

**СКРИПТА ЗА ПРВИ КОЛОКВИЈУМ ИЗ
ОПШТЕГ КУРСА ФИЗИЧКЕ ХЕМИЈЕ I**

2025/2026.

2. ГУСТИНА ТЕЧНОСТИ

У овом поглављу биће речи о томе шта је густина течности, зависности густине течности од температуре и на који начин се густина експерименталним путем може одређивати.

2.1. Основни појмови

Густина течности (апсолутна) дефинише се као маса јединице запремине:

$$\rho_{4^{\circ}}^{t^{\circ}} = \frac{m}{V}. \quad (2.1)$$

У изразу (2.1) m означава масу, а V запремину течности. Димензије густине су ML^{-3} , а у SI систему јединица је килограм по кубном метру, kgm^{-3} . Користи се и јединица kgL^{-1} као и gcm^{-3} . Јединица за густину нема посебну ознаку у систему SI јединица и формално није физичка јединица, мада се колоквијално тако означава. Апсолутна густина воде на температури од $4^{\circ}C$ има јединичну вредност: $\rho_{4^{\circ}, H_2O}^{4^{\circ}} = 1,0000 gcm^{-3}$.

Релативна густина течности се дефинише као густина течности на одређеној температури у односу на густину воде на тој истој температури. Другим речима, то је број који показује колико је пута маса неке течности већа од исте масе воде. Обележава се са $\rho_{t^{\circ}}^{t^{\circ}}$ или $d_{t^{\circ}}^{t^{\circ}}$. Како густина и релативна густина зависе од температуре, то суперскрипт ($\rho^{t^{\circ}}$) означава температуру на којој је извршено мерење густине узорка, а супскрипт ($\rho_{t^{\circ}}$) температуру стандардне супстанције. Релативна густина је неименован број и нема јединице. Према изразу (2.1), релативну густину можемо изразити као однос масе дате запремине испитиване течности, m_t и масе исте запремине воде, m_{H_2O} на истој температури:

$$\rho_{t^{\circ}}^{t^{\circ}} = \frac{\frac{m_t}{V}}{\frac{m_{H_2O}}{V}} = \frac{m_t}{m_{H_2O}}. \quad (2.2)$$

На основу овог израза можемо извести и израз за апсолутну густину течности на следећи начин: запремину V у изразу (2.2) можемо одредити из односа масе воде, m_{H_2O} и њене густине на истој температури $\rho_{4^\circ, H_2O}^{r^\circ}$ (таблични податак):

$$V = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{r^\circ}}. \quad (2.3)$$

Апсолутна густина течности је сада дата изразом:

$$\rho_{4^\circ}^{r^\circ} = \frac{m_t}{m_{H_2O}} = \frac{m_t}{m_{H_2O}} \cdot \rho_{4^\circ, H_2O}^{r^\circ}. \quad (2.4)$$

2.2. Утицај температуре на густину течности

Густина течности је карактеристична константа, али пошто зависи од температуре, наводи се заједно са температуром на којој је одређена.

Већина супстанција има позитиван запремински коефицијент ширења. То значи да им се запремина повећава са температуром, док се густина смањује са температуром, односно густина је обрнуто сразмерна температури: $\rho \propto 1/T$. Мали број супстанција (као на пример вода до 4°C) има негативан запремински коефицијент ширења. У овом случају густина је сразмерна температури: $\rho \propto T$. У табели 2.1 дате су вредности апсолутних густина неких течности на температури 22°C .

Табела 2.1. Густине појединих течности на 22°C .

Супстанција	$\rho_{4^\circ}^{22^\circ}$ [kgm^{-3}]
ацетон	790
етилалкохол	790
метилалкохол	790
бензен	880
бензин	700
крв (људска)	1050
азотна киселина	1410
сумпорна киселина	1840
сона киселина	1190
нафта	810
маслиново уље	920
рицинусово уље	950
жива	13546
толуен	870
вода	998

2.3. Експериментални део – одређивање густине течности

Густину течности можемо одредити:

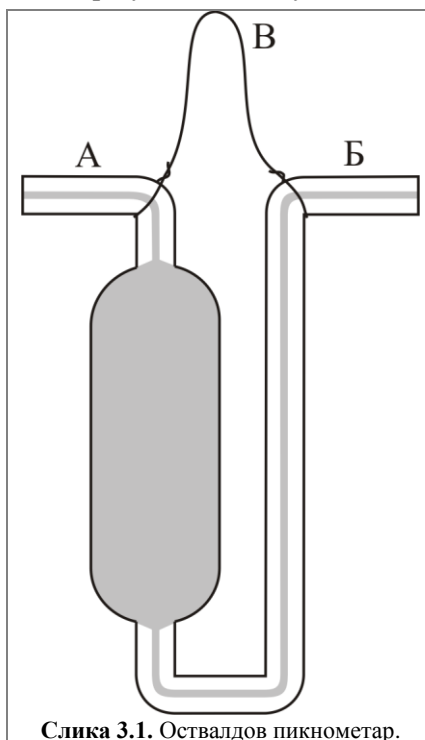
- 1) мерењем масе течности одређене запремине:
 - пикнометром.
- 2) и применом Архимедовог закона, односно одређивањем силе потиска која делује на тело потопљено у испитивану течност, и то:
 - ареометром и
 - Мор-Вестфаловом вагом.

2.3.1. Пикнометар

Пикнометром се одређује релативна густина испитиване течности. Постоје пикнометри различитих облика, али се најчешће употребљава Оствалдов пикнометар, приказан на слици 3.1. То је стаклена посуда тачно одређене запремине од 5-10 ml са капиларним изводима А и Б помоћу којих се пикнометар пуни течношћу.

Поступак мерења густине пикнометром састоји се из следећег: на почетку се измери маса празног, чистог и сувог пикнометра заједно са жичицом В којом се пикнометар качи на тас аналитичке ваге. Масу празног пикнометра обележићемо са m_p .

Затим се пикнометар пуни водом тако што се његов крај А преко танког црева повеже на вакуум шмрк, док се други крај Б урони у суд са водом. Треба водити рачуна да вода, а касније испитивана течност, испуњавају пикнометар до краја обе капиларе, А и Б. Тако напуњен пикнометар се стави у термостат да стоји 20 минута. Термостатиран пикнометар са водом се затим извади и пажљиво



Слика 3.1. Оствалдов пикнометар.

обрише, водећи рачуна да се не додирује рукама (све време се држи за жичицу В, како се не би испрљао или загрејао), и окачи на тас аналитичке ваге. Измерена маса пикнометра са водом је m_{p+H_2O} . Из разлике маса пикнометра са водом и празног пикнометра одређује се маса воде која се налази у пикнометру:

$$m_{H_2O} = m_{p+H_2O} - m_p. \quad (3.5)$$

Овако напуњен пикнометар на датој температури, има тачно одређену запремину. Пикнометар се затим испразни, осуши и напуни течношћу чију густину желимо да одредимо. Затим се термостатира, осуши и измери му се маса на исти начин на који је измерена маса пикнометра са водом. Маса пикнометра са испитиваном течношћу је m_{p+x} , а маса испитиване течности у пикнометру:

$$m_x = m_{p+x} - m_p. \quad (3.6)$$

Пошто се пикнометар у оба случаја налазио на истој радној температури, запремина пикнометра је иста када је напуњен испитиваном течношћу и када је напуњен водом. Поступак одређивања релативне густине испитиване течности $\rho_{t,x}^{t^\circ}$ заснива се на поређењу маса исте запремине V испитиване течности и воде:

$$\rho_{t,x}^{t^\circ} = \frac{\rho_{4^\circ,x}^{t^\circ}}{\rho_{4^\circ,H_2O}^{t^\circ}} = \frac{\frac{m_x}{V}}{\frac{m_{H_2O}}{V}} = \frac{m_x}{m_{H_2O}} \quad (3.7)$$

при чему су $\rho_{4^\circ,x}^{t^\circ}$ и $\rho_{4^\circ,H_2O}^{t^\circ}$ апсолутне густине испитиване течности и воде, редом. Апсолутну густину испитиване течности на радној температури можемо израчунати ако знамо апсолутну густину воде на тој температури, према једначини:

$$\rho_{4^\circ,x}^{t^\circ} = \frac{m_x}{m_{H_2O}} \rho_{4^\circ,H_2O}^{t^\circ} \quad (3.8)$$

2.3.1.1. Корекција густине на потисак ваздуха

Приликом одређивања густине пикнометром, потребно је извршити корекцију на потисак ваздуха, због чињенице да је, према Архимедовом закону, свако тело које је потопљено у неки флуид, привидно лакше за тежину њиме истиснутог флуида. Другим речима, услед потиска ваздуха, добијена вредност густине се разликује од стварне вредности. Стога је израз за густину течности (3.4) потребно кориговати на потисак ваздуха:

$$\rho_{4^{\circ},kor}^{f^{\circ}} = \frac{m_x}{m_{H_2O}} \rho_{4^{\circ},H_2O}^{f^{\circ}} + \frac{m_x - m_{H_2O}}{m_{H_2O}} \rho_{4^{\circ},v}^{f^{\circ}} \quad (3.11)$$

где је са $\rho_{4^{\circ},v}^{f^{\circ}}$ означена густина ваздуха. Вредност за густину ваздуха читава се из таблица на температури на којој се врши мерење.

2.3.1.2. Корекција густине на ширење стакла

Приликом мерења масе пикнометра са водом и са испитиваном течношћу, чију густину желимо да одредимо, може се десити да температура пикнометра са водом није иста као температура пикнометра са испитиваном течношћу. Стаклени пикнометар при промени температуре трпи промену своје запремине, чиме се мења и запремина испитиване течности. У том случају је поред корекције на потисак ваздуха, потребно извршити и корекцију на запремину (ширења или скупљања) услед промене температуре пикнометра, према следећем изразу:

$$\rho_{4^{\circ},kor}^{f^{\circ}} = \frac{m_x}{m_{H_2O}} \rho_{4^{\circ},H_2O}^{f^{\circ}} + \frac{m_x - m_{H_2O}}{m_{H_2O}} \rho_{4^{\circ},v}^{f^{\circ}} + \frac{m_x}{m_{H_2O}} \rho_{4^{\circ},H_2O}^{f^{\circ}} \cdot 0,000024(\theta_{H_2O} - \theta_x) \quad (3.12)$$

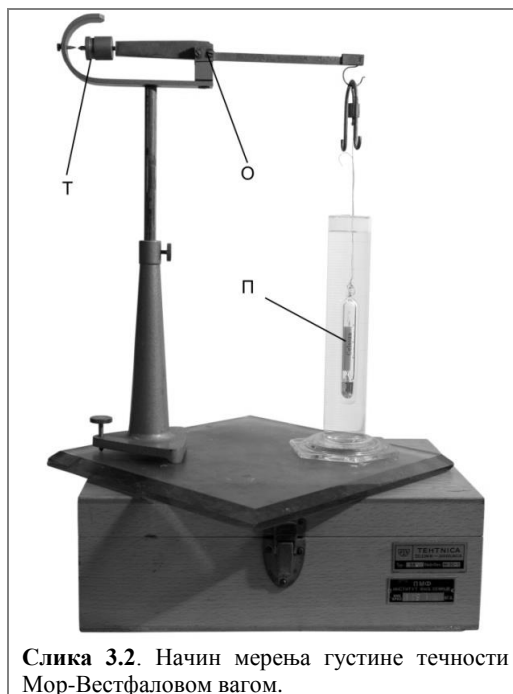
где број 0,000024 представља коефицијент запреминског ширења стакла, док се θ_{H_2O} и θ_x односе на температуру воде и испитиване течности, редом.

2.3.2. Мор – Вестфалова вага

Мор-Вестфаловом вагом (слика 3.2) се директно мери релативна густина испитиване течности. Ова вага представља полуку која се ослања на челичну призму у тачки О, са крацима који не морају бити исте дужине. Један крак полуке има скалу са десет једнаких подеока, а на десетом подеоку ове скале стоји окачено стаклено тело у коме се налази термометар (пловак П). На другом краку полуке налази се против-тег Т. Поред против-тега са исте стране полуке, налазе се два шиљка. Ови шиљци су индикатори равнотеже и када се налазе један наспрам другог, вага је у стању равнотеже. На краку полуке на коме се налази скала са десет подеока стављају се тегови у облику **јахача**. При мерењу Мор-Вестфаловом вагом, није битна маса јахача, већ однос њихових маса: 1: 0,1: 0,01: 0,001.

Пре почетка мерења релативне густине потребно је уравнотежити вагу. То се постиже тако што се пловак П цео урони у мензурну напуњену водом водећи рачуна да не додирује зидове мензуре, а затим се на десети подеок скале постави највећи, јединични јахач. Овај јахач је конструисан тако да му је тежина једнака сили потиска која делује на пловак П када се он налази у води чија је температура 20 °С. Коначно, вага се доводи у равнотежу финим померањем тега Т тако да шиљци (индикатори равнотеже) стоје један наспрам другог. Због поменуте зависности густине од температуре, температуру воде је потребно прочитати у мензури.

Сада се пажљиво, водећи рачуна да се вага и тег Т не помере, пловак П извади из воде, осуши и урони у претходно испрану



Слика 3.2. Начин мерења густине течности Мор-Вестфаловом вагом.

мензур, напуњену течношћу чију густину одређујемо (на исту дубину на којој је био у води). Затим се распоређивањем осталих јахача на подеоке скале врши уравнотежавање ваге. У зависности од густине испитиване течности разликујемо два случаја:

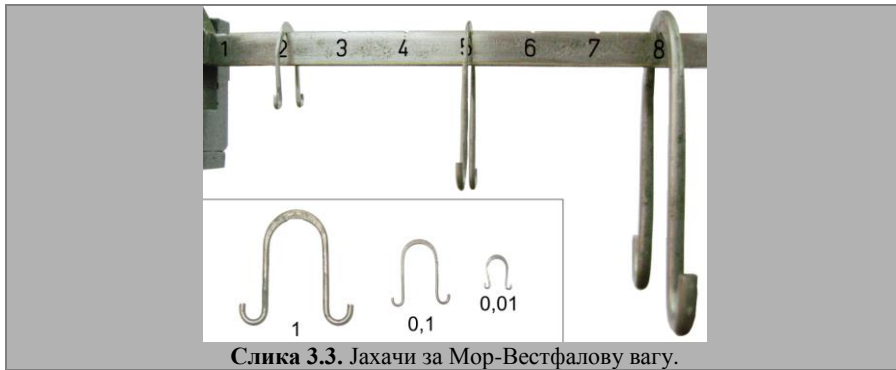
1) уколико је густина испитиване течности мања од густине воде, јединични тег се помера са десетог подеока (на који је стављен уравнотежавањем ваге у води) на неки од мањих подеока, у положај који одговара приближном равнотежном стању ваге. Потпуно уравнотежавање ваге постиже се употребом мањих јахача, поступно од већих ка мањим.

Јединични јахач на десетом подеоку има вредност 1, ако се налази на деветом подеоку има вредност 0,9, на осмом подеоку има вредност 0,8 и тако редом до првог подеока на коме има вредност 0,1. Вредност следећег мањег јахача на десетом подеоку је 0,1, на деветом подеоку 0,09 и тако редом до првог подеока на коме има вредност 0,01.

2) уколико је густина испитиване течности већа од густине воде, равнотежа се успоставља на исти начин као и у претходном случају, са том разликом да јединични јахач којим је вага уравнотежена када је пловак у води, остаје на десетом подеоку. Ако замислимо да се на слици 3.3. налази још један јединични јахач на десетом подеоку, густина течности записује се на следећи начин: 1,852.

Пример 2.1. Очитавање релативне густине из распореда тегова на Мор-Вестфаловој ваги

- Највећи јахач налази се на осмом подеоку, што записујемо као 0,8__ (имајући у виду да је густина испитиване течности мања од густине воде).
- Следећи јахач се налази на петом подеоку значи 0,5__, што можемо записати као 0,85__ (имајући у виду однос маса јахача од највећег ка мањим: 1:0,1...).
- Последњи јахач се налази на другом подеоку, 0,__2, и пишемо вредност густине течности: 0,852.

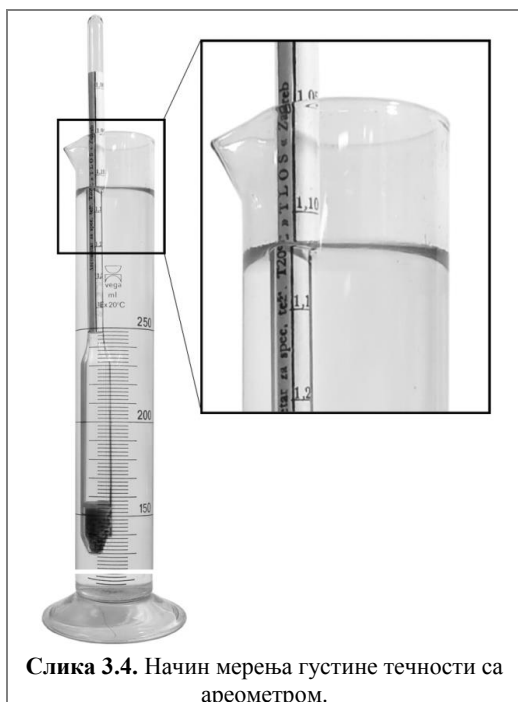


Слика 3.3. Јахачи за Мор-Вестфалову вагу.

Мор-Вестфаловом вагом се може одредити и апсолутна густина испитиване течности на тај начин што се добијена вредност релативне густине помножи апсолутном густином воде на температури на којој је одређена релативна густина течности. Вредности густине воде на различитим температурама дате су у табlici на крају практикума.

2.3.3. Ареометар

Ареометар је справа којом се директно мери апсолутна густина течности. Проналазак ареометра се приписује Хипати, грчкој философињи и математичарки која је живела у IV веку наше ере. Конструкција ареометра је заснована на законима равнотеже у хидростатици.



Слика 3.4. Начин мерења густине течности са ареометром.

Ареометар је затворена стаклена цев, проширена у основи, слика 3.4. У проширеном делу се налазе оловне куглице или жива, које омогућавају ареометру да вертикално плива у испитиваној течности. Горњи, ужи део ареометра је константног пресека и садржи скалу, обележену јединицама за густину.

При мерењу, ареометар се лагано пусти да плива у течности чија се густина мери, водећи рачуна да ареометар не додирује зидове суда у ком се налази испитивана течност. У зависности од

густине течности ареометар тоне док се не успостави равнотежа између силе потиска, која представља тежину течности истиснуте уроњеним делом ареометра и тежине ареометра.

Што је густина испитиване течности већа, ареометар у њој мање тоне и обрнуто, у течности мање густине ареометар тоне дубље. Густина течности се директно читава са скале ареометра и одговара подеоку који се поклапа са нивоом испитиване течности. Очитана вредност је најтачнија када се мерење врши на температури која је убележена на скали ареометра.

Сила потиска делује на тела која се налазе у неком флуиду (гасу или течности) и може се представити у складу са дефиницијом:

$$F = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g \quad (3.13)$$

где је m маса истиснутог флуида, ρ густина флуида, а V запремина тела која је једнака запремини истиснутог флуида.

Упоредивши све три методе за одређивање густине течности, може се закључити да је за одређивање густине пикнометром потребно мање течности него код одређивања ареометром и Мор-

Вестфаловом вагом. Такође, прецизност ове методе даје јој предност у односу на преостале две.

2.4. Задаци

1. Сила потиска на неко тело уроњено у воду на температури $\theta = 4$ °C износи 6,5 N. Одредити колики ће бити потисак на исто тело у алкохолу (ROH) густине 785 kgm^{-3} и у живи (Hg) чија је густина 13600 kgm^{-3} . На температури 4 °C, вода има јединичну вредност густине.

Решење:

$$\theta = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{4^\circ, H_2O}^{f^o} = 1 \text{ gcm}^{-3} = 1000 \text{ kgm}^{-3}$$

$$F_{H_2O} = 6,5 \text{ N}$$

$$\rho_{4^\circ, ROH}^{f^o} = 785 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\rho_{4^\circ, Hg}^{f^o} = 13600 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\boxed{F_{ROH}, F_{Hg} = ?}$$

$$F_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot g = \rho_{4^\circ, H_2O}^{f^o} \cdot V \cdot g$$

$$V = \frac{F_{H_2O}}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{f^o} \cdot g} = \frac{6,5 \text{ N}}{1000 \text{ kgm}^{-3} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2}} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$F_{ROH} = \rho_{4^\circ, ROH}^{f^o} \cdot g \cdot V = 785 \text{ kgm}^{-3} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 5,08 \text{ N}$$

$$F_{Hg} = \rho_{4^\circ, ROH}^{f^o} \cdot g \cdot V = 13600 \text{ kgm}^{-3} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 88,05 \text{ N}$$

2. У суду се налазе вода и жива, једна изнад друге. У суд се унесе челична куглица. Одредити колики део запремине челичне куглице ће бити у води. Густина воде је 1 gcm^{-3} , живе 13600 kgm^{-3} , а челика $7,7 \text{ gcm}^{-3}$.

Решење:

$$\rho_{4^{\circ}, H_2O}^{f^{\circ}} = 1 \text{ gcm}^{-3} = 1000 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\rho_{4^{\circ}, Hg}^{f^{\circ}} = 13600 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\rho_{4^{\circ}, \text{čelika}}^{f^{\circ}} = 7,7 \text{ gcm}^{-3} = 7700 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\frac{V_1}{V} = ?$$

V - укупна запремина куглице

V_1 - запремина дела куглице који се налази у води

F - сила Земљине теже

$F_{p,1}$ - сила потиска воде

$F_{p,2}$ - сила потиска живе

$$F = F_{p,1} + F_{p,2}$$

$$\rho_{4^{\circ}, \text{čelika}}^{f^{\circ}} V g = \rho_{4^{\circ}, H_2O}^{f^{\circ}} V_1 g + \rho_{4^{\circ}, Hg}^{f^{\circ}} (V - V_1) g$$

$$V_1 (\rho_{4^{\circ}, Hg}^{f^{\circ}} - \rho_{4^{\circ}, H_2O}^{f^{\circ}}) g = V (\rho_{4^{\circ}, Hg}^{f^{\circ}} - \rho_{4^{\circ}, \text{čelika}}^{f^{\circ}}) g$$

$$\frac{V_1}{V} = \frac{\rho_{4^{\circ}, Hg}^{f^{\circ}} - \rho_{4^{\circ}, \text{čelika}}^{f^{\circ}}}{\rho_{4^{\circ}, Hg}^{f^{\circ}} - \rho_{4^{\circ}, H_2O}^{f^{\circ}}} = \frac{13600 \text{ kgm}^{-3} - 7700 \text{ kgm}^{-3}}{13600 \text{ kgm}^{-3} - 1000 \text{ kgm}^{-3}}$$

$$\frac{V_1}{V} = 0,47$$

3. Одредити апсолутну и релативну густину течности (без корекције на потисак ваздуха) ако је мерена пикнометром на температури од 22°C , при чему су мерењима на аналитичкој ваги добијени следећи подаци:

маса пикнометра, $m_p = 5,2327 \text{ g}$

маса пикнометра са водом, $m_{p+H_2O} = 15,2367 \text{ g}$

маса пикнометра са супстанцијом, $m_{p+x} = 15,2487 \text{ g}$

густина воде на $\theta = 22^{\circ}\text{C}$, $\rho_{4^{\circ}, H_2O}^{22^{\circ}} = 0,9978 \text{ gcm}^{-3}$ (таблични податак)

Апсолутну густину изразити и у SI јединицама и резултат приказати са назначеном апсолутном грешком. Апсолутна грешка мерења масе на аналитичкој ваги је, $\Delta m = \pm 0,0001 \text{ g}$.

Решење:

$$m_p = (5,2327 \pm 0,0001) \text{ g}$$

$$m_{p+H_2O} = (15,2367 \pm 0,0001) \text{ g}$$

$$m_{p+x} = (15,2487 \pm 0,0001) \text{ g}$$

$$\rho_{4^\circ, H_2O}^{22^\circ} = (0,99780 \pm 0,00005) \text{ gcm}^{-3}$$

$$\rho_{4^\circ, x}^{22^\circ}, \rho_{22^\circ, x}^{22^\circ} = ?$$

$$\rho_{4^\circ, x}^{22^\circ} = \rho_{22^\circ, x}^{22^\circ} \cdot \rho_{4^\circ, H_2O}^{22^\circ} = \frac{m_{p+x} - m_p}{m_{p+H_2O} - m_p} \rho_{4^\circ, H_2O}^{22^\circ}$$

$$\rho_{4^\circ, x}^{22^\circ} = 0,998997 \text{ gcm}^{-3}$$

$$\rho_{22^\circ, x}^{22^\circ} = 1,0011995$$

$$\ln \rho_{4^\circ, x}^{22^\circ} = \ln(m_{p+x} - m_p) - \ln(m_{p+H_2O} - m_p) + \ln \rho_{4^\circ, H_2O}^{22^\circ}$$

$$\frac{\Delta \rho_{4^\circ, x}^{22^\circ}}{\rho_{4^\circ, x}^{22^\circ}} = \frac{\Delta m_{p+x} + \Delta m_p}{m_{p+x} - m_p} + \frac{\Delta m_{p+H_2O} + \Delta m_p}{m_{p+H_2O} - m_p} + \frac{\Delta \rho_{4^\circ, H_2O}^{22^\circ}}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{22^\circ}} =$$

$$= 9,007 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta \rho_{4^\circ, x}^{22^\circ} = 9,007 \cdot 10^{-5} \cdot 0,998997 \text{ gcm}^{-3} = 8,99 \cdot 10^{-5} \text{ gcm}^{-3} \approx 9 \cdot 10^{-5} \text{ gcm}^{-3}$$

$$\frac{\Delta \rho_{22^\circ, x}^{22^\circ}}{\rho_{22^\circ, x}^{22^\circ}} = \frac{\Delta m_{p+x} + \Delta m_p}{m_{p+x} - m_p} + \frac{\Delta m_{p+H_2O} + \Delta m_p}{m_{p+H_2O} - m_p} = 3,996 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta \rho_{22^\circ, x}^{22^\circ} = 3,996 \cdot 10^{-5} \cdot 1,0011995 = 4,0007 \cdot 10^{-5} \leq 5 \cdot 10^{-5}$$

$$\rho_{4^\circ, x}^{22^\circ} = (0,99900 \pm 0,00009) \text{ gcm}^{-3} \text{ (у SI јединицама: } \rho_{4^\circ, x}^{22^\circ} = (0,99900 \pm 0,00009) \cdot 10^3 \text{ kgm}^{-3}), \rho_{22^\circ, x}^{22^\circ} = (1,00120 \pm 0,00005)$$

4. Маса празног пикнометра износи А грама. Када се пикнометар напуни водом, његова маса је В грама. Ако се у пикнометар унесе С грама опиљака челика и допуни водом, пикнометар има масу D грама. Одредити густину челичних опиљака.

Решење:

$$m_p = A$$

$$m_{p+H_2O} = B$$

$$m_{\check{c}el} = C$$

$$m_{p+H_2O+\check{c}el} = D$$

$V_{\check{c}el}$ запремина челичних опилџака,

V_p укупна запремина пикнометра,

$$\boxed{\rho_{4^\circ, \check{c}el}^{t^\circ} = ?}$$

$$V_p = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ}} = \frac{B - A}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ}}$$

$$V_{H_2O} = \frac{D - (A + C)}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ}}$$

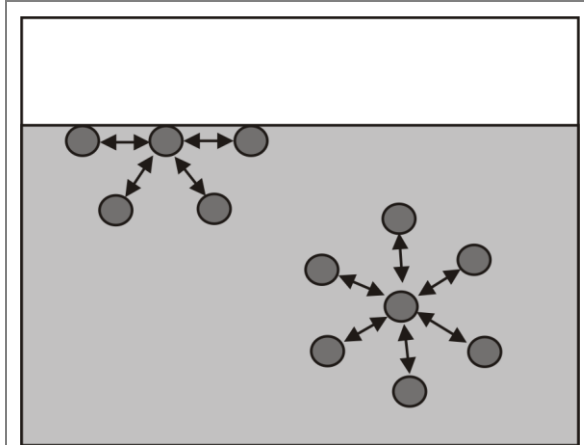
$$V_{\check{c}el} = V_p - V_{H_2O} = \frac{B - A}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ}} - \frac{D - (A + C)}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ}} = \frac{B + C - D}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ}}$$

$$\rho_{4^\circ, \check{c}el}^{t^\circ} = \frac{m_{\check{c}el}}{V_{\check{c}el}} = \frac{C}{B + C - D} \cdot \rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ}$$

4. ПОЈАВЕ НА ГРАНИЦИ ФАЗА

4.1. Површински напон

Једна од карактеристичних особина течности, која се јавља као последица постојања некомпензованих међумолекулских сила на граници фаза, је **површински напон**. Наиме, молекули течности који се налазе у њеној унутрашњости, равномерно су окружени суседним молекулима течности, због чега је укупна



Слика 4.1. Схематски приказ дејства међумолекулских сила на молекул у унутрашњости течности и на површини.

(резултујућа) сила која делује на неки молекул течности једнака нули. Са друге стране, молекул који се налази на површини течности, окружен је са једне (доње) стране молекулима течности, а са друге (горње) молекулима паре, чија је густина, као и интензитет међумолекулских сила много мања него у течности. Због тога се јавља резултујућа сила која делује на молекуле на површини течности и усмерена је ка унутрашњости течности (слика 4.1). Као последица тога граница између течности и парне фазе је у стању напона и понаша се као затегнута мембрана, тежећи да смањи своју површину.

Површински напон, γ , се дефинише као сила која делује нормално на јединицу дужине на површини течности. Јединица површинског напона је N m^{-1} . Зависи од температуре и то на следећи начин: са порастом температуре површински напон опада и на критичној температури има нулту вредност.

4.1.1. Одређивање коефицијента површинског напона

Развијене су бројне методе за одређивање коефицијента површинског напона које се разликују по једноставности, тачности,

као и количини узорка неопходног за мерење. Ове методе се могу се поделити на **статичке и динамичке**. У статичке методе убрајамо оне код којих у току мерења не долази до обнављања површине течности, а зову се и **капиларне** методе. Код динамичких метода, површина течности се у току мерења обнавља. Неке од најчешће коришћених метода за одређивање коефицијента површинског напона течности су:

- 1) **метода мерења масе (или броја) капи течности - сталагмометријска метода** која је описана у експерименталном делу;
- 2) **метода капиларне цеви**, заснована на мерењу висине до које се подигне стуб течности у капилари уроњеној у испитивану течност;
- 3) **метода максималног притиска у мехуру** која се заснива на мерењу максималног притиска у мехуру гаса који се ствара на крају капиларе уроњене у течност кроз коју се продувава инертан гас;
- 4) **метода мерења димензија капи**, заснована на мерењу димензија капи која мирује на чврстој површини и
- 5) **метода прстена (плоче)** која се заснива на мерењу силе која је потребна да би се прстен или плоча познате површине одвојио/ла од површине течности.

4. 2. Експериментални део - Сталагмометријски метод одређивања коефицијента површинског напона

Сталагмометар је специјално обликована стаклена цев са проширеним делом у који се уноси течност, која се наставља у капилару заравњеног и добро избрушеног врха. Најчешће се користи Траубеов сталагмометар (слика 4.2). На проширеном делу цеви, налазе се ознаке, тако да из стаклене цеви истиче увек иста запремина течности. На крају капиларе се формира кап течности. Кружна хоризонтална површина краја капиларе мора добро да се кваси. (слика 4.3).

Сталагмометријски метод се заснива на одређивању коефицијента површинског напона методом мерења масе или броја капи које се откидају са равне површине краја капиларне цеви. На капљицу која се формира на излазу из капиларе делују две супротно усмерене силе, сила теже:

$$F_g = m \cdot g \quad (4.1)$$

и сила површинског напона:

$$F_\gamma = 2r\pi\gamma \quad (4.2)$$

где је m маса једне капи, r полупречник заравњеног дела сталагмометра (слика 4.3), а γ коефицијент површинског напона течности.

Кап се неће откинути све док је сила теже која делује на кап мања од силе површинског напона. Када сила теже која делује на кап постане нешто већа од силе површинског напона, кап се откида. У тренутку откидања капи, ове две силе су у равнотежи:

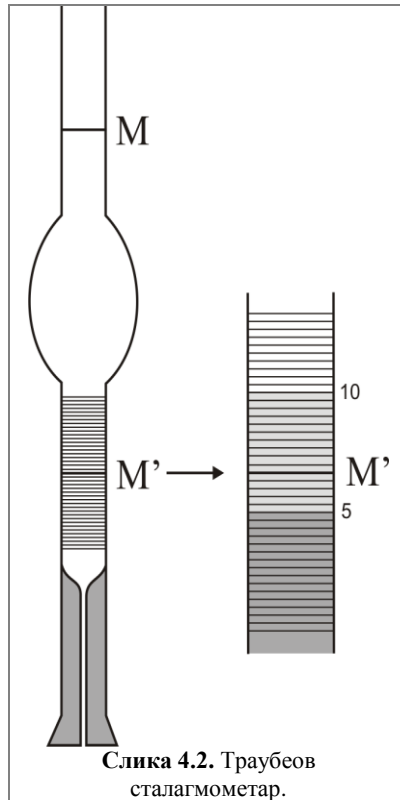
$$m \cdot g = 2r\pi\gamma \Rightarrow \gamma = \frac{mg}{2r\pi} \quad (4.3)$$

Како су у једначини (4.3) све друге величине познате, потребно је само одредити полупречник капиларе и масу једне капи течности. Сталагмометријско одређивање коефицијента површинског напона спада у релативне методе, јер се коефицијент површинског напона испитиване течности одређује у односу на течност чији је коефицијент површинског напона познат (стандард).

Масу једне капи течности, m , можемо одредити на два начина: методом мерења масе капи и методом бројања капи. Метода мерења масе капи се заснива на мерењу масе већег броја капи које истекну из одређене запремине сталагмометра. Ако ову масу обележимо са m^* и поделимо је бројем капи, n , добијамо масу једне капи:

$$m = \frac{m^*}{n} \quad (4.4)$$

Коефицијент површинског напона испитиване течности, γ_x , се одређује у односу на течност познатог коефицијента површинског напона, γ_o применом релације (4.3) у којој су g и π константе, као



Слика 4.2. Траубеов сталагмометар.

и полупречник капиларе, обзиром да се мерења врше у истом сталагмометру:

$$\frac{\gamma_x}{\gamma_o} = \frac{m_x}{m_o} \Rightarrow \gamma_x = \gamma_o \frac{m_x}{m_o} \quad (4.5)$$

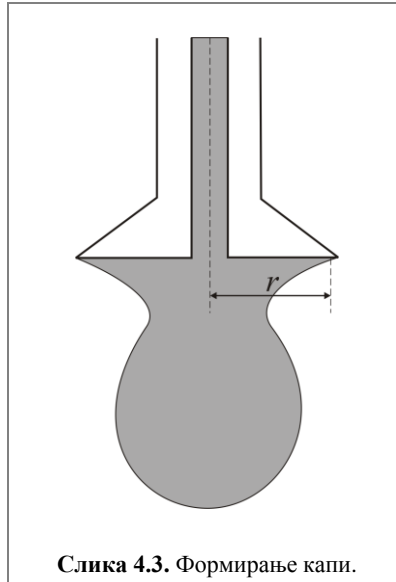
где је m_x - маса једне капи испитиване течности, а m_o - маса једне капи стандарда.

Методом бројања капи се броје капи које истекну из одређене запремине сталагмометра V , испитиване течности густине ρ . Укупна маса капи је: $m^* = V \cdot \rho$, а маса једне капи дата је следећом релацијом:

$$m = \frac{V \cdot \rho}{n} \quad (4.6)$$

Ако у изразу (4.5) заменимо масу једне капи испитиване течности и масу једне капи стандардне течности, релацијом 4.6):

$$\frac{\gamma_x}{\gamma_o} = \frac{\frac{V \cdot \rho_x}{n_x}}{\frac{V \cdot \rho_o}{n_o}} = \frac{n_o \cdot \rho_x}{n_x \cdot \rho_o} \quad (4.7)$$



Слика 4.3. Формирање капи.

добивамо израз за одређивање коефицијента површинског напона испитиване течности методом бројања капи:

$$\gamma_x = \gamma_o \frac{n_o \cdot \rho_x}{n_x \cdot \rho_o} \quad (4.8)$$

где су ρ_o и ρ_x густине стандардне и испитиване течности, а n_o и n_x представљају број капи стандардне и испитиване течности истекле из исте запремине V .

Поступак за одређивање коефицијента површинског напона Траубеовим сталагмометром обухвата неколико сегмената. Обзиром

да је реч о релативној методи, сталагмометар је најпре потребно калибрисати стандардном течношћу (као стандард обично се користи дестилована вода). На одређеној температури (собна температура), чиста и сува стаклена чаша се напуни водом и постави испод сталагмометра. Затим се помоћу гуменог црева, навученог на горњи крај сталагмометра, у добро опран и осушен сталагмометар, уписа дестилована вода из чаше до изнад горње марке M (слика 8.5) и пусти да слободно капље. Ако је брзина капљања сувише велика може се контролисати сужавањем гуменог црева које се поставља на горњи део сталагмометра. Када се ниво воде спусти до ознаке M , почне се са бројањем капи. Капи се броје све док се ниво воде не спусти до доње марке, M' , на сталагмометру. Пошто је део сталагмометријске цеви испод и изнад ознаке M' градуисан (изнад и испод доње марке M' се налази по 20 подеока), број капи се може одредити са прецизношћу до стотог дела капи. Капи се броје од марке M до марке M' с тим да је потребно забележити на ком се подеоку изнад доње марке M' одвојила кап и која је по реду, као и на ком се подеоку испод марке M' одвојила кап и која је по реду. Ако се, на пример, 35. кап одвојила на десетом подеоку изнад марке M' , а 36. кап на 5. подеоку испод марке M' , број капи који је истекао из сталагмометра се може одредити на следећи начин:

$$n = 35 + \frac{1}{10+5} \cdot 10 = 35,67. \text{ Мерење се понови три пута и одреди се}$$

средња вредност броја капи. Затим се стаклена чаша испразни, осуши и напуни испитиваном течношћу. На потпуно исти начин се одреди број капи испитиване течности, чији је коефицијент површинског напона потребно одредити.

Густине воде и испитиване течности, као и коефицијент површинског напона воде на температури на којој је вршено мерење се читају из доступних таблица. Применом једначине (4.8) израчунава се коефицијент површинског напона испитиване течности методом бројања капи.

Коефицијент површинског напона можемо одредити и методом масе капи директним мерењем масе капи које истекну из сталагмометра. Сталагмометар се најпре калибрише течношћу познатог коефицијента површинског напона, воде, чија се вредност може наћи у табелама. Пре почетка мерења, на аналитичкој ваги треба измерити масу празне стаклене чаше, m_p , у коју ће истицати одређени број капи стандарда из сталагмометра, а по завршетку мерења, и масу стаклене чаше са стандардом, m_{p+o} . Из разлике ових маса добијамо масу стандардне течности: $m_o = m_{p+o} - m_p$. Потребно је измерити масу већег броја капи (најмање 20) како би се смањила

грешка одређивања масе једне капи. На исти начин одређујемо и масу испитиване течности: $m_x = m_{p+x} - m_p$, односно једне њене капи. Применом релације (4.5) одређујемо коефицијент површинског напона испитиване течности.

8.4. Задаци

1. Површински напон воденог раствора пиридина на температури од 20 °C је 0,038 Nm⁻¹, а густина на истој температури 980 kgm⁻³. Израчунати пречник капиларе у којој се водени раствор пиридина подигне за 1,6 cm.

Решење:

$$\gamma = 0,038 \text{ Nm}^{-1}$$

$$\rho = 980 \text{ kgm}^{-3}$$

$$h = 1,6 \text{ cm} = 0,016 \text{ m}$$

$$\boxed{d = ?}$$

$$\gamma = \frac{1}{2} \rho g h r \Rightarrow r = \frac{2\gamma}{\rho g h} = \frac{2 \cdot 0,038 \text{ Nm}^{-1}}{980 \text{ kgm}^{-3} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,016 \text{ m}} = 4,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$d = 2r = 9,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

2. Израчунати површински напон бензола на 20 °C ако маса 42 капи бензола које су истекле из константне запремине сталагмометра, износи 1,5672 g. Маса 30 капи дестиловане воде која истекне из исте запремине сталагмометра, је 2,8180 g. Површински напон воде на 20 °C је 72,75 · 10⁻³ Nm⁻¹.

Решење:

$$n_{\text{benzol}} = 42$$

$$m_{\text{benzol}} = 1,5672 \text{ g}$$

$$n_{\text{voda}} = 30$$

$$m_{\text{voda}} = 2,8180 \text{ g}$$

$$\gamma_{\text{voda}} = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$$

$$\gamma_{benzol} = ?$$

$$\gamma_{benzol} = \gamma_{voda} \cdot \frac{m_{benzol} \cdot n_{voda}}{m_{voda} \cdot n_{benzol}} = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1} \cdot \frac{1,5672 \text{ g} \cdot 30}{2,8180 \text{ g} \cdot 42} =$$

$$= 28,9 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$$

5. ВИСКОЗНОСТ ТЕЧНОСТИ

У овом поглављу биће речи о још једној од важних особина течности - њеној вискозности. Упознаћемо се са основним појмовима и величинама, као и законима и методама којима се може одредити вискозност.

5.1. Опште карактеристике

Карактеристично својство течности, које се јавља приликом њиховог протицања, јесте **вискозност**. Реч вискозност води порекло од латинске речи *viscum* која значи лепак, односно има значење супротно од речи "течљив". Уље, мед, глицерин и многе друге супстанције су вискозније, односно мање течљиве течности од воде, алкохола или бензина (слика 5.1). Вискознији флуиди дају већи отпор при кретању. Тако је, на пример, кретање у води теже него на сувом.



Слика 5.1. Истицање течности различитих вискозности.

Протицање течности може бити **слојевито** (ламинарно), када се течност понаша као да је сачињена од слојева који клизе један преко другог, и **турбулентно**, када се динамичка својства течности хаотично мењају. Приликом слојевитог протицања течности (које је карактеристично за уске цеви и мале брзине протицања), услед међусобног дејства, сви слојеви течности немају једнаку брзину у смеру течења. Стога се унутар течности јавља отпор којим се поједини слојеви супротстављају кретању једног слоја у односу на други. Овај отпор се назива вискозност. Сила која изражава међусобно деловање слојева флуида, назива се **вискозна сила**. То је

сила која је потребна да би се један слој течности кретао константном брзином у односу на други слој и дата је једначином:

$$F = A \frac{dv}{dx} \eta. \quad (5.1)$$

Ова једначина представља **Њутнов закон вискозности** у којој је F вискозна сила или сила унутрашњег трења која делује на површину A слоја, dv/dx градијент брзине, а η **динамичка вискозност**¹. Њутнов закон вискозности важи само за течности које имају ламинаран ток. Течности за које важи ова релација називају се још и **Њутновске** или **нормалне течности**.

Динамичка вискозност се дефинише као сила на јединицу површине, која је потребна да одржи јединичну разлику брзине dv између два паралелна слоја површине A на јединичном растојању dx :

$$\eta = \frac{F}{A \frac{dv}{dx}} \quad (5.2)$$

Јединица у SI систему за динамичку вискозност је: Pa·s или N·s·m⁻², а често коришћена јединица је поаз, 1 P = 10⁻¹ Pa·s. Вискозност зависи од врсте течности, температуре и у мањој мери од притиска. Реципрочна вредност динамичке вискозности је **флуидност** и представља мерило лакоће којом течност може да тече:

$$\varphi = 1/\eta. \quad (5.3)$$

5.2. Зависност вискозности од температуре

Коефицијент вискозности течности са порастом температуре опада по експоненцијалној зависности коју су дали Аренијус и Гуцман:

$$\eta = A \exp\left(\frac{B}{RT}\right) \quad (5.4)$$

¹ Раније позната и као коефицијент вискозности.

у којој су A и B карактеристичне константе за дату течност. До опадања коефицијента вискозности при порасту температуре долази због тога што са порастом температуре течности расте и средња кинетичка енергија њених молекула, па они могу лакше да надвладају кохезионе силе које узрокују вискозност, што се опажа као лакше протицање течности.

Логаритмовањем израза (5.4) и приказивањем $\log \eta$ у функцији $1/T$, добија се добра линеарна зависност за велики број Њутновских течности.

5.3. Одређивање динамичке вискозности методом капиларног вискозиметра

Ова метода се заснива на примени Поазејевог закона за истицање течности апсолутне густине $\rho_{4^{\circ}}$ кроз капилару:

$$\eta = \frac{\pi r^4 t \Delta P}{8lV} = \frac{\pi \rho_{4^{\circ}} g h r^4 t}{8lV} \quad (5.5)$$

у којој је η динамичка вискозност, $\Delta P = \rho_{4^{\circ}} g h$ разлика притисака на крајевима капиларе, r полупречник капиларе, l дужина капиларе, а V запремина течности која истекне кроз капилару за време t . Једначина важи само за ламинарни ток течности. Пошто се овом методом врше мерења и за стандардну и за испитивану течност, то се динамичка вискозност испитиване течности добија се применом израза:

$$\eta_x = \eta_{H_2O} \cdot \frac{\rho_{4^{\circ},x} \cdot t_x}{\rho_{4^{\circ},H_2O} \cdot t_{H_2O}} \quad (5.6)$$

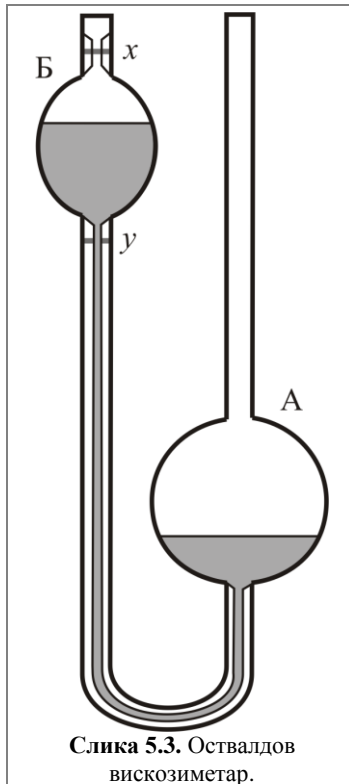
чије је извођење детаљно описано у експерименталном делу у оквиру одређивања коефицијента вискозности Оствалдовим вискозиметром. Овим типом вискозиметра коефицијент вискозности течности може да се одреди у границама од 0,1 до $5 \cdot 10^3$ mPa·s.

5.4. Експериментални део – одређивање динамичке вискозности Оствалдовим вискозиметром

Оствалдов вискозиметар је стаклена цев облика латиничног слова U са два мала проширења (слика 5.3), помоћу које је могуће одредити динамичку вискозност по методи капиларног вискозиметра. Састоји се од балона Б са горњом ознаком x и доњом ознаком y , који је капиларном цеви припојен за балон А. Метода је релативна, јер се врши упоређивање брзина истицања запремине течности познате динамичке вискозности, стандарда, најчешће дестиловане воде, са брзином истицања исте запремине течности чију динамичку вискозност желимо да одредимо. Оба мерења се врше на истој температури.

Пре почетка мерења потребно је калибрисати вискозиметар, односно одредити константу вискозиметра K , која зависи од карактеристика самог вискозиметра. Калибрација се изводи тако што се у претходно опран и осушен вискозиметар, тачније у балон А, пипетом унесе одређена запремина течности познате динамичке вискозности, најчешће воде. Имајући у виду да коефицијент вискозности зависи од температуре, вискозиметар напуњен водом је потребно термостатирати (на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ или $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) најмање 15 минута. Након термостатирања, вода из балона А се повуче вакуумом до балона Б, тако да ниво течности буде изнад ознаке x и мери се време t за које течност истекне између две ознаке, x и y . Мерење се понавља још најмање два пута и одреди се средња вредност времена истицања воде између ове две марке. Ако се времена истицања разликују за више од $0,2\text{ s}$ мерење је потребно поновити.

Када је вискозиметар калибрисан, вискозиметар се испразни и добро осуши. Затим се пипетом одмери иста запремина течности



чији коефицијент вискозности треба одредити. Одмерена запремина испитиване течности мора бити једнака запремини воде којом смо калибрисали вискозиметар, јер се само у том случају може користити вредност константе вискозиметра. Вискозиметар се на истој температури термостатира 15 минута. На претходно описан начин се изврши мерење времена истицања течности, од марке x до марке y . Мерење се понови још два пута, а затим се одреди средња вредност времена истицања.

Разлика притисака услед које течност протиче кроз капилару је дата изразом: $\Delta P = \rho_{4^{\circ}}^{\rho} g h$, у коме је h разлика висина нивоа течности у два крака вискозиметра. Као што је показано у једначини (5.5), динамичка вискозност, η се може представити изразом:

$$\eta = \frac{\rho_{4^{\circ}}^{\rho} \cdot g \cdot h \cdot \pi \cdot r^4 \cdot t}{8l \cdot V} = K \cdot \rho_{4^{\circ}}^{\rho} \cdot t \quad (5.7)$$

у коме је K константа вискозиметра, t време истицања течности између две марке вискозиметра и $\rho_{4^{\circ}}^{\rho}$ густина течности. Динамичке вискозности воде η_{H_2O} , и испитиване течности η_x , могу се сада изразити на следећи начин:

$$\eta_{H_2O} = K \cdot \rho_{4^{\circ}, H_2O}^{\rho} \cdot t_{H_2O} \quad (5.8)$$

$$\eta_x = K \cdot \rho_{4^{\circ}, x}^{\rho} \cdot t_x \quad (5.9)$$

Обзиром да се мерења врше у истом вискозиметру, константа K за дестиловану воду као стандард и испитивану течност има исту вредност. Дељењем једначина (5.9) и (5.8) и сређивањем по η_x добијамо израз за израчунавање динамичке вискозности испитиване течности:

$$\eta_x = \eta_{H_2O} \frac{\rho_{4^{\circ}, x}^{\rho} \cdot t_x}{\rho_{4^{\circ}, H_2O}^{\rho} \cdot t_{H_2O}} \quad (5.10)$$

где су $\rho_{4^{\circ}, H_2O}^{\rho}$ и $\rho_{4^{\circ}, x}^{\rho}$ густине воде и испитиване супстанције, редом, на температури експеримента, а t_{H_2O} и t_x времена истицања воде и испитиване супстанције. Вредности $\rho_{4^{\circ}, H_2O}^{\rho}$ и η_{H_2O} на температури

експеримента могу се наћи у одговарајућим табелама. Вредност $\rho_{4^\circ, x}^{t^\circ}$ се може наћи у литератури или се може експериментално одредити.

5.5. Задаци

1. Густина неке супстанције на температури 50°C износи $1,045\text{ gcm}^{-3}$, а густина воде на истој температури $0,988\text{ gcm}^{-3}$. Испитивана супстанција протиче кроз вискозиметар за $150,6\text{ s}$, док је за исту запремину воде потребно $14,0\text{ s}$. Израчунати динамичку вискозност испитиване супстанције, ако је динамичка вискозност воде на датој температури $0,548 \cdot 10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Решење:

$$\theta = 50^\circ\text{C}$$

$$\rho_{4^\circ, x}^{t^\circ} = 1,045\text{ gcm}^{-3}$$

$$\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ} = 0,988\text{ gcm}^{-3}$$

$$t_x = 150,6\text{ s}$$

$$t_{H_2O} = 14,0\text{ s}$$

$$\eta_{H_2O} = 0,548 \cdot 10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\boxed{\eta_x = ?}$$

$$\eta_x = \eta_{H_2O} \frac{\rho_{4^\circ, x}^{t^\circ} t_x}{\rho_{4^\circ, H_2O}^{t^\circ} t_{H_2O}} = 0,548 \cdot 10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s} \frac{1,045\text{ gcm}^{-3} \cdot 150,6\text{ s}}{0,988\text{ gcm}^{-3} \cdot 14\text{ s}} =$$

$$= 6,23 \cdot 10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s}$$

2. Ричиновско уље на температури 20°C има динамичку вискозност $\eta = 4,77\text{ Pa}\cdot\text{s}$ и густину $0,96\text{ gcm}^{-3}$. Куглица пречника 10 mm и густине $7,65\text{ gcm}^{-3}$ слободно пада кроз ову вискозну средину. Израчунати време за које куглица пређе пут од 2 dm .

Решење:

$$\eta = 4,77\text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\theta = 20^\circ\text{C}$$

$$\rho_{4^\circ}' = 0,96\text{gcm}^{-3} = 960\text{kgm}^{-3}$$

$$\rho_{4^\circ}'' = 7,65\text{gcm}^{-3} = 7650\text{kgm}^{-3}$$

$$d = 10\text{ mm}$$

$$r = 5\text{ mm} = 0,005\text{ m}$$

$$l = 2\text{ dm} = 0,2\text{ m}$$

$$\boxed{t = ?}$$

$$\eta = \frac{2r^2 g (\rho_{4^\circ}'' - \rho_{4^\circ}')}{9v} = \frac{2r^2 g (\rho_{4^\circ}'' - \rho_{4^\circ}') t}{9l}$$

$$t = \frac{9l\eta}{2r^2 g (\rho_{4^\circ}'' - \rho_{4^\circ}')} = \frac{9 \cdot 0,2\text{ m} \cdot 4,77\text{ Pa} \cdot \text{s}}{2(0,005\text{ m})^2 \cdot 9,81\text{ ms}^{-2} \cdot (7650 - 960)\text{ kgm}^{-3}} = 2,62\text{ s}$$

3. Одредити динамичку вискозност воде на температури 20°C ако из капиларе дужине 10 dm и пречника 8 mm , под притиском који даје стуб воде висине 50 cm , за 3 минута истекне 217 cm^3 воде. Густину воде на 20°C очитати из табеле 7 у Прилогу.

Решење:

$$\theta = 20^\circ\text{C}$$

$$l = 10\text{ dm} = 0,1\text{ m}$$

$$d = 8\text{ mm}$$

$$r = 4\text{ mm} = 0,004\text{ m}$$

$$h = 50\text{ cm} = 0,5\text{ m}$$

$$t = 3\text{ min} = 180\text{ s}$$

$$V = 217\text{ cm}^3 = 2,17 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3$$

$$\boxed{\eta = ?}$$

$$P = \rho_{4^\circ, H_2O}'' gh = 998,230\text{ kgm}^{-3} \cdot 9,81\text{ ms}^{-2} \cdot 0,5\text{ m} = 4896,3\text{ Pa}$$

$$\eta = \frac{r^4 \pi P t}{8LV} = \frac{(4 \cdot 10^{-4}\text{ m})^4 \cdot 3,14 \cdot 4896,3\text{ Pa} \cdot 180\text{ s}}{8 \cdot 0,1\text{ m} \cdot 2,17 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3} = 0,00041\text{ Pa} \cdot \text{s}$$

ПРИЛОГ

Табела 1. Основне величине у SI са називима и ознакама јединица.

Физичка величина	Назив јединице	Ознака
Дужина	метар	m
Маса	килограм	kg
Време	секунда	s
Јачина електричне струје	ампер	A
Термодинамичка температура	келвин	K
Светлосна јачина	кандела	cd
Количина супстанције	мол	mol

Дефиниције основних јединица:

Метар је дужина пута коју светлост пређе у вакууму за време од $(1/299\,792\,458)$ делова секунде.

Килограм је маса међународног еталона масе, који се налази у Међународном бироу за мере и тегове у Севру крај Париза.

Секунда је трајање $9\,192\,631\,770$ периода зрачења које одговара прелазу између два хиперфина енергијска нивоа основног стања чистог изотопа ^{133}Cs .

Ампер је јачина оне једносмерне струје која када протиче кроз два праволијнска паралелна проводника бесконачне дужине на међусобном растојању од једног метра у вакууму, производи силу између проводника интензитета од $2 \cdot 10^{-7}$ њутна по метру дужине.

Келвин је $1/273,16$ -ти део термодинамичке температуре тројне тачке воде.

Кандела је светлосна јачина у датом правцу, из извора који емитује монохроматско зрачење учестаности $540 \cdot 10^{12}$ херца, а има у том правцу енергетску јачину од $1/683$ вата постерадијану.

Мол је количина супстанције (градива) у систему који садржи онолико елементарних јединки колико има атома у $0,012$ килограма чистог изотопа ^{12}C . Број атома у $0,012$ килограма чистог изотопа ^{12}C једнак је Авогадроовој константи, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Потребно је одредити елементарну јединку која може бити атом, молекул, јон, електрон, фотон или одређена група ових јединки.

Табела 2. Префикси SI јединица.

Умножак	Префикс	Симбол	Умножак	Префикс	Симбол
10^{-1}	деци	d	10	дека	da
10^{-2}	центи	c	10^2	хекто	h
10^{-3}	мили	m	10^3	кило	k
10^{-6}	микро	μ	10^6	мега	M
10^{-9}	нано	n	10^9	гига	G
10^{-12}	пико	p	10^{12}	тера	T
10^{-15}	фемто	f	10^{15}	пета	P
10^{-18}	ато	a	10^{18}	екса	E