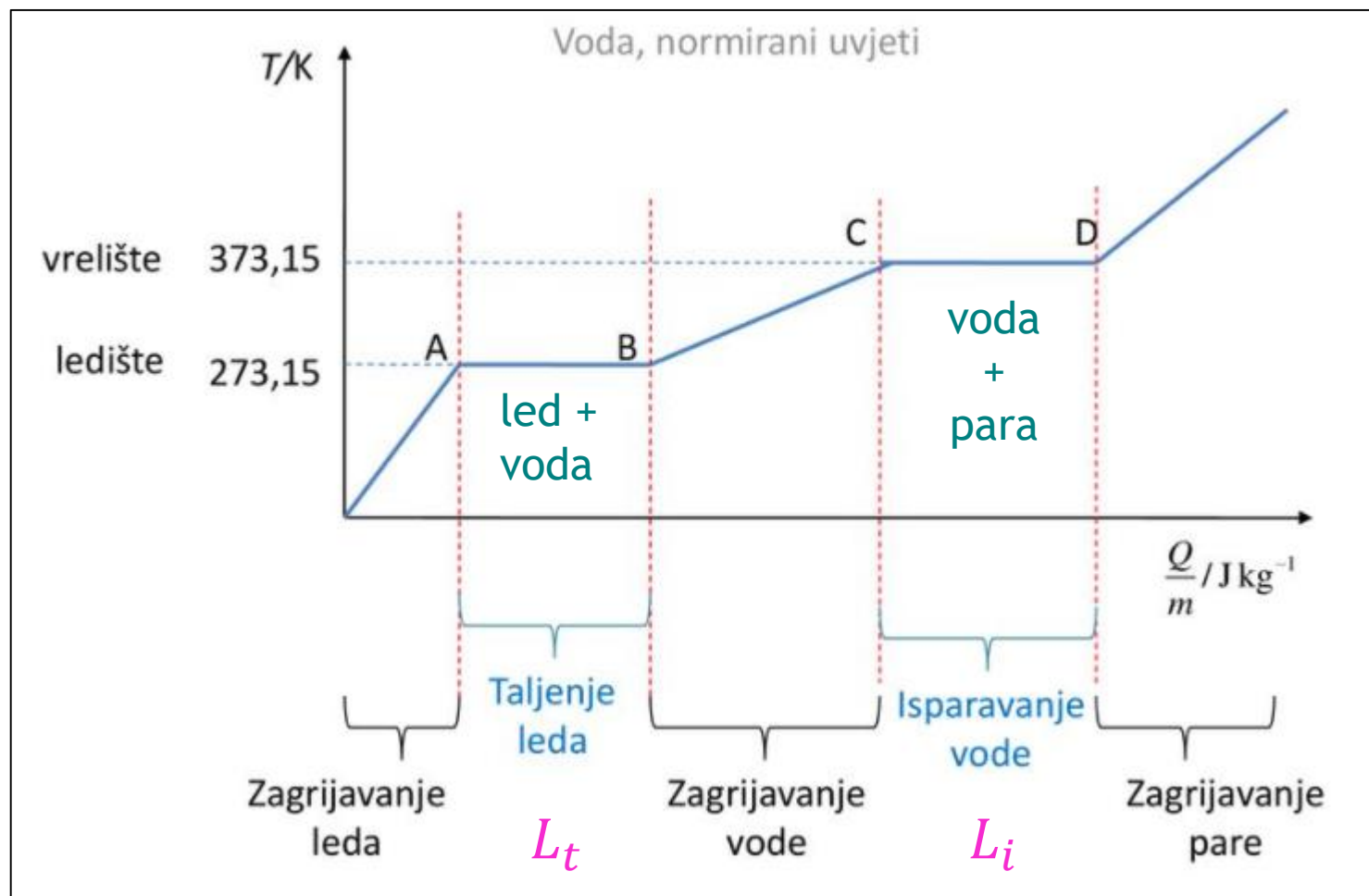
sublimacija



(b)

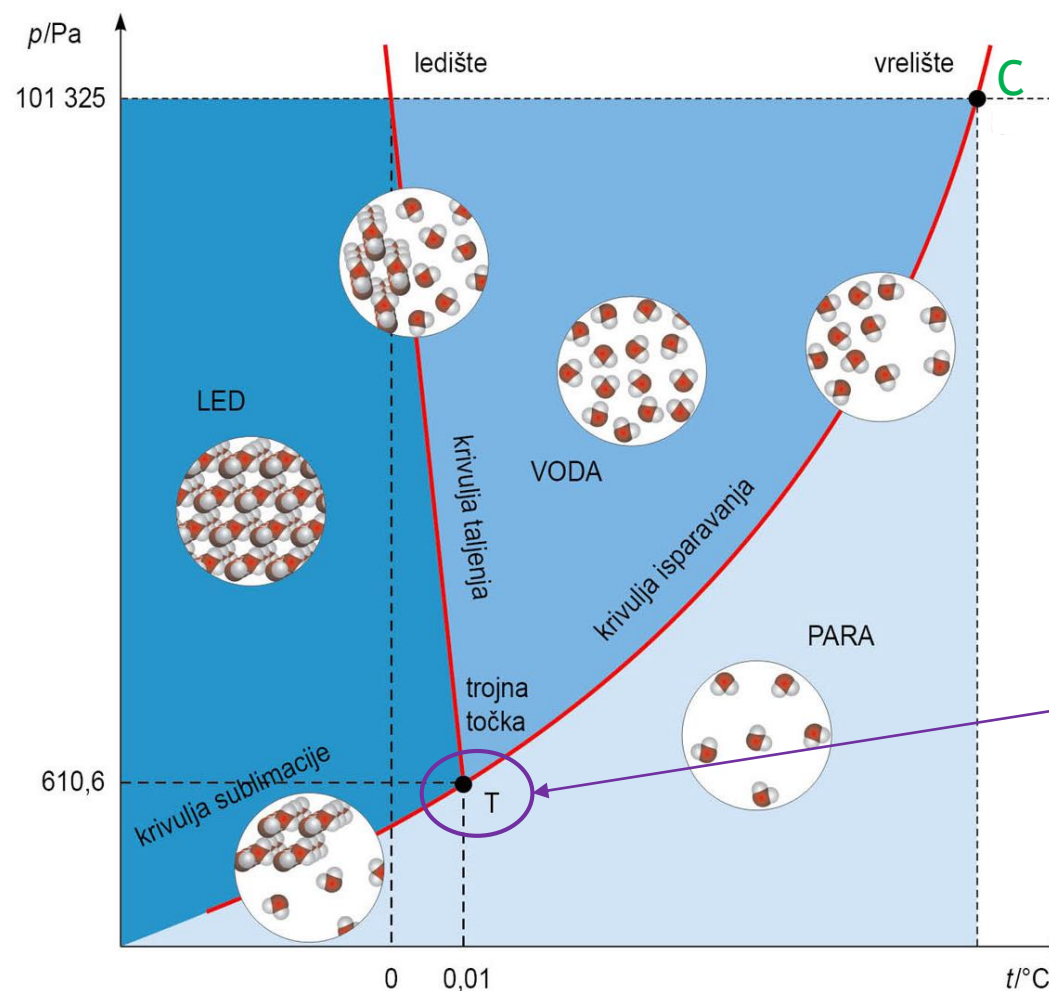


Promjene agregatnih stanja



Fazni dijagram vode

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



- Skala za tlak nije proporcionalna!

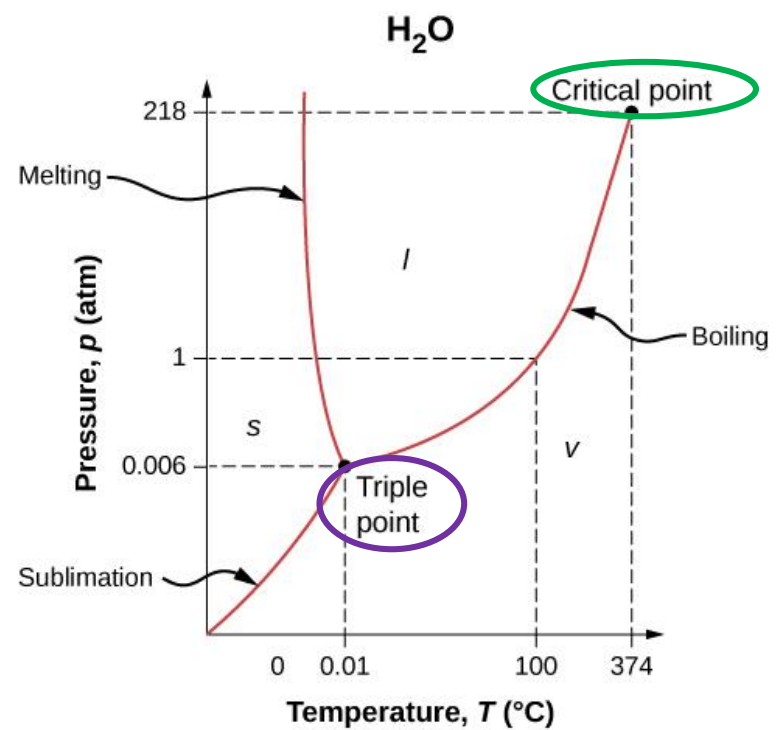
C - kritična točka

- Krivulja isparavanja ima kraj!
- T_C - najveća temperatura za koju tvar može postojati u tekućoj fazi.
- $T_C = 647 \text{ K } (374 \text{ °C})$
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 dijagram vode



Primjer Usmeni: Newtonov zakon gravitacije

a.) Definicija

b.) Jednadžba

c.) Grafovi

a.) Definicija

Gravitacijska sila je privlačna sila koja postoji između bilo koja dva objekta koja imaju masu. Ona je temeljna sila prirode i odgovorna je za mnoge pojave u svemiru, poput kretanja planeta, orbita mjeseca, i padanja predmeta na Zemlju.

b.) Jednadžba

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0$$

Kako se sila F_{12} odnosi naspram mase m_1 ? (sve druge veličine su konstantne)

Gledamo da li se masa nalazi u brojniku ili nazivniku. Ako se masa nalazi u brojniku tada sila raste (proporcionalno) a ako je u nazivniku tada sila pada (obrnuto proporcionalno). Općenito vrijedi za sve varijable.

Odgovor: Sila F_{12} raste povećanjem mase m_1 tj. proporcionalna je naspram mase m_1 .

Kako se masa m_1 odnosi naspram mase m_2 ? (sve druge veličine su konstantne)

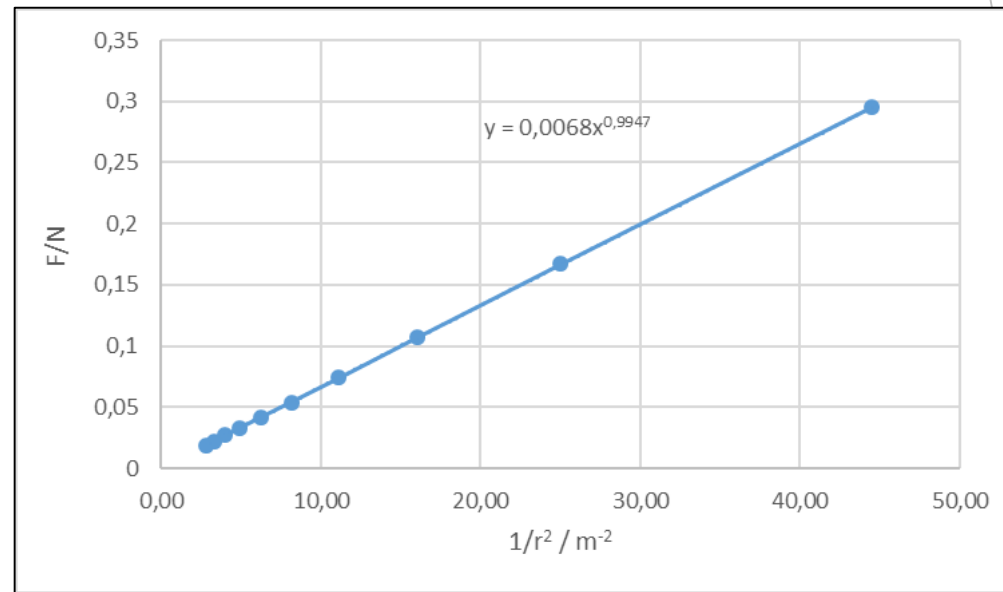
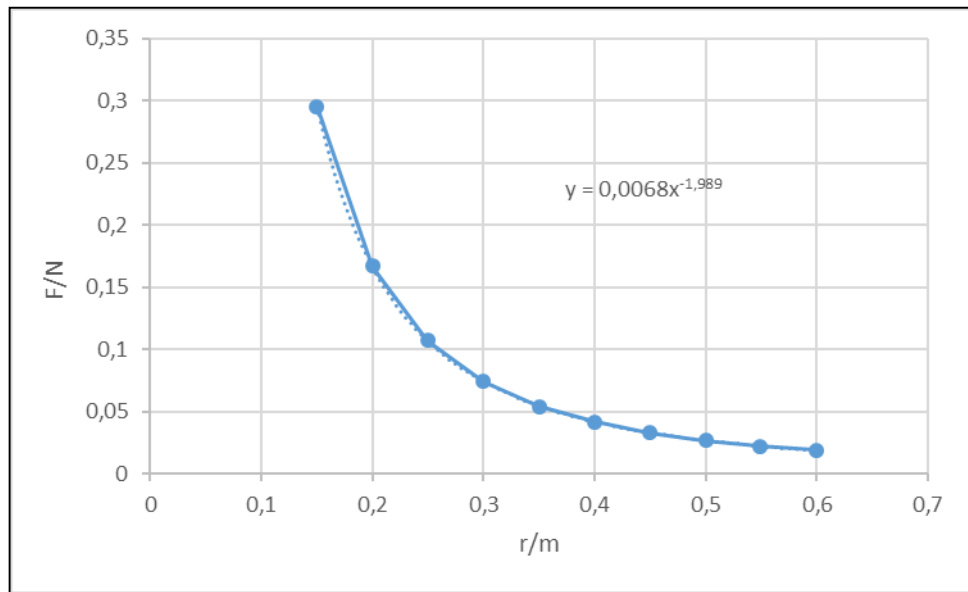
m_1 trebamo izlučiti da bude samostalan na jednoj strani. Npr. $m_1 = \frac{F_{12} \cdot r^2}{k \cdot m_2}$

Gledamo da li se masa m_2 nalazi u brojniku ili nazivniku. Zaključujemo da se nalazi u nazivniku.

Odgovor: Masa m_1 smanjuje se povećanjem m_2 tj. obrnuto je proporcionalna naspram mase m_2 .

Nacrtajte grafove ovisnosti sile F o udaljenosti r

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0$$



Nacrtajte graf odvisnosti sile F o
masama m

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0$$

