5.3.A. SKYSČIO PAVIRŠIAUS ĮTEMPIMO TYRIMAS ŽIEDO METODU

Darbo tikslas

Ištirti skysčio paviršiaus įtempimo priklausomybę nuo temperatūros ir tirpalo koncentracijos.

Darbo užduotys

- Žiedo metodu nustatyti tiriamo skysčio paviršiaus įtempimo koeficiento priklausomybę nuo temperatūros.
- Žiedo metodu nustatyti tiriamo skysčio paviršiaus įtempimo koeficiento priklausomybę nuo tirpalo koncentracijos.

Teorinės temos

- Skysčio agregatinė būsena.
- Skysčių molekulinis slėgis ir paviršiaus įtempimas. Tirpalų paviršiaus įtempimas.
- Paviršiaus įtempimo koeficiento fizikinė prasmė, jo matavimo vienetai ir būdai.
- Pusiausvyros sąlygos terpių skiriamojoje riboje.
- Skysčio laisvojo paviršiaus kreivumo įtaka slėgiui. Laplaso formulė.
- Kapiliariniai reiškiniai.

Darbo priemonės ir prietaisai

Sukamasis dinamometras, žiedas paviršiaus įtempimui matuoti, stovas su gnybtais, magnetinė maišyklė su šildytuvu, 1 000 ir 600 ml stikliniai indai, stikliniai vamzdeliai, piltuvėlis, vienpusis vožtuvas, laboratorinis termometras, guminė pompa su ventiliais.

Darbo metodika

Skysčio, besiliečiančio prie kitos terpės, pavyzdžiui, savo paties garų, kito skysčio arba kietojo kūno (taip pat indo, kuriame jis yra, sienelių), paviršius yra ypatingomis, palyginti su vidine skysčio dalimi, sąlygomis. Molekulė skysčio viduje iš visų pusių yra apsupta kitų molekulių. Šalia esančių molekulių traukos jėgos tarpusavyje kompensuojasi. O molekulę, esančią paviršiuje, kitos skysčio molekulės supa iš vienos pusės. Sąveika su dujų molekulėmis išorėje yra kur kas mažesnė. Tokiu atveju visų jėgų suma sudaro atstojamąją, nukreiptą į skysčio vidų. Ši jėga stengiasi minimizuoti paviršiaus plotą ir vadinama *paviršiaus įtempimo jėga*. Ji proporcinga paviršiaus ploto kontūro ilgyje esančių molekulių skaičiui, kuris savo ruožtu proporcingas paviršiaus kontūro ilgiui l; vadinasi,

$$F = \sigma l . \qquad (5.3.A.1)$$

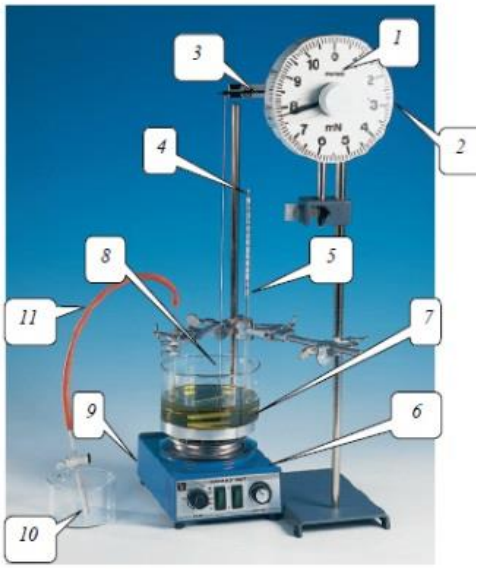
Proporcingumo koeficientas σ priklauso nuo skysčio prigimties ir vadinamas *paviršiaus įtempimo koeficientu*, o jį galima išsireikšti iš (5.3.A.1) formulės:

$$\sigma = \frac{F}{l}. \qquad (5.3.A.2)$$

Šiame laboratoriniame darbe objektas, su kuriuo sąveikauja skysčio paviršius, yra žiedas. Paviršiaus įtempimo jėga F skysčio atitrūkimo nuo žiedo momentu nustatoma dinamometru. Eksperimento stendas, skirtas skysčio paviršiaus įtempimo koeficientui nustatyti, pavaizduotas 5.3.A.1 paveiksle.

Vanduo prilimpa prie vidinio ir išorinio žiedo paviršiaus, todėl (5.3.A.2) formulėje reikia atsižvelgti į juos abu. Galima supaprastinti skaičiavimus panaudojus vidutinį žiedo skersmenį d, lygų vidinio ir išorinio žiedo skersmens vidurkiui. Tokio skersmens apvalaus kūno kontūro ilgis yra πd; kadangi vietoj dviejų skersmenų šiuose skaičiavimuose naudojamas tik vienas, viso su žiedu sąveikaujančio skysčio kontūras yra dukart ilgesnis ir lygus $2\pi d$. Vadinasi, eksperimentiškai nustatomo paviršiaus įtempimo koeficiento išraiška yra tokia:

$$\sigma = \frac{F}{2\pi d}.$$



5.3.A.1 pav. Eksperimento stendas skysčio paviršiaus įtempimo koeficientui nustatyti: 1 – sukimo dinamometro rankenėlė, 2 – sukimo dinamometro rodmenų diskas, 3 – sukimo dinamometro petys, prie kurio pritvirtinamas šilkinis siūlas, 4 – šilkinis siūlas, pririštas prie žiedo, 5 – termometras, 6 ir 9 – šildytuvas ir maišytuvas, 7 – indas tiriamam skysčiui, 8 – žiedas, panardintas į skystį, 10 – indas ištekėjusiam skysčiui rinkti, 11 – guminė žarna

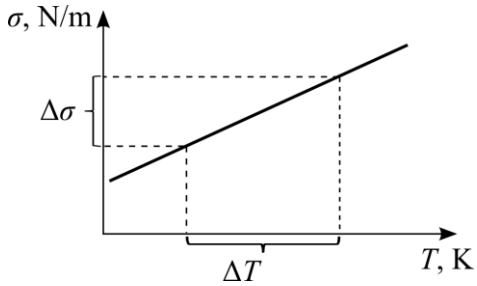
Temperatūrai didėjant skysčių paviršiaus įtempimas mažėja, nes vidutiniai atstumai tarp molekulių didėja, todėl mažėja jų tarpusavio sąveikos jėgos, lemiančios paviršiaus įtempimą.

Tirpalų paviršiaus įtempimo priklausomybė nuo koncentracijos nevienoda ir priklauso nuo medžiagos aktyvumo tipo. Vadinamosios *paviršinio aktyvumo medžiagos*, pavyzdžiui, muilas, spiritas, nafta, visų pirma pasiskirsto paviršiniame tirpalo sluoksnyje ir tik šiam pakankamai tankiai jų prisipildžius prasiskverbia į vidinį tūrį. Net nedidelė šių priemaišų koncentracija gerokai sumažina paviršiaus įtempimą. *Vidinio aktyvumo medžiagos*, kaip antai cukrus ir druska, atvirkščiai, kaupiasi skysčio viduje ir išstumia paviršinio aktyvumo medžiagas, taip padidindamos tirpalo paviršiaus įtempimą.

Skysčio paviršiaus įtempimą galima apskaičiuoti teoriškai. Pavyzdžiui, Etvešo formulė susieja įtempimo koeficiento priklausomybės nuo temperatūros išvestinę su įvairiais molekuliniais skysčio parametrais:

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T} = -B\left(\frac{\rho}{M}\right)^{\frac{2}{3}}, \qquad (5.3.A.4)$$

čia B – pastovus koeficientas, vienodas visiems skysčiams ir lygus $0{,}975\cdot10^{-7}$ J/K mol$^{2/3}$, ρ – skysčio tankis, M – molinė masė. Pagal šią formulę, žinant skysčio molekulinius parametrus, galima numatyti, kaip skysčio paviršiaus įtempimas priklauso nuo temperatūros arba atvirkščiai.



5.3.A.2 pav. Tiesės posvyrio koeficiento apskaičiavimas

Paviršiaus įtempimo koeficiento išvestinė pagal

temperatūrą vadinama *tangentiniu vandens nuolydžiu*. Geometrinė išvestinės prasmė yra tiesės polinkio koeficientas. Vadinasi, iš eksperimentinių duomenų nustatyti tangentinį vandens nuolydį galima taip: pirma, nubrėžiamas paviršiaus įtempimo koeficiento priklausomybės nuo temperatūros grafikas. Grafiko dalis, kuri vizualiai panašiausia į tiesę, *aproksimuojama* (nubrėžiama tiesė, einanti kuo mažesniu atstumu nuo visų pasirinktos atkarpos eksperimentinių taškų). Tuomet apskaičiuojamas šios tiesės posvyrio koeficientas: pasirenkama kokia nors tiesės atkarpa y ašyje ir ją atitinkanti atkarpa x ašyje (5.1.A.2 pav.). Šių atkarpų santykis ir yra eksperimentiškai apskaičiuotas tangentinis vandens nuolydis:

$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T}\right)_{\text{eksp}} = \frac{\Delta(\sigma)}{\Delta(T)}. \qquad (5.1.A.5)$$

Darbo eiga

1. Nuo matavimo žiedo 8 (5.3.A.1 pav.) nuvalomi riebalai: žiedas įmerkiamas į alkoholio tirpalą, tada nuplaunamas distiliuotu vandeniu.
2. 900 – 1000 ml tiriamo skysčio supilama į kruopščiai išplautą indą 7.
3. Prieš pradedant eksperimentą patikrinama, ar žarnelė 11 ir jos gale įtaisytas vienpusis vožtuvas yra prisipildę tiriamo skysčio. Vienpusis vožtuvas turi būti uždarytas ir nuleistas į apatinį indą 10 (5.3.A.1 pav.).
4. Jei žarna ir vienpusis vožtuvas nėra neprisipildę tiriamo skysčio, atliekami šie veiksmai:
   - ant vienpusio vožtuvo vamzdelio užmaunama guminė pompa, kurioje įmontuoti du ventiliai. Spaudžiant ventilį, ant kurio nupiešta rodyklė „↑“, skystis kyla vamzdeliu aukštyn. Spaudžiant ventilį su rodykle „↓“, skystis suteka atgal į pagrindinį rezervuarą.
   - atidarius vienpusį vožtuvą lėtai spaudžiama rodyklė „↓“, kol žarna ir atbulinis vožtuvas prisipildys tiriamo skysčio.
   - uždaromas vienpusis vožtuvas; atjungiama guminė pompa.
5. Šilko siūlu žiedas pritvirtinamas prie dinamometro svirties. Žiedas turi būti panardintas į skystį 1,0-1,5 cm gylyje nuo skysčio paviršiaus. Sistema turi būti stabili ir neveikiama pašalinių virpesių.
6. Sukimo dinamometro rodyklė 1 nustatoma ties nuline padėtimi. Žiedas 5 yra pritvirtintas prie svirties 3. Už jos galų abiejose pusėse yra lentelės, kuriose pavaizduotos baltos pusiausvyros zonos, o juodomis rodyklėmis – nepusiausvyros zonos (5.3.A.3 pav.). Tikėtina, kad eksperimento pradžioje dėl nesukompensuoto žiedo svorio svirtis nepatenka į pusiausvyros zoną. Žiedo svoris kompensuojamas atsargiai sukant dinamometro nugarėlėje esančią rankenėlę taip, kad svirties petys 3 patektų į baltą zoną tarp juodų žymių.

5.3.A.3 pav. Dinamometro petys ir pusiausvyros zonos. Šioje nuotraukoje dinamometro petys išėjęs už pusiausvyros zonos ribų

7. Termometru 4 užregistruojama tiriamo skysčio temperatūra.
8. Atidarius vožtuvą tiriamas skystis pradeda lėtai tekėti į apatinį indą, ir skysčio lygis viršutiniame inde 7 palaipsniui mažėja.
9. Nuolat koreguojant sukimo dinamometro rankenėlę 2, svirties petys 3 turi neišeiti iš baltos zonos tarp juodų žymių. Matavimas sustabdomas tuo metu, kai skysčio plėvelė atšoka nuo žiedo. Tada tuoj pat užsukamas vienpusis vožtuvas. Užregistruojama dinamometro rodoma jėgos vertė F.
10. Tiriamas skystis iš indo 10 supilamas į indą 7. Rekomenduojama naudoti piltuvą. Sukimo dinamometro rodyklė 2 nustatoma ties nuline padėtimi, o žiedo svoris kompensuojamas pagal 6-ame punkte aprašytas instrukcijas.

11. Esant tai pačiai temperatūrai, matavimai atliekami bent tris kartus. Apskaičiuojama vidutinė jėgos F vertė.
12. Pagal (5.3.A.3) formulę apskaičiuojamas skysčio paviršiaus įtempimo koeficientas σ. Vidutinis žiedo skersmuo d lygus 19,65 mm.
13. Į indą su tiriamu skysčiu įdedama magnetinė maišyklė ir įjungiamas šildytuvas-maišytuvas. Jei tiriamas skystis – vanduo, rekomenduojamas magnetinės maišyklės greitis yra ne daugiau kaip 750 aps./min, o temperatūros reguliavimo rankenėlės padėtis – ne daugiau kaip 100 °C.
14. Termostatu temperatūra padidinama 10 °C. Pasiekus šią temperatūrą palaukiama bent 3 min., kad ji nusistovėtų visame skysčio tūryje. Pakartojami 5–11 darbo eigos punktai. Baigus matuoti vienpusis vožtuvas būtinai uždaromas!
15. Temperatūra kas 10 °C didinama iki 80 °C ir kiekvieną kartą kartojami 5–11 darbo eigos punktai. Būkite atsargūs, liesdami indą su įkaitusiu distiliuotu vandeniu!
16. Matavimų ir skaičiavimų duomenys surašomi į lentelę (1 lentelė):

1 lentelė

T (K)	F (Nm)			$F_{vid.}$ (Nm)	$F_{vid.} \pm \Delta F$ (Nm)	σ (N/m)	$\sigma_{vid.} \pm \Delta\sigma$ (N/m)

17. Nubraižomas tiriamo skysčio paviršiaus įtempimo priklausomybės nuo temperatūros grafikas.
18. Pagal prieš darbo eigą aprašytą metodiką iš tiesinės grafiko dalies apskaičiuojamas eksperimentinis tangentinis vandens nuolydis $(d\sigma/dT)_{eksp}$.
19. Pagal (5.3.A.4) formulę apskaičiuojamas teorinis tangentinis vandens nuolydis $(d\sigma/dT)_{teor}$.
20. Palyginami eksperimentiškai ir teoriškai nustatyti tangentiniai vandens nuolydžiai.
21. Matavimai ir skaičiavimai kartojami pasirinkus 3–5 skirtingas to paties tirpalo koncentracijas.
22. Nubraižomas paviršiaus įtempimo priklausomybės nuo koncentracijos grafikas esant kambario temperatūrai.
23. Matavimai ir skaičiavimai kartojami pasirinkus kitą tirpalą.

Literatūra

1. J. Butrimaitė, A. Dementjev, G. Dikčius, R. Gadonas, J. Jasevičiūtė, V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius, *Fizika biomedicinos ir fizinių mokslų studentams*, Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2003.
2. Физический практикум. Молекулярная физика и термодинамика. Учебное пособие; Составители: Александр Михайлович Борганцоев, Ольга Михайловна Алыкова.
3. Kirsten Franklin, Paul Muir, Terry Scott, Lara Wilcocks, Paul Yates ir kiti, *Introduction to Biological Physics for the health and Life Sciences*, Singapūras: John Wiley and Sons, 2010.
4. Laurie Cree, Sandra Rischmiller, *Science in Nursing*, Četsvudas: Elsevier Australia, 2001.
5. Mark Foss, Tony Farine, *Science in Nursing & Healthcare*. 2-asis leidimas, Dorčesteris: Pearson Education Limited, 2007.