

8.4 SPREMEMBE AGREGATNEGA STANJA

Namesto izraza agregatno stanje pogosto uporabljamo ožji izraz faza snovi (poglavje 7.1), zato govorimo o plinski, kapljevinski in trdni fazi snovi ter o faznih spremembah. Doslej smo govorili o spremembah notranje energije telesa iz dane snovi, če se spremeni njegova temperatura. Telo, ki prejme toploto, se segreje (njegova temperatura se poveča); če jo odda, se ohladi. Zanimalo nas je le termično gibanje molekul v snovi in vpliv na njene lastnosti. Nismo pa se ozirali na sile med molekulami in njihov vpliv na lastnosti snovi, na primer na njeno agregatno stanje.

V tem poglavju nas zanima predvsem drugi člen v enačbi za notranjo energijo (poglavje 8.1), to je prispevek potencialne energije molekul zaradi medmolekulskih sil k notranji energiji snovi. Ta se najbolj spremeni, ko se spremeni agregatno stanje snovi – ko se trdnina stali, kapljevina zavre, para kondenzira itd.

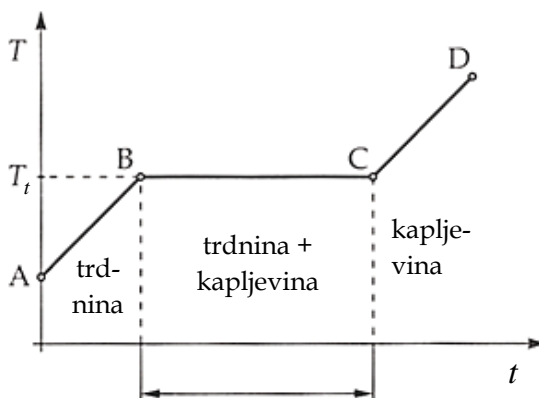
S taljenjem ali vrenjem se notranja energija snovi poveča, saj snov prehaja v bolj neurejeno stanje, zato je za te spremembe potrebna energija, na primer toplota ali zunanje delo. Nasprotno pa velja pri faznih spremembah, pri katerih snov prehaja v bolj urejeno stanje, na primer, ko se plin utekočini ali ko kapljevina zmrzne (se strdi). Pri tem se notranja energija snovi zmanjša in snov ob tem odda toploto.

Med fazno spremembo, ko se s preurejanjem molekul spreminja notranja zgradba (agregatno stanje) snovi, se temperatura snovi ne spreminja. Ti procesi so torej *izotermni*. Zato toploti, ki jo snov ob fazni spremembi prejme ali odda, rečemo tudi **latentna toplota** (prikrita, ker se navzven ne kaže kot sprememba temperature).

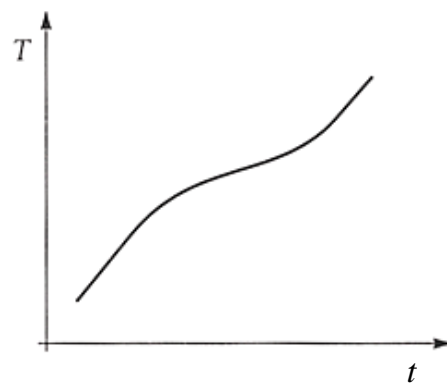
8.4.1 Taljenje

Trdne snovi, ki jih delimo na kristalne in amorfne, se pri segrevanju (ohlajanju) ne obnašajo na enak način.

Najprej si oglejmo, kako se med enakomernim segrevanjem obnaša **kristalna trdna snov** (led, sladkor, kositer, svinec, železo, kuhinjska sol itd.). Temperaturo snovi T v odvisnosti od časa kaže graf na sliki 1a. Začetno temperaturo snovi predstavlja na grafu točka A. S segrevanjem se snov segreva; njena temperatura narašča po daljici od točke A proti točki B. Po določenem času se snov segreje na temperaturo, ki pripada točki B (označimo jo s T_t). Na začetku imamo v točki B *samo trdno snov*. Če snovi dovajamo toploto še naprej, začne *trdna snov postopoma prehajati iz trdne v kapljevinsko fazo*. Pravimo, da se snov **tali**. Temperaturo T_t , pri kateri se to dogaja, imenujemo **tališče**. Tališče je *snovna lastnost* (značilna za posamezno snov).



Slika 1a: Graf taljenja za kristalno snov



Slika 1b: Graf taljenja za amorfno snov

Med taljenjem, ki ga na grafu predstavlja daljica BC, je del snovi v trdni, del pa v kapljevinski fazi. Pravimo, da sta fazi v ravnovesju. Med taljenjem ima zmes obeh faz **ves čas temperaturo tališča** (drugače rečeno: med taljenjem je temperatura konstantna). Trdne faze je vedno manj, tekoče faze vedno več. V točki C, kjer se taljenje konča, je samo tekoča faza (kapljevina). Če še naprej dovajamo toploto, se začne nastala kapljevina segrevati (temperatura raste po daljici od C proti D). Če med taljenjem snov prenehamo segrevati (nekje med točkama B in C) in jo toplotno izoliramo od okolice, se taljenje ustavi; masa trdne in kapljevinske faze se več ne spreminja (denimo mešanica ledu in vode v termovki).

Trdna snov je obstojna pri temperaturah, ki so nižje od tališča, kapljevina pa pri temperaturah, ki so višje od tališča (in nižje od vrelišča). Pri normalnem tlaku je tališče vode, ki mu pravimo tudi *ledišče* ali *zmrzišče*, pri 0 °C. **Zmes vode in ledu ima temperaturo 0 °C.** Moker led oziroma sneg ima temperaturo 0 °C, ravno tako voda, v kateri plavajo koščki ledu.

Led in sneg se talita, ne topita! Na to napako naletimo žal tudi v strokovni literaturi. O taljenju govorimo tedaj, kadar se trdna snov sama zase spremeni v kapljevino, brez dodatka druge kapljevine. Raztapljanje je nekaj popolnoma drugega kakor taljenje. Če sol vržemo v vodo, dobimo raztopino soli, torej samó kapljevino, ker se je sol raztopila. Če pa hočemo sol staliti, jo moramo segreti do 800 °C.

Toploto, ki jo mora prejeti snov z maso m , segreta na temperaturo tališča T_t , da se popolnoma stali (prehod B → C), imenujemo **talilna toplota**. Talilna toplota je premo sorazmerna z maso snovi:

$$Q = mq_t \quad : \quad \text{talilna toplota}$$

in **specifično talilno toploto** q_t . Specifična talilna toplota:

$$q_t = \frac{Q}{m} \quad ; \quad [q_t] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

je *snovna lastnost kristalne trdne snovi*. Pove nam, **koliko toplote mora prejeti 1 kg na tališče segrete snovi, da se stali**. Kilogram ledu se pri 0 °C in normalnem zračnem tlaku stali, če mu dovedemo $3,36 \cdot 10^5$ J toplote, kar pomeni, da je specifična talilna toplota ledu 336 kJ/kg.

Popolnoma drugače kot kristalne se obnašajo **amorfne trdne snovi** (steklo, smola, vosek, asfalt, mast, maslo itd.). Maslo, ki ga vzamemo iz zamrzovalnika, je trdo. Če ga segrevamo, se postopoma mehča in postaja vedno bolj tekoče. Ni ostre meje med kapljevinskim in trdnim stanjem. Poznamo le temperaturno območje, v katerem se agregatno stanje spremeni. Amorfne snovi se med segrevanjem vedno bolj mehčajo in ob naraščanju temperature *zvezno preidejo v kapljevinsko fazo*. Njihova temperatura med faznim prehajanjem enakomerno narašča (slika 1b). *Amorfne snovi nimajo določenega tališča in talilne toplote*.

Čeprav med taljenjem snov segrevamo (se pravi, da ji dovajamo toploto), je njena temperatura konstantna toliko časa, dokler se vsa snov ne stali. Taljenje je torej izotermen proces ($T = \text{konst.}$). Ta ugotovitev velja za vse fazne spremembe. V kaj pa se spremeni toplota, ki jo snovi dovajamo med taljenjem, če se ne "porabi" za povečanje temperature? Za odgovor si moramo priklicati v spomin osnovna spoznanja o zgradbi snovi (poglavje 7.2). V kristalni snovi so gradniki (molekule oz. atomi) prožno vezani na določena ravnovesna mesta kristalne mreže (zato imajo kristalne snovi lastno obliko, prostornino in gostoto). Gradniki snovi okrog ravnovesnih mest neprestano nihajo; amplituda nihanja (največji odmik) nihanja narašča s temperaturo. Pri temperaturi tališča postanejo nihanja tako močna, da začnejo popuščati medmolekulske vezi, ki vežejo gradnike na ravnovesne lege, in kristalna trdna snov začne razpadati v kapljevino. Snov prehaja iz urejene trdne faze v neurejeno kapljevinsko fazo. Za porušitev urejene kristalne strukture je potrebna energija, ki jo taleča se snov prejema v obliki toplote. Nastajajoča kapljevina prejeto toploto skoraj v celoti shrani kot notranjo energijo, in sicer tisti del notranje energije, od katere ni odvisna temperatura, to je potencialna energija atomov oz. molekul. Zato ima pri temperaturi tališča **kapljevina** (na primer voda s temperaturo 0 °C) **večjo notranjo energijo kot enaka množina trdne snovi** (na primer led s temperaturo 0 °C).

Strjevanje

Če kapljevini odvzamemo toploto, se njena temperatura znižuje (prehod D → C). Pri temperaturi tališča (točka C) se začne kapljevina **strjevati**. Med strjevanjem (prehod C → D) je temperatura zmesi kapljevine in trdne faze, kljub nadaljnjemu odvzemanju toplote, ves čas konstantna. *Kapljevina oddaja toploto na račun svoje notranje energije*. Toplota, ki jo mora oddati do tališča ohlajena kapljevina, da se vsa strdi, je enako velika kot talilna toplota. Drugače povedano: **med strjevanjem snov odda toliko toplote, kot jo je prejela med taljenjem**.

Če vodo ohlajamo pri normalnem zračnem tlaku, začne zmrzovati pri 0 °C. Če kemijsko čisto vodo previdno ohlajamo, jo lahko ohladimo pod 0 °C, ne da bi zmrznila. Pravimo, da smo vodo *podhladili*. Stanje podhlajene kapljevine *ni stabilno*. Če posodo s podhlajeno vodo stresemo ali vanjo vržemo nekaj zrnca ledu, zelo hitro zmrzne toliko vode, da imata nastali led in preostala voda pri normalnem tlaku temperaturo 0 °C. Dežne kaplje v ozračju se lahko podhladijo precej pod -10 °C. Obraten pojav ni možen: kristalne trdne snovi ni mogoče segreti nad temperaturo tališča.

Žled je vremenski pojav, ko se pri tleh zadržuje zelo hladen zrak, nad njim pa veter v višinah prižene toplel zrak. Ko iz oblakov pada dež in ta prileti iz toplega v hladen zrak, se tam hitro ohladi. Tako se drobne dežne kapljice podhladijo na temperaturo pod 0 °C. Ko pa priletijo na zmrznjena zla ali na hladne predmete, tam hipoma zmrznejo. Tako dobijo veje, debela, telefonske in električne žice ter drogovi ledeni oklep. Led je zelo težak, zato se pod njegovo težo začnejo lomiti drevesa, žice se začnejo trgati, železni stebri pa se pričenjajo upogibati. Žled povzroča težave v prometu in preskrbi z električno energijo.

Spomladanske pozebe lahko povzročijo sadjarjem zelo veliko gospodarsko škodo. *Oroševanje* proti pozebi je način zaščite, pri katerem se celoten sadovnjak pokrije z umetno ustvarjenim dežjem. Zaradi negativnih temperatur okolice se dodana voda ohlaja, zmrzuje in se nalaga po vseh delih rastline. Orošene dele dreves (deblo, veje, cvetove) pokrije ledena prevleka, ki ostane prisotna toliko časa, dokler se temperatura zraka ponovno ne zviša nad 0 °C. Ob ohlajanju dodane vode in nato ob nastajanju ledu se sprošča toplota, ki se prenaša deloma na cvetove, deloma pa v zrak v svoji okolici in v tla, ter s tem zaščiti cvetove pred pozebo.

V trgovinah s športno opremo prodajajo blazinice, s katerimi si lahko ogrejemo mrzle roke ali noge. V blazinicah je podhlajena tekočina, v njej pa majhna kovinska ploščica. Ko ploščico prepognemo, se tekočina spremeni v trdno kristalno snov in se pri tem občutno segreje. Po uporabi postavimo blazinico za nekaj časa v vrelo vodo, da se kristali stalijo, pustimo, da se tekočina ohladi, in zopet jo lahko uporabimo za segrevanje. V blazinicah je običajno natrijev acetat trihidrat ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Kristali te soli imajo tališče pri 58 °C. Če staljeno snov segrejemo do približno 100 °C in ohladimo do sobne temperature, dobimo podhlajeno tekočino. Ko sprožimo kristalizacijo, se snov segreje približno do navedene temperature tališča. Ko prepognemo kovinsko ploščico, odletijo v tekočino drobni kristali natrijevega acetata, ki so ostali v zarezah v kovini. Zakaj se pri segrevanju kristali v zarezah niso stalili tako kot druga snov? Povečanje tlaka povzroči v večini snovi povišanje tališča. Tališče kristalov, ki so stisnjene v zarezah, je zato znatno višje od navedenega tališča snovi in se zato pri segrevanju niso stalili.



Slika 2: Fotografija kaže blazinici z natrijevim acetatom. Levo je blazinica s podhlajeno tekočino, desno pa blazinica potem, ko je tekočina kristalizirala. V blazinicah je vidna kovinska ploščica.

Visoko talilno toploto ledu izkoriščajo sadjarji in vinogradniki pri obrambi pred spomladanskimi pozebami. Ponoči ali v zgodnjih jutranjih urah, ko pade temperatura pod 0 °C, pršijo cvetove in mlade poganjke z vodo. Cvetove in liste obda tanka plast ledu. Pri nastajanju ledu se sprošča toplota, ki ščiti cvetove in poganjke pred ohlajanjem. Nasad škropijo, dokler obstaja nevarnost pozebe.

Odvisnost tališča od tlaka

Temperatura, pri kateri voda preide v led, je v precejšnji meri odvisna od raznih primesi. Če vodi dodamo sol v razmerju 1 : 2, zmrzne šele pri temperaturi -18 °C. Zaradi tega pozimi (pred nastopom poledice) posipavajo ceste s kuhinjsko soljo. S soljo si pomagajo tudi pri pripravi sladoleda. Povprečna temperatura v zmrzovalniku, pri kateri bi bil sladoled popolnoma zamrznjen, znaša -18 °C. Da bi sladoled ohranili nekje med kapljevinskim in trdnim stanjem, med sestavine vmešamo sol, s čimer znižamo temperaturo ledišča in tako sladoled ne zamrzne popolnoma.

Vodi v ceveh, ki lahko zmrzne (na primer v avtomobilskem hladilniku ali v sončnih kolektorjih na strehi hiše), dodajamo etilenglikol (etan-1,2-diol), da znižamo temperaturo zmrzišča in s tem preprečimo zmrzovanje, zaradi česar bi se lahko cevi poškodovale. Zmes 60 % etilenglikola in 40 % vode zmrzne pri -45 °C.

Vemo, da led plava na vodi. Torej ima led manjšo gostoto kot voda. Sklepamo, da se prostornina vode pri zmrzovanju poveča. 1,00 liter vode zmrzne v 1,09 litra ledu, kar pomeni, da se prostornina vode ob prehodu v led poveča za 9 %. Ta sprememba je pomembna.

Če bi imel led večjo gostoto kot voda, bi se na primer v jezeru potopil na dno in vsa voda bi lahko zmrznila. Tako pa ostaja na gladini in ščiti (ker ima majhno toplotno prevodnost) spodnje plasti vode pred mrzlim zrakom. Življenje v vodi v hudih zimah ne bi bilo možno, če bi se led potopil na dno. O tem smo že govorili pri anomaliji vode (poglavje 7.4.3).

So pa tudi hude nevšečnosti. Vodovodne cevi, ki so napolnjene z vodo, počijo, če voda v njih zmrzne. Voda v skalnih razah v gorah pri zmrzovanju razdira skale in jih spreminja v grušč.

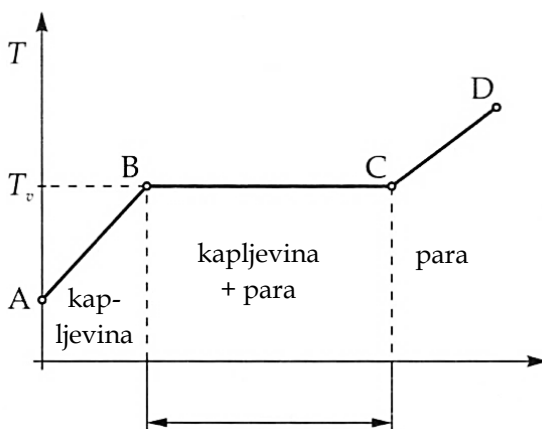
Med taljenjem se večina snovi razteza, je pa tudi nekaj izjem. Voda v omenjenem temperaturnem območju, bizmut, antimon ... se na primer s taljenjem krčijo, njihova gostota se poveča.

Ker je sprememba prostornine snovi ob taljenju majhna, tlak na tališče ne vpliva v tolikšni meri kot na vrelišče (stran 5). Tališče se le malo spreminja s tlakom. Povečan tlak olajša prehod v tisto agregatno stanje, v katerem ima snov manjšo prostornino. Snov se vplivu povečanega tlaka izogne tako, da se "umakne" v tisto agregatno stanje, v katerem ima manjšo prostornino (večjo gostoto). Zato temperatura tališča trdnin, ki se pri taljenju širijo, z naraščanjem tlaka narašča. Za vodo velja nasprotno – povečanje tlaka povzroči znižanje tališča. Pojavu, da se led oziroma snov tali pod povečanim tlakom, pravimo *regelacija*. Tališče ledu se zniža za 1 °C, če se tlak poveča za okoli 130 barov (za vsako povečanje tlaka za 1 bar pade za 0,0072 °C).

Z regelacijo pojasnimo polzenje ledenikov – pod njimi zaradi ogromnega tlaka, ki je posledica teže ledu, nastaja tanka plast vode, ki omogoča drsenje po kamniti podlagi. Ne moremo pa pojasniti smučanja in drsanja, čeprav to razlago še vedno zasledimo v številnih knjigah in učbenikih. Tega ne omogoča znižanje tališča ledu zaradi povečanega tlaka pod smučko ali drsalko, saj je to povečanje veliko premajhno. Ni pomembno znižanje tališča zaradi povečanega tlaka, ampak trenje, pri katerem se sprosti toplota. Zaradi nje se stali tanka plast ledu in zmanjša koeficient trenja.

8.4.2 Vrenje

Kapljevini v odprti posodi enakomerno dovajamo toploto, v lonec vode npr. vstavimo potopni grelec, ki vodi dovaja stalni toplotni tok P , kar pomeni, da voda v časovni enoti t prejme toploto $Q = Pt$. Temperaturo kapljevine v odvisnosti od časa ponazarja graf na sliki 3.



Slika 3: Graf izparevanja

Vodo v loncu mešamo in v enakomernih časovnih intervalih merimo njeno temperaturo. Dokler imamo le vodo, temperatura vode enakomerno narašča (daljica AB na grafu na sliki 2). Temperatura kapljevine narašča do temperature T_v , ki ji pravimo **vrelišče**. Pri vrelišču začne kapljevina prehajati iz kapljevinske faze v plinsko fazo ali **paro**. V notranjosti kapljevine neurejeno nastajajo mehurčki pare, ki se zaradi vzgona dvigajo proti gladini. Pravimo, da kapljevina **vre**. Med vrenjem kapljevina **izpareva**. Nastajajoča para ima enako temperaturo T_v kot vrela kapljevina. Pri temperaturi vrelišča T_v sta kapljevina in para v ravnovesju. **Med izparevanjem** (prehod B → C) **je temperatura vrele kapljevine konstantna**, čeprav kapljevino ves čas segrevamo (če s segrevanjem prenehamo, kapljevina preneha vreti).

Molekule v vreli kapljevini so bliže skupaj, sile med njimi pa močnejše kot v pari, kjer so molekule daleč narazen. Da molekula izpari, mora premagati privlačne sile molekul, ki jo vlečejo nazaj v kapljevino. Za to potrebno energijo prejema vreli kapljevina v obliki toplote. Nastala para ima večjo **notranjo energijo** kot enaka množina vrele kapljevine. Ko vsa kapljevina izpari (točka C), lahko nastalo paro segrejemo nad temperaturo vrelišča (prehod C → D).

Toplota, ki jo moramo dovesti do vrelišča segreti kapljevini z maso m , da izpari (prehod B → C), imenujemo **izparilna toplota**. Izparilna toplota je premo sorazmerna z maso kapljevine:

$$Q = mq_i \quad : \quad \text{izparilna toplota}$$

in **specifično izparilno toploto** q_i . Specifična izparilna toplota:

$$q_i = \frac{Q}{m} \quad ; \quad [q_i] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

je **snovna lastnost kapljevine**. Pove nam, **koliko toplote mora prejeti 1 kg do vrelišče segrete kapljevine, da izpari**. Kilogram vode pri 100 °C in normalnem zračnem tlaku izpari, če prejme $2,27 \cdot 10^6$ J toplote, specifična izparilna toplota vode je torej kar 2,27 MJ/kg.

Vrelišče je **snovna lastnost kapljevine**. Pri normalnem zračnem tlaku vre eter pri 35 °C, alkohol pri 78 °C, voda pa pri 100 °C.

V izjemnih okoliščinah se kapljevina lahko segreje nad temperaturo vrelišča in pri tem ne vre. Taki kapljevini pravimo **pregreta kapljevina**. Pregreta kapljevina ni obstojna. Že majhen tresljaj povzroči, da kapljevina zavre, njena temperatura pa se zniža na temperaturo vrelišča.

Kondenzacija

Če paro, segreto nad vrelišče, ohlajamo (prehod D → C), njena temperatura pada do temperature vrelišča T_v (točka C). Pri tej temperaturi se začne para postopoma spreminjati v kapljevino. Pravimo, da se para **kondenzira** (zgosti, utekočini). Med kondenzacijo para **oddaja toploto** na račun svoje notranje energije. Med kondenzacijo je temperatura nastajajoče kapljevine in pare konstantna toliko časa, dokler se vsa para ne kondenzira.

Toplota, ki jo odda do vrelišča ohlajena kapljevina, da se vsa kondenzira (prehod D → C), je enako velika kot izparilna toplota. Drugače povedano: **med kondenzacijo para odda ravno toliko toplote, kot jo je prejela pri izparevanju**.

Odvisnost vrelišča od tlaka

Na vrelišče kapljevine vpliva dvoje, primesi in tlak. Če v vrelo vodo vržemo ščepec soli, voda za hip preneha vreti – slana voda namreč zavre pri temperaturah nad 100 °C (morska voda ima za približno pol stopinje višje vrelišče). Večja ko je koncentracija soli, višje je vrelišče.

Vrelišče kapljevine z večanjem tlaka nad kapljevino narašča. Z vrenjem se namreč prostornina povečuje, to pa zunanji zračni tlak ovira. Povečan tlak ovira prehajanje kapljevine v paro, zato se mora ta bolj segreti, da je prehod kljub povečanemu tlaku možen. Ker se prostornina z vrenjem močno poveča (iz npr. litra tekoče vode pri 100 °C dobimo kar 1600 litrov = 1,6 m³ pare), je tudi vrelišče močno odvisno od tlaka. Če se prostornina snovi ob vrenju ne bi spremenila, vrelišče ne bi bilo odvisno od tlaka. Nasprotno je pri taljenju sprememba prostornine majhna, običajno le nekaj odstotkov, zato tlak na tališče ne vpliva v tolikšni meri kot na vrelišče, kar smo že omenili.

Poglejmo, kako se vrelišče spreminja s tlakom. Če vodo zapremo v *tlačni* ali *ekonom lonec* (po domače mu rečemo tudi "lonec na pritisk") – ta omogoča, da ima vodna para višji tlak kot zrak v okolici lonca – opazimo, da začne para sikati iz lonca, ko tlak naraste na 2 bara. Voda ima tedaj 120 °C. Torej voda vre pri temperaturi 120 °C, če je tlak nad vodno gladino 2 bara. Podobno ugotovimo, da se vrelišče vode dvigne na 180 °C, če se tlak nad vodo poveča na 10 barov. V ekonom loncu se tako fižol in druga živila prej skuhamo kot v običajnem loncu, saj ima voda višjo temperaturo – za kuhanje namreč ni potrebna para oz. da voda vre, temveč da ima čim višjo temperaturo.

Gejzir je termalni izvir vroče vode in pare. Zanj je značilno, da vode ne bruha neprekinjeno, ampak v časovnih intervalih. Gejzirji se nahajajo na območjih povečane vulkanske aktivnosti, kot je npr. Islandija, kjer vroča magma iz notranjosti Zemlje sega blizu površja. Skorja mora imeti plast kamnine, ki prenese visok tlak, ter sistem rovov in votlin, v katerih se nabira in pretaka voda. V podzemne rove in votline pronica ohlajena površinska voda, ki se na globini do nekaj kilometrov segreva v vroči kamnini. Zaradi visokega hidrostatičnega tlaka na veliki globini se voda lahko pregreje visoko nad vrelišče vode na površju. Ker se voda v podzemni shrambi stalno segreva, začenja vreti in tlak v shrambi se povečuje. Ko je tlak v shrambi dovolj velik, potisne vodo skozi rov na površju. Na poti proti površju se tlak vode zmanjša, voda zavre in para bruhne skupaj z vodo iz rova. Ob tem tlak v shrambi pade in curek pare in vode presahne. Zgodba se nato ponovi, ko tlak v shrambi dovolj naraste.

Če poskus ponovimo v obratni smeri in tlak nad vodo zmanjšamo, opazimo, da voda zavre pri nižji temperaturi od 100 °C. Pri 0,123 bar = 123 mbar vre voda pri 50 °C. Če zamašeno stekleno bučko z vodo priključimo na črpalko in tlak znižamo do okrog 20 mbar, bo voda zavrela že pri sobni temperaturi. Ker zračni tlak pada tudi z nadmorsko višino, zavre voda v gorah pri nižji temperaturi od običajne. Tudi v Ilirski Bistrici, ki je na nadmorski višini 420 m, voda ne vre pri 100 °C, temveč pri okoli 98 °C, na kar vpliva tudi vreme. Na vrhu Triglava (2864 m) je zračni tlak okrog 0,75 bar; tam vre voda pri 90 °C, na vrhu Mt. Everesta (8848 m in tlaku 0,33 bar) pa že pri okoli 70 °C. Alpinistom to pogosto oteži kuhanje v gorah, saj **voda sicer zavre prej, vendar to pomeni daljše kuhanje**. Himalajske šerpe zato uporabljajo ekonom lonce za kuhanje v visoko ležečih taborih.

Pri tlaku 6,1 mbar voda vre že pri 0 °C. Če tlak še zmanjšamo, bi se moralo vrelišče znižati pod 0 °C, ker pa imamo pod 0 °C led, se pri tlaku, ki je nižji od 6,1 mbar, led neposredno spreminja v paro, ne da bi se stalil. Pravimo, da led **sublimira**. Sublimacija je direkten prehod iz trdnega v plinasto agregatno stanje. Vsaka trdna snov lahko pri sobni temperaturi sublimira, če le tlak dovolj znižamo. Nekatere snovi same od sebe sublimirajo že pri normalnem zračnem tlaku, na primer jod, trden ogljikov dioksid ("suhi led"), naftalin (kroglice proti moljem), kafa itd. Za te snovi je značilno, da tvorijo **molekulske kristale**. Ogljikov dioksid se vede na ta način samo, dokler tlak ni prevelik. S tlakom, ki je večji od 5 bar, pa lahko prisilimo trdni CO₂, da se pri segrevanju stali in šele nato izpari. Ogljikov dioksid v jeklenkah je tekoč, saj je pod visokim tlakom.