

Turinys

Pratarmė	5
Kaip naudotis vadovu	6
1 skyrius. Medžiagų vidinė energija	8
1.1. Šiluminis judėjimas. Temperatūra	10
1.2. Vidinė energija	19
1.3. Vidinės energijos kitimo būdai	25
1.4. Šilumos laidumas	30
1.5. Konvekcija	36
1.6. Šiluminis spinduliavimas	41
Skyriaus „Medžiagų vidinė energija“ apibendrinimas	46
2 skyrius. Šiluma	48
2.1. Šilumos kiekis	50
2.2. Savitoji šiluma	57
2.3. Šilumos balanso lygtis	62
2.4. Kuro savitoji degimo šiluma	70
2.5. Šiluminis medžiagų plėtimasis	76
Skyriaus „Šiluma“ apibendrinimas	84
3 skyrius. Medžiagos agregatinių būsenų virsmai	86
3.1. Medžiagos agregatinės būsenos	88
3.2. Lydymasis ir kietėjimas	93
3.3. Savitoji lydymosi šiluma	99
3.4. Garavimas ir kondensacija	105
3.5. Virimas. Savitoji garavimo šiluma	109
3.6. Faziniai virsmai	117
3.7. Oro drėgnis	125
Skyriaus „Medžiagos agregatinių būsenų virsmai“ apibendrinimas	132
4 skyrius. Šiluminės mašinos	134
4.1. Šiluminiai varikliai	136
4.2. Šilumos siurbiai	145
4.3. Šiluminių mašinų efektyvumas	149
4.4. Šiluminių variklių keliama tarša	156
4.5. Ekologinės šiluminės energetikos problemos	164
Skyriaus „Šiluminės mašinos“ apibendrinimas	170
Laboratoriniai darbai	172
Priedas	177
Dalykinė rodyklė	179
Šaltiniai	182



e-lankos.lt/5kat

3.3. Savitoji lydymosi šiluma

**Naujos
sąvokos:**

savitóji lýdymosi šilumą, lýdymosi šilumą, kietėjimo šilumą

Metallų lydymas (3.3.1 pav.) yra svarbus šiuolaikinės gamybos etapas – metalai įgauna reikiamas savybes arba jiems suteikiama norima forma. Lydymui reikia daug energijos, o jos sąnaudos priklauso nuo to, koks metalas lydomas. Norint sėkmingai lydyti medžiagas, svarbu suprasti šio proceso esmę ir žinoti, kas lemia skirtingą medžiagų „elgesį“ lydymo metu.

Kristaliniuose kietuosiuose kūnuose atomai ar molekulės, veikiami stiprių tarpusavio sąveikos jėgų, išsidėsto tvarkinga struktūra. Šią struktūrą galima palyginti su įmagnetintų metalinių rutuliukų kubu – rutuliukai stipriai traukia vieni kitus ir išlaiko tvarkingą formą (3.3.2 pav.).

Norint suardyti kietojo kūno kristalo gardelę, t. y. pasiekti, kad dalelių tarpusavio traukos jėgos būtų įveiktos ir atomai iš tvarkingos sandaros pereitų į netvarkingą būseną, reikia atlikti darbą. Šis darbas atliekamas, perduodant kietajam kūnui reikiamą energiją – suteikiant jam tam tikrą šilumos kiekį.

Molekulių ir atomų tarpusavio sąveikos jėgos yra sudėtingos, skirtingų medžiagų jos nevienodos, todėl gamtoje egzistuoja didžiulė kristalinių struktūrų įvairovė. Skiriasi ir medžiagų kristalo gardelių tvirtumas. Dėl to skirtingų medžiagų kristalo gardelėms suardyti, t. y. medžiagoms išlydyti, reikia nevienodo energijos kiekio, net jeigu jų masė vienoda. Pavyzdžiui, išlydyti 1 kg aliuminio reikia net 16 kartų daugiau energijos negu 1 kg švino.

Savitóji lýdymosi šilumą – tai fizikinis dydis, nusakantis šilumos kiekį, reikalingą išlydyti 1 kg kietos medžiagos (kristalinio kietojo kūno) jos lydymosi temperatūroje.

Lydymosi metu ši šiluma sunaudojama kristalo gardelai suardyti ir medžiagos dalelių potencinei energijai padidinti.

Savitoji lydymosi šiluma žymima λ ir apskaičiuojama pagal formulę:

$$\lambda = \frac{Q}{m}; \quad (3.1)$$

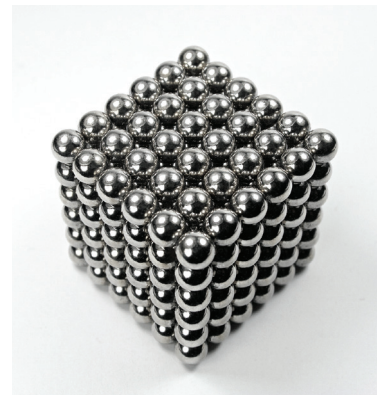
čia Q – šilumos kiekis, reikalingas kietajam kūnui išlydyti; m – kietojo kūno masė.

Savitosios lydymosi šilumos matavimo vienetas – džaulis kilogramui:

$$[\lambda] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$



3.3.1 pav.



3.3.2 pav.

1

2

3

4

1

2

3

4

Savitoji lydymosi šiluma rodo, kiek padidėja 1 kg medžiagos vidinė energija, kai ji savo lydymosi temperatūroje pereina iš kietosios būsenos į skystąją. Tai viena svarbiausių medžiagos savybių, lemiančių, jos lydymąsi.

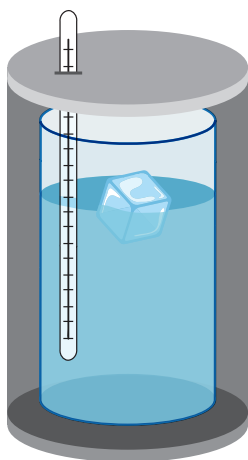
Pagal savitosios lydymosi šilumos formulę (3.1) galima apskaičiuoti **lydymosi šilumą**.

Lydymosi šilumą – tai šilumos kiekis Q , reikalingas tam tikros masės m kietai medžiagai (kristaliniam kietajam kūnui) išlydyti jos lydymosi temperatūroje:

$$Q = \lambda m. \quad (3.2)$$

Lydymosi metu kietajam kūnui iš aplinkos suteikiama energija didina jo vidinę energiją, tačiau kūno temperatūra tuo metu nekinta. Suteiklus šilumos kiekį (3.2), kietasis kūnas visiškai išsilydo, o susidaręs skystis yra tokios pačios temperatūros kaip ir kūnas lydymosi pradžioje. Vidinės energijos kitimas fazinių virsmų metu apskaičiuojamas pagal šilumos balanso lygtį (2.2).

Atlikime paprastą bandymą – remdamiesi šilumos balanso lygtimi, raskime savitąją lydymosi šilumą.



3.3.3 pav.

1 bandymas. Ledo savitoji lydymosi šiluma

Tikslas – nustatyti ledo savitąją lydymosi šilumą.

1. Į kalorimetrą įpilkite vandens, kurio masė yra m_v , o pradinė temperatūra t_1 .

2. Tuomet į kalorimetre esantį vandenį įdėkite ledo gabaliuką, kurio temperatūra $t_0 = 0,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.3.3 pav.).

3. Palaukite, kol ledas visiškai ištirps ir kalorimetre nusistovės galutinė temperatūra t_2 .

4. Užfiksuokite nusistovėjusią temperatūrą t_2 .

5. Pasverkite dabar kalorimetre esančio vandens masę m .

6. Apskaičiuokite pradinę ledo gabaliuko masę m_1 :

$$m_1 = m - m_v.$$

7. Užrašome kalorimetre iš pradžių buvusio vandens prarasto šilumos kiekio formulę:

$$Q_v = c_v m_v (t_2 - t_1).$$

8. Užrašome išraišką, skirtą apskaičiuoti šilumos kiekį, kurio reikia ledui išlydyti ir susidariusiam vandeniui sušildyti:

$$Q_1 = \lambda m_1 + c_v m_1 (t_2 - t_0).$$

9. Sudarome šilumos balanso lygtį:

$$Q_v + Q_1 = 0.$$

10. Iš jos išreiškiame ledo savitąją lydymosi šilumą:

$$\lambda = \frac{c_v m_v (t_1 - t_2) - c_v m_1 (t_2 - t_0)}{m_1}.$$

Jei kalorimetre yra šilumos nuostolių, iš aplinkos gauta šiluma padidina galutinę temperatūrą t_2 . Iš gautos formulės matyti, kad tai lemia mažesnę apskaičiuotą ledo savitosios lydymosi šilumos vertę.

Tarkime, kad bandymo metu nebuvo šilumos nuostolių, o išmatuotos šios reikšmės:

- $m_v = 200\text{ g},$
- $t_1 = 23\text{ }^{\circ}\text{C},$
- $m = 240\text{ g},$
- $t_2 = 6,0\text{ }^{\circ}\text{C}.$

Irašome šias reikšmes į ledo savitosios lydymosi šilumos formulę ir apskaičiuojame λ vertę:

$$\lambda = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \frac{0,200\text{ kg} (23\text{ }^{\circ}\text{C} - 6,0\text{ }^{\circ}\text{C}) - 4,0 \cdot 10^{-2}\text{ kg} (6,0\text{ }^{\circ}\text{C} - 0,00\text{ }^{\circ}\text{C})}{4,0 \cdot 10^{-2}\text{ kg}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

Išvados:

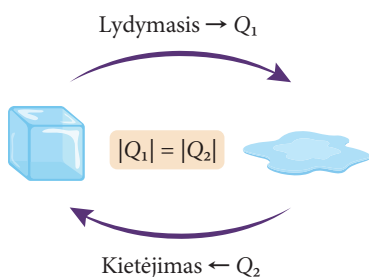
- 1) bandymu nustatyta ledo savitoji lydymosi šiluma $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ yra artima 3.2 lentelėje pateikiamai vertei;
- 2) didėjant šilumos nuostoliams kalorimetre, pagal šį metodą nustatoma ledo savitosios lydymosi šilumos vertė tampa mažesnė;
- 3) šis ledo savitosios lydymosi šilumos nustatymo būdas yra tinkamas tik tuo atveju, jei, iki nusistovint šiluminei pusiausvyrai, kalorimetre ištirpsta visas ledas.

Medžiagų savitoji lydymosi šiluma nustatoma eksperimentais. 3.2 lentelėje pateiktos kai kurių medžiagų savitosios lydymosi šilumos vertės.

3.2 lentelė. Medžiagų savitoji lydymosi (kietėjimo) šiluma

Medžiaga	Savitoji lydymosi šiluma, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Medžiaga	Savitoji lydymosi šiluma, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Gyvsidabris	11,8	Parafinas	200
Deguois	13,9	Volframas	184
Švinas	24	Varis	205
Alavas	59	Geležis	247
Auksas	64	Plienas	272
Sidabras	105	Nikelis	300
Spiritas	108	Ledas	332
Platina	113	Aliuminis	393

Pavyzdžiui, lentelėje matome, kad ledo savitoji lydymosi šiluma yra $332 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$. Tai reiškia, kad norint išlydyti 1 kg ledo, kurio temperatūra yra $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,



3.3.4 pav.

reikia jam suteikti 332 kJ šilumos. Suteikus šį šilumos kiekį, ledas visiškai ištirps (išsilydys), o susidariusio vandens temperatūra liks tokia pati, t. y. 0 °C. Tačiau vandens vidinė energija bus 332 kJ didesnė negu ledo.

Kietėjimas yra atvirkštinis lydymuisi procesas. Eksperimentiniai lydymosi ir kietėjimo tyrimai parodė, kad šilumos kiekis, reikalingas tam tikram medžiagos kiekiui išlydyti, esant lydymosi temperatūrai, yra lygus šilumos kiekiui, kuris išsiskiria tai pačiai medžiagai sukietėjus tokioje pačioje temperatūroje (3.3.4 pav.).

Atvėsinus skystį iki kietėjimo temperatūros, jis kristalizuojasi ir virsta kietuoju kūnu. Prisiminkime šilumos balanso lygtį: kietėdama medžiaga atiduoda šilumos, o ne jos gauna. Todėl kietėjant skysčiui, kurio temperatūra lygi lydymosi temperatūrai, išskiriamas šilumos kiekis (kietėjimo šiluma) išreiškiamas su minuso ženklu.

Kietėjimo šilumą – tai šilumos kiekis Q , išsiskiriantis kietėjant tam tikros masės m skysčiui jo kietėjimo temperatūroje:

$$Q = -\lambda m. \quad (3.3)$$

čia Q – kietėjimo metu skysčio išskirtas šilumos kiekis; λ – skysčio savitoji lydymosi šiluma; m – sukietėjusios medžiagos masė.

Kietėjimo metu, priešingai nei lydantis, skysčio atiduodama šiluma mažina medžiagos vidinę energiją, tačiau jos temperatūra nekinta. Kietėjimo pradžioje skysčio temperatūra yra tokia pati kaip ir kietojo kūno kietėjimo pabaigoje, nors vykstant šiam procesui medžiaga atiduoda aplinkai tam tikrą šilumos kiekį (3.3.3 pav., p. 100).

Svarbu prisiminti, kad 3.2 ir 3.3 formules galima taikyti tik tuomet, kai medžiaga yra pasiekusi lydymosi temperatūrą ir keičiasi jos agregatinė būsena. Jei medžiagos temperatūra skiriasi nuo lydymosi temperatūros, pirmiausia reikia apskaičiuoti šilumos kiekį, reikalingą sušildyti kietąjį kūną iki lydymosi temperatūros (lydymosi atveju) arba atvėsinti jį iki kietėjimo temperatūros (kietėjimo atveju).

Klausimai ir užduotys

1. Turime du tokios pačios masės kūnus – vienas iš parafino, kitas – iš aukso. Kuriam iš jų išlydyti reikia daugiau energijos, jeigu yra pasiekta lydymosi temperatūra?
2. Pasirinkdami tinkamą atsakymą, pabaikite teiginį, kad jis būtų teisingas.
Esant tokioms pačioms šildymo sąlygoms, medžiaga, kurios savitoji lydymosi šiluma didesnė:
 - A turi aukštesnę lydymosi temperatūrą;
 - B sunaudoja mažiau energijos agregatinei būsenai pakeisti;
 - C lydosi lėčiau.

1

2

3

4

3. Ar gali vaismedžių purškimas vandeniu prieš šalnas padėti apsaugoti žiedus nuo užšalimo? Paaiškinkite, kodėl.
4. Kodėl slidės slysta sniegu?
5. Kuriuo atveju išsiskirs daugiau šilumos: kietėjant išlydytam variui ar išlydytam sidabru, jeigu jų masė vienoda?
6. Kai kurie sodininkai nešildomame rūsyje laiko didelį indą su vandeniu, kad derlius nesusaltų. Ar jie teisingai elgiasi? Paaiškinkite.
7. Kodėl žiemą per šalčius paukščiai mėgsta būriuotis ant upių ar ežerų ledo?
8. Kuriuo atveju vanduo inde labiau sušiltų: jei įpiltume į jį skysto alavo ar įmestume tokios pačios temperatūros ir tokios pačios masės kieto alavo gabaliuką? Paaiškinkite.

Mokomės spręsti uždavinius

1. Ledo masė $m = 300$ g, o temperatūra $t = 0,00$ °C. Jį norima visiškai išlydyti šildytuvu, kurio galia $P = 600$ W. Ar tai įmanoma padaryti per laiką $\tau = 5,0$ min, jei šilumos nuostoliai sudaro $x = 30$ %?

$$m = 0,300 \text{ kg}$$

$$t = 0,00 \text{ °C}$$

$$\lambda = 3,32 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$P = 600 \text{ W}$$

$$\tau = 5,0 \text{ min}$$

$$x = 30 \%$$

Ar ledas bus visiškai išlydytas?

Sprendimas

Ledui išlydyti reikiamą šilumos kiekį galime apskaičiuoti pagal 3.2 formulę:

$$Q_1 = \lambda m. \quad (1)$$

Įrašome į šią formulę skaitines dydžių vertes ir apskaičiuojame:

$$Q_1 = 3,32 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,300 \text{ kg} = 0,996 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}. \quad (2)$$

Šildytuvas per laiką $\tau = 5,0$ min išskiria šilumos kiekį:

$$Q_2 = P \cdot t. \quad (3)$$

1

2

3

4

Kadangi šildytuvo šilumos nuostoliai $x = 30 \%$, tai jo naudingumo koeficientas:

$$\eta = 100 \% - x = 70 \%. \quad (4)$$

Tuomet šildytuvo naudingai sunaudotos šilumos kiekis:

$$Q_3 = \eta \cdot P \cdot t. \quad (5)$$

Irašome į šią formulę skaitines dydžių vertes ir apskaičiuojame:

$$Q_3 = 0,70 \cdot 600 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3,0 \cdot 10^2 \text{ s} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ J}. \quad (6)$$

Palyginę ledui išlydyti reikiamos šilumos kiekį (2) ir šildytuvo suteiktą šilumos kiekį (6), gauname:

$$Q_1 < Q_3.$$

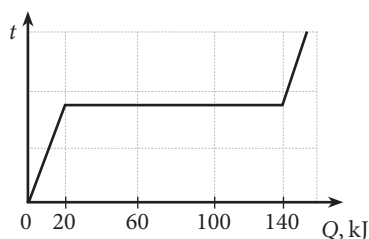
Atsakymas: taip, ledas bus visiškai išlydytas.

Mokomės savarankiškai spręsti uždavinius

1. Kiek energijos reikia išlydyti 7,00 kg nikelio, jeigu jis yra pasiekęs lydymosi temperatūrą? (2,10 MJ)

2. Kiek kartų daugiau energijos reikia, norint išlydyti 0,500 kg aliuminio, palyginti su energija, kurios reikia jo temperatūrai padidinti nuo 0,000 °C iki lydymosi temperatūros? (664 kartus)

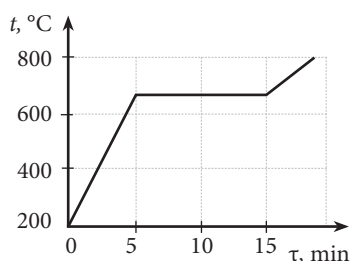
3. Lydoma nežinoma medžiaga, kurios masė 5 kg. Jos temperatūros priklausomybė nuo sugerto šilumos kiekio pateikta grafike (3.3.5 pav.). Remdamiesi grafiku, apskaičiuokite šios medžiagos savitąją lydymosi šilumą. Ar, naudodamiesi 3.1 lentele (p. 94), galime nustatyti, kokia tai medžiaga? Jei taip, įvardykite šią medžiagą.



3.3.5 pav.

4. Gavęs 4000 J šilumos, ledo gabaliukas, kurio temperatūra buvo 0,00 °C, visiškai išsilydė. Kokia buvo to ledo gabaliuko masė? (12 g)

5. Grafike (3.3.6 pav.) pateikta šildomo kietojo kūno temperatūros priklausomybė nuo laiko. Medžiaga buvo šildoma kaitintuvu, kuris per minutę perduodavo medžiagai 63 kJ šilumos. Remdamiesi grafiku, apskaičiuokite medžiagos savitąją lydymosi šilumą. Ar, naudodamiesi 3.1 lentele (p. 94), galime nustatyti, kokia tai medžiaga? Jei taip, įvardykite šią medžiagą.



3.3.6 pav.

6. Ant didelio ledo luito, kurio temperatūra 0,00 °C, užpilama 50 g vandens, kurio temperatūra 40 °C. Kokia ledo masė išsilydys? (25 g)

7. Kiek laiko turi veikti buitinis 1,0 kW galios oro šildytuvai, kad išskirtų tokį patį šilumos kiekį, koks išsiskiria sušaldant 1,0 m³ 0,00 °C temperatūros vandens į ledą? (92 val.)

5. Dieną oro temperatūra $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, o santykinis oro drėgnis 62 %. Nustatykite, kiek naktį turėtų atvėsti oras, kad iškristų rasa.

- 1) 36 lentelėje (p. 125) raskite sočiųjų vandens garų tankį, esant $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai.
- 2) Apskaičiuokite ore esančių vandens garų tankį – absoliutųjį oro drėgnį. ($8,4\text{ g/m}^3$)
- 3) 36 lentelėje (p. 125) raskite, kokiai temperatūrai esant toks vandens garų tankis tampa lygus sočiųjų vandens garų tankiui. (iki $8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir žemiau)

1

2

3

4

Tarpdalykinis projektas

Santykinis oro drėgnis – svarbi mokslinė sąvoka, padedanti paaiškinti daugelį gamtos reiškinių. Labai svarbu atsižvelgti į santykinį oro drėgnį, kuriant žmogaus sveikatai palankią aplinką. Pavyzdžiui, neatsižvelgus į rasos tašką, namuose gali atsirasti pelėsis (3.7.8 pav., a), daugintis kenksmingi virusai ir bakterijos, prasidėti kvėpavimo ligos. Paieškokite informacijos apie santykinio oro drėgnio įtaką žmogaus savijautai ir sveikatai, pasidomėkite, kokių esama būdų palaikyti tinkamą santykinį oro drėgnį patalpose, kad namuose būtų sveikas klimatas (3.7.8 pav., b). Pateikite aiškių pavyzdžių, parenkite kūrybišką pranešimą – galite sukurti pateiktį, plakatą ar trumpą vaizdo įrašą.



2.7.8 pav., a



2.7.8 pav., b

Skyriaus „Medžiagos agregatinių būsenų virsmai“ apibendrinimas

- 1
- 2
- 3
- 4

Sąvoka	Apibūdinimas
Mėdžiagos agregātinė būsena	Medžiagos agregatinė būsena – tai fizinis medžiagos pavidalas.
Kristālo gardėlė	Kristalo gardelė – tai tvarkinga erdvinė struktūra, kurios atomai, jonai ar molekulės išsidėstę pasikartojančia geometrine tvarka.
Kondensācija	Kondensacija – tai medžiagos perėjimas iš dujinės būsenos į skystąją.
Garāvimas	Garavimas – tai medžiagos perėjimas iš skystosios būsenos į dujinę.
Sublimācija	Sublimacija – tai tiesioginis medžiagos perėjimas iš kietosios būsenos į dujinę, aplenkiant skystąją būseną.
Desublimācija	Desublimacija – tai tiesioginis medžiagos perėjimas iš dujinės būsenos į kietąją, aplenkiant skystąją būseną.
Kietėjimas	Kietėjimas – tai skysčio virsmas kietuoju kūnu.
Lýdymasis	Lydymasis – tai kietojo kūno virsmas skysčiu.
Lýdymosi temperatūrā	Lydymosi temperatūra – tai temperatūra, kuriai esant kristalinis kietasis kūnas virsta skysčiu.
Savitóji lýdymosi šilumā	Savitoji lydymosi šiluma (λ) – tai fizikinis dydis, nusakantis šilumos kiekį, reikalingą išlydyti 1 kg kietos medžiagos (kristalinio kietojo kūno) jos lydymosi temperatūroje: $[\lambda] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$
Lýdymosi šilumā	Lydymosi šiluma – tai šilumos kiekis (Q), reikalingas tam tikros masės (m) kietai medžiagai (kristaliniam kietajam kūnui) išlydyti jos lydymosi temperatūroje: $Q = \lambda m.$
Kietėjimo šilumā	Kietėjimo šiluma – tai šilumos kiekis (Q), kuris išsiskiria kietėjant tam tikros masės (m) skysčiui jo kietėjimo temperatūroje: $Q = -\lambda m.$
Sotíeji garāi	Sočiaisiais garais vadinami garai, pasiekę dinaminę pusiausvyrą su garuojančiu skysčiu.
Nesotíeji garāi	Nesočiaisiais garais vadinami garai, kurių tankis yra mažesnis už sočiųjų vandens garų tankį, esant tokiai pačiai temperatūrai.
Virimas	Virimas – skysčio virsmas garais visame skysčio tūryje, kai susidaro ir didėja garų burbuliukai.
Virimo temperatūrā	Temperatūra, kurioje skystis verda, vadinama virimo temperatūra.