

Pojave u fluidima

dr.sc. Robert Beuc

Fizika

Studij Fizioterapije



Pojave u tekućinama i plinovima

- Najsitniji dijelovi tvari koji još zadržavaju mnoga svojstva te tvari su **atomi** i **molekule**
- Kemijski elementi – **atomi**
- Kemijski spojevi – **molekule**
- **Kohezione sile** – sile između molekula istih tvari
- **Adhezione sile** – sile između molekula različitih tvari

- Tlak **p**,
- Gustoća **ρ**
- Volumen **V**
- Koncentracija **n**, broj čestica **N** u jediničnoj zapremnini ($1/\text{m}^3$)

$$p = \frac{F}{S}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

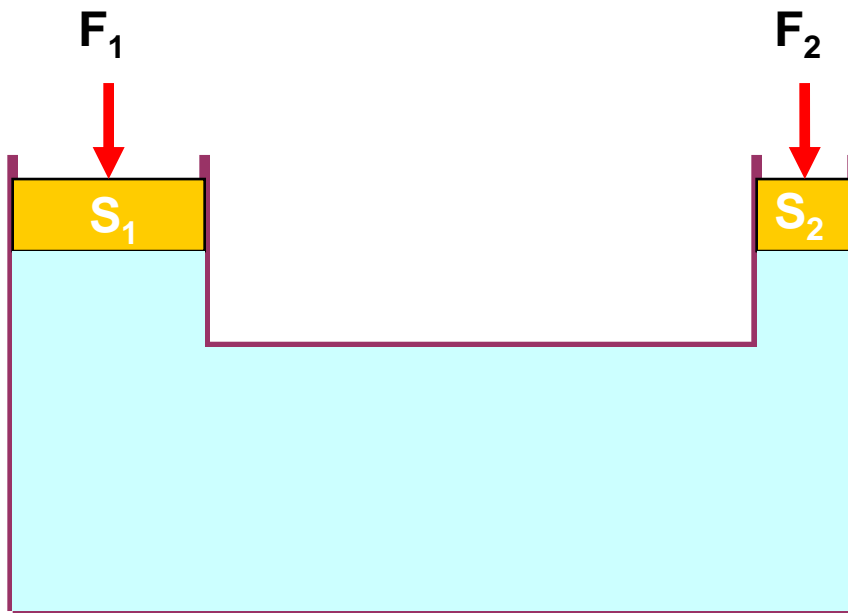
$$n = \frac{N}{V}$$

P,N,V

Karakteristični tlakovi u normalnom tijelu

	kPa	(mm Hg)
Arterial blood pressure		
Maximum (systole)	13-18	100-140
Minimum (diastole)	8-12	60-90
Venous blood pressure	0.4-0.9	3-7
Great veins	<0.1	<1
Capillary blood pressure		
Arterial end	4	30
Venous end	1.3	10
Middle ear pressure	<0.1	<1
Eye pressure—aqueous humor	2.6	20
Cerebrospinal fluid pressure		
in brain (lying down)	0.6-1.6	5-12
Gastrointestinal	1.3-2.6	10-20
Intrathoracic pressure		
(between lung and chest wall)	-1.3	-10

- **Pascalov zakon:** “Tlak se u tekućini prenosi jednako na sve strane.”
- Hidraulični tijesak



$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} = konst$$

$$F_1 = \frac{S_1}{S_2} F_2 = \frac{r_1^2 \pi}{r_2^2 \pi} F_2$$

Hidrostatski tlak, aerostatski tlak

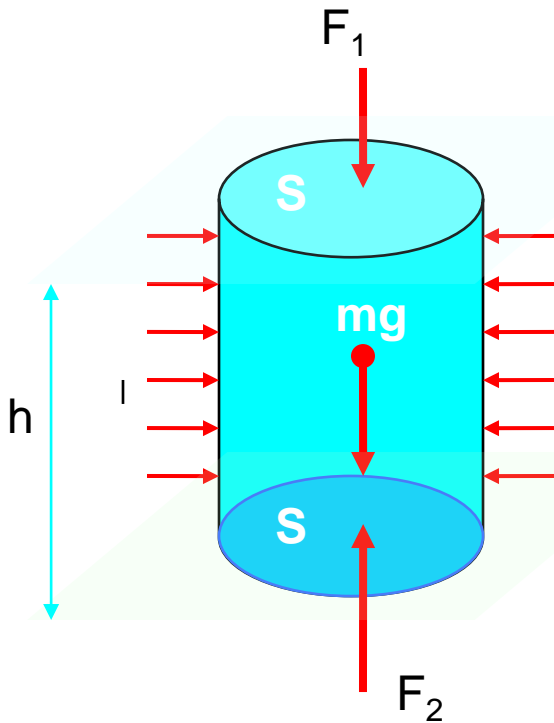
$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \dots = 0$$

$$F_2 = F_1 + mg$$

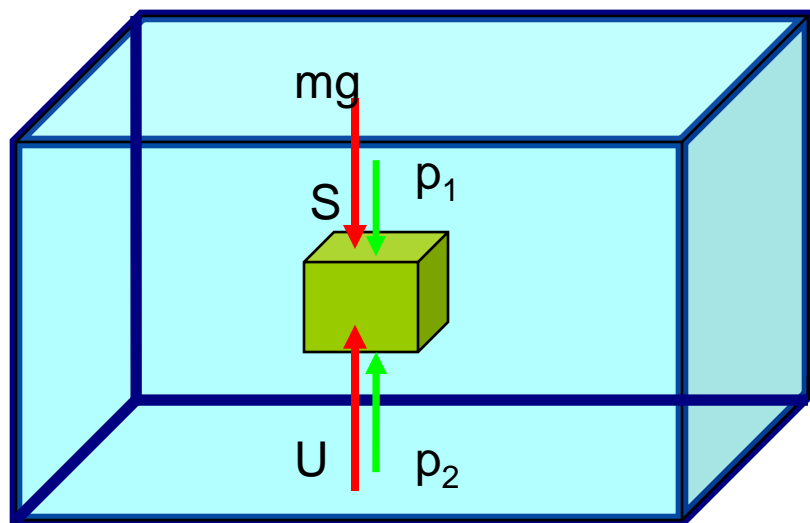
$$\frac{F_2}{S} = \frac{F_1}{S} + \frac{mg}{S}$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot h$$

$$p_2 = p_1 + \rho \cdot g \cdot h$$



- **Arhimedov zakon**, tijelo uronjeno u tekućinu gubi prividno na težini, onoliko kolika je težina njegovim volumenom istisnute tekućine.
- **Uzgon** je sila suprotnog smjera od težine uronjenog tijela i jednaka težini istisnute tekućine

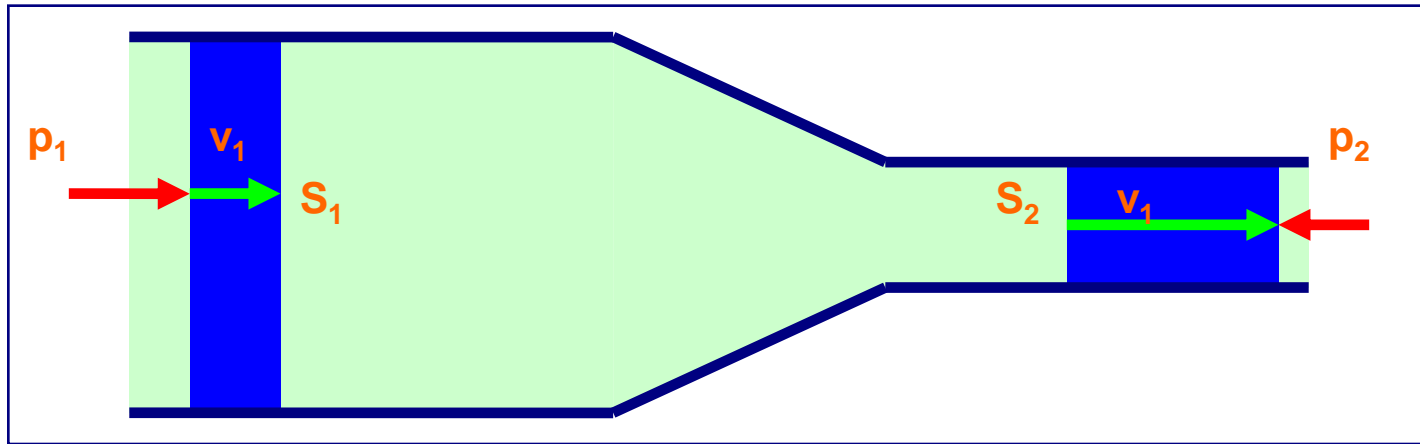


$$U = S(p_2 - p_1)$$

$$U = mg = V \cdot \rho \cdot g$$

Jednadžba stalnosti strujanja ili jednadžba kontinuiteta

Pretpostavka, nestlačivi fluid.



$$S_1 v_1 = S_1 \frac{\Delta s_1}{\Delta t} = \frac{\Delta V_1}{\Delta t}$$

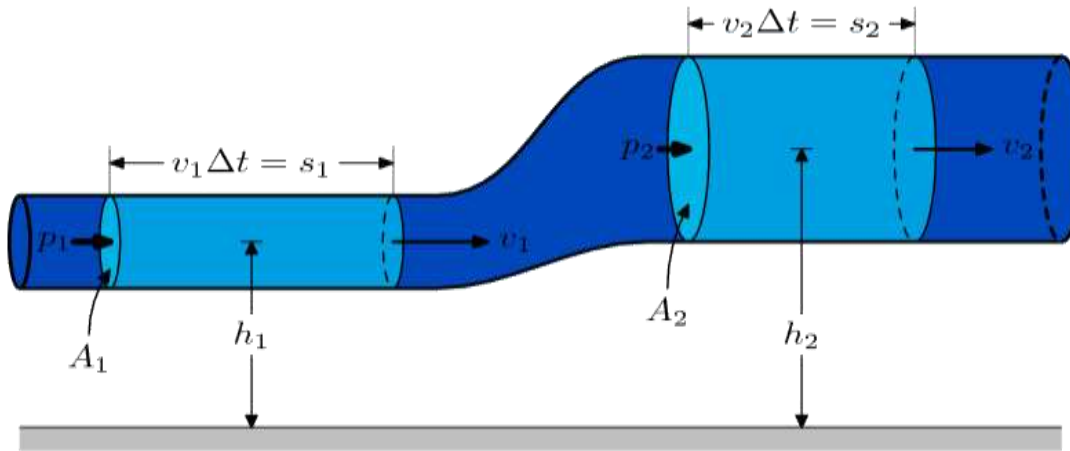
$$S_2 v_2 = S_2 \frac{\Delta s_2}{\Delta t} = \frac{\Delta V_2}{\Delta t}$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Q$$

Bernoullijeva jednadžba

Daniel Bernoulli (1700 – 1782)



$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konst.}$$

Bernoullijeva jednadžba je temeljna jednadžba hidrodinamike: zbroj **vanjskog** tlaka, **hidrostatičkog** tlaka i **hidrodinamičkog** tlaka je konstantan u svakoj točki strujnice.

Ako je fluid miran $v_1 = v_2 = 0$, dobiva se hidrostatička jednadžba:

$$p_2 = p_1 + \rho g (h_1 - h_2)$$

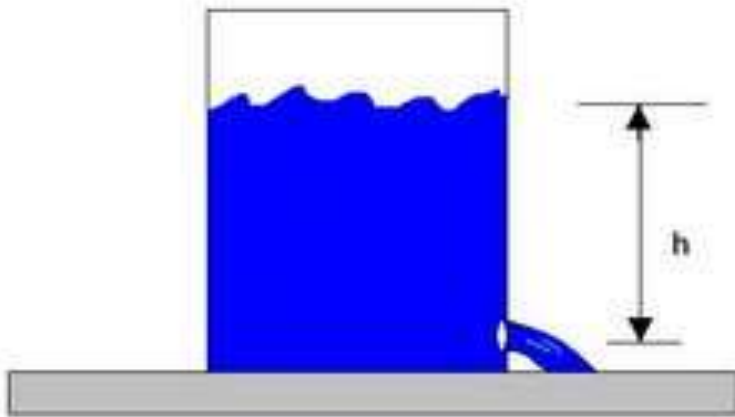
Torricellijev zakon

Evangelista Torricelli (1608 – 1647)



$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Kinetička energija čestice pri istjecanju jednaka je potencijalnoj energiji na vrhu tekućine.



$$\frac{mv^2}{2} = mgh$$

$$p_1 = p_2, h_1 = h, \\ h_2 = 0, v_1 = 0, v_2 = v$$

Brzina istjecanja jednaka je brzini slobodnog pada.

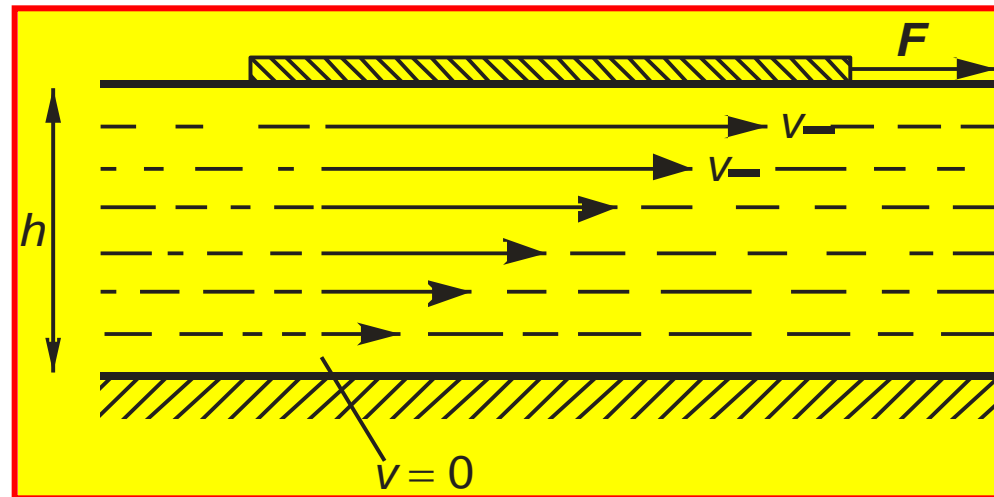
$$v = \sqrt{2gh}$$

- Slojevi realne tekućine se međusobno privlače, “lijepe”, što izaziva unutarnje trenje slojeva, koje se naziva **viskoznost**.
- Dinamička viskoznost η (Pa s)
- Kinematička viskoznost ν (m²/s)

	viscosity (Pa·s)
ethanol	^a 1.074×10^{-3}
acetone	^a 0.306×10^{-3}
methanol	^a 0.544×10^{-3}
propanol	^a 1.945×10^{-3}
benzene	^a 0.604×10^{-3}
mercury	^a 1.526×10^{-3}
sulfuric acid	^a 24.2×10^{-3}
glycerol	^a 934×10^{-3}
olive oil	81×10^{-3}

$$F = -\eta \cdot S \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$



Strujanje tekućina

- Slojevito ili laminarno strujanje se odvija sa paralelnim slojevima tekućine, te gotovo nema miješanja tekućina.
- Vrtložno ili turbulentno gibanje uz komešanje tekućine.
- Kritična brzina v_k prijelaza laminarnog u turbulentno gibanje

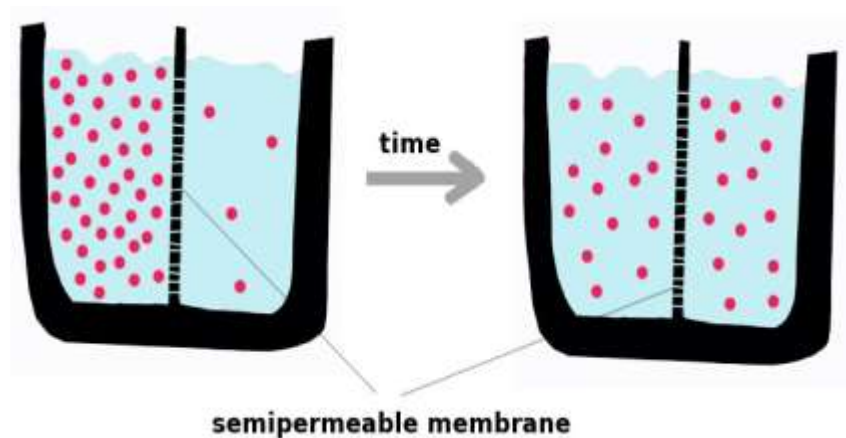
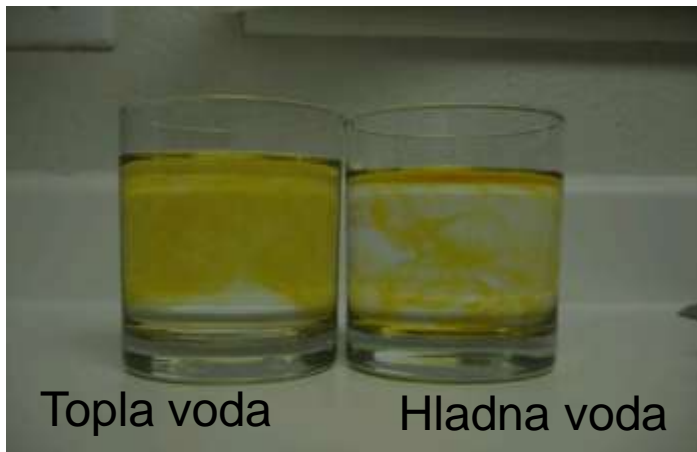


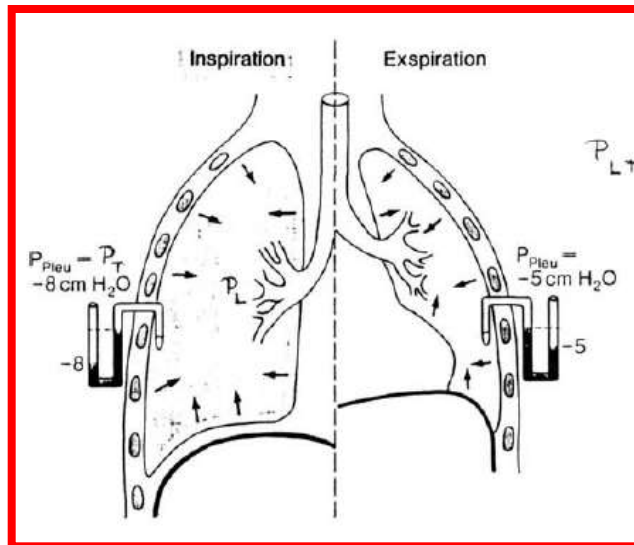
$$v_k = R \frac{\nu}{d}$$

R Reynoldsov broj
ν kinematička viskoznost
d karakteristična duljina
(dijametar cijevi)

Difuzija i osmoza

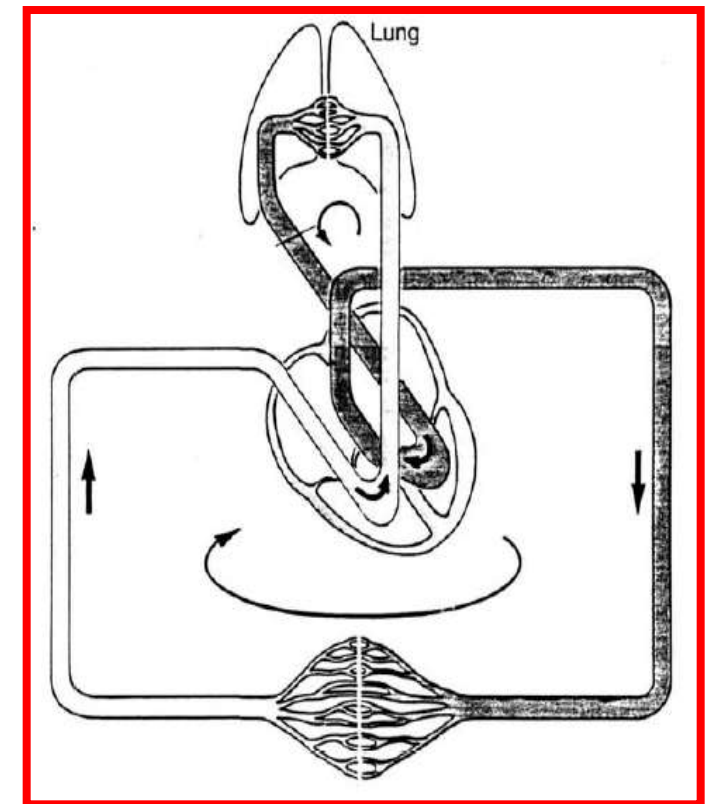
- **Difuzija** je spontani protok tvari iz područja veće koncentracije u područja manje koncentracije. Ona je izrazita u tekućinama i plinovima a opaža se i u čvrstim tvarima u neposrednom dodiru.
- **Osmoza** je protok otapala kroz polupropusnu membranu (propušta samo otapalo). Temeljna pojava vezana uz protok tvari između stanica.



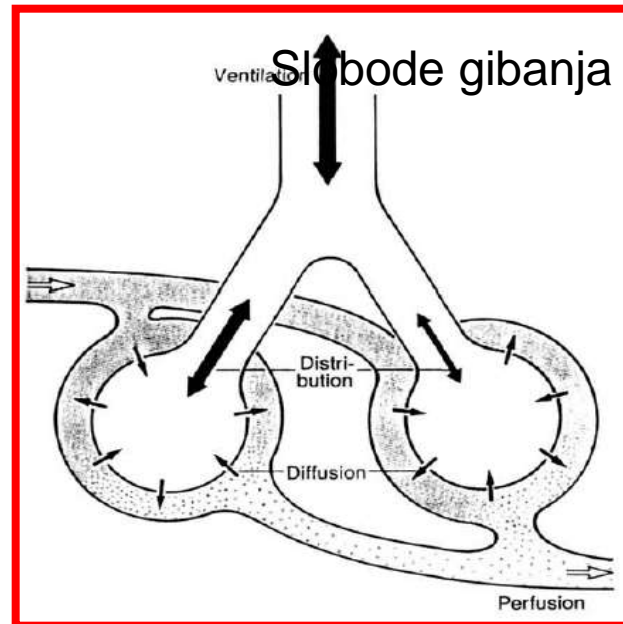


Proces disanja

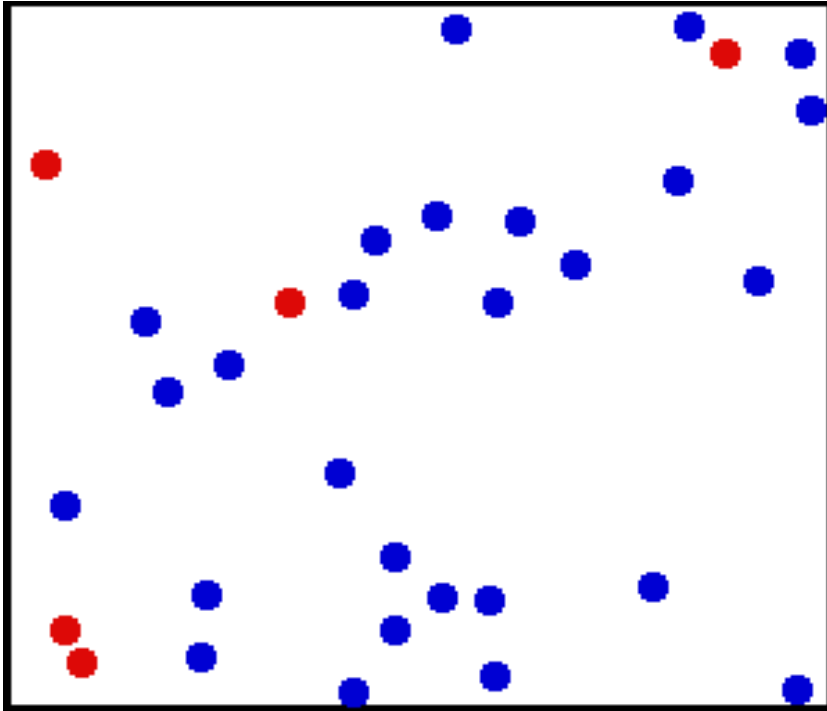
Krvotok



Izmjena plinova u alveolama difuzijom



TOPLINA



- Unutrašnja energija
- Toplina
- Prijelaz topline
- Plinski zakoni
- Temperatura
- Agregatna stanja
- Vlažnost zraka

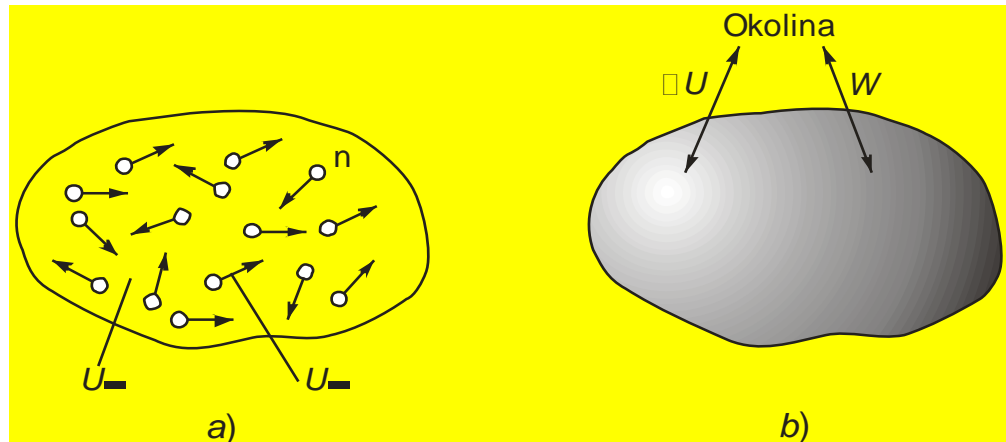
Unutrašnja energija i toplina

$$U = \sum_n U_n$$

- U svakom sustavu čestica, čestice se gibaju
- Zatvoren sustav nema razmjene tvari s okolinom
- Otvoren sustav- razmjena tvari s okolinom
- Unutrašnja energija sustava **U** je zbroj svih pojedinih energija čestica **U_n**
- Moguće je odrediti promjenu unutrašnje energija kroz razmjenu energije ili rada zatvorenog sustava s okolinom.
- Toplina **Q** je energija koju zatvoreni sustav razmjenjuje sa okolinom kada nema rada ($W=0$)

$$\Delta U = Q + W$$

$$Q = \Delta U$$



Plinski zakoni

$$pV = konst.$$

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

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

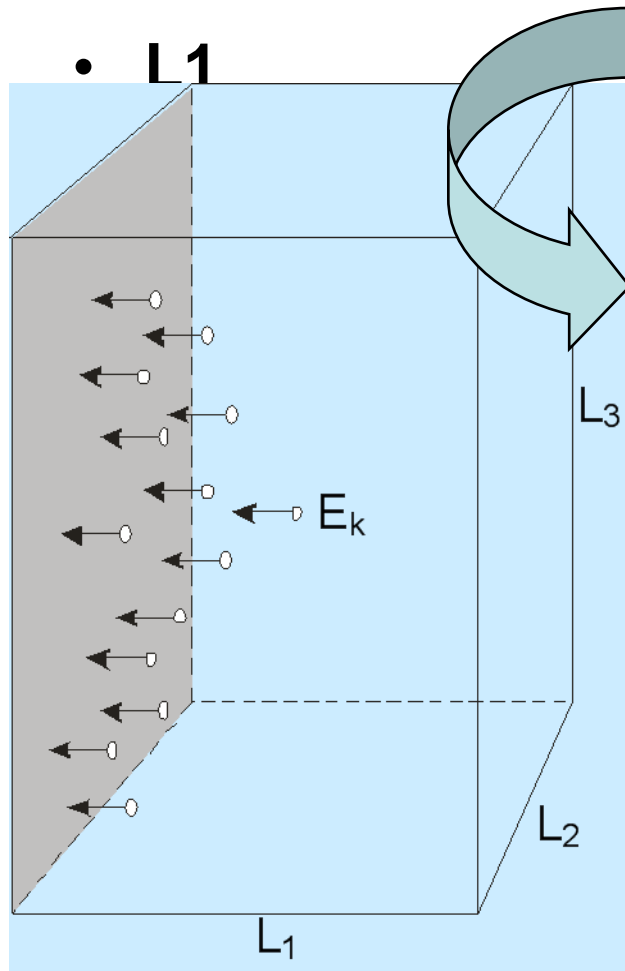
- **p** tlak, **V** obujam, **T** temperatura, **N** broj čestica
- Robert Boyle (1662) i Edme Mariotte (1676) (**T,N** nepromjenljivi)
- Jacuques Charles(1787) i Joseh Louis Gay-Lussac (1802) (**p,N** stalni)
- Amedeo Avogadro (1811) (**p,T** stalni)
- Zakon idealnog plina, **k** Boltzmannova konstanta ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)
- Daltonow zakon parcijalnih tlakova (smjesa plinova)

$$pV = NkT$$

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots}{V} kT$$

Temperatura

termodinamička definicija



$$F_x = ma_x = m \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = m \frac{2v_x}{2L_1/v_x} = m \frac{v_x^2}{L_1}$$

$$\Delta v_x = v_x - (-v_x) = 2v_x$$

$$\Delta t = \frac{2L_1}{v_x}$$

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{N/3} F_{ix}}{L_2 L_3} = \frac{m}{L_1 L_2 L_3} \sum_{i=1}^{N/3} v_{ix}^2 = \frac{m}{V} \frac{N}{3} \overline{v^2}$$

$$\frac{pV}{N} = \frac{1}{3} m \overline{v^2} = \frac{2}{3} \frac{m \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} \overline{E_k}$$

Srednja kinetička energija proporcionalna je temperaturi

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} \frac{pV}{N} = \frac{3}{2} kT$$

Prijelaz topline

Sa tijela više temperature na tijelo niže temperature

Vođenje ili kondukcija

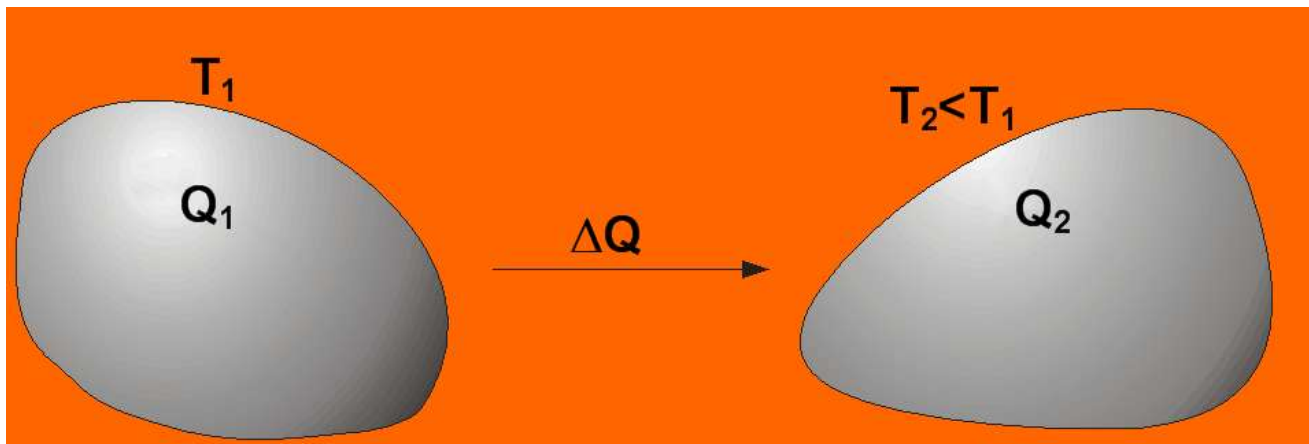
Toplinski vodiči i toplinski izolatori

Prenošenje ili konvekcija

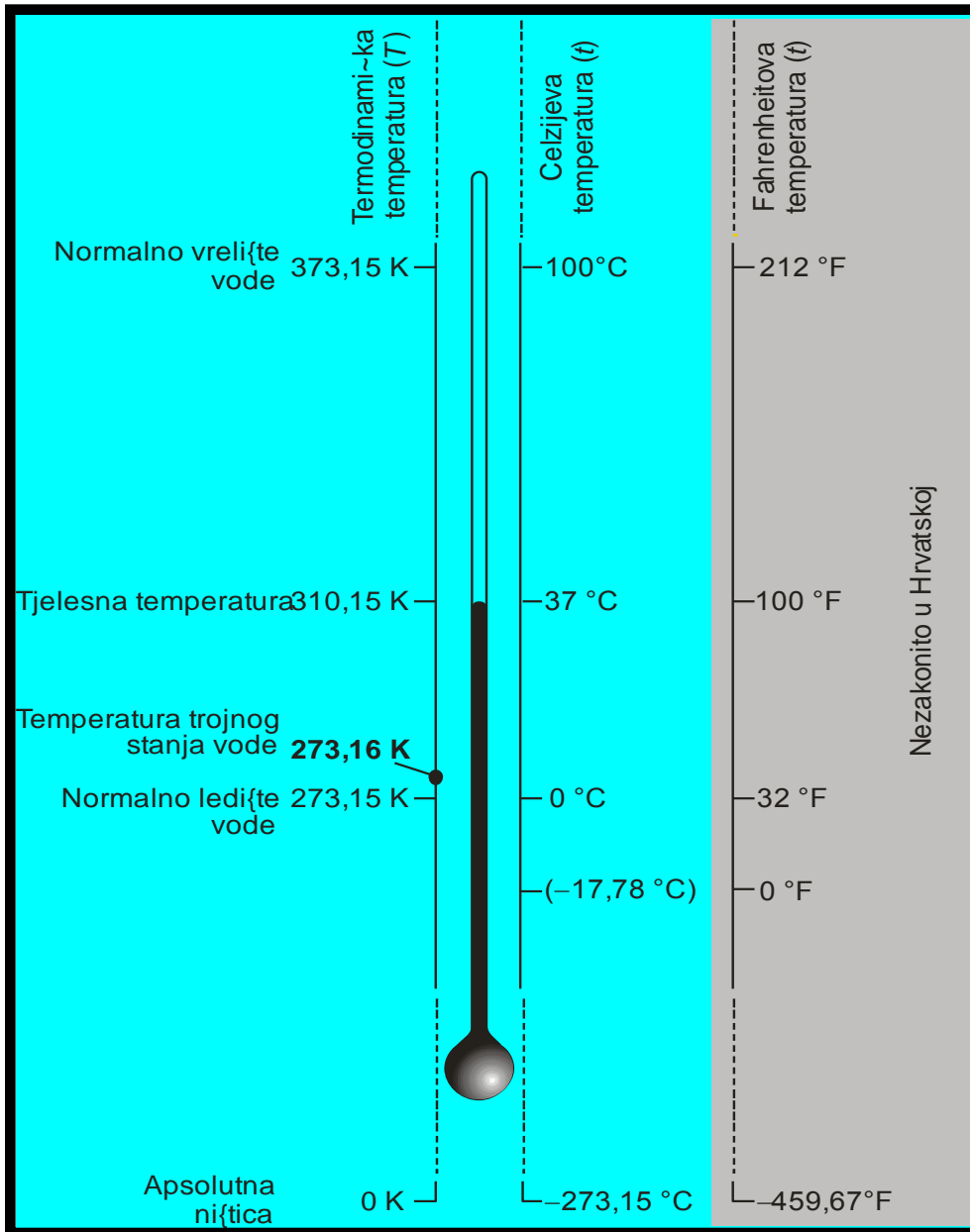
U tekućinama i plinovima

Zračenje ili radijacija

Prijenos topline elektromagnetskim zračenjem

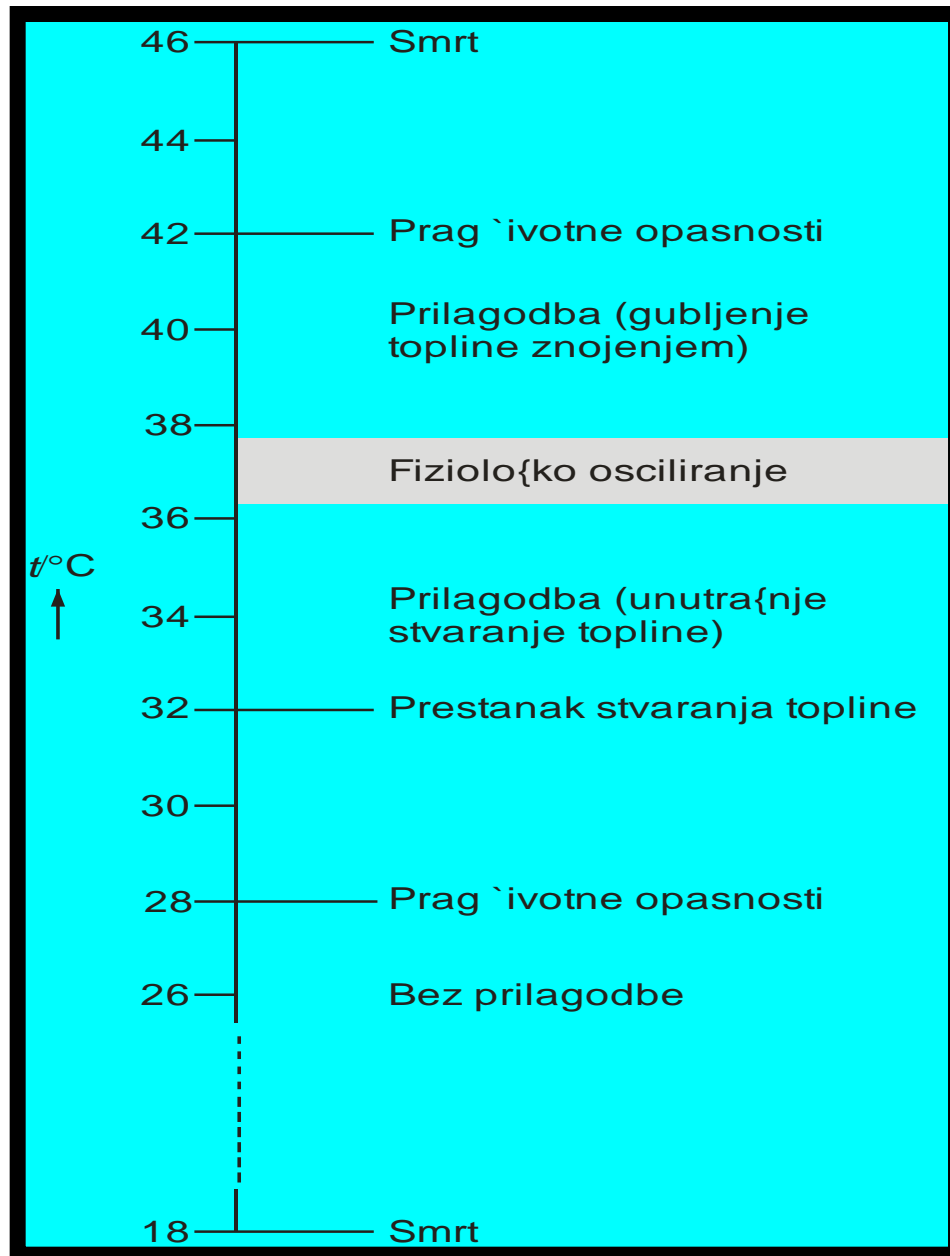


Mjerenje temperature



- Temperaturne ljestvice: termodinamička (K), Celzijeva (°C), Fahrenheitova (°F)
- 0K apsolutna ničtica, -273,15°C
- Trojna točka vode, 273,15 K, 0°C
- 0°F normalna temperatura ljudskog tijela, 37°C
- Preračunavanje temperature u K (T), u temperaturu u °C (t_c)

$$t_c = \left(\frac{T}{K} - 273,15 \right) ^\circ\text{C}$$



Temperatura ljudskog tijela

Toplinska svojstva tvari i tijela

- Toplinski kapacitet C je omjer promjene topline Q i promjene temperature T (jedinica je J/K)
- Specifični toplinski kapacitet c je omjer toplinskog kapaciteta C i mase m tijela

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$



$$\Delta Q = C \cdot \Delta T$$

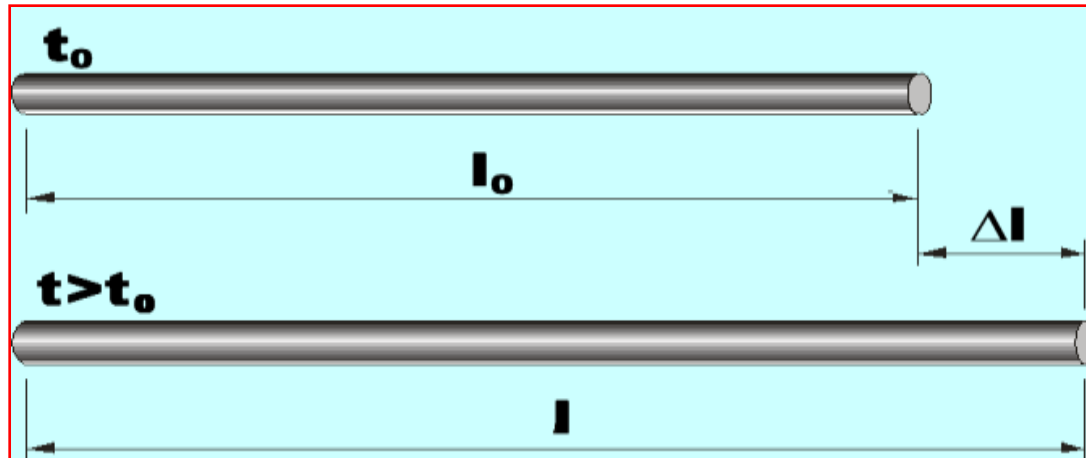
$$c = \frac{C}{m}$$

Toplinsko rastezanje

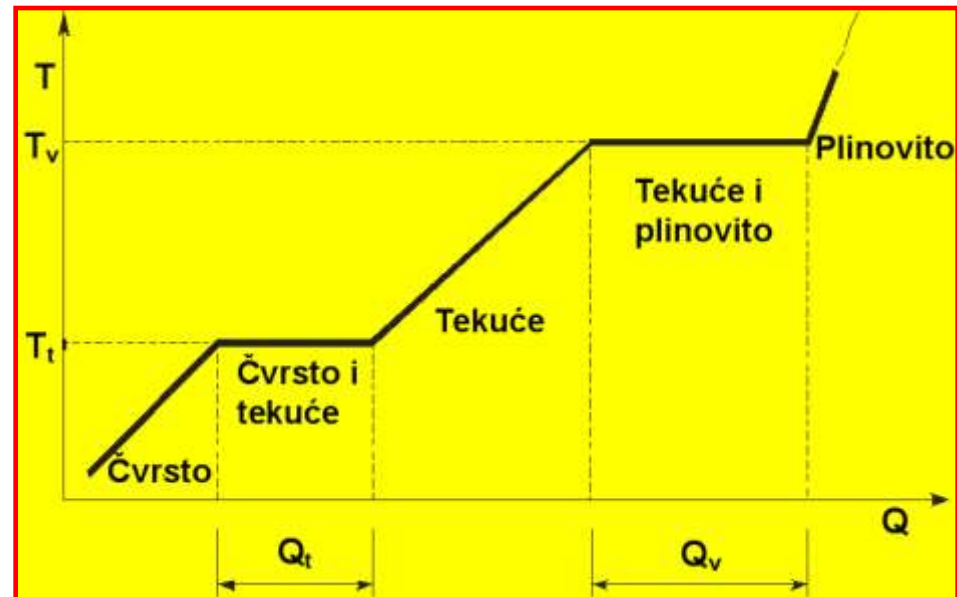
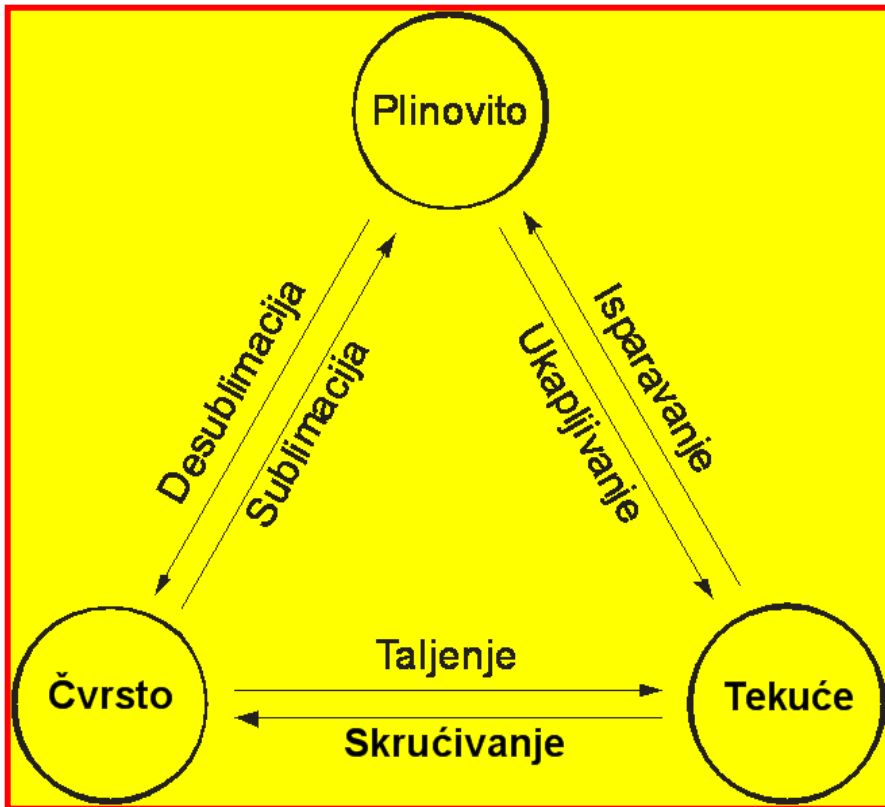
$$l = l_o(1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

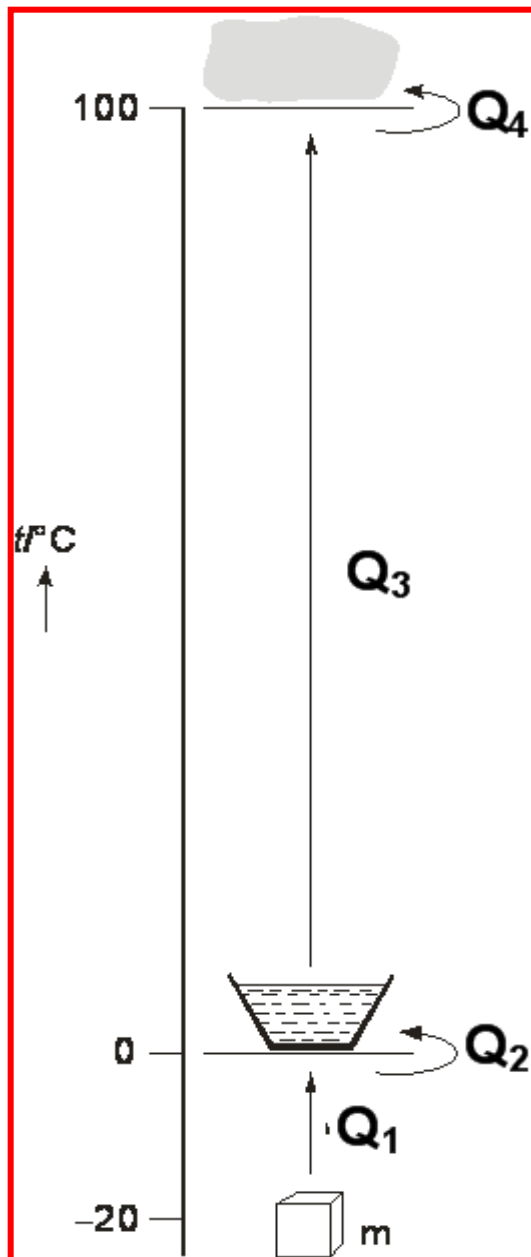
- Pri promjeni temperature Δt mijenja se duljina tijela l (tijela čiji je presjek zanemarivo mali s obzirom na njihovu duljinu). Ta promjena je razmjerna koeficijentu toplinskog rastezanja α
- Promjena volumena V s promjenom temperature Δt razmjerna je koeficijentu toplinskog širenja γ .
 γ idealnog plina je $3,661 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$,
 $\Delta t = -273,15 \text{ K}$, $V=0$, apsolutna ničtica

$$V = V_o(1 + \gamma \cdot \Delta t)$$



Agregatna stanja



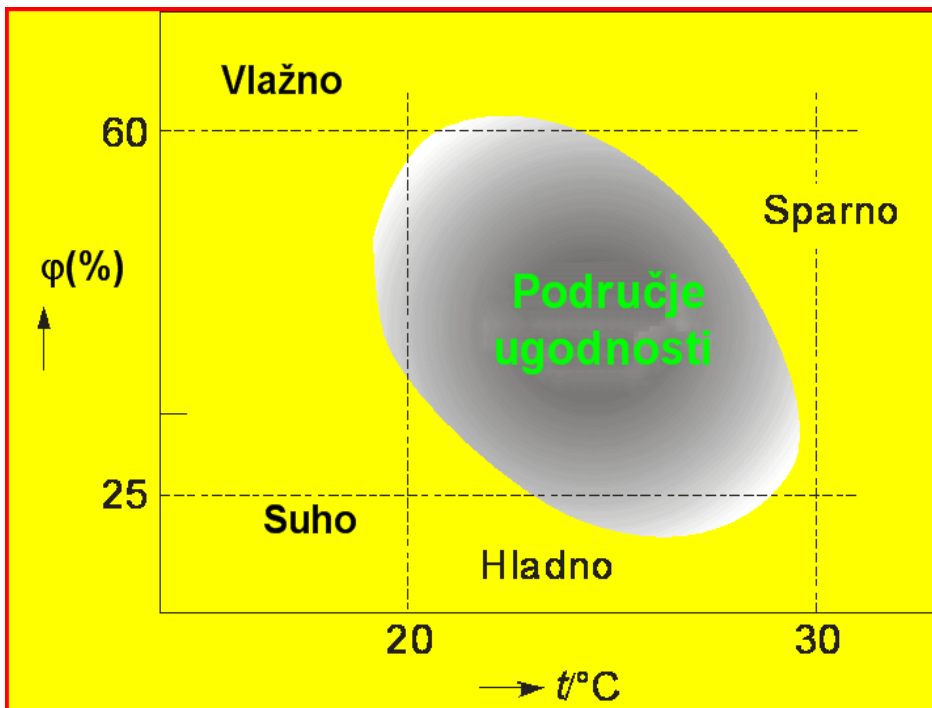


- Pri promjeni agregatnog stanja, temperatura sustava je stalna.
- **Latentna toplina** je ona energija potrebna da sustav promjeni agregatno stanje.

$$\begin{array}{c}
 Q_4 = mQ_v \\
 \leftarrow Q_3 = c_v m \Delta t_v \\
 \leftarrow Q_2 = mQ_t \\
 \leftarrow Q_1 = c_l m \Delta t_l
 \end{array}$$

Klima

- Fiziološki osjećaj ugone, klima ovisi o temperaturi, vlažnosti, strujanju zraka, zračenju okolnih predmeta, primjesama u zraku.
- **Apsolutna vlažnost** a je omjer mase vode m i obujma V vlažne tvari (kg/m^3)
- **Relativna vlažnost** φ je omjer apsolutne vlažnosti a i najveće moguće vlažnosti a_m pri danom tlaku i temperaturi.



$$a = \frac{m_v}{V}$$

$$\varphi = \frac{a}{a_m} = \frac{p}{p_m}$$

- Zagrijavanjem zraka njegova relativna vlažnost pada, a hlađenjem raste



To je sve za danas !
Nadam se da još ima
budnih !

Ilustracije i ideje uglavnom posuđene iz slijedećih izvornika:

Jakobović, Z.: Fizika i elektronika - odabrana poglavlja za studije Visoke zdravstvene škole. Zagreb: Visoka zdravstvena škola, 1997.

<http://www.physicsclassroom.com/>

<http://www.nd.edu/~nsl/Lectures/mphysics/index.htm>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Physics#Introduction>