5.1.B. SKYSČIŲ KLAMPOS TYRIMAS ROTACINIU KLAMPOMAČIU

Darbo tikslas

Ištirti skysčio klampą.

Darbo užduotys

- Nustatyti tiriamo skysčio dinaminės klampos priklausomybę nuo temperatūros.
- Nustatyti tiriamo skysčio dinaminės klampos priklausomybę nuo skysčio rūšies (niutoniniams ir ne niutoniniams skysčiams).
- Apskaičiuoti tiriamo skysčio molekulės aktyvacijos energiją.

Teorinės temos

- Skysčiai. Jų fizinės savybės.
- Skysčių tekėjimas siaurais vamzdeliais.
- Puazeilio ir Hageno dėsnis.
- Bernulio lygtis.
- Dinaminė ir kinematinė klampos. Jų matavimo vienetai.
- Klampomačiai (viskozimetrai) ir jų veikimo principai.

Darbo priemonės ir prietaisai

Rotacinis klampomatis, įvairių velenų rinkinys, reguliuojamo aukščio stalelis, kaitinimui atsparus stiklinis indas, tiriami skysčiai, magnetinė maišyklė su šildytuvu ir termostatu.

Darbo metodika

Rotaciniu klampomačiu (viskozimetru) klampa nustatoma specialiu velenu arba keliais velenais išsukant tiriamą skystį. Arčiausiai judančio veleno esančios skysčio molekulės juda kartu, bet labiau nutolę sluoksniai stabdo vienas kito judėjimą ir priešinasi sukimui. Šis priešinimasis ir yra klampa, kurią galima apskaičiuoti pagal matuojamus dydžius. Kokie konkretūs dydžiai matuojami, priklauso nuo rotacinio klampomačio konstrukcijos. Pavyzdžiui, kai kuriuose klampomačiuose naudojami du cilindrai, atskirti plonu skysčio sluoksniu. Vienas cilindras (velenas) sukasi žinomu greičiu, kitas įtvirtintas nejudamai ir matuojama, koks jėgos momentas jį veikia. Šiame laboratoriniame darbe naudojamas klampomatis klampą nustato matuodamas sukimo momentą, reikalingą išsukti vieną veleną žinomu greičiu. Sukimo momento priklausomybė nuo klampos sudėtinga. Ją lemia eksperimento geometrinė konfigūracija ir konstrukcinės klampomačio ypatybės. Šiame darbe naudojamas klampomatis visus matavimus ir skaičiavimus atlieka automatiškai.

Didėjant temperatūrai, dujų ir skysčių klampa mažėja. Šią priklausomybę aprašo Frenkelio klampos modelis, kuriame kinematinė klampa išreiškiama taip:

$$\nu = Ae^{\frac{\varepsilon}{kT}}, \qquad (5.1.B.1)$$

čia A – empirinė konstanta, ε – molekulės aktyvacijos energija (mažiausia energija, reikalinga cheminiams ryšiams nutraukti ir reakcijai įvykti), k – Bolcmano konstanta, T – absoliučioji skysčio temperatūra.

Nustatyti molekulės aktyvacijos energiją ε galima grafiniu būdu. Abi (5.1.B.1) lygties pusės logaritmuojamos:

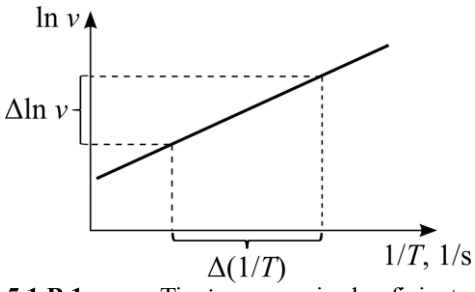
$$\ln \nu = \ln\left(Ae^{\frac{\varepsilon}{kT}}\right) \rightarrow \ln \nu = \ln A + \ln e^{\frac{\varepsilon}{kT}} \rightarrow \ln \nu = \ln A + \frac{\varepsilon}{kT}. \qquad (5.1.B.2)$$

Tiek kinematinė klampa ν, tiek konstanta A yra tam tikri skaičiai. Kiekvieno skaičiaus logaritmas taip pat yra skaičius. Vadinasi, ln A ir ln ν taip pat bus skaičiai. Galima juos trumpiau pažymėti šitaip: ln $\nu = y$, ln $A = B$. Paskutiniame (5.1.B.2) lygties naryje esantis ε/k santykis taip pat yra skaičius, kurį galima pažymėti D. Šioje lygtyje vienintelis kintamasis yra temperatūra $1/T$; ją galima pažymėti x. Įrašius sutrumpintus pažymėjimus, (5.1.B.2) lygtis atrodo taip:

$$\ln\nu = \ln A + \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{1}{T} \qquad (5.1.B.2\ a)$$

$$\underbrace{\ln\nu}_{y} = \underbrace{\ln A}_{B} + \underbrace{\frac{\varepsilon}{k}}_{D} \cdot \underbrace{\frac{1}{T}}_{x} \qquad (5.1.B.3)$$

Įrašius naujus pažymėjimus, (5.1.B.1) lygtis tapo tiesės – paprasčiausios matematinės funkcijos – lygtimi. Vadinasi, (5.1.B.1) lygtimi aprašomą priklausomybę nubraižius x ašyje atidedant $1/T$, o y ašyje ln ν, ši priklausomybė turėtų būti tiesinė. Tikėtina, kad dėl paklaidų nubraižytas grafikas nebus ideali tiesė, tačiau bendra tendencija turėtų būti akivaizdi. Tokiu atveju šie ne visai tvarkingai išsidėstę taškai *aproksimuojami* tiese. Aktyvacijos energija susijusi su šios tiesės posvyrio koeficientu D.



5.1.B.1 pav. Tiesės posvyrio koeficiento apskaičiavimas

Apskaičiuojamas šios tiesės posvyrio koeficientas D: pasirenkama kokia nors tiesės atkarpa y ašyje ir ją atitinkanti atkarpa x ašyje (5.1.B.1 pav.). Apskaičiuojamas šių atkarpų santykis:

$$D = \frac{\Delta(\ln \nu)}{\Delta(1/T)}. \qquad (5.1.B.4)$$

Dydžiu D buvo pažymėtas aktyvacijos energijos ε santykis su Bolcmano konstanta k. Vadinasi, ε lygi

$$\varepsilon = D \cdot k. \qquad (5.1.B.5)$$

Darbo eiga

1. Bet koks prie klampomačio pritvirtintas velenas (5.1.B.2 pav., 4 ir 6) nusukamas nuo laikančiosios veržlės (5.1.B.2 pav., 3). Veleną nusukti reikia labai atsargiai! Galima paprašyti laboratorijos inžinierių pagalbos.

2. Klampomatis įjungiamas į elektros tinklą. Įjungus prietaisą paspaudžiamas mygtukas „Enter“ (liet. *Įeiti*) ir automatiškai atliekama prietaiso patikra. Patikros metu prie klampomačio negali būti pritvirtintas joks velenas!
3. Prie klampomačio veržlės labai atsargiai prisukamas pasirinktas velenas.
4. Į kaitinimui atsparų stiklinį indą supilamas tiriamas skystis.
5. Indas su skysčiu pastatomas po klampomačiu taip, kad velenas panirtų į skystį iki nurodytos žymės.
6. Klaviatūros mygtukais pasirenkamas klampomačio meniu punktas „Measurement“ (liet. *Matavimas*). Nurodoma, koks velenas šiuo metu pritvirtintas (užrašyta ant paties veleno), pasirenkamas numatomas apsukų per minutę skaičius (atkreiptinas dėmesys, kad šis parametras nulemia didžiausią išmatuojamą klampą). Plačiau apie naudojimąsi klampomačiu – 1 priede.
7. Paspaudus mygtuką „On“ (liet. *Įjungti*), pradedamas matavimas. Klampomačio velenas pradeda suktis ir per maždaug penketą pilnų apsisukimų jo greitis nusistovi. Matavimas laikomas sėkmingu, jeigu nusistovėjus veleno greičiui, pamatuota klampa būna ne mažesnė kaip 15 % ir ne didesnė kaip 100 % palyginti su didžiausia konkrečiu velenu išmatuojama klampa (matavimo rezultatui viršijant šias ribas prietaisas apie tai įspėja pypsėjimu)! Jei matavimas nesėkmingas, reikia jį kartoti nustačius kitą veleno sukimosi greitį.
8. Į indą su skysčiu įdedamas magnetas, indas pastatomas ant elektrinės kaitinamosios plytelės ir į skystį įmerkiamas termometras.
9. Įjungiama magnetinė maišyklė ir šildytuvas. Tiriamo skysčio temperatūra pakeliama 5 °C.
10. Tiriamam skysčiui sušilus iki nustatytos temperatūros, jis ant plytelės dar palaikomas bent tris minutes, kad ši temperatūra nusistovėtų visame skysčio tūryje.
11. Nusistovėjus temperatūrai, išjungiama magnetinė maišyklė, o termostatas paliekamas įjungtas. Pakartojami 6–7 darbo eigos punktai.
12. Kas 5 °C keliant temperatūrą iki 60 °C kartojami 8–11 darbo eigos punktai.
13. Gauti duomenys surašomi į lentelę (1 lentelė):

1 lentelė

t (°C)	T (K)	v (mPa·s)	$1/T$ (1/K)	ln v

14. Indas su skysčiu patraukiamas į šalį. Klampomačio velenai būtinai kruopščiai nuvalomi!
15. Iš indo su skysčiu išimamas magnetas ir nuvalomas!
16. Pagal eksperimentinius duomenis nubrėžiamas dinaminės klampos priklausomybės nuo temperatūros grafikas.
17. Siekiant nustatyti skysčio molekulės aktyvacijos energiją, nubrėžiamas ln $v = f(1/T)$ grafikas, o jame esantys taškai aproksimuojami tiese (kaip nurodyta darbo metodikos apraše 2 p.).
18. Nustatomas šiame grafike nubrėžtos tiesės polinkio koeficientas D.
19. Pagal (5.1.B.5) formulę apskaičiuojama skysčio molekulės aktyvacijos energija ε.
20. Matavimai kartojami pakeitus tiriamą skystį.

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.

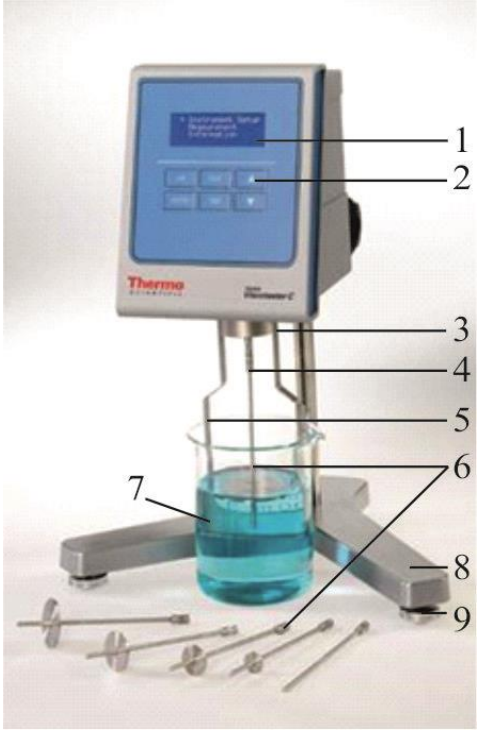
Priedas

Rotacinis klampomatis „Thermo Scientific HAAKE Viscotester C“

Šis prietaisas gali matuoti skysčių klampą iki 2 000 000 mPa·s. Leidžiama tiriamų skysčių temperatūra yra nuo –10 iki 100 °C.

Pagrindinės klampomačio dalys pavaizduotos 5.1.B.2 pav.:

1 – ekranas,
2 – klaviatūra,
3 – veleno veržlė,
4 – veleno strypas,
5 – apsauginis veleno lankelis,
6 – įvairūs velenai skirtingos klampos skysčiams tirti,
7 – indas tiriamam skysčiui,
8 – stovas,
9 – aukščio reguliavimo rankenėlės.



5.1.B.2 pav. Eksperimento skysčių klampai matuoti rotaciniu klampomačiu stendas

Didžiausią įmanomą pamatuoti klampą nulemia konkrečiame eksperimente naudojamas velenas (žr. 2 lentelę).

2 lentelė

Veleno Nr.	L1	L2	L3	L4
Didžiausia matuojama klampa (mPa·s)	60 000	300 000	1 200 000	2 000 000

Velenus atsukti ir prisukti prie veržlės (5.1.B.2 pav., 3) reikia labai atsargiai! Visada galima paprašyti laboratorijos inžinierių pagalbos.

Vos įjungtas klampomatis atlieka automatinę patikrą. Jos metu prie klampomačio neturi būti pritvirtintas joks velenas!

Visi prietaiso parametrai nustatomi ir funkcijos vykdomos naudojantis meniu, matomu ekrane. Pasirinkimai atliekami šiais klaviatūros mygtukais:

- „**On**“ (liet. *įjungti*) mygtuku pradedamas matavimas,
- „**Quit**“ (liet. *Išeiti*) mygtuku baigiamas matavimas arba grįžtama į ankstesnį meniu,
- „**Enter**“ (liet. *Patvirtinti*) mygtuku įeinama į pasirinktą meniu punktą,
- „**Tab**“ mygtuku pasirenkami keistini eksperimentiniai parametrai (naudojamas velenas, veleno apsukų skaičius per minutę ir pan.),
- „▲, ▼“ mygtukais pasirenkami meniu punktai arba parametrų vertės.

Svarbiausias meniu punktas yra „Measurement“ (liet. *Matavimas*), kuriame galima pasirinkti eksperimentinius parametrus ir pradėti bei baigti matavimus. Ekrane matomas šio meniu vaizdas parodytas 5.1.B.3 pav. Pradėjus matavimą vaizdas pasipildo keliais papildomais duomenų laukeliais (5.1.B.4 pav.). Duomenų laukelių prasmė yra tokia:

- „**SP**“ (liet. *Velenas*) laukelyje rankiniu būdu pasirenkamas naudojamas velenas (šis numeris užrašytas ant paties veleno),
- „**RPM**“ (liet. *Apsukų skaičius per minutę*) nustatomas veleno sukimosi dažnis,
- „**Max**“ (liet. *Didžiausia vertė*) nurodo didžiausią konkrečiu naudojamu velenu, besisukančiu nustatytu „**RPM**“ laukelyje dažniu, matuojamą klampą,
- „**V**“ (liet. *Klampa*) realiu laiku rodoma matuojama skysčio klampa,
- „**%**“ laukelyje rodomas pamatuotos klampos santykis su didžiausia įmanoma pamatuoti klampa, pasirinkus atitinkamą eksperimentinių parametrų derinį.

```
--Measurement Config.--
SP: L1        RPM: 100.0

Max: 60.0
```

5.1.B.3 pav. Eksperimentinių parametrų nustatymo meniu

```
--Measuring--
SP: L1        RPM: 100.0
V:  30.4 mPas
42.1 %
```

5.1.B.4 pav. Ekrano vaizdas matavimo metu

Pradėjus eksperimentą velenas pradeda suktis ir per maždaug penketą pilnų apsisukimų jo greitis nusistovi. Laikoma, kad matavimas sėkmingas, jeigu, nusistovėjus veleno greičiui pamatuota klampa ne mažesnė kaip 15 % ir ne didesnė kaip 100 %, palyginti su didžiausia konkrečiu velenu išmatuojama klampa (matavimo rezultatams viršijant šias ribas, prietaisas apie tai įspėja pypsėjimu)!