

Slika 1: Raztezanje plina in določitev absolutne ničle

TOPLOTA

Temperatura, temperaturno raztezanje V poglavjih, ki so obravnavala mehanske pojave, smo spoznali, da je snov lahko v trdnem, tekočem ali plinastem stanju. Spoznali smo, da imajo predmeti in snovi v tekočem ali plinastem stanju lahko kinetično, potencialno ali prožnostno energijo, nismo se pa zmenili za toplotne lastnosti snovi. O tem bomo govorili v tem poglavju, vendar se bomo omejili le na enostavne snovi. Enostavnost je tukaj mišljena kot zahteva, da naj ima snov majhno molekulsko maso, da naj ne kaže kompleksnih fizikalnih lastnosti, kot jih kažejo na primer snovi, katerih gradniki so polimerne molekule, biološke makromolekule (beljakovine in nukleinske kisline), molekule, ki kažejo lastnosti tekočih kristalov, itd. Drugače povedano: obravnavali bomo nizkomolekularne snovi, katerih tipični predstavniki so snovi, ki predstavljajo čiste elemente ali enostavne nizkomolekularne spojine ali njihove mešanice. Snovi bomo opisovali s termodinamičnimi spremenljivkami. Nekatere spremenljivke te vrste že poznamo: tlak (p), maso (m), prostornino (V) in iz nje izpeljano gostoto ($\rho = m/V$). Omenimo najprej dve novi termodinamični spremenljivki, ki ju bomo spoznali v tem poglavju: **temperaturo** (T) in **notranjo energijo** (E_n). Temperatura je merilo za toplotno stanje snovi. Vročim snovem pripisujemo visoko, hladnim pa nizko temperaturo. Temperaturi ledišča pripišemo nič stopinj Celzija ($0^\circ C$), temperaturi vrelišča vode pri tlaku enega bara pa $100^\circ C$. Snov, ki bi ji s hlajenjem odvzeli vso razpoložljivo notranjo energijo, bi ohladili na temperaturo absolutne ničle, ali na nič stopinj Kelvina ($0K$). Kje se nahaja absolutna ničla, nam pokaže enostaven poskus s plinskim termometrom (slika 1). Izmerimo volumen nekega plina pri več različnih temperaturah. Ugotovimo, da ležijo na diagramu, kjer nanašamo na navpično os volumen nekega idealnega plina - na primer zraka - na vodoravno os pa temperaturo v Celzijevih stopinjah, izmerjene točke na premici. Vprašamo se, pri kateri temperaturi bi padel volumen plina na vrednost nič. Rešitev te naloge je $-273,16^\circ C$. To je izhodišče Kelvinove temperaturne skale. Kelvinova in Celzijeva stopinja enako dolgi, skali pa sta premaknjeni za 273,16 stopinj.

Temperatura teles vpliva na njihovo gostoto, prostornino, obliko in linearne razsežnosti. Za večino trdnih teles velja, da se njihove razsežnosti enakomerno večajo z rastočo temperaturo. Če označimo z l dolžino nekega telesa, lahko zapišemo

$$\Delta l/l = \alpha \Delta T \quad (T1)$$

in pomeni Δl prirastek dolžine, $\Delta l/l$ pa je relativni prirastek. ΔT je sprememba temperature. Spremembo prostornine dobimo za telo v obliki kvadra s stranicami l_x, l_y in l_z , kot razliko med končno in začetno prostornino:

$$\Delta V = (l_x + \Delta l_x)(l_y + \Delta l_y)(l_z + \Delta l_z) - l_x l_y l_z . \quad (T2)$$

Če upoštevamo enačbo (T1) in če zanemarimo člene, v katerih nastopa več kot en majhen množitelj (na primer $\Delta l_x \Delta l_y$), dobimo $\Delta V/V = 3\alpha \Delta T$. Volumski temperaturni razteznostni koeficient se označi s črko β . Za trdne snovi smo videli, da velja $\beta = 3\alpha$, za tekočine in pline pa zapišemo

$$\Delta V/V = \beta \Delta T . \quad (T3)$$

Vrednosti temperaturnih razteznostnih koeficientov dobimo z meritvami. Izjema so idealni plini, pri katerih so masa, molekulska masa, prostornina tlak in temperatura (T v Kelvinovi temperaturni skali) povezani s plinsko enačbo

$$pV = nRT , \quad (T4)$$

kjer je $n = m/M$ število molov, $R = 8,314 J/mol/K$ pa je splošna plinska konstanta. Za idealne pline sledi temperaturni razteznostni koeficient iz enačbe (T4), ki jo lahko zapišemo v obliki $(V + dV)/V = (T + dT)/T$. Potem, ko na obeh straneh te enačbe odštejemo 1, dobimo $dV/V = dT/T$, kar pomeni

$$\beta = 1/T . \quad (T5)$$

Če dva kovinska trakova z različnima temperaturnima raztezkoma spojimo vzdolž prilegajočih se ploskev (glej sliko 2!), se bo tako nastali bimetalni trak krivil v smer, kjer se nahaja trak z nižjim temperaturnim razteznostnim koeficientom in bo občutljiv indikator za temperaturne spremembe. Če sta bila trakova spojena pri temperaturi T tako, da je bila njuna skupna ploskev ravna, bo bimetalni trak zavzel obliko krožnice, katere krivinski radij bo odvisen od spremembe temperature. Na koncentričnih krožnicah, ki sovpadata s središči enega in drugega traku, pripada enemu in drugemu traku isti kot, krivinska polmera pa se razlikujeta za dve polovici debeline trakov:

$$l(1 + \alpha_1 \Delta T)/(R + d/2) = l(1 + \alpha_2 \Delta T)/(R - d/2) . \quad (T6)$$

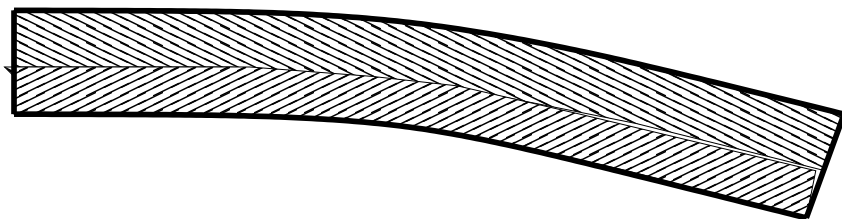
Iz te enačbe dobimo povezavo med razliko razteznostnih koeficientov, debelino traku, krivinskim polmerom in razliko temperatur med stanjem ravnega in ukrivljenega traku.

Stanja snovi in fazne spremembe

Splošna plinska enačba (T4) velja za čist, enokomponentni idealni plin. Če imamo opravka z mešanico idealnih plinov, se delni tlaki seštevajo (Daltonov zakon) in plinsko enačbo zopet lahko zapišemo v obliki (T4), le da postavimo na mesto molekulske mase njeno efektivno vrednost

$$M_{ef} = \sum_i x_i M_i , \quad (T7)$$

kjer je x_i molski delež i -te komponente $x_i = p_i/p$.



Slika 2: Če zvarimo ali skovičimo dva kovinska trakova, ki imata različen temperaturni razteznostni koeficient, se bosta ukrivila v smeri traku z nižjim temperaturnim razteznostnim koeficientom.

Tudi **vlažen zrak** je mešanica idealnih plinov. Merilo za absolutno vlažnost je masa vodne pare na prostorninsko enoto zraka. Izračunamo jo s pomočjo plinske enačbe, če poznamo delni parni tlak vode. Relativna vlažnost je definirana kot razmerje med dejanskim in nasičenim parnim tlakom vodne pare

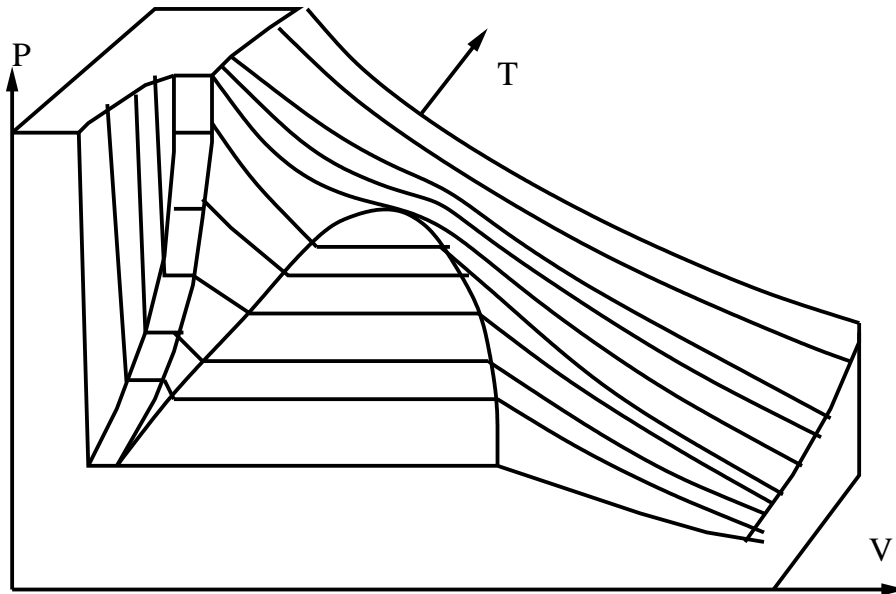
$$r = p_{H_2O} / p_{nasH_2O} . \quad (T8)$$

Temperatura rosišča, ki tudi vsebuje podatek o relativni vlažnosti, je tista temperatura, pri kateri doseže zrak nasičeno vlažnost, če ga ohlajamo. Za določitev relativne vlažnosti moramo poznati odvisnost nasičenega parnega tlaka od temperature.

Za opis sprememb stanja tekočin in trdnih snovi nimamo tako vseobsegajočih enačb, kot je splošna plinska enačba za idealne pline. Podatke o stanju snovi pri določeni gostoti in temperaturi moramo zato iskati v tabelah ali na diagramih. Oglejmo si diagram na sliki 3, ki velja za večino snovi. Pri nizkih temperaturah je snov v trdnem stanju, če pa ima na razpolago več prostora, kot ga zavzema trdno stanje, zapolni preostali prostor s plinsko fazo. Če ji prostor povečujemo, bo prešla vsa snov v plinsko fazo. Takšno fazno spremembo imenujemo sublimacija. Pri temperaturah nad trojno točko prehaja snov iz trdnega stanja, ko ji povečujemo volumen, v tekoče stanje, nato pa začne izparevati. Pri temperaturah nad kritično točko pa snov ne tvori več kapljic, ampak se nahaja samo še v plinasti obliki. Če je gostota plina primerljiva z gostoto tekoče faze pod kritično temperaturo, govorimo o realnih plinih in zanje ne velja plinska enačba.

Energijski zakon

Energijski izrek ali energijski zakon, o katerem smo govorili v poglavju Mehanika, se z besedami predstavi takole: Delo, ki ga opravijo zunanje sile na nekem mehanskem sistemu, je enako seštevku sprememb kinetične, potencialne in prožnostne energije. Če vzamemo v roke kos svinca v obliki vijačne vzmeti, in vzmet stisnemo ali raztegnemo, opravimo delo, vendar svincu ne povečamo nobene od zgoraj omenjenih oblik energije. Svinec ima namreč zelo nizko mejo plastičnosti, delo se je skoraj v celoti porabilo za plastično deformacijo in le zanemarljiv del se je porabil za povečanje prožnostne energije. Vloženo delo se je pretvorilo v notranjo energijo svinčenega predmeta. Podobni poskusi, ki jih je prvič opravil James Prescott Joule v sredini devetnajstega stoletja, so pretvarjali potencialno energijo uteži v notranjo energijo vode, tako da je padajoča utež mešala vodo v toplotno izolirani posodi. Vodi se je pri takšnem poskusu dvignila temperatura. Drugačen način zviševanja notranje energije vode je segrevanje z dovajanjem toplote. Joulov poskus torej



Slika 3: Enačba stanja realne snovi narisana v obliki tridimenzionalnega diagrama, kjer so izvlečene izoterme. Pri visokih temperaturah in nizkih gostotah (to je pri velikih vrednostih volumnov) se obnašajo snovi kot idealni plini. Pod kritično temperaturo predstavljajo vodoravni deli izoterm fazna prehoda med tekočino in plinom in trdno snovjo in tekočino, strmi deli izoterm pa ustrezajo stanjem čiste tekočine ali čiste trdne snovi, ki jima pri majhnem zmanjšanju volumna zelo naraste tlak.

pokaže, da lahko snovi dovajamo notranjo energijo bodisi v obliki dovedenega dela ali v obliki dovedene toplote. To zapišemo v obliki enačbe takole:

$$dE_n = dA + dQ . \quad (T9)$$

Delo, ki ga snov sprejema ali oddaja, je enako produktu tlaka in spremembe prostornine. Pri razpenjanju snovi se prostornina poveča, snov pa delo odda, zato zapišemo $dA = -pdV$, energijski zakon pa zapišemo v obliki

$$dE_n = dQ - pdV . \quad (T10)$$

Specifična toplota

Če pri Joulovem poskusu dovedemo enemu kilogramu vode 4180 J dela, se bo temperatura dvignila za eno stopinjo Kelvina. Enak učinek lahko dosežemo tudi z dovajanjem toplote, kar opišemo z enačbo

$$Q = mc_p \Delta T , \quad (T11)$$

kjer smo s Q označili količino toplote, z ΔT spremembo temperature, c_p pa je specifična toplota vode pri stalnem tlaku. Če segrevamo snov pri stalnem volumnu, je sprejeta ali oddana toplota enaka

$$Q = mc_V \Delta T . \quad (T12)$$

S c_V smo označili specifično toploto pri stalni prostornini. Pri trdnih snoveh in pri tekočinah se c_p in c_V le malo razlikujeta, pri plinih pa je razlika znatna.

Talilna, izparilna in sublimacijska toplota

Nizkomolekularne snovi se navadno nahajajo v eni od treh agregatnih stanj: plinastem, tekočem ali trdnem stanju. Različna agregatna stanja lahko prehajajo eno v drugo. Govorimo o taljenju trdnih snovi, izparevanju tekočin ali kapljev, kondenzaciji plinov in strjevanju ali kristalizaciji tekočin ali kapljev. Tudi plini in trdne snovi lahko neposredno prehajajo iz ene oblike v drugo. Fazni prehodi so vedno povezani s spremembami notranje energije. Pri kondenzaciji plinov in strjevanju tekočine (kristalizaciji) se notranja energija snovi manjša, pri taljenju in izparevanju se pa večja. Notranja energija se porablja ali izloča v obliki toplote, ki ji pravimo tudi skrita ali latentna toplota, saj izgineva, oziroma se pojavlja, ne da bi se spreminjala temperatura. S spremembami agregatnega stanja pa je povezano tudi delo. Pri vrenju tekočine si mora nastajajoča plinska faza pridobiti prostor in pri tem opravi delo $A = p\Delta V$. Torej se je del izparilne toplote porabi za povečanje notranje energije, del pa se pretvori v delo. Da bi pri faznih spremembah, ki potekajo pri stalnem tlaku, lahko izrazili količino sprejete ali oddane toplote s spremembo ene same termodinamične funkcije, so vpeljali funkcijo

$$H = E_n + pV ,$$

ki so jo poimenovali **entalpija**. Razlike specifičnih entalpij ($h = H/m$) različnih faz so enake latentnim (skritim) toplotam q , ki se sproščajo, ali jih snov vsrka pri fazni spremembi. Definiramo talilne, sublimacijske, izparilne toplote. Njihove vrednosti najdemo v tabelah in s pomočjo teh vrednosti izračunamo toploto, ki se sprosti ali porabi pri spremembi:

$$Q = mq . \tag{T13}$$

Primer: specifična izparilna toplota vode

$$q_i = 2,26MJ/kg$$

je enaka razliki entalpije vodne pare in entalpije tekoče vode. Izparilna toplota vode z maso m je enaka

$$Q_i = mq_i .$$

Enačba (T13) je uporabna tudi pri kemijskih spremembah V tem primeru govorimo o sežignih toplotah, o toplotah ali entalpijah nastanka ali razkroja snovi, itd.

Idealni plini

Idealni plini so edine snovi, za katere lahko, zahvaljujoč se plinski enačbi (T4), napovemo precej termodinamičnih lastnosti. Poleg lastnosti, ki jih napoveduje plinska enačba, je zelo pomembno dejstvo, da je notranja energija idealnega plina odvisna le od temperature, ne pa od tlaka in volumna. To lastnost razkrije Hirnov poskus. Opravimo ga na ta način, da zapremo plin v eno polovico na pol predeljene steklene posode, v drugi polovici pa naj bo vakuum. Ko razbijemo predelno steno, se plin razširi po vsej posodi. Pri razširjanju plin ni opravi delo, toplote nismo dovedli ali odvedli, torej se notranja energija ni spremenila. Ker pokaže meritev, da se tudi temperatura ni spremenila, lahko napravimo zgoraj navedeni zaključek, da je pri idealnih plinih notranja energija odvisna samo od temperature. Sprememba notranje energije bo torej sorazmerna spremembi temperature,

sorazmernostni koeficient pa bo mc_V , kot se lahko prepričamo na primeru, ko plin ne odda in ne sprejme dela - takrat za račun dodane ali odvzete toplote uporabimo enačbo

$$dE_n = mc_V dT, \quad (T14)$$

kot sledi iz (T12). Izraz (T14) velja za določitev spremembe notranje energije idealnega plina tudi v primeru, ko se prostornina plina spremeni!

Razlika specifičnih toplot

Pri idealnih plinih lahko določimo razliko specifičnih toplot c_p in c_V , če preučimo spremembo idealnega plina, ko pri stalnem tlaku p povečamo volumen od V_1 do V_2 , in ga istočasno segrejemo od T_1 do T_2 . Pri tem mu moramo dovesti toploto

$$Q = mc_p(T_2 - T_1).$$

Plin opravi delo

$$p(V_2 - V_1),$$

sprememba notranje energije pa je $mc_V(T_2 - T_1)$. Ko vse tri spremembe (delo, toplota, notranja energija) postavimo v (T10), dobimo

$$c_p - c_V = R/M. \quad (T15)$$

Za dvoatomske pline je razmerje specifičnih toplot

$$\kappa = c_p/c_V$$

enako 1,4 in lahko na osnovi znane razlike in kvocienta dveh specifičnih toplot določimo njuni vrednosti:

$$c_p = \kappa R / ((\kappa - 1)M) \quad (T16)$$

in

$$c_V = R / ((\kappa - 1)M). \quad (T17)$$

Spremembe idealnega plina

Pri **izotermni spremembi** idealnega plina se notranja energija ohranja, plin sprejema ali oddaja delo in istočasno odda, oziroma sprejme enako količino toplote. Količino opravljenega dela izrazimo z enostavnim računom:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV. \quad (T18)$$

Ko izrazimo tlak s pomočjo plinske enačbe in integriramo, dobimo

$$A = p_1 V_1 \ln(V_1/V_2). \quad (T19)$$

Plinska enačba nam omogoča, da zapišemo (T19) še v dveh drugačnih oblikah: $A = (mRT/M) \ln(V_1/V_2)$ in $A = p_1 V_1 \ln(p_2/p_1)$.

Pri **izobarni spremembi** idealnega plina se tlak ne spreminja. Toploto izračunamo po enačbi (T11), za delo velja

$$A = p(V_1 - V_2) , \quad (T20)$$

sprememba notranje energije pa je vsota obeh količin.

Pri **izohorni spremembi** idealnega plina se ohranja prostornina. Plin dela ne opravi, za Q velja (T12), za ΔE_n pa (T10).

Omenimo še **izentropno** ali **adiabatno spremembo** idealnega plina, to je takšno, pri kateri plinu spremenimo tlak in prostornino, ne da bi mu dovolili, da prejme ali odda toploto. Pri tej spremembi se pri stiskanju plin segreva, saj mu sprejeto delo zvišuje notranjo energijo. Do zveze med spremembo prostornine in spremembo temperature pridemo, če zapišemo enačbo za spremembo notranje energije ((T10) in (T14)) pri pogoju $dQ = 0$ v obliki

$$mc_V dT = -pdV . \quad (T21)$$

V to enačbo vstavimo za c_V izraz (T17), za p pa izraz iz splošne plinske enačbe (T4) in dobimo

$$mR/((\kappa - 1)M)dT = -mRTdV/(MV) .$$

Obe strani enačbe pomnožimo z $(\kappa - 1)M/(mRT)$ in integriramo:

$$\ln(T_2/T_1) = -(\kappa - 1)\ln(V_2/V_1) .$$

Enačbo antilogaritmiramo potem, ko smo prenesli na desni strani enačbe faktor $-(\kappa - 1)$ v eksponent argumenta logaritemske funkcije (po vzorcu: $a\ln b = \ln b^a$) in dobimo

$$T_1 V_1^{\kappa-1} = T_2 V_2^{\kappa-1} . \quad (T22)$$

S pomočjo splošne plinske enačbe (T4), ki jo zapišemo v obliki $p_1 V_1/T_1 = p_2 V_2/T_2$ in enačbe (T22), dobimo še povezavi med temperaturo in tlakom pri izentropni spremembi

$$T_1^\kappa/p_1^{\kappa-1} = T_2^\kappa/p_2^{\kappa-1} \quad (T23)$$

in zvezo med tlakom in prostornino

$$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa . \quad (T24)$$

Izentropno spremembo doživlja zrak, ko se dviga ob pobočju hriba ali gore. Na vsakih sto metrov višine se mu zniža tlak (glej enačbo (M75)!) za približno 1000 Pa in enačba (23) napove, da bo pripadajoči padec temperature približno 1°C .

Iz enačbe (T24) sledi tudi izraz za stisljivost idealnega plina pri pogoju izentropnosti. Dobimo

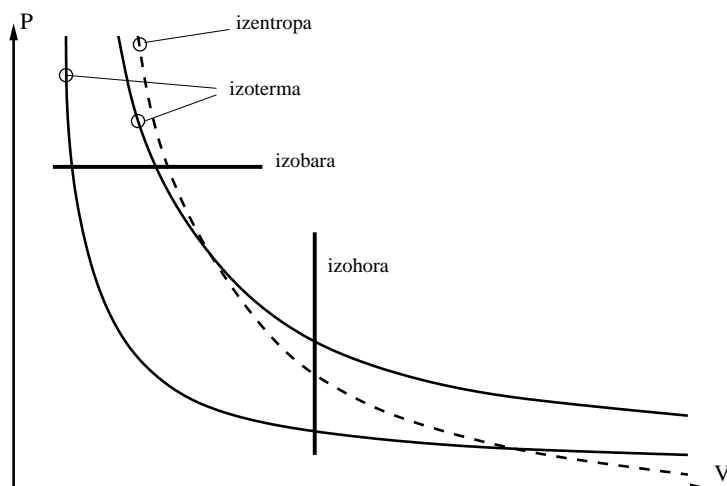
$$dV/V = -dp/(\kappa p) , \quad (T25)$$

od tod pa sledi iz enačbe (M74), da je stisljivost idealnega plina enaka

$$\chi = 1/(\kappa p) . \quad (T26)$$

Iz enačbe (M90) dobimo naslednji izraz za hitrost zvoka v zraku:

$$c = \sqrt{\kappa p/\rho} .$$



Slika 4: Na sliki so ilustrirane štiri vrste sprememb idealnega plina: izotermna, izohorna, izobarna in izentropna.

Če postavimo za gostoto zraka izraz $\rho = pM/(RT)$ iz (T4), dobimo

$$c = \sqrt{\kappa RT/M} , \quad (T27)$$

kar je pri sobni temperaturi približno 340m/s.

Toplotni stroji

Motorji z notranjim izgorevanjem, kot so na primer bencinski motorji, pretvarjajo sežigno toploto bencina v mehansko delo. Delež toplote, ki se pretvori v koristno delo, je dvisen so od potankosti tehnične izvedbe motorja z notranjim izgorevanjem. Natančen odgovor lahko podamo le za hipotetični toplotni stroj, ki opravlja Carnotovo krožno spremembo. Idealni plin, ki je zaprt v valju toplotnega stroja, izotermno razpnemo od začetnega stanja pri prostornini V_1 , tlaku p_1 in temperaturi T_v do prostornine V_2 in nadaljujemo z izentropnim razpenjanjem do prostornine V_3 , ko se plin ohladi na temperaturo T_n . V naslednjih dveh korakih - prvi korak je izotermna, drugi pa izentropna sprememba - zaključimo krožno spremembo, potem ko smo obiskali stanje V_4 , T_n . Pri izotermnem razpenjanju med točkama 1 in 2 smo morali dovesti toploto Q_v , pri izotermnem stiskanju med točkama 3 in 4 pri temperaturi T_n pa smo morali odvesti toploto Q_n . Splošna plinska enačba in iz nje izpeljani izrazi za izentropno spremembo nam omogočijo izračun obeh toplot. Toplota Q_v in Q_n lahko izrazimo s pomočjo enačbe (T19), saj je pri izotermni spremembi delo, ki ga plin opravi, po velikosti enako sprejeti toploti: $Q_v = (mRT_v/M)\ln(V_1/V_2)$; $Q_n = (mRT_n/M)\ln(V_4/V_3)$. Za izentropni spremembi v Carnotovem ciklu lahko s pomočjo (T22) izrazimo kvocient količin Q_v in Q_n . Velja namreč

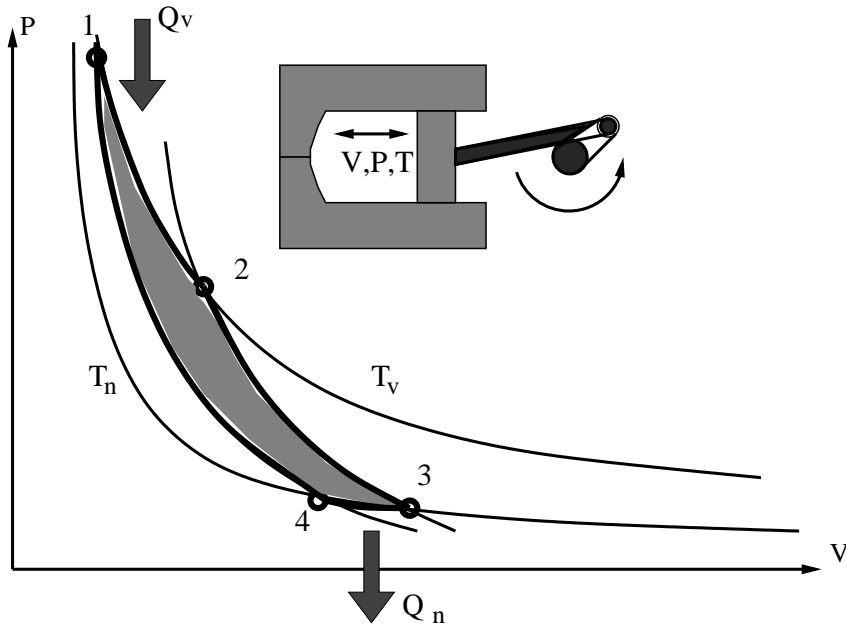
$$T_v V_2^{\kappa-1} = T_n V_3^{\kappa-1}$$

in

$$T_v V_1^{\kappa-1} = T_n V_4^{\kappa-1} .$$

Od tod pa sledi

$$V_1/V_2 = V_4/V_3 . \quad (T28)$$



Slika 5: Za toplotni stroj, ki bi opravljal dve izotermni in dve izentropni spremembi, ki bi tvorile zaključeno zanko, bi rekli, da opravlja Carnotovo krožno spremembo.

Ko postavimo ta rezultat v izraza za Q_v in Q_n , dobimo

$$Q_v/T_v + Q_n/T_n = 0 . \quad (T29)$$

Energijsko bilanco toplotnega stroja predstavlja zveza med opravljenim delom in obema toplotama

$$A = Q_v + Q_n . \quad (T30)$$

Toplota Q_v je pozitivna, toplota Q_n pa negativna, A pa tretiramo kot pozitivno količino - torej z vidika porabnika in ne z vidika idealnega plina, ki delo opravi. V enačbi (T29) izrazimo Q_n s pomočjo (T30) in dobimo $Q_v/T_v + (A - Q_v)/T_n = 0$. Enačbo pomnožimo s T_n/Q_v in dobimo $T_n/T_v + A/Q_v - 1 = 0$. Če definiramo izkoristek toplotnega stroja kot razmerje med dobljenim delom in vloženo toploto

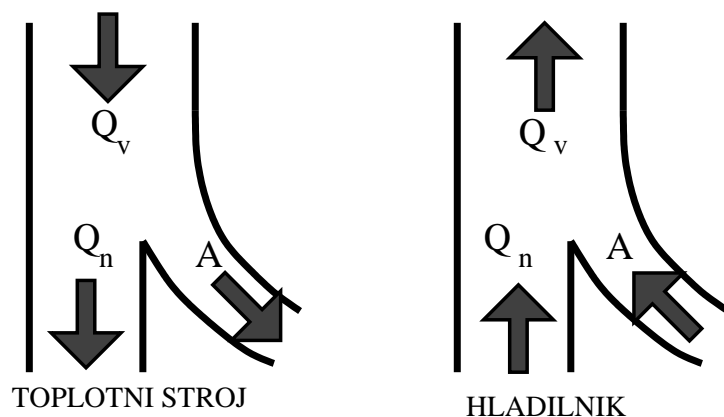
$$\eta = A/Q_v , \quad (T31)$$

dobimo

$$\eta = 1 - T_n/T_v . \quad (T32)$$

Vidimo, da bi toplotni stroj, ki bi uporabljal Carnotovo krožno spremembo, deloval s sto odstotnim izkoristkom le v primeru, če bi bila temperatura nizkotemperaturnega hranilnika toplote (T_n) enaka nič, ali če bi imel visokotemperaturni hranilnik toplote neskončno visoko temperaturo.

Hladilniki so naprave, ki opravljajo krožno spremembo v obratni smeri kot toplotni stroji - torej zajemajo toploto v hranilniku pri nizki temperaturi in oddajajo toploto pri višji temperaturi. Za prenos toplote porabljajo delo. Enačba (T29) velja tudi pri hladilnikih, ki uporabljajo kot hladilno sredstvo idealni plin in opravljajo Carnotovo krožno spremembo



Slika 6: V toplotnem stroju in hladilniku se pretaka toplota in delo v nasprotnih smereh. Toplotni stroj črpa toploto iz zbiralnika pri visoki temperaturi, del jo pretvori v delo, del pa jo odda zbiralniku pri nizki temperaturi. Hladilnik pa delo porablja in črpa toploto iz nizkotemperaturnega zbiralnika v visokotemperaturni zbiralnik.

v obratni smeri, kot toplotni stroji. Pri hladilnikih imata Q_v in Q_n nasproten znak kot pri toplotnih strojih. Če se vprašamo, koliko dela moramo opraviti, da izčrpamo določeno količino toplote Q_n pti T_n , je odgovor naslednji:

$$A/Q_n = T_v/T_n - 1 . \quad (T33)$$

Hladilniki za gospodinjstvo uporabljajo kot hladilno sredstvo snov, ki je podvržena faznim spremembam. V zmrzovalnem delu hladilnika snov izpareva in odvzema toploto Q_n . Elektromotor črpa nastalo paro in jo zopet utekočinja s stiskanjem pri višji temperaturi, nastalo kondenzacijsko toploto pa odvaža v okolico.

Entropija

Enačba (T29) je namig, da obstoja neka količina, imenovali so jo entropija, ki se pri krožnih spremembah ohranja. Entropija je torej enolična funkcija stanja snovi, podobno kot notranja energija, ali entalpija. Na primeru Carnotove krožne spremembe se naučimo, da je sprememba entropije pri reverzibilnih - to pomeni pri obrnljivih spremembah enaka

$$dS = dQ/T \quad (T34)$$

pri ireverzibilnih spremembah pa moramo znati najti ustrezno obrnljivo spremembo, da bi lahko uporabili enačbo (T34). Vedeti moramo, da je za nekatere enostavne ireverzibilne fizikalne procese, kot je ireverzibilno razpenjanje plinov (Hirnov poskus), ali mešanje plinov, dokaj lahko najti ustrezno reverzibilno spremembo, za bolj kompleksne fizikalne pojave (na primer mešanje tekočin), za večino kemijskih reakcij in seveda za biološke procese pa je praktično nemogoče določiti spremembo entropije. V priročnikih s področja kemijske in strojniške termodinamike je entropija tabelirana za enostavne in pogosto uporabljene snovi, kot je na primer voda, alkoholi ali ogljikovodiki.

Z integriranjem enačbe (T34) za primer segrevanja neke snovi dobimo

$$\Delta S = mc_p \ln(T_2/T_1) . \quad (T35)$$

Tudi pri faznih spremembah je izraz za napoved spremembe entropije enostaven:

$$\Delta S = mq/T . \quad (T36)$$

Simbol q predstavlja specifično latentno (izparilno ali talilno) toploto, T pa je temperatura faznega prehoda. V obeh pravkar omenjenih primerih (segrevanje/ohlajanje in taljenje ali izparevanje) so spremembe reverzibilne (obrnljive). Od ireverzibilnih (neobrnljivih) sprememb omenimo le mešanje idealnih plinov. Če dva plina zmešamo, razpnemo vsakega od njiju tako, da se razširi tudi v prostor, ki ga je prej zavzemal drugi plin. Pri izotermnem razpenjanju ene vrste plina moramo plinu dovesti toliko toplote, kolikor dela je oddal in ustrezen prirastek entropije je

$$\Delta S = nR \ln(V_2/V_1) . \quad (T37)$$

Ta izraz je osnova za izračun prirastka entropije pri mešanju idealnih plinov. Za vsako komponento plinov, ki jih zmešamo, izračunamo prirastek entropije, kot velewa enačba (T37). Za V_1 postavimo začetni volumen vsake od plinskih komponent, za V_2 končni volumen mešanice, n pa je število molov vsake komponente posebej.

Prevajanje toplote

Če imamo dva hranilnika toplote pri temperaturah T in $T + \Delta T$, bo prehajala toplota iz toplejšega v hladnejši hranilnik. Če je med hranilnikoma snov s površino S in debelino d , lahko zapišemo toplotni tok v obliki

$$P = \lambda S \Delta T / d . \quad (T38)$$

Parameter λ je koeficient toplotne prevodnosti, ki ima za materijale z izolacijskimi sposobnostmi vrednost nekaj stotink W/mK , za običajne gradbene materijale (kamen, opeka) pa okrog enega W/mK .

Enačbo (T38) lahko zapišemo tudi v obliki

$$P = \Delta T / R_T , \quad (T39)$$

kjer je R_T toplotni upor

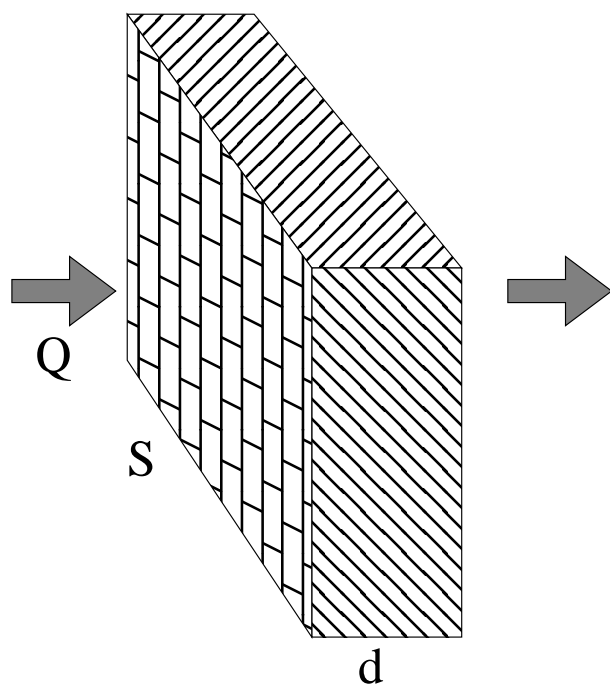
$$R_T = d / (\lambda S) . \quad (T40)$$

V tem zapisu ima enačba za prevajanje toplote isto obliko kot enačba za prevajanje električnega toka skozi električne upore, torej lahko v primerih, ko imamo opravka z zaporedno vezanima toplotnima uporoma, izrazimo nadomestni upor kot vsoto obeh uporov

$$R_{nad} = (d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2) / S , \quad (T41)$$

v primeru vzporedne postavitve uporov pa seštevamo prevodnosti:

$$P = (\lambda_1 S_1 / d_1 + \lambda_2 S_2 / d_2) \Delta T . \quad (T42)$$



Slika 7: Količina prevedene toplote v enoti časa je sorazmerna temperaturni razliki, površini, koeficientu toplotne prevodnosti in obratno sorazmerna debelini sredstva, skozi katerega se prevaja toplota.