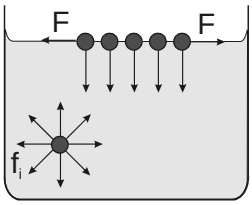
C10. Wyznaczanie współczynnika napięcia powierzchniowego metodą kapilarną

***Celem ćwiczenia** jest poznanie efektów powierzchniowych w cieczach, zjawisk włoskowatości i transportu kapilarnego oraz wyznaczenie współczynników napięcia powierzchniowego dla dwóch różnych cieczy.*



Na każdą cząsteczkę znajdującą się w warstwie powierzchniowej cieczy, tzn. na powierzchni cieczy lub pod powierzchnią, ale w promieniu jej ***sfery działania*** (tzn. w zasięgu działania sił międzycząsteczkowych, rzędu 10^{-9} m) działa wypadkowa siła, różna od zera i skierowana w głąb cieczy. (Wewnątrz cieczy wypadkowa wszystkich sił międzycząsteczkowych, działających na dowolną cząsteczkę, jest równa zeru).

W konsekwencji, warstwa powierzchniowa cieczy wywiera na jej niższe warstwy ciśnienie, zwane ***ciśnieniem molekularnym*** oraz charakteryzuje ją ***powierzchniowa energia potencjalna***. Zgodnie z zasadą minimum energii potencjalnej, warstwa powierzchniowa będzie w równowadze trwałej wtedy, gdy siły przyciągania międzycząsteczkowego będą do niej prostopadłe, uzyskując minimalną powierzchnię swobodną cieczy.

Zwiększenie powierzchni cieczy można uzyskać:

1/ poprzez przenoszenie cząsteczek z wnętrza cieczy na jej powierzchnię wbrew ciśnieniu molekularnemu lub

2/ poprzez zwiększenie powierzchni cieczy wbrew siłom międzycząsteczkowym, działającym w warstwie powierzchniowej. Siły te nazywamy ***siłami napięcia powierzchniowego.*** Działają one zawsze stycznie do powierzchni i w kierunku zmniejszania tej powierzchni.

Wartość wypadkowej siły napięcia powierzchniowego *F*, działającej na powierzchnię *S*, jest wprost proporcjonalna do długości obwodu *l* ograniczającego tę powierzchnię:

$$F = \alpha \cdot l \qquad (1) \qquad \text{stąd:} \qquad \alpha = \frac{F}{l} \ \text{[N/m]} \qquad (2)$$

Wielkość α jest ***współczynnikiem napięcia powierzchniowego,*** który zależy od rodzaju cieczy oraz od temperatury.

Działając stycznie na powierzchnię *S* siłą *F*, równą sile napięcia powierzchniowego, powodujemy zwiększenie tej powierzchni o ΔS. Wykonana przy tym ***praca W*** jest proporcjonalna do przyrostu powierzchni:

$$W = \alpha \cdot \Delta S \qquad (3)^*$$

i przyczynia się do wzrostu powierzchniowej energii potencjalnej cieczy.

* stąd wynika ***druga definicja*** współczynnika napięcia powierzchniowego:

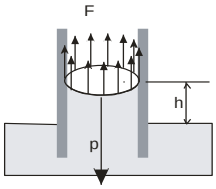
$$\alpha = \frac{W}{\Delta S} \ \text{[J/m}^2\text{]} \qquad (4)$$

Jedną z metod pomiaru współczynnika napięcia powierzchniowego jest metoda oparta na ***zjawisku włoskowatości.*** Zastosujemy ją w niniejszym ćwiczeniu.

Zjawisko włoskowatości polega na wznoszeniu się ***cieczy zwilżających**** w naczyniach kapilarnych, wbrew sile ciężkości, i na opadaniu ***cieczy nie zwilżających****.

Jeżeli **siły przylegania (adhezji) między cząsteczkami cieczy i ciała stałego (np. szkła) są większe od **sił spójności (kohezji)** między cząsteczkami samej cieczy, mówimy o **zwilżaniu ciała stałego przez ciecz**. W przeciwnym wypadku, mamy do czynienia z cieczami nie zwilżającymi. Zwilżanie lub nie zwilżanie ciał stałych przez ciecze jest przyczyną powstawania **menisków,** czyli zakrzywionych powierzchni cieczy na granicy jej zetknięcia się z ciałem stałym.*

Jeżeli rurkę kapilarną zanurzymy częściowo w naczyniu z cieczą, doskonale zwilżającą, o gęstości ρ i napięciu powierzchniowym α, to powstanie ***menisk wklęsły*** o ***kącie zetknięcia*** równym zeru. Siła napięcia powierzchniowego F jest skierowana wówczas pionowo do góry i równa: $F = \alpha \cdot l$, gdzie l jest obwodem poprzecznego przekroju rurki. Jeżeli jest on kołowy, to $l = 2\pi r$, a $F = 2\pi r \cdot \alpha$.



Siła *F* będzie powodowała wznoszenie się cieczy w kapilarze tak długo, aż nie zrównoważy jej siła ciężkości Q wzniesionego słupa. Jeżeli ciecz wzniesie się na wysokość h, to ***ciężar*** tego słupa cieczy wynosi: $Q = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot \pi r^2 h \cdot g$.

Z porównania obu sił ($F = Q$) otrzymujemy równanie: $2\pi r \cdot \alpha = \rho \cdot \pi r^2 h \cdot g$,

z którego wyliczamy współczynnik napięcia powierzchniowego cieczy znajdującej się w kapilarze:

$$\alpha = \frac{r \cdot \rho \cdot h \cdot g}{2} \quad . \qquad (5)$$

Literatura uzupełniająca:

1. S. Przestalski – Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki – Część 2 rozdz.4
2. P.G. Hewitt – Fizyka wokół nas – rozdz. 12

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki* (**https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/**) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*),

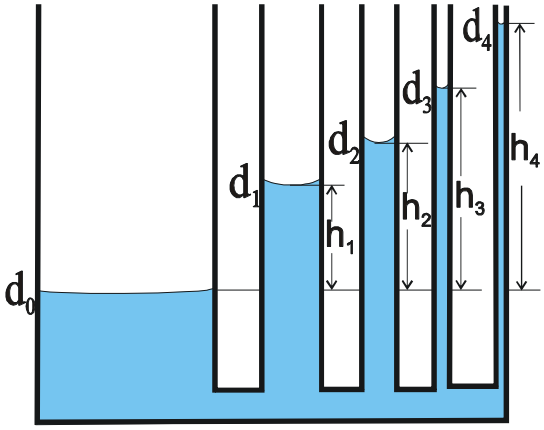
C10. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: układ kapilar o różnych przekrojach, katetometr

1. Statyw z zamocowanym układem kapilar napełnionych do połowy wodą destylowaną i badaną cieczą ustawiamy na wprost katetometru.
2. Lunetkę katetometru ustawiamy tak, aby środkowy punkt menisku w najszerszej rurce wypełnioną wodą destylowaną pokrywał się z przecięciem linii pajęczych widocznych w polu widzenia. Odczytujemy na skali katetometru położenie lunetki z dokładnością do 0.05 10^{-3} m, jako równe poziomowi odniesienia d_0.
3. W podobny sposób mierzymy poziom menisku wody destylowanej d_i w pozostałych rurkach dla i = 1,2,3,4.



4. Analogicznie jak w punktach 2 i 3 przeprowadzamy pomiary wzniesienia kapilarnego dla badanej cieczy.
5. Mierzymy temperaturę otoczenia.

Tabela 1 *temperatura pomiaru:* t = ……. [°C]

Rodzaj cieczy: **Woda** *gęstość wody*: ρ_w = ……..……... [kg/m^3]

L.p.	Promień r_i [m] •10^{-3}	Odczyty z katetometru d_i [m]	Wzniesienie kapilarne h_i [m]	Napięcie powierzchniowe α_i [N·m^{-1}]
		d_o =		
	r_1 = 1,553	d_1 =	h_1 =	
	r_2 = 1,305	d_2 =	h_2 =	
	r_3 = 0,696	d_3 =	h_3 =	
	r_4 = 0,355	d_4 =	h_4 =	

Wartość średnia $\alpha_{wśr}$ =		Zestawienie ($\alpha_{wśr} \pm \Delta\alpha_{wśr}$) [N·m^{-1}]
Błąd wartości średniej $\Delta\alpha_{wśr}$ =		

Tabela 2

Rodzaj cieczy: …….. *gęstość cieczy*: ρ_c = …….……...[kg/m^3]

L.p.	Promień r_i [m] •10^{-3}	Odczyty z katetometru d_i [m]	Wzniesienie kapilarne h_i [m]	Napięcie powierzchniowe α_i [N·m^{-1}]
		d_o =		
	r_1 = 1,666	d_1 =	h_1 =	
	r_2 = 0,998	d_2 =	h_2 =	
	r_3 = 0,763	d_3 =	h_3 =	
	r_4 = 0,531	d_4 =	h_4 =	

Wartość średnia $\alpha_{cśr}$ =		Zestawienie ($\alpha_{cśr} \pm \Delta\alpha_{cśr}$) [N·m^{-1}]
Błąd wartości średniej $\Delta\alpha_{cśr}$ =		

Opracowanie wyników

1. Z tablic fizycznych odczytujemy gęstość wody ρ_w i badanej cieczy ρ_c w temperaturze pomiaru.
2. Dla obu cieczy obliczamy wysokości wzniesienia kapilarnego dla poszczególnych kapilar, jako różnicę poziomów $h_i = d_i - d_0$.
3. Obliczone wartości wzniesienia kapilarnego h_i i odpowiednie wartości promieni kapilar r_i (obydwie wielkości wyrażone w metrach) oraz gęstości wody ρ_w lub cieczy ρ_c [kg/m^3] podstawiamy do wzoru: $\alpha = \dfrac{r \cdot \rho \cdot h \cdot g}{2}$ i obliczamy współczynniki napięcia powierzchniowego α_i dla wody i dla badanej cieczy.
4. Obliczamy średnie wartości współczynników napięcia powierzchniowego dla wody $\alpha_{wśr}$ i dla badanej cieczy $\alpha_{cśr}$.
5. Bezwzględny błąd pomiaru współczynnika napięcia powierzchniowego dla badanej cieczy i dla wody obliczamy jako trzykrotną wartość odchylenia standardowego, czyli:
$$\Delta\alpha = 3 \cdot SD = 3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\alpha_{śr.} - \alpha_i)^2}{n(n-1)}}$$
6. Dla obu cieczy zestawiamy otrzymane średnie wartości $\alpha_{śr.}$ z – odpowiednio zaokrąglonymi - błędami bezwzględnymi, czyli: ($\alpha_{wśr} \pm \Delta\alpha_{wśr}$)jedn.SI oraz ($\alpha_{cśr} \pm \Delta\alpha_{cśr}$)jedn.SI.