

TOPLOTA

7.1 TEMPERATURA

7.2. TEMPERATURNA RAZTEZNOST SNOVI

7.3. PLINSKA ENAČBA IN PLINSKI ZAKONI

7.4. TALJENJE IN IZPAREVANJE

7.5. TOPLOTA

7.6. TOPLOTNI TOK

7.7. SEVANJE

7.8. TOPLOTNI STROJ

7.1 TEMPERATURA

Temperaturo definiramo kot eno izmed osnovnih fizikalnih količin, ki določa toplotno stanje telesa. Temperaturo in toploto ne smemo enačiti: toplota je energija, temperatura pa stanje telesa.

Temperaturo merimo s termometri. Enota temperature je stopinja celzija ($^{\circ}\text{C}$): to je stoti del temperaturnega razmika od ledišča do vrelišča vode.

Absolutno temperaturno skalo vpeljemo tako da je absolutna ničla pri $-273,15^{\circ}\text{C}$. Enota 1K (kelvin) pa ustreza eni stopinji celzija 1°C . Temperatura trojnega stanja vode (led + voda + para) je potem pri 273,16 K.

Termometri

- a) Temperaturo lahko merimo s termometri **na živo srebro**. Sestavljen je iz ozke steklene cevke, ki ima spodnji konec razširjen v valjasto ali okroglo bučko. Bučka je napolnjena z živim srebrom, nad njim pa je prazen prostor (vakuum). Pri segrevanju se živosrebrna nitka v cevki podaljša. Iz podaljška sklepamo na zvišanje temperature.
- b) Temperaturo lahko merimo s **plinskim termometrom**. Ker sta tlak in prostornina sorazmerna s temperaturo, lahko umerimo večanje temperature s spremembo tlaka pri stalni prostornini ($T \sim p, V = \text{const.}$), ali pa s spremembo prostornine pri stalnem tlaku ($T \sim V, p = \text{const.}$)
- c) Temperaturo lahko merimo z **uporovnim termometrom**. Pri teh termometrih upor raste z naraščujočo temperaturo: sprememba upora poraja spremembo temperature.

7.2. TEMPERATURNA RAZTEZANOST SNOVI

Raztezek palice pri segrevanju je sorazmeren z začetno dolžino palice (l) ter s spremembo temperature (ΔT): $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$; kjer je sorazmernostni faktor (α) značilna količina snovi in jo imenujemo **temperaturni koeficient linearnega raztezka**.

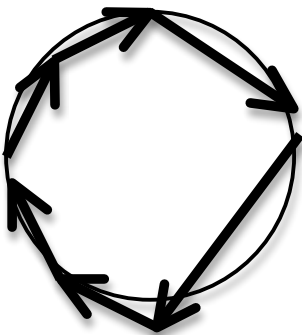
Povečanje prostornine telesa pri segrevanju je sorazmerno z začetno prostornino (V) ter z zvišanjem temperature telesa (ΔT): $\Delta V = V \cdot \beta \cdot \Delta T$; kjer je sorazmernostni faktor (β) spet značilna konstanta snovi: imenujemo jo **temperaturni koeficient prostorninskega raztezka**.

Zveza med α in β :

Mislimo si telo v obliki kocke z robom l pri 0°C . Za prostornino lahko zapišemo $V=l^3$. Če je telo izotropno (razteza se v vseh smereh enako), zapišemo za spremembo pri segrevanju: $(l + \Delta l)^3 = l^3 + 3l^2\Delta l + 3l(\Delta l)^2 + (\Delta l)^3$, oziroma $(l + \Delta l)^3 \approx l^3 + 3l^2\Delta l$; $\Delta l \ll l$. Dobimo: $\Delta V = 3l^2\Delta l = 3l^2\alpha\Delta T = 3\alpha V\Delta T$ in sklepamo: $\beta=3\alpha$ in pravimo: temperaturni koeficient prostorninskega raztezka je pri trdnih telesih enak trikratnemu koeficientu dolžinskega raztezka.

7.3. PLINSKA ENAČBA IN PLINSKI ZAKONI

7.3.a Splošna plinska enačba



Notranja energija plina je sorazmerna s temperaturo (T)

$$W_n = \frac{3}{2}kT; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K (k...Boltzmanova konstanta)}.$$

Vzemimo idealni plin zaprt v kroglasti posodi. Število molekul v posodi je N . Tlak, ki ga povzročajo molekule plina na posodo je $p = N \frac{F}{S}$, pri čemer je F

centrifugalna sila delca. Torej velja: $p = \frac{Nmv^2}{r4\pi r^2}$. Istočasno velja

$$W_n = W_k \Rightarrow \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT. \text{ Sledi } p = \frac{N3kT}{4\pi r^3}. \text{ Upoštevajoč volumen krogle dobimo}$$

$$p = \frac{NkT}{V} \Rightarrow pV = NkT. \text{ Zvezo imenujemo } \mathbf{splošna plinska enačba}. \text{ Upoštevajoč}$$

$N = nN_A$, kjer je n množina snovi in N_A število delcev v kilomolu snovi ($N_A = 6,02 \cdot 10^{26}$ delcev/kmol), dobimo $pV = nN_A kT \Rightarrow pV = nRT$, kjer je **R** splošna plinska konstanta $R = 8300$ J/kmolK.

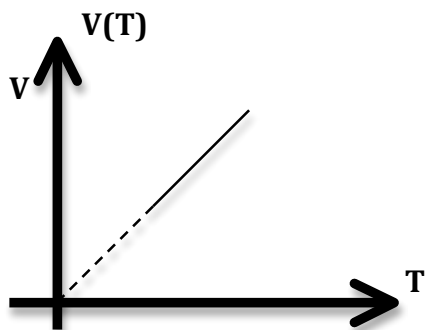
7.3.b PLINSKI ZAKONI

So izpeljave plinske enačbe. Za vse zakone velja nespremenjeno število delcev oziroma množine snovi.

Izobarna sprememba:

Po uvedbi absolutne temperature in obstoja premice $V = V(T)$ lahko ugotovimo: če se absolutna temperatura pri **konstantnem tlaku** poveča za T/T_0 krat, se v enakem razmerju poveča tudi prostornina in obratno: dobimo

$$\frac{T}{T_0} = \frac{V}{V_0} \Rightarrow \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}; \text{ kar je } \mathbf{Gay-Lussacov zakon.}$$



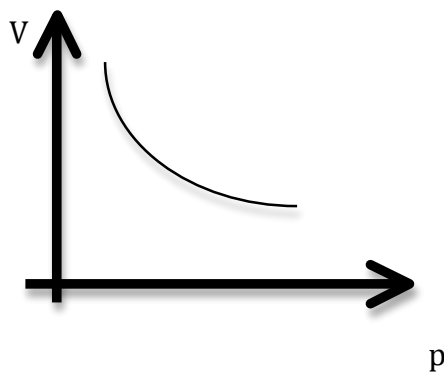
Izotermna sprememba

Plin počasi stisnemo pri **stalni temperaturi** T_0 ; dobimo spremembo

$$(p_0, V_0, T_0) \rightarrow (p, V, T_0) \text{ in pri tem velja } \mathbf{Boylov zakon: } p_0 V_0 = pV \Rightarrow V = \frac{p_0 V_0}{p}.$$

Torej če plinu zmanjšamo prostornino, se tlak poveča in obratno.

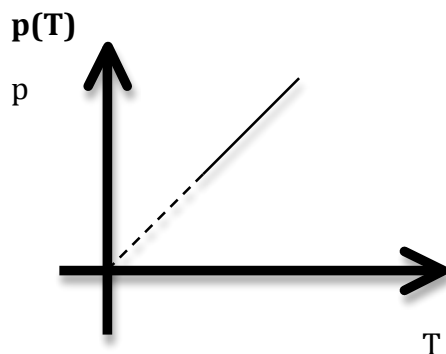
$V(p)$



Izohorna sprememba:

Pri konstantni temperaturi dobimo iz plinske enačbe $\frac{P}{T} = \frac{P_0}{T_0} = const.$, kar je

Amontsonov zakon. Pri višanju temperature se torej večja tlak.



T

Enačba plinskega stanja:

Če so spremenljivke tlak, prostornina in temperatura, potem velja

$\frac{p_0 V_0}{T_0} = Nk = const = \frac{pV}{T}$ in pravimo: prostornina plina je sorazmerna z absolutno temperaturo in obratnosorazmerna s tlakom.

Ugotovitve:

Iz grafa $V(T)$ razberemo:

- sprememba prostornine plina je sorazmerna s spremembo temperature,
- pri segretju plina za 1° se prostornina plina poveča za $1/273$ tiste prostornine, ki jo ima plin pri 0°C ,
- Temperaturni koeficient prostorninskega raztezka plinov glede na temperaturo 0°C je torej $\beta = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$.

Iz grafa $p(T)$ lahko razberemo:

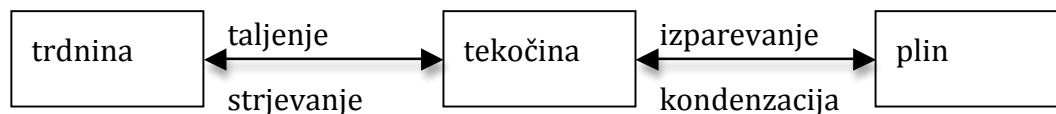
- sprememba tlaka je sorazmerna z absolutno temperaturo,

- pri segretju plina za 1°C se tlak poveča za 1/273 tistega tlaka, ki ga je imel pri 0°C,
- temperaturni koeficient povečave plinskega tlaka je enak temperaturnemu koeficientu prostorninskega raztezka.

Če je v posodi več plinov, ki se med seboj kemijsko ne mešajo, se vsak plin razprostira po vsej posodi. Tlak posameznega plina je enak tlaku ki bi ga povzročil plin, če bi bil sam v posodi. Celoten tlak plinske zmesi je torej enak vsoti **delnih tlakov** vseh plinov v posodi: $p = \sum p_i$, kjer so p_i tlaki posameznih plinov, p pa celoten tlak v posodi.

7.4. TALJENJE IN IZPAREVANJE

Pri segrevanju trdna snov, ki se kemijsko ne spreminja, začne pri določeni temperaturi prehajati v tekočo, tekoča pa v plinasto snov. Pri ohlajevanju pa obratno, plinasta snov se utekočini, nato pa se tekočina strdi. Imamo:



Temperatura, pri kateri trdna snov prehaja v tekočo, imenujemo **tališče**, temperaturo pri kateri tekočina vre, pa **vrelišče**.

Tališče in vrelišče sta za snov značilni temperaturi, ki pa sta še odvisni od tlaka.

Tudi obratni spremembi – strjevanje in kondenzacija, potekata pod istimi pogoji pri istih temperaturah kot taljenje in izparevanje.

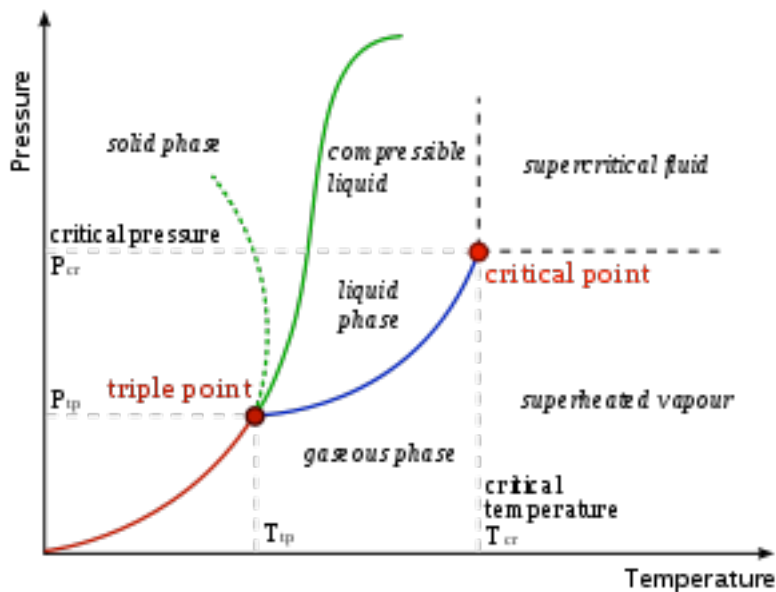
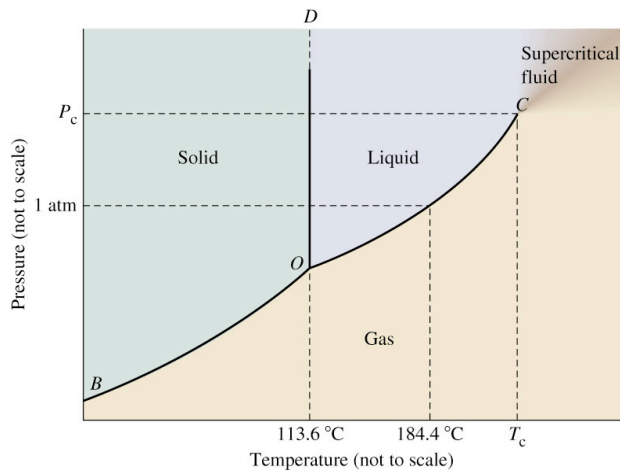
Tališče in vrelišče sta edini temperaturi, pri katerih lahko obstaja snov istočasno v dveh agregatnih stanjih (v trdnem in tekočem oziroma v tekočem in plinastem). Pravimo da sta tedaj dve stanji v ravnovesju. O pari, ki je v ravnovesju s tekočino pravimo, da je nasičena: para ima tedaj največjo gostoto. Če zmanjšamo prostornino se del pare utekočini, gostota in tlak (tlak nasičene pare) pa ostaneta nespremenjena. Tlak **nasičene pare** je odvisen od temperature pri kateri tekočina vre: čim višje je vrelišče, tem večji je tlak nasičene pare.

Iz poskusov je razvidno:

- Tališče ledu se le neznatno spreminja s tlakom.

- Vrelišče je odvisno od tlaka; če tlak nad tekočino povečamo, se vrelišče zviša, če pa tlak zmanjšamo, se vrelišče zniža.

Vidimo torej: Vrelišče je temperatura, pri kateri je tlak nad tekočino enak tlaku nasičene pare. Če je tlak dovolj majhen, se vrelišče lahko zniža tudi pod tališče. Odvisnost vrelišča od tlaka oz. tlaka nasičene pare od temperature kaže graf $p(T)$:



Dana krivulja je mesto točk, ki ustrezajo vrelišču vode pri določenih tlakih. Leva krivulja ustreza tališču, spodnja pa **sublimaciji** (sublimacija je pojav pri katerem prihaja do prehoda naravnost iz trdnega stanja v plinasto ali obratno). Stikališče vseh treh krivulj je **trojna točka**: pri ustrezni temperaturi in ustreznem tlaku lahko voda obstaja v vseh treh agregatnih stanjih.

Obratno pa z višanjem vrelišča ne moremo iti v nedogled. Voda ima pri tlaku 225 barov vrelišče pri 374°C. Če tlak še povečamo, voda pri segrevanju ne zavre več,

marveč se razteza in se zvezno spremeni v plinasto stanje. Zato imenujemo najvišjo temperaturo, do katere lahko še segrejemo vodo, **kritična temperatura**, notranji tlak pa **kritični tlak**.

Strjevanje se lahko včasih zakasni in dobimo čisto vodo celo pri -10°C . Pravimo da je voda podhlajena. Tekoča voda pa ne more trajno obstajati.

Prehod iz tekočega stanja v plinasto pod vreliščem imenujemo **izhlapevanje**. Zaradi izhlapevanja postaja zrak vlažen, to pomeni, da se zraku pridruži tudi vodna para.

DEFINIRAMO:

Absolutna vlažnost zraka je gostota vodne pare v zraku ali delni tlak vodne pare.

Relativna vlažnost zraka je kvocient dejanske gostote vodne pare v zraku in gostote nasičene vodne pare pri isti temperaturi (ρ/ρ_n , oziroma dejanskega delnega tlaka podne pare v zraku in tlaka nasičene vodne pare pri isti temperaturi p/p_n).

Toploto potrebno za stalitev snovi pri njenem tališču imenujemo **talilna toplota** Q_t . Odvisna je od mase snovi in specifične talilne toplote q_t dane snovi:
 $Q_t = m \cdot q_t; [J]$. **Specifična talilna toplota** nam pove koliko J energije je potrebno, da stalimo kilogram dane snovi, pri njenem tališču.

Toploto potrebno za izparitev snovi imenujemo **izparilno toplota** Q_i , ki je odvisna od mase snovi in **specifične izparilne toplote snovi** q_i . Velja
 $Q_i = m q_i; [J]$. Specifična izparilna toplota snovi nam pove koliko J energije je potrebno da izparimo kilogram snovi.

7.5. TOPLOTA

Toplota, ki jo prejme telo pri segrevanju je sorazmerna masi telesa in temperaturni razliki. Pišemo: $dQ = mc dT$ in vpeljemo pojem **specifične toplote**. Sorazmernostni faktor c pomeni specifično toplota, ki pove koliko toplote je treba, da se 1 kg snovi segreje za 1 stopinjo.

Pri plinih, ki se pri segrevanju močno raztezajo, razlikujemo:

specifično toplota pri stalnem tlaku (c_p) in

specifično toplota pri stalni prostornini (c_v).

Specifična toplota pri stalnem tlaku c_p je večja od specifične toplote pri stalni prostornini c_v prav za delo, ki ga mora plin opraviti pri raztezanju. Plin lahko segrevamo pri stalnem tlaku, če ga zapremo v posodo s pomičnim batom, Lahko

zapišemo: $dE_n = dQ + dA$, kjer je dQ toplota, ki jo je plin prejel, dA pa delo, ki ga je plin pri raztezanju oddal batu: $-dA = pdV$.

Tako dobimo: $dE_n = mc_p dT - pdV$.

Pri stalni prostornini lahko zapišemo: $dE_n = dQ$; $dA = 0$
 $\Rightarrow dQ = mc_v dT \Rightarrow dE_n = mc_v dT$ (1).

Pri stalnem tlaku lahko zapišemo:

$$dQ = dE_n + pdV = c_p m dT \quad (2).$$

Diferenciramo plinsko enačbo in dobimo:

$$pdV = \frac{m}{Mkg} R dT \quad (3).$$

(1) in (3) vstavimo v (2) in dobimo:

$$mc_p dT = mc_v dT + \frac{m}{Mkg} R dT \Rightarrow c_p = c_v + \frac{R}{Mkg}$$

7.6. TOPLOTNI TOK

Toplota se širi po telesu od toplejšega mesta k hladnejšemu. Ta način širjenja toplote imenujemo **prevajanje (kondukcija) toplote**. Toplota, ki gre skozi steno na časovno enoto je merilo za toplotni tok P :

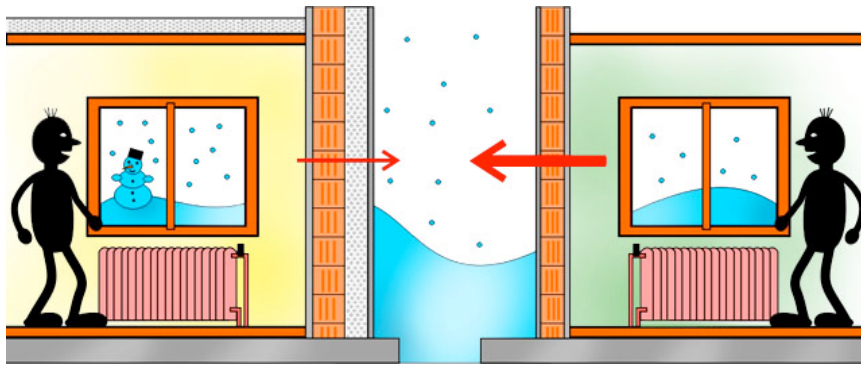
$$P = \frac{Q}{t}; \frac{J}{s} = W$$

Toplotni tok skozi steno je odvisen od temperaturne razlike na obeh mejnih ploskvah, od velikosti in od debeline stene:

$$P = \lambda S \frac{\Delta T}{d}$$

Kvocien $\Delta T/d$ imenujemo **temperaturni gradient**, sorazmernostni faktor λ pa imenujemo **toplotna prevodnost**. Faktor λ nam pove, koliko toplote steče na časovno enoto skozi enoto ploskve pri temperaturnem gradientu 1 stopinja na meter.

V tekočinah nastajajo zaradi temperaturnih razlik gibanja (tokovi) tvarine, ki so posledica različne gostote: toplejše plasti so zaradi raztezanja specifično lažje in se dvigajo, hladnejše plasti pa so specifično težje in gredo navzdol. Tako dobimo stalno kroženje tekočine, z gibanjem tvarine pa se širi tudi toplota. Ta način širjenja toplote se imenuje **pretakanje (konvekcija) toplote**.



7.7. SEVANJE

Meritve kažejo da sta energija in spektralna sestava sevanih toplotnih valov močno odvisna od vrste snovi in od temperature sevalne površine. Pri dani temperaturi najmočneje sevajo snovi s črno površino. Za črne snovi velja: Energijski tok elektromagnetnih valov vseh valovnih dolžin, ki jih enota površine črne snovi seva v polprostor (kot 2π) je premo sorazmeren četrti potenci temperature (T) sevalne površine: za gostoto svetlobnega toka zapišemo

$j = \frac{P}{S} = \sigma T^4$. Temu zakonu pravimo **Stefanov zakon**. Konstanto σ imenujemo Stefanova konstanta: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$.

7.8. TOPLOTNI STROJ

Priprave, v katerih toplotno energijo spreminjamo v mehansko, imenujemo toplotne stroje. Lahko pridemo, do dveh spoznanj:

- (i) za delovanje toplotnega stroja je potrebna neka temperaturna razlika
- (ii) potrebna je tudi krožna sprememba, pri kateri stroj toploto sprejema in dela, toploto pa mora tudi oddajati, da lahko ves čas dela.

Navedene ugotovitve izražamo v dveh zakonih toplote.

- 1) Toplotni stroj potrebuje za svoje delovanje temperaturno razliko. Iz toplotnega rezervoarja višje temperature (T_1) sprejema toploto in jo oddaja hladnejšemu rezervoarju (T_2).
- 2) Noben toplotni stroj ne more v delo spremeniti vse toplote. Del prejete toplote (Q_1) odda vsak toplotni stroj spet v obliki toplote (Q_2) in samo razliko spremeni v delo.

Količnik razlike toplot $Q_1 - Q_2$, ki se spremeni v mehansko delo, in prejete toplote Q_1 , imenujemo toplotni izkoristek stroja. To je največji možni izkoristek toplotnega stroja in velja le če ni toplotnih izgub. Teoretični račun, kakor tudi meritve, pokažejo naslednjo odvisnost toplotnega izkoristka od temperatur T_1 in

T_2 : $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$. To pomeni: toplotni izkoristek stroja je tem večji, čim

višja je zgornja temperatura T_1 in tem nižja je spodnja temperatura T_2 delovne snovi, neodvisen pa je od vrste delovne snovi.

