

ПРОТОКОЛ I

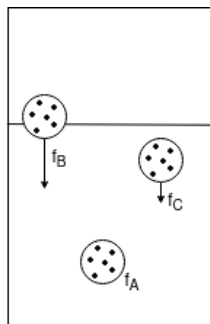
МОЛЕКУЛНА ФИЗИКА

Коефициент на повърхностно напрежение

Лабораторно упражнение №3.6

Виолета Кабаджова,
ККТФ, фак. номер: ЗРН0600026

Физически Факултет,
Софийски Университет "Св. Климент Охридски"
02 юни 2023 г.



Фигура 1: Към извод за кохезионни сили

1 Теоритична част

Всяка молекула взаимодейства само с тези, намиращи се в нейния т.нар. радиус на междумолекулно взаимодействие, равняващ се на най-много няколко ефективни диаметъра на молекулата.

Нека изследваме молекули на течност в равновесно състояние, разположени както е показано на фиг. 1. Около изследваните молекули са начертани радиусите на междумолекулно взаимодействие, заедно с молекулите, с които изследваната влиза в контакт. Поради еднаквата плътност на течността във всички посоки и немалкият брой взаимодействащи молекули в околността на молекулите, разположени във вътрешността на течността, им действат сили равномерно във всички посоки и равнодействащата на тези сили е нула. На молекулите, разположени на повърхността на течността обаче, им действат много повече сили на привличане навътре към течността отколкото силите на привличане извън нея, поради много по-ниската плътност на въздуха спрямо тази на течността. Резултатната на тези сили наричаме кохезионна сила и тя е перпендикулярна на повърхността на течността и насочена към вътрешността ѝ. Големината ѝ е по-голяма за молекулите, намиращи се точно на граничния слой на течността, спрямо тези, намиращи се по-навътре в течността.

В повърхностния слой се установява състояние на динамично равновесие, което означава, че във всеки момент молекулите преминаващи от повърхностния слой към обема на течността е равен на молекулите, движещи се в обратна посока. Поради кохезионните сили първия начин е много по-лесен, което води до това, че, за да може системата да влезе в

състояние на динамично равновесие, е необходимо броят на молекулите в повърхностния слой да е много по-малък. Поради това той се явява като "разтегнат" слой на течността и се появяват сили, противопоставящи се на тази деформация, наречени сили на повърхностно напрежение. Големината на тази сила, отнесена към единица дължина от контура наричаме коефициент на повърхностно напрежение σ , $[\sigma] = N/m$ (ур. 1).

$$\sigma = \frac{f_\sigma}{l} \quad (1)$$

Поради факта, че, за да се придвижи една молекула от граничния слой към обема на течността, е необходимо да се извърши работа, то в повърхностния слой възниква потенциална енергия U_s (от $U_{surface}$), пропорционална на повърхността S на течността, откъдето може да се даде и нова дефиниция за σ - ур. 11, $[\sigma] = J/m^2$.

$$\sigma = \frac{U_s}{S} \quad (2)$$

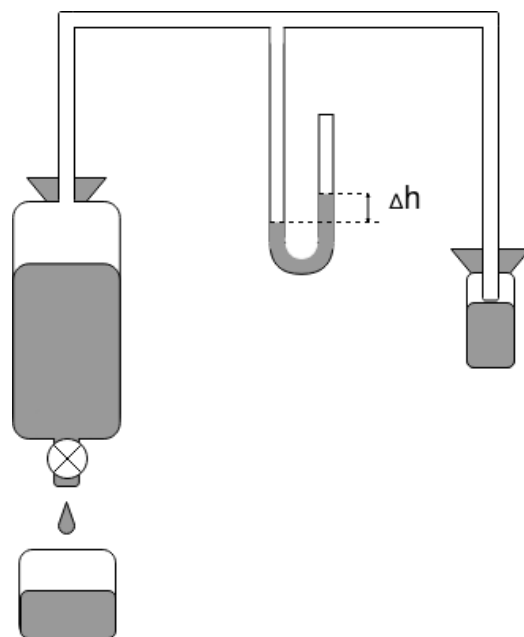
Трета дефиниция, която може да се даде на *sigma* включва работата δA , която трябва да се извърши при $T = \text{const}$, за да се измени свободната повърхност с dS :

$$\delta A = -dU_s = -\sigma dS, \sigma = -\frac{\delta A}{dS} \quad (3)$$

2 Експериментална част

2.1 Експериментална установка

На фиг. 2 в бурканчето, разположено вдясно, се поставя последователно спирт 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, течност с неизвестно съдържание на спирт X% и дестилирана вода, които изследваме едно след друго. Капилярката е така поставена, че едва да докосва повърхността на изследваната течност. Когато крана на аспиратора (най-вляво на фигурата) се отвори леко, поставената в него вода, започва да тече под формата на капчици. Това предизвиква разлика в налягането, което води до оформяне на капчица в изследваната течност. Отчита се максималната стойност на Δh в диференциалния манометър при постоянно отделяне на мехурчета в течността.



Фигура 2: Схема на опитна постановка

Поради капилярните свойства, течността в капилярката се изкривява (вдлъбната или изпъкнала). Промяната на налягането под изкривената сферична повърхност се дава от формулата на Лаплас - ур. 4, където R - радиуса на повърхността. Стойността е положителна, когато повърхността е изпъкнала, и отрицателна в обратния случай.

$$\Delta p = \pm \frac{2\sigma}{R} \quad (4)$$

Когато течността мокри капилярката, повърхността ѝ е вдлъбната ($\Delta p < 0$). Тогава налягането под повърхността на течността в капилярката намалява (ур. 5) - p_{atm} - атмосферно налягане, R - радиус на капилярката. За да се компенсира разликата в налягането, течността в капилярката се издига на височина h и създава допълнително хидростатично налягане $\rho_T g h$, където ρ_T е плътността на изследваната течност (ур. ??), откъдето следва уравнение 7.

$$p = p_{atm} - \frac{2\sigma}{R} \quad (5)$$

$$p_{atm} = p + \rho_T g h \quad (6)$$

$$\frac{2\sigma}{R} = \rho_T g h \quad (7)$$

Формула 4 ни дава точната граница на налягане, диференциално малко след която се откъсва мехурче от капилярката, следователно ???. Диференциалният манометър измерва $p_{atm} - p_{min} = \rho g \Delta h$, където ρ е плътността на течността в манометъра, а Δh - разликата във височините на двете колена на манометъра. Тогава за коефициента на вътрешно напрежение се получава формула 9.

$$p_{min} = p_{atm} - \frac{2\sigma}{R} \quad (8)$$

$$\sigma = R \frac{\rho g \Delta h}{2} \quad (9)$$

2.2 Задача: Измерване на коефициента на повърхностно напрежение на разтвор на спирт и вода с различни концентрации по абсолютния метод

Използваме формула 9, за да открием σ , като грешката оценяваме отгоре чрез формула 10. Резултатите записваме в таблици 1 до 7 включително.

$$\Delta\sigma = \sigma \left[\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta(\Delta\bar{h})}{\Delta\bar{h}} \right] \quad (10)$$

2.3 Задача 2: Определяне коефициента на повърхностно напрежение по относителния метод

$$\sigma_0 = \frac{R\rho g \Delta h_0}{2} \quad (11)$$

$$\sigma_0 = b \Delta h_0 \quad (12)$$

При относителния метод отново използваме същата формула за намиране на повърхностното напрежение (формула 11). Полагаме $\frac{R\rho g}{2} = b = 13.75$, с което уравнение 11 придобива вида на уравнение 12. Изчислявайки отново σ за течността $X\%$, получаваме същата стойност.

N	Δh , [cm]	$(h_i - h)^2$
1	3.5	0.0196
2	3.8	0.0256
3	3.5	0.0196
4	3.5	0.0196
5	3.9	0.0676
Δh	$(3.64 \pm 0.35) \cdot 10^{-2}$ m	$\Delta\Delta h/\Delta h = 0.10$
σ	0.501 ± 0.049 N/m	$\Delta\sigma/\sigma = 0.10$

Таблица 1: Измервания и результаты - раствор 10%

N	Δh , [cm]	$(h_i - h)^2$
1	3.5	0.0676
2	3.1	0.0196
3	3.3	0.0036
4	3.3	0.0036
5	3.0	0.0576
Δh	$(3.24 \pm 0.35) \cdot 10^{-2}$ m	$\Delta\Delta h/\Delta h = 0.10$
σ	0.446 ± 0.049 N/m	$\Delta\sigma/\sigma = 0.11$

Таблица 2: Измервания и результаты - раствор 20%

N	Δh , [cm]	$(h_i - h)^2$
1	2.6	0.0036
2	2.7	0.0256
3	2.5	0.0016
4	2.5	0.0016
5	2.4	0.0196
Δh	$(2.54 \pm 0.20) \cdot 10^{-2}$ m	$\Delta\Delta h/\Delta h = 0.08$
σ	0.400 ± 0.029 N/m	$\Delta\sigma/\sigma = 0.08$

Таблица 3: Измервания и результаты - раствор 30%

N	Δh , [cm]	$(h_i - h)^2$
1	2.1	0.0784
2	2.4	0.0004
3	2.6	0.0484
4	2.4	0.0004
5	2.4	0.0004
Δh	$(2.38 \pm 0.32) \cdot 10^{-2}$ m	$\Delta\Delta h/\Delta h = 0.14$
σ	0.328 ± 0.045 N/m	$\Delta\sigma/\sigma = 0.14$

Таблица 4: Измервания и результаты - раствор 40%

N	Δh , [cm]	$(h_i - h)^2$
1	2.1	0.0144
2	2.3	0.0064
3	2.1	0.0144
4	2.3	0.0064
5	2.3	0.0064
Δh	$(2.22 \pm 0.20) \cdot 10^{-2}$ m	$\Delta\Delta h/\Delta h = 0.09$
σ	0.306 ± 0.028 N/m	$\Delta\sigma/\sigma = 0.09$

Таблица 5: Измервания и результаты - раствор 50%

N	Δh , [cm]	$(h_i - h)^2$
1	2.6	0.0576
2	2.3	0.0036
3	2.4	0.0016
4	2.3	0.0036
5	2.2	0.0256
Δh	$(2.36 \pm 0.27) \cdot 10^{-2}$ m	$\Delta\Delta h/\Delta h = 0.11$
σ	0.325 ± 0.038 N/m	$\Delta\sigma/\sigma = 0.12$

Таблица 6: Измервания и результаты - раствор X%

Величина	Стойност и грешка	Мерна единица
Радиус на капилярката R	$(0.563 \pm 0.0005) \cdot 10^{-2}$	m
Плътност на течност в диференциалния манометър (вода) ρ	997 ± 0.5	kg/m ³
Земно ускорение g	9.81	m/s ²

Таблица 7: Константи, използвани при пресмятанията