

3. TERMODINAMIKA

3. 1. TEMPERATURA

Termično gibanje je naključno, povsem neurejeno gibanje molekul.

Termično stanje snovi označuje njeno notranje stanje, ki je odvisno od števila in vrste molekul, njihovega termičnega gibanja in sil med njimi.

Termodinamične količine: masa, volumen, temperatura, tlak ...

Stanje je stacionarno, če se termodinamične količine, ki ga opisujejo, ne spreminjajo s časom. Če je stanje snovi stacionarno brez zunanje pomoči, je snov v termičnem ravnovesju. Molekule snovi v tem ravnovesju, se gibljejo z enakimi povprečnimi kinetičnimi energijami.

Temperatura je sorazmerna s povprečno kinetično energijo termično gibajočih se molekul.

Idealni plin sestavljajo majhne, toge molekule, katerih lastno prostornino zanemarimo v primerjavi s celotno prostornino plina.

Povprečna kinetična energija molekul v idealnem plinu je premo sorazmerna s temperaturo plina:

$$\overline{W_k} = konst.T = \frac{3}{2} kT \quad \overline{W_k} = konst.T = \frac{3}{2} kT$$

Boltzmannova konstanta (določena na podlagi kilomolskega volumna): $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

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

Najnižjo možno temperaturo imenujemo absolutna ničla (0 K).

1

PLINSKA ENAČBA

Tlak plina je posledica udarjanja in odbijanja molekul od poljubne ploskvice v plinu (ter od sten posode).

$$m_m v^2 = 3kT \quad m_m v^2 = 3kT$$

Vsaka od molekul prinese gibalno količino in se z enako veliko gibalno količino odbije, tako da se gibalna količina z vsakim trkom molekule ob ploskvico spremeni za $2m_m v$.

Izpeljava plinske enačbe: $p = \frac{F}{S} = \frac{\Delta G}{S \Delta t} = \frac{N}{V} kT \quad p = \frac{F}{S} = \frac{\Delta G}{S \Delta t} = \frac{N}{V} kT \quad pV = NkT \quad pV = NkT$

Plinska konstanta: $R = kN_A = 8,3 \text{ kJ/K} \quad R = kN_A = 8,3 \text{ kJ/K}$

Izotermna sprememba: $pV = konst. = p_0 V_0 \quad pV = konst. = p_0 V_0$

Izohorna sprememba: $\frac{p}{T} = \frac{N}{V} k = konst. = \frac{p_0 p}{T_0 T} = \frac{N}{V} k = konst. = \frac{p_0}{T_0}$

Izobarna sprememba: $\frac{V}{T} = \frac{nR}{p} = konst. = \frac{V_0 V}{T_0 T} = \frac{nR}{p} = konst. = \frac{V_0}{T_0}$

Pri zmesi plinov je tlak vsota vseh delnih tlakov.

Delni (parcialni) tlak plina v mešanici je tlak, ki ga ta plin povzroča, če pri enaki temperaturi sam zavzema celotno prostornino: $pV = nRT = NkT$

TERMIČNO RAZTEZANJE

Večina snovi se s segrevanjem razteza: $\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$

Temperaturni koeficient prostorninskega raztezka: β [1/K]

Plini se s segrevanjem zelo raztezajo, kar pomeni, da imajo velik koeficient prostorninskega raztezka.

ANOMALIJA VODE

Voda se s segrevanjem od tališča do 4°C krči, njen β je v tem temperaturnem območju negativen, nad

4°C pa je β pozitiven kot za večino drugih snovi. (Voda je najgostejša pri 4°C.) $\beta = \frac{1}{T} \beta = \frac{1}{T}$

LINEARNO RAZTEZANJE

Relativna sprememba prostornine telesa je enaka vsoti relativnih sprememb posameznih stranic.

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} = \beta \Delta T$$

Če je snov izotropna, so relativni raztezki posameznih stranic med seboj enaki: $\frac{\Delta V}{V} = 3 \frac{\Delta a}{a} = \beta \Delta T$

Temperaturni koeficient linearnega raztezka: $\alpha = \frac{\beta}{3}$

Temperaturni koeficient linearnega raztezka: $\alpha = \frac{\beta}{3}$

Če je telo vpeto, da se med segrevanjem ne more raztezati, se tlak v njem tako zelo poveča in lahko poškoduje ali teli ali opore. Podobno se telo med ohlajevanjem krči. Če je vpeto, se v njem zaradi ohlajanja poveča tlak in telo se lahko poškoduje.

TERMOMETRIJA

Kapljevinasti termometer (živosrebrni).

Bimetalni termometer meri spremembo temperature na podlagi različne linearne termične razteznosti različnih kovin.

Uporovni termometer temelji na električnem uporu, ki se s temperaturo povečuje.

Termoelement je sestavljen iz dveh različnih kovinskih žic, ki sta na dveh koncih spojeni.

Pirometer je za merjenje izjemno visokih temperatur.

3. 2. TOPLOTA

NOTRANJA ENERGIJA SNOVI

Notranja energija snovi je sestavljena iz kinetične energije termično gibajočih se molekul, potencialne energije zaradi medmolekularnih sil in iz notranje energije posamičnih molekul.

Idealni plin:
$$W_n = N \frac{3}{2} kT = m \left(\frac{3N_A k}{2m_k} \right) T = mcT \quad W_n = N \frac{3}{2} kT = m \left(\frac{3N_A k}{2m_k} \right) T = mcT$$

ENERGIJSKI ZAKON TERMODINAMIKE

Notranjo energijo snovi povečamo z delom, z dovajanjem toplote.

Snov odda delo na račun zmanjšanja lastne notranje energije, prejeta delo pa poveča notranjo energijo.

Toplota se prek toplotnega stika prenaša s toplejših na hladnejše predele snovi.

Energijski zakon termodinamike:
$$\Delta W_n = A + Q \quad \Delta W_n = A + Q$$

Če je toplota enaka nič, pomeni, da je snov toplotno izolirana (adiabatna sprememba).

Snov prejema ali oddaja delo le ob stiskanju ali raztezanju.

$$A = -p\Delta V \quad \Delta W_n = Q - p\Delta V \quad A = -p\Delta V \quad \Delta W_n = Q - p\Delta V$$

SPECIFIČNA TOPLOTA

Specifična toplota pove, koliko toplote je potrebno, da se kg snovi segreje za 1K.

$$Q = \Delta W_n = mc_v \Delta T$$

Če toploto dovajamo pri stalni prostornini, jo potrebujemo le za povečanje notranje energije.

Navadno dodajamo toploto pri stalnem tlaku, pri čemer se snov med segrevanjem razteza in oddaja delo. Dovedena toplota mora povečati notranjo energijo snovi, hkrati pa nadomestiti delo, ki ga snov

z raztezanjem med segrevanjem oddaja:
$$Q = \Delta W_n + p\Delta V = mc_v \Delta T + p\Delta V = mc_p \Delta T$$

$$Q = \Delta W_n + p\Delta V = mc_v \Delta T + p\Delta V = mc_p \Delta T$$

Specifična toplota pri stalnem tlaku:
$$c_p - c_v = \frac{p}{m} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad c_p - c_v = \frac{p}{m} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad [\text{J/kgK}]$$

Specifični toploti se razlikujeta toliko bolj, kolikor bolj se snov med segrevanjem razteza. (c_p in c_v ne razlikujemo.)

$$Q = mc\Delta T$$

$$mc(T - T_z) = m_0 c_0 (T_z - T_0)$$

Specifična toplota vode: $4,2 \text{ kJ/kgK}$

3. 3. PREVAJANJE TOPLOTE (KONDUKCIJA)

Pretok toplote je tem izrazitejši, čim bolj so temperature toplejših in hladnejših predelov snovi različne.

Če želimo, da so različne temperature v snovi kljub pretakanju toplote stacionarne, moramo toplejšim predelom snovi dovajati toliko toplote, kolikor je od tam odteka zaradi prevajanja, iz hladnejših predelov pa odvajati toliko toplote, kolikor je tja priteka.

TOPLOTNI TOK

S toplotnim tokom povemo, kako hitro se toplota pretaka skozi snov: $P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} P = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ [J/s = W]

Toplotni tok je premo sorazmeren s ploščino prečnega prereza.

Gostota toplotnega toka (zgoščenost toplotnega toka): $j = \frac{P}{S} j = \frac{P}{S}$ [W/m²]

Če so temperature v snovi stacionarne, se toplotni tok v smeri pretakanja ne spreminja.

TOPLOTNA PREVODNOST

4

Toplotni tok je premo sorazmeren s prečnim prerezom, skozi katerega teče, premo sorazmeren s temperaturno razliko med vstopno in izstopno stranjo, in obratno sorazmeren z razdaljo v smeri toka

toplote: $P = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{d} P = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{d}$

Toplotna prevodnost snovi: λ [W/mK]

Dobri prevodniki imajo nekaj sto W/mK, navadne snovi nekaj W/mK, izolatorji pa nekaj stotink W/mK.

KONVEKCIJA

Konvekcijski tokovi nastanejo, če se različne plasti tekočine različno segrejejo. Toplejše plasti se raztegnejo, hladnejše zgostijo. Zaradi razlike v gostoti se izrazi termični vzgon (segrete plasti se dvigajo, ker jih izpodrivajo sosednje hladnejše in gostejše plasti, ki se spuščajo).

Konvekcijski tokovi v naravi so vetrovi, ki nastanejo zaradi neenakomernega ogrevanja zemeljskih tal.

3. 4. TOPLOTNI STROJI

Toplotni stroj je naprava, ki s krožnimi spremembami delovne snovi spreminja toploto v mehansko

delo.

S krožno spremembo se snov vrne v izhodiščno stanje. Po končani krožni spremembi ima snov enako notranjo energijo kot na začetku.

Vsak toplotni stroj ima delovno snov, topli zbiralnik (iz njega delovna snov odnaša toploto) in hladni zbiralnik (vanj odlaga toploto).

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

Mehanski izkoristek toplotnega stroja:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

Toplotni stroj dela tem bolje, čim višja je temperatura toplotnega zbiralnika in čim nižja je temperatura hladnega zbiralnika. (Temperaturi obeh zbiralnikov se morata torej čim bolj razlikovati.)

Parni stroj uporablja kot delovno snov vročo paro.

Hidrološki cikel je velik naravni toplotni stroj. Sončni žarki ogrevajo vodne gladine in sproščajo vodno paro. Ta se zaradi vzgona dviga in se kondenzira v višjih hladnih plasteh ozračja. Nastanejo padavine. Toplotni stroj, ki bi vso prejeta toploto spremenil v delo, ni mogoč.

HLADILNI STROJ

Hladilni stroj je obrnjen toplotni stroj: jemlje toploto iz hladnega zbiralnika in jo prenaša v toplejši zbiralnik. Za to potrebno delo spreminja v toploto in jo skupaj z odvzeto toploto oddaja toplotnemu zbiralniku: $Q_1 = A + Q_2$

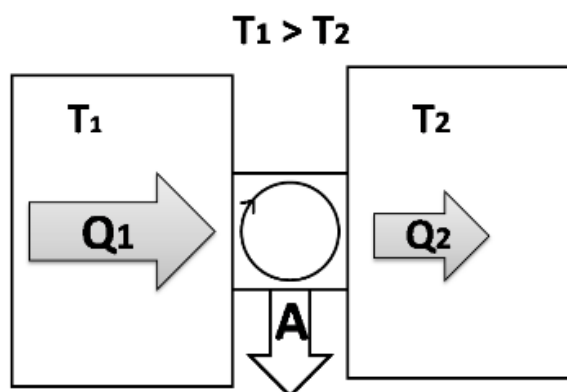
Delovna snov so navadno različni freoni ali druge organske snovi.

Hladilni stroj je tem boljši, čim več toplote odvzame hladnemu zbiralniku in čim manj dela za to porabi.

$$v = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} > 1 \quad v = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} > 1$$

Učinek hladilnega stroja:

Hladilni stroj je tem boljši, čim višja je temperatura hladnega zbiralnika, iz katerega jemlje toploto, in čim nižja je temperatura toplotnega zbiralnika, v katerega jo odlaga (torej, čim manj se temperaturi obeh zbiralnikov razlikujeta).



Toplotna črpalka je hladilni stroj za ogrevanje prostorov (poudarek na oddani toploti).

3. 5. FAZNE SPREMEMBE

Agregatno stanje snovi imenujemo tudi faza snovi, spremembo agregatnega stanja pa fazna sprememba. Spremeni se zgradba snovi: povprečna razdalja med

molekulami in njihova razporeditev v prostoru, ne pa njihova povprečna kinetična energija (fazne spremembe so izotermne).

VLAŽNOST

Hlapenje – prehajanje kapljevine z gladine v plinasto stanje. Dogaja se pri vsaki temperaturi, vprašanje je le v intenzivnosti. Kapljevina se zaradi hlapenja hladi. Delni tlak pare v ozračju nad gladino kapljevine se povečuje. Ko doseže največjo vrednost (kar imenujemo nasičeni parni tlak kapljevine) se hlapenje ustavi. Kapljevina in njena para nad gladino sta tedaj v termičnem ravnovesju.

Nasičeni parni tlak kapljev in je tem večji, čim višja je temperatura.

$p_v < p_n$, $\eta < 100\%$ - zrak še ne vsebuje dovolj vlage, hlapenje se nadaljuje;

$p_v = p_n$, $\eta = 100\%$ - hlapenje se ustavi, zrak je nasičeno vlažen

$p_v > p_n$, $\eta > 100\%$ - zrak je prenasičen z vlago, odvečna vlaga kondenzira v vodne kapljice

Absolutna vlažnost pove množino vlage v zraku:
$$p_v = \rho_v \frac{RT}{m_k} p_v = \rho_v \frac{RT}{m_k}$$

Merimo jo z izmerjeno množino vlage zraka ob pomoči higroskopične snovi.

Relativna vlažnost:
$$\eta = \frac{p_v}{p_n} \eta = \frac{p_v}{p_n}$$

Merimo jo s higrometrom.

Rosišče je temperatura, pri kateri postane prvotno nenasičeno vlažen zrak nasičen in se začne para kondenzirati (nastanek rosnih kapljic).

6

VRENJE

Vrenje je prehod iz kapljevinstega v plinasto stanje.

Vrelišče je temperatura, pri kateri sta kapljevinska in plinasta faza v termičnem ravnovesju.

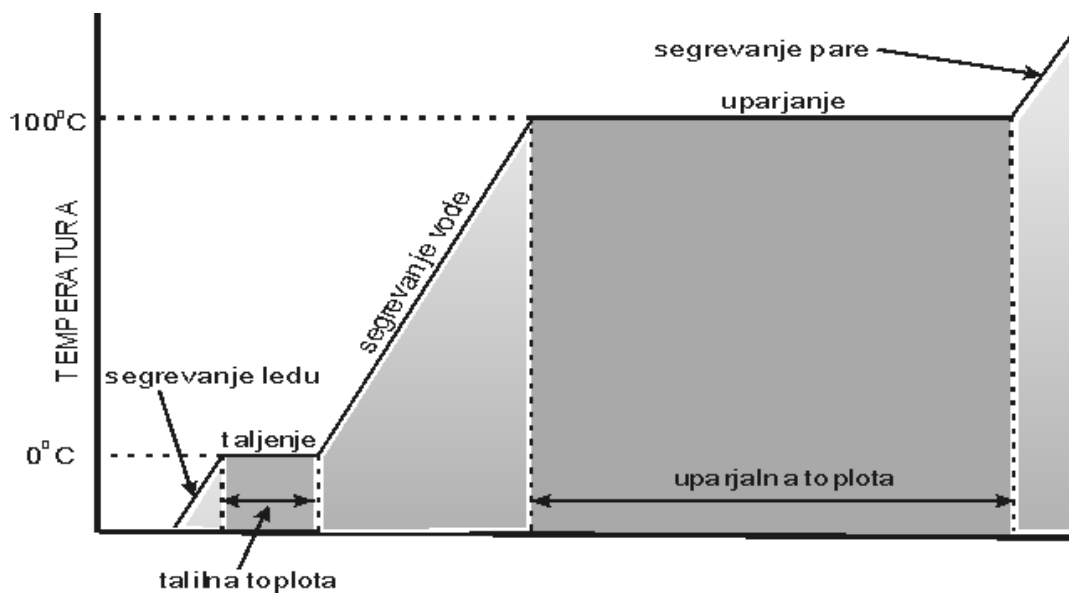
Pri vrenju se prostornina snovi zelo poveča. Če se zračni tlak poveča, moramo kapljevino bolj segreti, da kljub povečanemu tlaku preide v plinasto stanje (poviša se vrelišče).

Ekonom lonec je zaprta tlačna posoda (kapljevina v njem vre ob povečanem tlaku).

Specifična izparilna toplota (toplota, ki pri temperaturi vrelišča izpari kg kapljevine): $Q_1 = mq_i$

$Q_1 = mq_i$ [J/kg]

Pri kondenzaciji, ko se para s temperaturo vrelišča kondenzira v kapljevino, se sprošča kondenzacijska toplota, ki je enaka izparilni toploti.



TALJENJE

Če je trdnina amorfna, se njena temperatura enakomerno povečuje.

Temperatura se enakomerno povišuje le do tališča, nato se ustali, trdnina pa se začne taliti.

Taljenje je izotermni proces.

Specifična talilna toplota (toplota, ki pri temperaturi tališča stali kg snovi): $Q_t = m q_t Q_t = m q_t$ [J/kg]
Izparilna toplota snovi je navadno veliko večja od talilne toplote.

Sublimacija je prehod iz trdnega stanja v plinasto (brez vmesne kapljevinaste faze). To se zgodi ob premajhnem zračnem tlaku, ki bi obdržal molekule na kupu.

Sublimacijska toplota (toplota, ki je potrebna, da trdna snov neposredno preide v plinasto stanje) je vsota talilne in izparilne toplote.