5.5. SOČIŲJŲ VANDENS GARŲ SLĖGIO PRIKLAUSOMYBĖS NUO TEMPERATŪROS TYRIMAS

Darbo tikslas

Ištirti sočiųjų vandens garų slėgio priklausomybę nuo temperatūros.

Darbo užduotys

- Nustatyti sočiųjų vandens garų slėgio priklausomybę nuo temperatūros.
- Nustatyti vandens savitąją garavimo šilumą.

Teorinės temos

- Šiluma. Šiluminis kūnų plėtimasis. Šilumos kiekis. Savitoji šiluma.
- Vidinė kūnų energija ir jos kitimas.
- Medžiagos agregatinių būsenų kitimas.
- Termodinaminės pusiausvyros sąlygos skysčiuose ir garuose.
- Sočiųjų garų slėgis.
- Garavimo šiluma. Išorinis ir vidinis šilumos garavimas.
- Garavimo šilumos kitimas keičiantis temperatūrai.
- Kritinė temperatūra. Vandens kritinė temperatūra.

Darbo priemonės ir prietaisai

Vandens virimo temperatūros priklausomybės nuo išorinio slėgio nustatymui skirtas prietaisas: vakuuminis siurblys, elektrinis šildytuvas su magnetiniu maišytuvu, stiklinis indas, apvaliadugnė kolba, laboratorinis termometras, distiliuotas vanduo, manometras, jungiamieji guminiai vamzdeliai, stovas.

Darbo metodika

Garavimo metu molekulės iš skysčio ir kietojo kūno pereina į dujas. Kietųjų kūnų garavimas vadinamas sublimacija ir vyksta dviejų fazių riboje (kietas kūnas – dujos). Šiuo atveju bus nagrinėjamas molekulių perėjimas iš skystos fazės į dujinę – garavimas. Skysčio temperatūrai esant mažesnei nei jo virimo temperatūra, garavimas – skysčio virsmas garais – vyksta skysčio paviršiuje. Skysčio garavimo sparta priklauso nuo skysčio rūšies, paviršiaus ploto ir temperatūros. Atvirkštinis garavimui procesas – garų virsmas skysčiu – vadinamas kondensacija.

Skysčio molekulių judėjimą varžo tarpmolekulinės traukos jėgos, kurios akivaizdžiai pasireiškia skysčio paviršiuje: skysčio paviršiaus įtempimo neleidžia molekulėms išlėkti iš skysčio. Kadangi skysčio molekulių šiluminio judėjimo greitis skirtingas, greitesnės molekulės turi didesnę energiją, kurios pakanka nugalėti traukos jėgą, ir tos molekulės sugeba išlėkti iš skysčio. Taigi, skysčio molekulės nuolat atitrūksta nuo skysčio paviršiaus ir pereina į garų fazę. Atsiskirdama nuo skysčio paviršiaus molekulė turi atlikti darbą savosios kinetinės energijos sąskaita. Skysčiui garuojant, atsiskiria greitesnės molekulės, todėl pasiliekančių molekulių vidutinis greitis mažėja, skystis vėsta. Esant pastoviai temperatūrai, tarp endoterminio garavimo proceso ir egzoterminio kondensacijos proceso nusistovi pusiausvyra. Jei garai su skysčiu yra dinaminėje / stacionarioje

pusiausvyroje, tai tokie garai vadinami sočiaisiais, o jų slėgis – sočiųjų garų slėgiu. Skysčių sočiųjų garų slėgis visai nepriklauso nuo skysčio tūrio, bet tiesiogiai priklauso nuo jo temperatūros. Jei visuose izoliuotos sistemos taškuose sočiųjų garų slėgis P ir temperatūra T nesikeičia ilgą laiką, tai sistema yra termodinaminėje pusiausvyroje.

Tegu per laiko vienetą dt iš skysčio į dujas pereina d$N_{s\text{-}d}$ molekulių, o iš garų (dujų) į skystį – d$N_{d\text{-}s}$ molekulių. Papildomas reikšminis faktorius, kad nusistovėtų termodinaminė pusiausvyra, yra būtinas vienodas garavimo ($N_{gar.}$ = d$N_{s\text{-}d}$/dt) ir kondensacijos ($N_{kond.}$ = d$N_{d\text{-}s}$/dt) greitis.

Esant dviem fazėms (skysčio ir garų), turi būti tenkinamos trys pusiausvyros sąlygos:

$$T_g = T_s = T; \tag{5.5.1}$$
$$P_g = P_s = P; \tag{5.5.2}$$
$$N_{gar.}\,(P_s, T_s) = N_{kond.}\,(P_g, T_g); \tag{5.5.3}$$

čia T_g, T_s – garų ir skysčio temperatūra, P_g, P_s – garų ir skysčio slėgis, T, P – jų pusiausvyros reikšmės.

Norėdamos palikti skystį, molekulės turi nugalėti tarpmolekulinį įtempimą ir todėl turi turėti pakankamai kinetinės energijos. Kuo aukštesnė skysčio temperatūra, tuo daugiau molekulių, turinčių pakankamai energijos, kad ištrūktų iš skysčio, ir todėl garavimo greitis didėja. Norėdamos pereiti iš dujų į skystį, molekulės turi priartėti prie skysčio paviršiaus, todėl kondensacijos sparta yra proporcinga molekulių srautui n ir molekulių greičiui $\langle v \rangle$. Molekulių srautas n, kartu ir kondensacijos greitis N_{kond} didėja didėjant garų tiek temperatūrai, tiek ir slėgiui.

5.5.3 formulėje pakeitus garų skysčio temperatūrą ir slėgį į jų pusiausvyros reikšmes ir pasinaudojus (5.5.1) ir (5.5.2) formulėmis, gaunama:

$$N_{gar.}\,(P, T) - N_{kond.}\,(P, T) = 0. \tag{5.5.4}$$

Pastovioje temperatūroje skysčio garavimui suteikta šiluma iš dalies išnaudojama molekulių tarpusavio ryšiams nutraukti (vidinė garavimo šiluma Q_1) ir darbui plečiant susidariusius garus iki tam tikro tūrio pusiausvyros P ir T reikšmėms (išorinė garavimo šiluma Q_2). Bendras išskiriamos šilumos kiekis vadinamas garavimo šiluma Q:

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{5.5.5}$$

Šilumos kiekis, sunaudojamas 1 molio skysčiui išgarinti, yra lygus:

$$Q = LM; \tag{5.5.6}$$

čia L – savitoji garavimo šiluma – šilumos kiekis, reikalingas išgarinti vieną molį verdančios medžiagos, esant normaliam slėgiui (101 325 Pa), M – molio masė.

Naudojant pirmąjį termodinamikos dėsnį dQ = dU + PdV ir atsižvelgiant į tai, kad garavimas vyksta esant pastoviai temperatūrai ir slėgiui, garavimo šilumos kiekis

$$\mathrm{d}Q = U_g - U_s + P(V_g - V_s), \tag{5.5.7}$$

čia U_g, U_s – vidinė energija, V_g, V_s – garų ir skysčio tūris. Antrasis dėmuo (5.5.7) formulėje yra darbas, atliekamas tūriui didėjant izobariškai nuo V_s iki V_g, t. y. išorinė garavimo šiluma:

$$Q_2 = P(V_g - V_s). \tag{5.5.8}$$

Pirmasis dėmuo (5.5.7) formulėje yra vidinė garavimo šiluma Q_1:

$$Q_1 = U_g - U_s \tag{5.5.9}$$

Didėjant temperatūrai, skirtumas tarp skysčio ir garų molekulių energijos mažėja, todėl (žr. 5.5.7), didėjant temperatūrai, mažėja garavimo šiluma Q. Kritiniame taške garavimo šiluma Q virsta nuliu, ir garavimo kreivė nutrūksta.

Šiame darbe tiriama sočiųjų vandens garų slėgio P priklausomybė nuo temperatūros T siaurame temperatūros ruože (20–50 ^{o}C arba 300–330 K). Tai žema temperatūra, palyginti su kritine temperatūra ($T_{vandens}$ = 647,3 K). Tokiomis sąlygomis šilumos kiekį Q galima laikyti maždaug pastoviu, sočiųjų garų slėgis nedidelis, o jam apskaičiuoti galima naudoti idealiųjų dujų lygtį:

$$PV_g = RT. \tag{5.5.10}$$

Šioje lygtyje temperatūra T yra toli nuo krizinės temperatūros T_{kr}, taigi galima laikyti, kad $V_g >> V_s$. Q_2 apskaičiuojama

$$Q_2 \approx PV_g \approx R <T>, \tag{5.5.11}$$

čia tiriamo temperatūros intervalo vidutinė reikšmė $<T>$ bus

$$<T> = (T_{max} - T_{min})/2. \tag{5.5.12}$$

Atsižvelgiant į anksčiau pateiktą informaciją, Klaiperono ir Klauzijaus lygtis atrodys taip:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{Q}{T(V_g - V_s)} \approx \frac{Q}{TV_g} \approx \frac{Q}{T} \cdot \frac{P}{RT}. \tag{5.5.13}$$

Pasitelkus šią lygtį galima gauti apytikslį garavimo kreivės paveikslą. Integravę (5.5.13) lygtį (Q = const), turime

$$lnP = C - \frac{Q}{R} \cdot \frac{1}{T} \tag{5.5.14}$$

Iš 5.5.14 formulės išeina, kad ln(P) yra tiesiogiai proporcinga 1/T. Iš tiesinės $\ln p = f(10^3/T)$ grafiko dalies nustatomas tiesės polinkio kampas $k = \Delta \ln p/\Delta(10^3/T)$.

Apskaičiuojama molinė vandens garavimo šiluma Q:

$$Q = R \cdot k; \tag{5.5.15}$$

čia R – universalioji dujų konstanta.

Tada savitoji garavimo šiluma q:

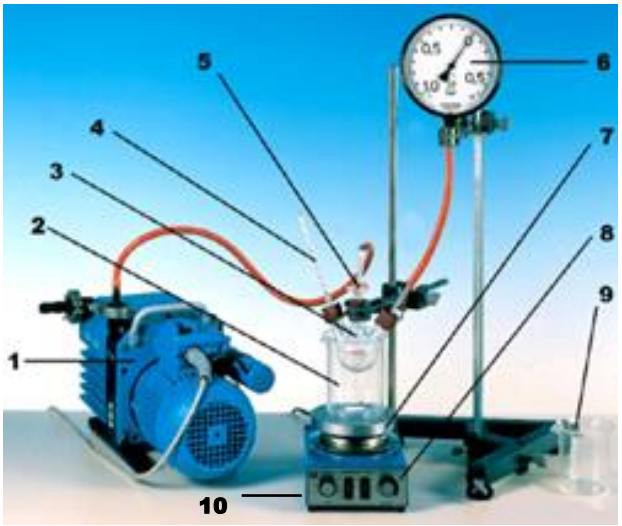
$$q = Q/M. \tag{5.5.16}$$

Pagrindinės stendo, skirto vandens virimo temperatūros priklausomybei nuo išorinio slėgio tirti, dalys pavaizduotos 5.5.1 pav. – tai apvaliadugnė trikaklė kolba 3, pripildyta distiliuoto vandens ir panardinta į stiklinį indą 2 su vandeniu. Kolba 3 vamzdeliu su sklende 5 sujungta su vakuuminiu siurbliu 1. Sklendė 5 skirta prijungti ir atjungti kolbą 3 prie vakuuminio siurblio 1, o kitas vamzdelis jungiamas prie manometro 6. Į trečią apvaliadugnės kolbos kaklą įstatomas termometras 4 taip, kad jo galas būtų panardintas į distiliuotą vandenį, esantį kolboje. Termometras rodo kolbos vandens temperatūrą.

Visos jungiamosios vietos sistemoje turėtų būti užsandarintos tvirtai, kad kolboje 3 laikytųsi pasirinktas slėgis, t. y. virš esančio vandens būtų tik vandens garai, o ne dujų ir vandens garų mišinys, patenkantis iš aplinkos.

Stiklinio indo 2 dugne yra maišymo magnetas, kuris pradeda judėti kai pasukama magnetinės maišyklės su kaitinimo elementu priekinio skydelio dešinėje esanti rankenėlė 8. Ši rankenėlė įjungia magnetinį lauką ir reguliuoja jo sukimosi greitį. Magnetinis laukas valdo maišymo magneto, esančio stikliniame inde 2, sukimosi greitį. Kairioji magnetinės maišyklės su kaitinimo elementu priekinio skydelio rankenėlė 10 įjungia kaitinimo elementą 7 ir reguliuoja jo temperatūrą.

Vakuuminio siurblio 1 įjungimo / išjungimo („On/Off“) mygtukas yra ant viršutinio siurblio paviršiaus. Indas 9 skirtas distiliuotam vandeniui, kuris išpilamas iš 2-ojo stiklinio indo, laikyti.



5.5.1 pav. Sočiųjų vandens garų slėgio priklausomybės nuo temperatūros įrenginys: 1 – vakuuminis siurblys, 2 - stiklinis indas su vandeniu, 3 – apvaliadugnė trikaklė kolba, 4 – termometras, 5 – jungiamoji sklendė, 6 – manometras; 7 – kaitinimo elementas, 8 – magnetinio lauko reguliavimo rankenėlė, 9 – stiklinis indas vandeniui laikyti, 10 – kaitinimo elemento reguliavimo rankenėlė

Pagrindinės saugos taisyklės

Atliekant darbą į stiklinį indą įpilama vandens ir jis kaitinamas iki 90 °C todėl didelė tikimybė apsiplikyti. Todėl atliekant darbą **BŪTINA**:

- ✓ būti dėmesingiems, susitelkusiems ir atsargiems;
- ✓ nedaryti jokių staigių judesių;
- ✓ neliesti kaitinimo elemento paviršiaus ir įkaitusio stiklinio indo su vandeniu;
- ✓ vandens stiklinime inde ilgai nevirinkite (šildyti tik iki virimo temperatūros);
- ✓ susidarius pavojingai situacijai nedelsiant kreiptis į dėstytoją arba laboratorijos inžinierių.

Prieš pradedant darbą, atliekami šie veiksmai:

A. Patikrinama, ar stikliniame inde 2 (5.5.1 pav.) vandens viršutinis lygis sutampa su ant stiklo pažymėtu ženklinimu.

B. Patikrinamas termometras 4 (5.5.1 pav.) – vandens temperatūra kolboje 3 (5.5.1 pav.) turėtų būti žemesnė negu 40 °C.

Jei bent vienas iš A ir B punktų neatitinka reikalavimų, kreipiamasi į dėstytoją arba laboratorijos inžinierių (gali tekti pakeisti vandenį stikliniame inde 2 (5.5.1 pav.)).

C. Įsitikinama, kad sklendė 5 (5.5.1 pav.) užsukta (sklendės rankena yra statmena stikliniam vamzdeliui, kuriame įtvirtinta). Įsitikinama, kad į indą 2 (5.5.1 pav.) yra įdėtas maišymo magnetas.

Darbo eiga

1. Įjungus vakuuminį siurblį 1 (5.5.1 pav.), atsukama sklendė 5 (5.5.1 pav.). Iš kolbos 3 (5.5.1 pav.) išsiurbiamas oras (manometro rodyklė turėtų nukristi iki ~ –0,98 manometro padalos žymės).
2. Išsiurbus orą, sklendė 5 (5.5.1 pav.) užsukama ir išjungiamas vakuuminis siurblys.
3. Kairėje priekinio magnetinės maišyklės su kaitinimo elementu skydelio pusėje esančia rankenėle 10 (5.5.1 pav.) įjungiamas kaitinimo elementas ir nustatomas vidutinis kaitinimo

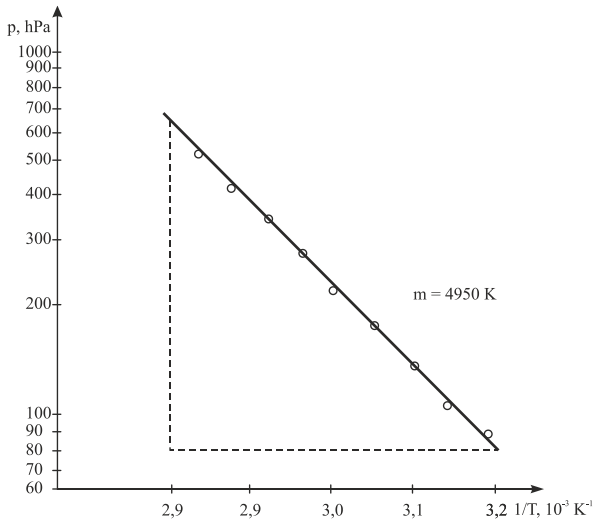
lygis.

4. Dešinėje priekinio magnetinės maišyklės su kaitinimo elementu skydelio pusėje esančia rankenėle 8 (5.5.1 pav.) įjungiamas magnetinis laukas ir nustatomas vidutinis jo sukimosi greitis.
5. Kolba 3 (5.5.1 pav.) šildoma ir, kylant temperatūrai, kas 5 °C užrašomi termometro 4 (5.5.1 pav.) ir manometro 6 (5.5.1 pav.) rodmenys. Duomenys surašomi į lentelę (1 lentelė).
6. Sočiųjų garų slėgis apskaičiuojamas taip: $p_{\text{soč.g.}} = p_0 - p_m$. Čia p_0 yra atmosferos slėgis nustatomas barometru, o p_m – aplinkos slėgis, atitinkantis virimą ir matuojamas manometru.
7. Apskaičiuojamos $1/T$, $p_{\text{soč.g.}}$ ir $\ln(p_{\text{soč.g.}})$ vertės ir įrašomos į lentelę.
8. Baigus eksperimentinę darbo dalį, išjungiamas magnetinis laukas ir kaitinimo elementas. Atsukama sklendė 5 (5.5.1 pav.).

1 lentelė

t (°C)	T (K)	$1/T$ (K^{-1})	p (10^5 Pa)	ln (p)

9. Grafiškai pavaizduojama virimo temperatūros priklausomybė nuo sočiųjų garų slėgio $T = f(p_{\text{soč.g.}})$.
10. Nubraižomas $\ln p_{\text{soč.g.}} = f(1/T)$ grafikas (5.5.2 pav.) ir iš tiesinės jo dalies nustatomas tiesės polinkio kampas k.
11. Apskaičiuojama molinė garavimo šiluma Q (5.5.15 formulė), savitoji garavimo šiluma q (5.5.16 formulė), išorinė garavimo šiluma Q_2 (5.5.11 formulė).
12. Naudojantis (5.5.5) formule apskaičiuojama vidinė garavimo šiluma Q_1 bei vidinės ir išorinės garavimo šilumų santykis $\alpha = Q_1/Q_2$.



5.5.2 pav. Sočiųjų garų slėgio priklausomybės nuo atvirkštinės temperatūros grafikas

Literatūra

1. J. Butrimaitė, A. Dementjev, G. Dikčius, R. Gadonas, J. Jasevičiūtė, V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius. Fizika biomedicinos ir fizinių mokslų studentams, 1 dalis, vadovėlis, Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2003, 212 p. ISBN 9986-19-595-9. El. vadovėlis: ISBN 978-9955-33-538-2.