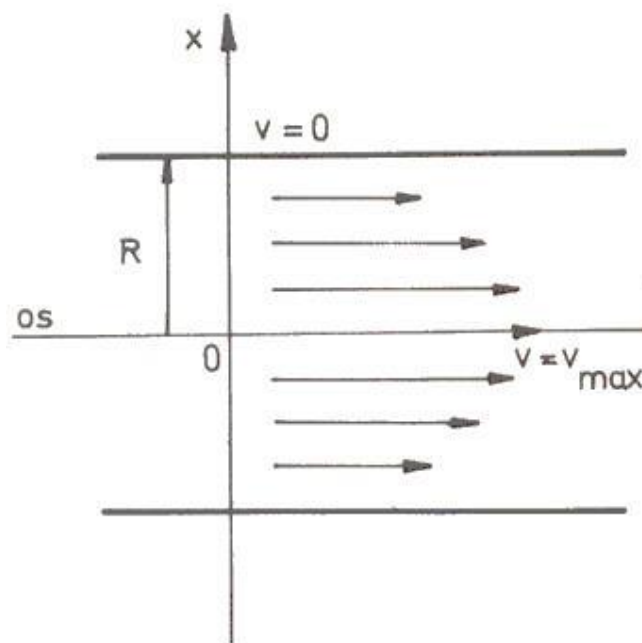

Svojstva tekućina

U ovoj vježbi promatrat ćemo dvije zanimljive pojave kod tekućina: viskoznost i napetost površine.

1. Viskoznost tekućine

Laminarno protjecanje je ono kod kojeg se svi slojevi tekućine kreću međusobno paralelno i paralelno sa stjenkama cijevi.



Slika 1 Laminarni protok tekućine duž cijevi. Cijev je položena vodoravno, tekućina protječe s lijeva na desno. Ishodište koordinatnog sustava postavljeno je duž središnjeg sloja tekućine, a stjenke cijevi naznačene su debelim, crnim, vodoravnim crtama na koje se nalaze na jednakim udaljenostima iznad i ispod osi tekućine. Slovom R naznačen je polumjer (radijus) cijevi.

Kod realnih tekućina brzine pojedinih slojeva nisu jednake zbog sile trenja između slojeva tekućine. Tu silu trenja opisujemo izrazom:

$$F = \eta A \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

gdje je A površina poprečnog presjeka cijevi kroz koju tekućina teče, Δv razlika u brzini protjecanja između dvaju promatranih slojeva tekućine, Δx međusobna udaljenost promatranih slojeva tekućine, a η koeficijent viskoznosti tekućine. Iz navedene relacije može se odmah odrediti mjerna jedinica za koeficijent viskoznost:

$$[\eta] = \frac{\left[\frac{F}{A}\right]}{\left[\frac{\Delta v}{\Delta x}\right]} = \frac{Pa}{\frac{m/s}{m}} = Pa \cdot s \quad (\text{Paskal sekunda})$$

Realne tekućine, kod kojih je viskoznost neovisna o brzini volumnog protoka pri određenoj temperaturi, nazivamo Njutnovske tekućine. Volumen V takve tekućine koja proteče tijekom vremena t kroz cijev duljine l i radijusa r , uz razliku tlakova Δp na krajevima cijevi, iznosi (Poiseuilleov zakon):

$$V = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{l} t$$

U vježbi se viskoznost nepoznate tekućine mjeri relativno u odnosu na viskoznost destilirane vode. Potrebno je uzeti jednake volumene vode i nepoznate tekućine, te stoga slijedi:

$$V = \frac{\pi r^4}{8\eta_v} \frac{\Delta p_v}{l} t_v \qquad V = \frac{\pi r^4}{8\eta_t} \frac{\Delta p_t}{l} t_t$$

dijeljenjem dvije gornje jednadžbe dobije se izraz za omjer viskoznosti tekućine i viskoznosti destilirane vode. Taj omjer je poznat još i kao relativna viskoznost tekućine :

$$\frac{\eta_t}{\eta_v} = \frac{t_t}{t_v} \frac{\Delta p_t}{\Delta p_v}$$

U vježbi je cijev kroz koju protječu voda i tekućina postavljena vertikalno, pa je tlak na krajevima cijevi hidrostatski tlak, dan izrazom:

$$\Delta p = \rho g h$$

Korištenjem izraza za hidrostatski tlak, izraz za relativnu viskoznost tekućine dobiva oblik:

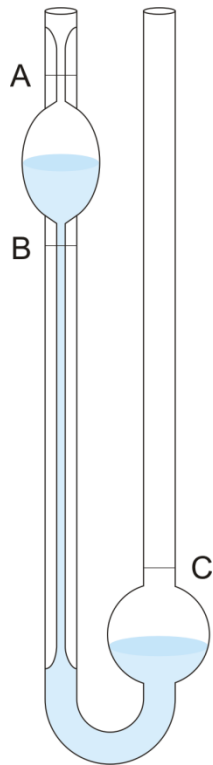
$$(\eta_t)_{rel} = \frac{\eta_t}{\eta_v} = \frac{t_t}{t_v} \frac{\rho_t}{\rho_v}$$

a apsolutna viskoznost tekućine iznosi:

$$\eta_t = \eta_v \frac{\rho_t}{\rho_v} \frac{t_t}{t_v}$$

Mjerenja se izvode kapilarnim viskozimetrom (Slika 2.). Instrument je poznat još pod nazivima Ostwaldov viskozimetar i viskozimetar s U – cijevi, a sastoji se od dvije vertikalne staklene cijevi različitih širina spojenih kao U – cijev. Širu cijev zovemo širi krak viskozimetra, pri dnu

te cijevi nalazi se spremnik u obliku proširenja. Užu cijev zovemo uži krak viskozimetra i unutar te cijevi nalazi se kapilara. Iznad kapilare nalazi se također spremnik, a ispod kapilare dolazi zavoj koji predstavlja spoj između užeg i šireg kraka viskozimetra. Određivanje viskoznosti temelji se na mjerenju vremena potrebnog da propisani volumen tekućine istekne kroz kapilaru, tako da se zabilježi vrijeme kad razina tekućine stigne od točke A do točke B naznačenih na Slici 2.

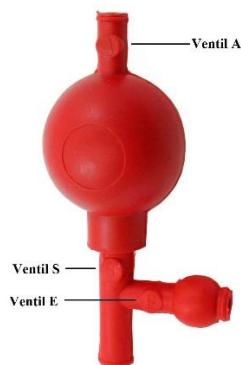


Slika 2 Kapilarni viskozimetar.

Izvor Slike 2: E. Generalic, <http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Ostwaldov+viskozimetar>



Slika 3 Pribor dostupan za izvođenje vježbe: Ostwaldov viskozimetar, termometar, pipeta, gumena pumpa za pipetu (propipeta), zaporna ura, 2 čaše, stalak sa držačem, destilirana voda, zadana tekućina, tablica sa vrijednostima gustoće i viskoznosti destilirane vode pri različitim temperaturama.



Slika 4 Gumena pumpa za pipetu, propipeta

Upute za rad s gumenom pumpom za pipetu, propipetom:

Propipeta služi za pumpanje tekućine u pipetu i ispuštanje tekućine iz pipete, a sastoji se od gumenog balona i tri ventila označenih slovima A, S i E. Za pumpanje tekućine zrak mora biti ispušten iz balona propipete: stisnete ventil A, dok je ventil A stisnut, ispustite zrak iz balona stiskanjem balona, zatim pustite ventil. Kad je zrak ispušten iz balona, postavite propipetu na pipetu. Pipetu uronite u tekućinu i usisivate tekućinu koristeći ventil S (S = Suction, engl. usisivanje). Za ispuštanje tekućine iz pipete koristite ventil E (E = Ejection, engl. izbacivanje)

Upute za mjerenje kapilarnim viskozimetrom:

Kapilarnim viskozimetrom mjerite vrijeme t potrebno da volumen tekućine V istekne kroz kapilaru viskozimetra. Vrijeme protjecanja mjerite pomoću zaporne ure. Volumen V nalazi se na užem kraku viskozimetra između dvije vodoravne crte koje su na slici 2 označene slovima A i B. Mjerenje se izvodi tako da se pomoću pipete i propipete ulije 5 mL tekućine u širi krak viskozimetra, zatim se propipeta postavi na uži krak viskozimetra i pomoću ventila S podigne se razina tekućine iznad oznake A. Kad se propipeta odvoji od užeg kraka viskozimetra, tekućina protječe kroz kapilaru. Kad razina tekućine dođe do gornje oznake viskozimetra (na slici 2 označene slovom A) počinje se mjeriti vrijeme protoka tekućine, a kad razina tekućine dođe do donje oznake viskozimetra (na slici 2 označene slovom B) prestaje mjerenje vremena protoka tekućine.

Zadatak 1 - Određivanje viskoznosti etanola pomoću Ostwaldovog viskozimetra

Dostupan vam je pribor opisan na slici 3. Koristeći taj pribor i sve opise dane ranije u ovom tekstu, osmislite i provedite postupak kojim biste odredili viskoznost dane tekućine s obzirom na poznatu viskoznost destilirane vode. Detaljno opišite postupak i pregledno zapišite sve podatke.

NAPOMENA:

Termometar nije potrebno tresti. Nepoznatu tekućinu vratite u posudu nakon rada. Najmanji dio skale na zapornoj uri može iznositi 0,2 s ili 0,1 s, ovisno o izvedbi zaporne ure.

2. Napetost površine tekućine

Napetost površine uzrokovana je privlačnim silama između molekula tekućine (kohezijske sile). Zbog tih sila tekućina se nalazi u kondenziranom stanju, s izraženom površinom. Povećanje slobodne površine tekućine zahtjeva ulaganje energije, odnosno izvođenje rada potrebnog za svladavanje kohezijskih sila između molekula tekućine. Taj rad W proporcionalan je povećanju površine ΔA pri konstantnoj temperaturi:

$$W = \sigma \cdot \Delta A$$

gdje je σ koeficijent koji se naziva napetost površine, a izražava se u jedinicama J/m^2 ili N/m .

Duž neke zamišljene linije d na površini tekućine djeluje sila okomita na liniju d i tangencijalna na površinu tekućine. Ona se naziva sila napetosti površine F i proporcionalna je duljini d :

$$F = \sigma \cdot d$$

Povećanje površine dovodi do porasta potencijalne energije. Kako svi sustavi u prirodi teže stanju minimalne potencijalne energije, tekućina u posudi nastoji zauzeti što manju površinu, odnosno postići stanje minimalne potencijalne energije. U prostoru u kojem ne djeluju vanjske sile, tekućina poprima oblik kugle. U gravitacijskom polju, kap tekućine također ima približno oblik kugle. Protječe li tekućina sporo kroz usku cijev (kapilaru), ona će istjecati iz nje u kapima. Kap se otkida od ruba kapilare, u trenutku kada se težina kapi G izjednači sa napetosti površine F koja djeluje duž oboda kapilare:

$$G = F$$

$$mg = 2r\pi\sigma$$

$$\frac{\rho V}{n}g = 2r\pi\sigma$$

gdje je m - masa kapljice, n - broj kapljica, V - volumen koji sadrži n kapi, ρ gustoća tekućine, r - radijus kapilare.

Za dvije različite tekućine jednadžbe će izgledati:

$$\frac{\rho_1 V}{n_1}g = 2r\pi\sigma_1 \qquad \frac{\rho_2 V}{n_2}g = 2r\pi\sigma_2$$

Radijus kapilare r i volumen tekućine V su u oba slučaja jednaki. Ako se podijele dva gornja izraza, dobije se izraz za relativnu napetost površine:

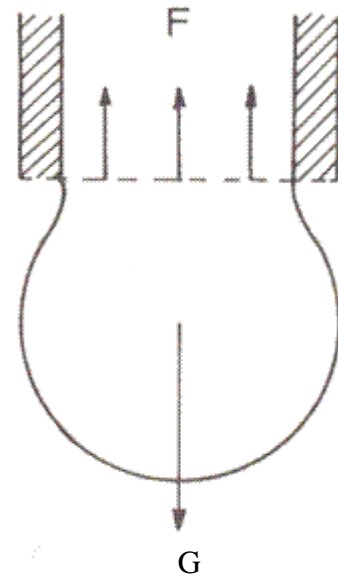
$$(\sigma_2)_{rel} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{n_1\rho_2}{n_2\rho_1}$$

Ako tekućina 1 predstavlja destiliranu vodu, a tekućina 2 neku zadanu tekućinu s kojom se trenutno radi, može se napisati konačni izraz za apsolutnu napetost površine nepoznate tekućine:

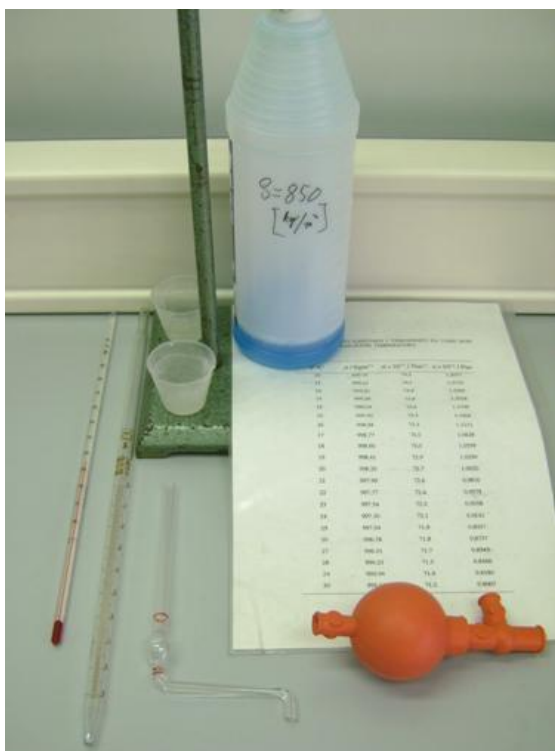
$$\sigma_t = \sigma_v \frac{n_v\rho_t}{n_t\rho_v}$$

Mjerenje u ovoj vježbi izvodi se pomoću instrumenta koji se zove stalagmometar.

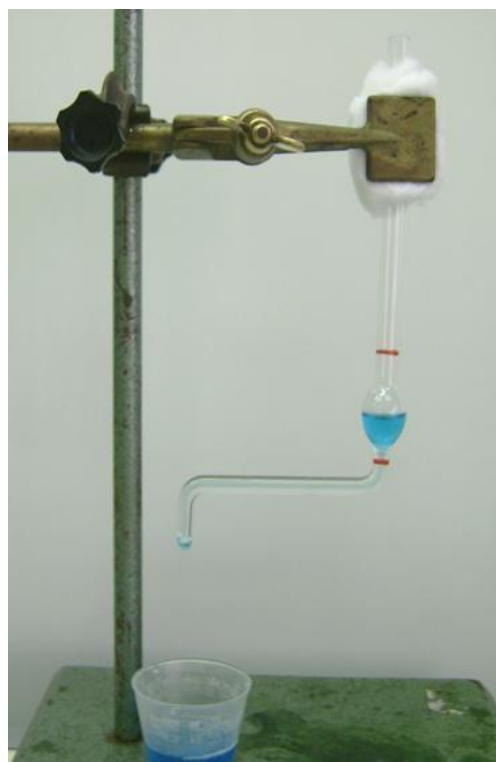
Stalagmometar je staklena cijev savijena u obliku slavine, a sastoji je od vertikalne i horizontalne cijevi, kako prikazuje slika 7. Vertikalna cijev ima ugravirane dvije oznake, gornju i donju koje osiguravaju da se uvijek promatra isti volumen V tekućine koji protječe kroz instrument. Horizontalna cijev sadrži kapilaru kroz koju istječe tekućina u kapima. Stalagmometar služi za mjerenje broja kapljica od kojih se sastoji promatrani volumen V tekućine. Mjerenje se izvodi tako da se instrument napuni tekućinom pomoću priložene pipete malo iznad označene gornje razine. Tekućina odmah kaplje kroz instrument, zato je važno postaviti posudu ispod kapilare da tekućina ne kaplje na radnu površinu. Kapi se počnu brojati tek kada razina tekućine padne na nivo gornje oznake, i s brojanjem se nastavlja sve dok se razina tekućine ne spusti do donje oznake.



Slika 5 Kapanje tekućine iz kapilare



Slika 6 Pribor dostupan za mjerenje površinske napetosti stalagmometrom: termometar, pipeta, stalagmometar, dvije čaše, stalak sa držačem, propipeta, tablica sa vrijednostima površinske napetosti destilirane vode pri različitim temperaturama.



Slika 7 Detalj sastavljene aparature za mjerenje napetosti površine stalagmometrom. Stalagmometar je pričvršćen na laboratorijski stalak i na njemu su crvenom bojom označene gornja i donja oznaka. Te oznake osiguravaju da uvijek promatramo isti volumen V tekućine koji protječe kroz instrument.

Zadatak 2 – Određivanje napetosti površine etanola stalagmometrom.

Dostupan vam je pribor opisan na slici 6. Koristeći taj pribor i sve opise dane ranije u ovom tekstu, osmislite i provedite postupak kojim biste odredili napetost dane tekućine s obzirom na poznatu viskoznost destilirane vode. Detaljno opišite postupak i pregledno zapišite sve podatke.

NAPOMENA: Termometar nije potrebno tresti. Nepoznatu tekućinu nakon rada vratite u posudu.

Zadatak 3 – Opažanje i objašnjavanje opažene pojave

- a) Promotrite podatke za gustoću, viskoznost i napetost površine za destiliranu vodu kod različitih temperatura navedene u tablici koja se nalazi uz radni pribor. Niže u tablici 1 je naveden dio originalne tablice koja se nalazi uz radni pribor. Postoji li pravilan uzorak u danim podacima?

Tablica 1 Podaci za gustoću, viskoznost i napetost površine za destiliranu vodu kod različitih temperatura

t [°C]	ρ [kg/m ³]	η [$\cdot 10^{-3}$ Pa \cdot s]	σ [$\cdot 10^{-3}$ N/m]
10	999.70	1.3077	74.2
11	999.61	1.2713	74.1
12	999.50	1.2363	73.9
13	999.38	1.2028	73.8
14	999.24	1.1709	73.6
15	999.10	1.1404	73.5
16	998.94	1.1111	73.3
17	998.77	1.0828	73.2
18	998.60	1.0559	73.0
19	998.41	1.0299	72.9

- b) Promotrite podatke za gustoću kod različitih temperatura za etanol, otopinu natrijevog klorida i otopinu limunske kiseline, koje se nalaze u tablicama uz radni pribor. Postoji li pravilan uzorak u tim podacima? Razlikuje li se taj uzorak u podacima od onog koji ste opazili u podacima za destiliranu vodu?
- c) Kako to objašnjavate? Moguće je imati više od jednog objašnjenja.

Zadatak 4 – Testiranje objašnjenja

Osmislite i provedite pokus (ili više njih) kojim biste testirali objašnjenje (ili više njih) iz prethodnog zadatka. Detaljno opišite postupak i pregledno zapišite sve podatke.

GUSTOĆA ETANOLA KOD RAZLIČITIH TEMPERATURA

T [K]	t [°C]	ρ [kg/m ³]
276.15	3	803.799
277.15	4	802.952
278.15	5	802.106
279.15	6	801.260
280.15	7	800.414
281.15	8	799.568
282.15	9	798.722
283.15	10	797.875
284.15	11	797.029
285.15	12	796.183
286.15	13	795.337
287.15	14	794.491
288.15	15	793.644
289.15	16	792.798
290.15	17	791.952
291.15	18	791.106
292.15	19	790.260
293.15	20	789.414
294.15	21	788.567
295.15	22	787.721
296.15	23	786.875
297.15	24	786.029
298.15	25	785.183
299.15	26	784.336
300.15	27	783.490
301.15	28	782.644
302.15	29	781.798
303.15	30	780.952
304.15	31	780.106
305.15	32	779.259
306.15	33	778.413
307.15	34	777.567
308.15	35	776.721
309.15	36	775.875
310.15	37	775.028
311.15	38	774.182
312.15	39	773.336
313.15	40	772.490

Izvor: Lange, Norbert Adolph (1967). John Aurie Dean (ed.). Lange's Handbook of Chemistry (10th ed.). McGraw-Hill.

GUSTOĆA 30% OTOPINE LIMUNSKKE KISELINE KOD RAZLIČITIH
TEMPERATURA

T[K]	T[°C]	ρ [kg/m³]
276.15	3	1109.028
277.15	4	1108.574
278.15	5	1108.120
279.15	6	1107.666
280.15	7	1107.212
281.15	8	1106.758
282.15	9	1106.304
283.15	10	1105.850
284.15	11	1105.396
285.15	12	1104.942
286.15	13	1104.488
287.15	14	1104.034
288.15	15	1103.580
289.15	16	1103.126
290.15	17	1102.672
291.15	18	1102.218
292.15	19	1101.764
293.15	20	1101.310
294.15	21	1100.856
295.15	22	1100.402
296.15	23	1099.948
297.15	24	1099.494
298.15	25	1099.040
299.15	26	1098.586
300.15	27	1098.132
301.15	28	1097.678
302.15	29	1097.224
303.15	30	1096.770
304.15	31	1096.316
305.15	32	1095.862
306.15	33	1095.408
307.15	34	1094.954
308.15	35	1094.500
309.15	36	1094.046
310.15	37	1093.592
311.15	38	1093.138
312.15	39	1092.684
313.15	40	1092.230

GUSTOĆA 20% OTOPINE NaCl KOD RAZLIČITIH TEMPERATURA

T[K]	T[°C]	ρ [kg/m³]
276.15	3	1155.621
277.15	4	1155.190
278.15	5	1154.756
279.15	6	1154.319
280.15	7	1153.880
281.15	8	1153.438
282.15	9	1152.994
283.15	10	1152.547
284.15	11	1152.098
285.15	12	1151.646
286.15	13	1151.192
287.15	14	1150.735
288.15	15	1150.275
289.15	16	1149.813
290.15	17	1149.349
291.15	18	1148.881
292.15	19	1148.412
293.15	20	1147.940
294.15	21	1147.465
295.15	22	1146.988
296.15	23	1146.508
297.15	24	1146.026
298.15	25	1145.541
299.15	26	1145.053
300.15	27	1144.563
301.15	28	1144.071
302.15	29	1143.576
303.15	30	1143.078
304.15	31	1142.578
305.15	32	1142.075
306.15	33	1141.570
307.15	34	1141.063
308.15	35	1140.552
309.15	36	1140.039
310.15	37	1139.524
311.15	38	1139.006
312.15	39	1138.486
313.15	40	1137.963

Izvor: <https://www.researchgate.net/publication/280063894>