



**ĆWICZENIE
33**

POMIAR NAPIĘCIA POWIERZCHNIOWEGO

Cel ćwiczenia: Zapoznanie się z opisem oddziaływań międzycząsteczkowych, oraz prostymi metodami pomiaru napięcia powierzchniowego cieczy.

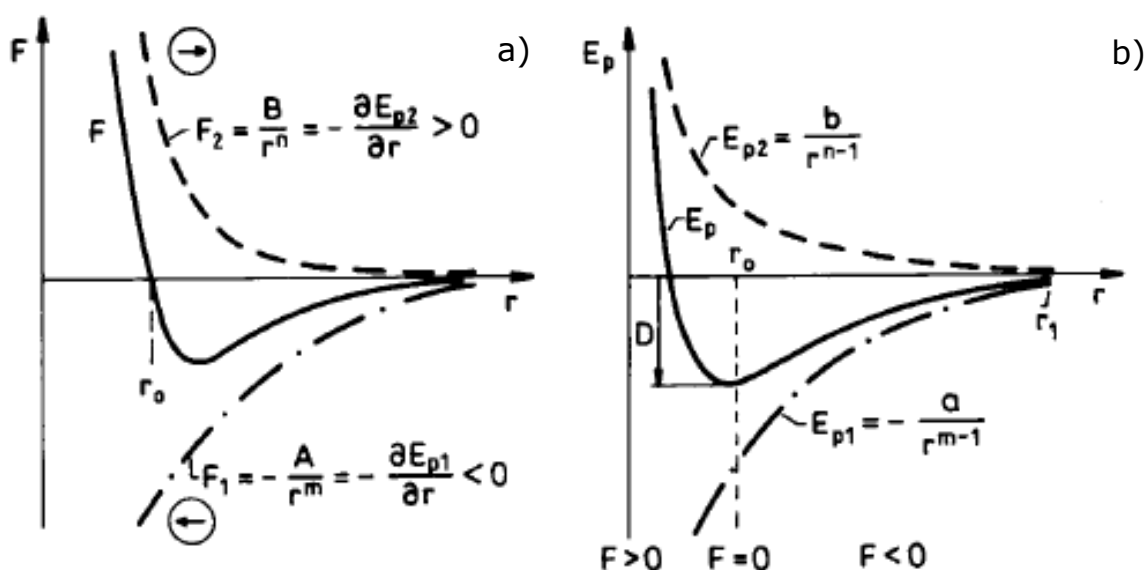
Zagadnienia: Natura i charakter oddziaływań międzycząsteczkowych w cieczach, napięcie powierzchniowe cieczy, ciśnienie pod zakrzywioną powierzchnią cieczy, meniski wklęsły i wypukły, metody pomiaru napięcia powierzchniowego.

1 Wprowadzenie

Siły wiążące cząsteczki w cieczach są inne niż siły występujące w wiązaniach chemicznych. Siły oddziaływań międzycząsteczkowych cieczy działają między elektrycznie obojętnymi atomami lub cząsteczkami. Siły te nazywamy siłami Van der Waalsa. Gdy odległość r między dwiema elektrycznie obojętnymi cząsteczkami jest dostatecznie mała, to rozkłady ładunków elektrycznych w tych cząsteczkach ulega deformacji i związanej z tym polaryzacji. Wówczas, pomiędzy cząstkami działa siła wypadkowa będąca sumą dwu sił: siły przyciągającej, \vec{F}_1 , działającej pomiędzy różnoimiennymi ładunkami oraz siły odpychającej, \vec{F}_2 , działającej pomiędzy ładunkami tego samego znaku:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 . \quad (1)$$

Pełny opis siły działającej pomiędzy cząstkami wymaga zastosowania mechaniki kwantowej.



Rys. 1. Oddziaływanie Van der Waalsa: a) zależność siły i b) energii potencjalnej od odległości pomiędzy dwoma cząsteczkami

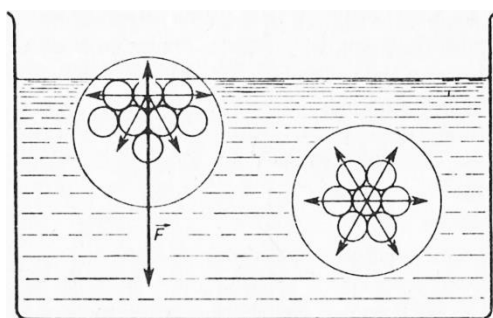
Dla dużych odległości pomiędzy cząstkami dominuje siła przyciągająca \vec{F}_1 , a gdy zmniejszymy odległość między tymi cząsteczkami, to zaczynają dominować siły odpychania \vec{F}_2 . Istnieje więc taka odległość r_0 pomiędzy dwiema cząsteczkami, przy której siły przyciągania i odpychania równoważą się. Siłom tym odpowiadają energie potencjalne E_{p1} i E_{p2} . Wypadkowa energia potencjalna E_p jest ich sumą algebraiczną.

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} . \quad (2)$$

Dla odległości r_0 , występuje stan równowagi w którym energia potencjalna osiąga minimum, a siła $F(r_0) = 0$. Na odległościach mniejszych od r_0 dominują siły odpychania, zaś na odległościach większych od r_0 - siły przyciągające. Wtedy energia oddziaływania obu cząsteczek osiąga minimum D (rys. 1). Siły Van der Waalsa stają się znikomo małe dla odległości większych od 1 nm.

1.1 Napięcie powierzchniowe cieczy na granicy z inną fazą

Średnie odległości cząsteczek w cieczach są znacznie mniejsze niż w gazach. Dlatego siły oddziaływania między cząsteczkami cieczy są o wiele większe niż siły oddziaływania między cząsteczkami gazu. Na cząsteczkę znajdującą się wewnątrz cieczy działają siły przyciągania pochodzące od otaczających ją cząsteczek. Ze względu na symetrię sferyczną siły te kompensują się tak, że ich wypadkowa równa się zeru (rys. 2). Na powierzchni cieczy siły przyciągania pochodzące od cząsteczek cieczy, tworzą wypadkową, która jest skierowana do wnętrza cieczy wzdłuż normalnej do jej powierzchni. Wypadkowa sił pochodzących od cząsteczek gazu lub pary działa na rozpatrywaną cząsteczkę także wzdłuż normalnej do granicy ciecz-gaz (para), ale jest skierowana na zewnątrz. Wartość tej siły jest jednakże wielokrotnie mniejsza niż siły przyciągania między cząsteczkami cieczy. Wypadkowa siła działająca na cząsteczki znajdujące się na powierzchni cieczy jest więc skierowana w głąb cieczy i wywiera ciśnienie rzędu dziesiątek tysięcy atmosfer. Na skutek tego powierzchnia



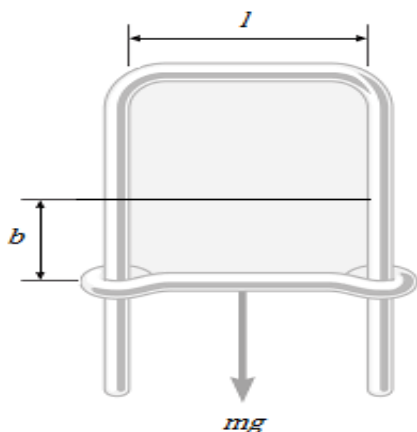
Rys. 2. Wypadkowa sił działających na cząsteczkę we wnętrzu i na powierzchni cieczy.

cieczy kurczy się. Gdy na ciecz nie działają siły zewnętrzne, to przyjmuje ona kształt kuli. Przeniesienie cząsteczek z wnętrza cieczy na jej powierzchnię jest związane z wykonaniem pracy przeciw wypadkowej sił międzycząsteczkowych. Cząsteczki na powierzchni cieczy mają większą energię potencjalną niż cząsteczki wewnątrz cieczy.

Napięciem powierzchniowym σ danej cieczy, na granicy z inną fazą, nazywamy pracę W potrzebną do izotermicznego zwiększenia powierzchni o wartość jednostkową ΔS .

$$\sigma = \frac{W}{\Delta S} . \quad (3)$$

Definicję tę lepiej zrozumieć na przykładzie. Jeżeli na ramce z drutu (rys. 3), której część o długości l jest ruchoma, utworzymy błonkę mydlaną przez zanurzenie jej w roztworze mydła, to napięcie powierzchniowe spowoduje zmniejszenie powierzchni błonki. Pod działaniem ciężaru części ruchomej ramki z jednej strony i sił napięcia powierzchniowego błonki z drugiej,



Rys. 3. Błonka mydlana naciągana na ramce

strony część ruchoma ramki zajmie położenie równowagi. Gdy do części ruchomej ramki podwiesimy dodatkowy ciężarek, jego ciężar mg spowoduje przesunięcie części ruchomej o b . W ten sposób zostanie wykonana praca $W = mgb$, pod wpływem której powierzchnia błonki powiększy się o $2S = lb$ (bo błonka ma dwie powierzchnie). Doświadczenie wykazuje, że stosunek pracy W do powierzchni $2s$ jest cechą charakterystyczną dla danej granicy faz, a więc

$$\sigma = \frac{W}{2s} = \frac{mgb}{2lb} = \frac{mg}{2l} = \frac{F}{2l}. \quad (4)$$

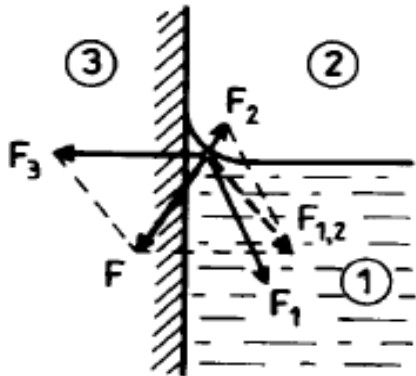
Część ruchoma ramki, a więc i swobodny brzeg ramki, przesuwa się pod działaniem siły stycznej do powierzchni błonki i normalnej do jej krawędzi swobodnej. Siłę tę można zrównoważyć za pomocą ciężarka. Jak widać ze wzoru (4), **napięciem powierzchniowym σ możemy nazwać także siłę F styczną do powierzchni cieczy, działającą na jednostkę długości obrzeża powierzchni cieczy.**

W układzie SI wymiarem napięcia powierzchniowego σ jest J/m^2 (wg def. pierwszej) lub N/m (wg def. drugiej).

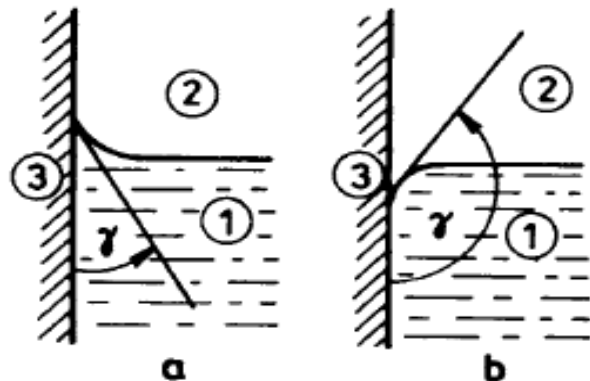
1.2 Napięcie na granicy rozdziału ośrodków

Na granicy cieczy, gazu i ciała stałego obserwuje się zakrzywienie powierzchni cieczy, zwane meniskiem. Menisk jest wynikiem rozkładu sił, które działają na cząsteczki cieczy znajdujące się w pobliżu granic trzech faz: cieczy, gazu i ciała stałego. Siłami kohezji nazywamy siły działające między cząsteczkami tego samego ciała. Siłami adhezji nazywamy siły działające między cząsteczkami różnych ciał. Na cząsteczkę znajdującą się na powierzchni i w pobliżu ścianki naczynia (ciała stałego) będą działały siły pochodzące od innych cząsteczek cieczy, cząsteczek ciała stałego i cząsteczek gazu (rys.4). Siła F_3 działająca na rozpatrywaną cząsteczkę, pochodząca od ścianki naczynia, będzie skierowana wzdłuż normalnej do ścianki i w kierunku ścianki. Siła F_1 pochodząca od cząsteczek cieczy będzie skierowana w głąb cieczy, a siła F_2 w głąb gazu (lub pary). Siła $F_{1,2}$ jest wypadkową sił F_1 i F_2 . Wartość siły F_2 jest znacznie mniejsza niż dwóch pozostałych. Jeżeli wypadkowa sił F będzie skierowana w dół i w kierunku ciała stałego (jak na rys. 4), to menisk cieczy będzie wklęsły, ponieważ swobodna powierzchnia cieczy musi mieć kierunek prostopadły do wypadkowej sił działających na

cząsteczki cieczy znajdujące się na jej powierzchni (rys. 5a). Jeżeli wypadkowa siła F będzie skierowana w dół i w kierunku cieczy, to obserwuje się menisk wypukły (rys. 5b).



Rys. 4. Rozkład sił działających na cząsteczkę cieczy znajdującą się na powierzchni cieczy w pobliżu ścianki naczynia.



Rys. 5. Meniski cieczy: a - zwilżającej, b - niezwilżającej ścianki naczynia, gdzie γ jest kątem między ścianką naczynia, a styczną do powierzchni cieczy.

Dzięki istnieniu napięcia powierzchniowego pod zakrzywioną powierzchnią cieczy działa dodatkowe ciśnienie. Według Laplace'a to dodatkowe ciśnienie wynosi

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (5)$$

przy czym R_1 i R_2 są promieniami krzywizn prostopadłych względem siebie przekrojów normalnych, dla których promienie krzywizny przyjmują wartości ekstremalne. Promienie te uważamy za dodatnie, gdy środki krzywizn przekrojów normalnych znajdują się po stronie cieczy, natomiast za ujemne, jeżeli środki znajdują się po stronie przeciwnej. W związku z tym dla menisku wklęsłego $\Delta p < 0$, a dla menisku wypukłego $\Delta p > 0$. Dodatkowe ciśnienie Δp jest zawsze wywierane w kierunku środka krzywizny menisku. Dla rurek o bardzo małej średnicy wewnętrznej zwanych kapilarami można przyjąć, że $R_1 = R_2 = R$ (wycinek powierzchni kuli), wtedy:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}. \quad (6)$$

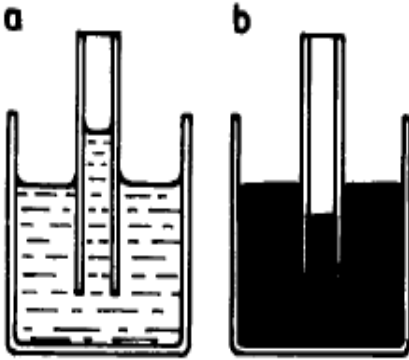
Takie jest też dodatkowe ciśnienie we wnętrzu pęcherzyka gazu o promieniu R , gdy znajduje się on tuż pod powierzchnią cieczy. Ciśnienie wewnątrz bańki mydlanej będzie dwa razy większe, ponieważ ma ona dwie powierzchnie: zewnętrzną i wewnętrzną. W cienkich kapilarach dodatkowe ciśnienie pod zakrzywioną powierzchnią powoduje wznoszenie się cieczy, gdy menisk jest wklęsły (zwilżanie rys. 6a) i opadanie cieczy, gdy menisk jest wypukły (brak zwilżania rys. 6b). Powyższe zjawisko, zwane zjawiskiem włoskowatości, odgrywa dużą rolę w przyrodzie. Umożliwia ono wznoszenie się soków w roślinach.

Wzór (6) można wyprowadzić w sposób następujący: na jednostkę krawędzi powierzchni swobodnej cieczy (rys. 7) działa siła napięcia powierzchniowego F , styczna do powierzchni cieczy. Jej składowa pozioma F_r jest zrównoważona sprężystym oddziaływaniem ścianki kapilary, natomiast składowa pionowa F_h powoduje podnoszenie się poziomu cieczy

$$F_h = F \cos \gamma, \quad \cos \gamma = \frac{r}{R}, \quad F_h = F \frac{r}{R}, \quad (7)$$

przy czym r jest promieniem kapilary, R zaś promieniem krzywizny menisku. Siła działająca na cały obwód krawędzi powierzchni cieczy o promieniu r wynosi

$$F = \frac{2\pi\sigma r^2}{R}. \quad (8)$$

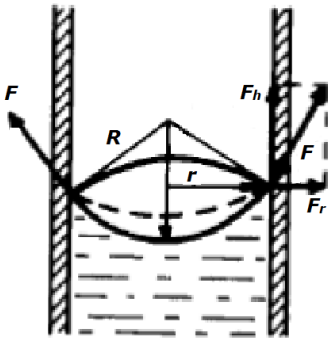


Rys. 6. Poziom cieczy w kapilarze:
a) „wznoszenie się” cieczy w kapilarze zwilżającej ścianki kapilary, b) „opadanie” cieczy w kapilarze nie zwilżającej ścianek kapilary

Dodatkowe ciśnienie Δp równa się stosunkowi tej siły do powierzchni przekroju przechodzącego przez obwód krawędzi cieczy, zatem

$$\Delta p = \frac{F}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{R}. \quad (9)$$

Innym efektem napięcia powierzchniowego jest utrudnione zanurzanie w cieczy ciał niepodatnych na zwilżanie tą cieczą lub utrudnione odrywanie się od powierzchni cieczy ciał przez tę ciecz zwilżanych. Znaczenie tych efektów jest niewielkie w przypadku dużych obiektów, ponieważ ich ciężar, proporcjonalny do trzeciej potęgi rozmiarów, jest znacznie większy od sił napięcia powierzchniowego, proporcjonalnych wprost do rozmiaru ciała. Jednak



Rys. 7. Schemat do obliczenia ciśnienia pod zakrzywioną powierzchnią

niewielkie przedmioty mogą dzięki napięciu powierzchniowemu utrzymywać się na powierzchni cieczy, mimo, iż utonęłyby po zanurzeniu. Przykładowo, nartnik (owad) utrzymuje się na powierzchni cieczy, dzięki napięciu powierzchniowemu. Dzięki temu może poruszać się znacznie szybciej, niż gdyby był zanurzony w wodzie.

Napięcie powierzchniowe w znacznym stopniu zależy od temperatury oraz od fazy, z którą styka się ciecz, dlatego podczas podawania konkretnych wartości napięcia powierzchniowego należy podać fazę, z którą dana ciecz się styka oraz temperaturę cieczy. Na ogół napięcie powierzchniowe maleje liniowo wraz ze wzrostem temperatury. Wszystko co wyżej opisano

dotyczy przypadku, gdy ciecz stanowi tzw. czystą fazę tzn. ciecz jednoskładnikową. Gdy mamy do czynienia z cieczą dwu lub wieloskładnikową występujące zjawiska są bardziej złożone. Mogą wystąpić przypadki gdy ciecze się nie mieszają i gdy dwie substancje mieszają się ze sobą. W pierwszym przypadku ciecz o mniejszej gęstości wypłynie na powierzchnię w postaci pojedynczych kropeł, lub w przypadku większej ilości równomiernie rozplynie się po całej powierzchni. Przypadek gdy ciecze mieszają się ze sobą dzieli się z kolei na dwa, zależne od sił występujących między rozpuszczalnikiem i substancją rozpuszczaną.

A) Jeżeli siły oddziaływania między cząsteczkami substancji rozpuszczonej i rozpuszczalnika są mniejsze od sił, które działają tylko między cząsteczkami rozpuszczalnika, to cząsteczki substancji rozpuszczonej zostają wypchnięte do warstwy powierzchniowej, w której występuje ich zwiększona koncentracja. Zjawisko takie nazywa się adsorpcją, a substancje zbierające się w warstwie powierzchniowej to substancje powierzchniowo czynne lub inaczej adsorbat. Rozpuszczalnik zaś lub materiał, który na swojej powierzchni gromadzi inny materiał, nazywa się adsorbentem. W tym przypadku napięcie powierzchniowe maleje (np. niewielka ilość detergentu dodanego do wody).

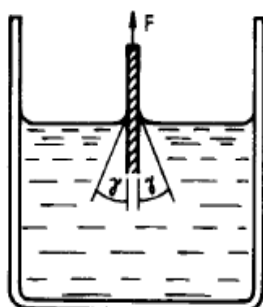
B) Jeżeli siły wzajemnego oddziaływania między cząsteczkami substancji rozpuszczonej i rozpuszczalnika są większe niż siły oddziaływania wzajemnego między samymi cząsteczkami rozpuszczalnika, to obserwuje się zjawisko zwane adsorpcją ujemną, podczas której koncentracja cząsteczek substancji rozpuszczonej w warstwie powierzchniowej jest mniejsza niż w pozostałej części roztworu. Substancje takie, jak elektrolity lub wodny roztwór cukru, mają większe napięcie powierzchniowe niż czysta woda.

2 Zasady pomiaru i układy pomiarowe do wyznaczania napięcia powierzchniowego

W Laboratorium Podstaw Fizyki, Wydziału Podstawowych Problemów Techniki na Politechnice Wrocławskiej pomiary napięcia powierzchniowego dokonuje się za pomocą następujących metod: odrywania, kapilary, stalagmometru i pęcherzykowej.

2.1 Metoda odrywania (ćw. 33a i 33e)

Do pomiaru napięcia powierzchniowego metodą odrywania używa się płytek metalowych, które są dobrze zwilżane przez badaną ciecz. Pomiar polega na wyznaczeniu siły potrzebnej do oderwania płytki, o znanym obwodzie, od powierzchni cieczy (rys. 8). Ciężar płytki Q i siłę F potrzebną do oderwania płytki od cieczy można zmierzyć za pomocą odpowiednio skonstruowanej wagi. Siła F potrzebna do oderwania płytki od powierzchni cieczy jest równa sumie ciężaru płytki Q oraz siły pochodzącej od napięcia powierzchniowego F_n .



Rys. 8. Zwilżanie blaszki metalowej przez ciecz

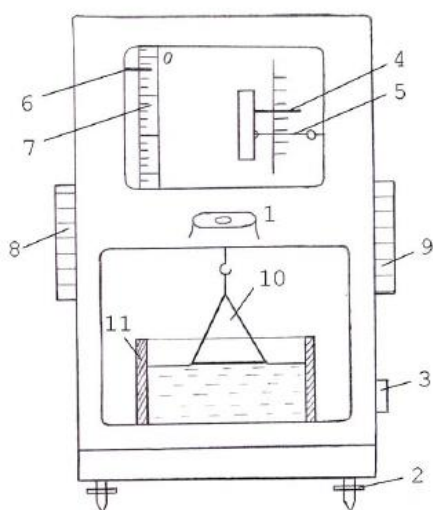
$$F = Q + F_n \quad (10)$$

$$F_n = 2\sigma(l + d) \cos \gamma \quad (11)$$

W równaniu (11) l jest długością krawędzi płytki zanurzonej w badanej cieczy w momencie jej oderwania a d jej grubością, kąt γ jest zawarty pomiędzy powierzchnią płytki i płaszczyzną styczną do powierzchni cieczy (rys. 8). W przypadku cieczy zwilżającej płytkę, na skutek działania sił adhezji, cząsteczki cieczy przylegają do metalu i kąt γ jest w przybliżeniu równy zeru, wtedy $\cos \gamma \approx 1$. Mamy zatem

$$\sigma = \frac{F-Q}{2(l+d)} \quad (12)$$

Jeżeli grubość płytki d jest mała w porównaniu z długością krawędzi l , to można ją pominąć. Do zmierzenia siły F i Q używamy wagi torsyjnej (rys. 9). Waga torsyjna działa na następującej zasadzie. Siła ciężkości ważonego ciała wytwarza pierwotny moment skręcający, który działa na jeden koniec sprężyny. Pokrętle 8 należy obracać w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara do chwili, gdy ruchoma wskazówka 4 ustawi się dokładnie na czerwonej kresce 5 oznaczającej równowagę. Wytwarza się wtedy moment kompensacyjny (przeciwnie skierowany niż moment pierwotny), który działa na drugi koniec sprężyny. Na ruchomej skali 7 można odczytać wartość siły Q w miejscu wskazywanym przez wskazówkę 11. Podczas odrywania zanurzonej płytki od powierzchni cieczy, w momencie jej oderwania odczytuje się wartość siły F . Przebieg pomiarów napięcia powierzchniowego na stanowisku z wagą torsyjną i opracowanie wyników znajduje się w instrukcji wykonawczej do ćwiczenia 33a.

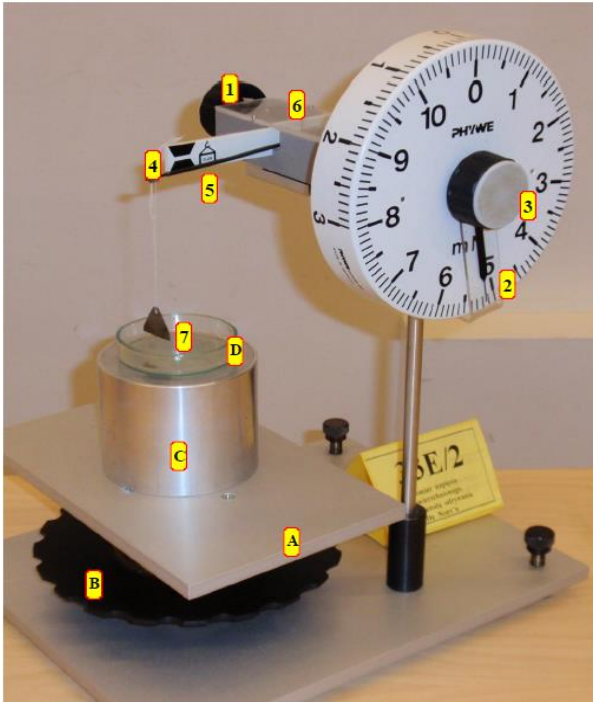


Rys. 9. Waga torsyjna

1. Poziomica
2. Śruby poziomujące
3. Aretaż
4. Wskazówka ruchoma
5. Czerwona kreska – wskaźnik równowagi
6. Wskazówka
7. Ruchoma skala
8. Pokrętło powodujące obrót skali 7
9. Pokrętło powodujące przesuw wskazówki 6
10. Płytkę metalowa
11. Naczynie pomiarowe z badana cieczą

Pomiar napięcia powierzchniowego metodą odrywania można również wykonać z użyciem wagi skrętnej (fot. 1. - ćw. 33e wraz z instrukcją wykonawczą). Główną jej część stanowi zawieszona na cienkiej nici torsyjnej 6 (cieka metalowa taśma) lekka, pozioma belka 5, na końcu której 4 podwieszona się blaszkę 7. Przed zanurzeniem blaszki w badanej cieczy jej ciężar Q kompensuje się za pomocą pokrętła 1 umocowanego do jednego końca taśmy. Wartość siły F_n w momencie odrywania zanurzonej blaszki od powierzchni badanej cieczy odczytuje się 2 ze skali pokrętła 3 sprzężonego z drugim końcem taśmy.

$$\sigma = \frac{F_n}{2(l+d)} \quad (13)$$



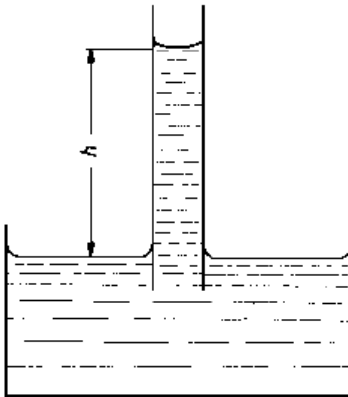
Fot. 1. Ogólny widok stanowiska pomiarowego z wagą skrętną:
 A – stolik z regulowaną wysokością,
 B – pokrętko regulacji wysokości,
 C – nadstawka,
 D – naczynie z badaną cieczą,
 Waga skrętna:
 1 – pokrętko zerowania,
 2 – wskazówka,
 3 – pokrętko główne,
 4 – miejsce zawieszenia płytki,
 5 – skala ramienia,
 6 – drut skręcany,
 7 – płytka pomiarowa.

Jeżeli zamiast blaszki użyjemy pierścieni o cienkiej ściance i średnicy D , to

$$\sigma = \frac{F_n}{2\pi D} . \quad (14)$$

Taką metodę pomiaru napięcia powierzchniowego zaproponował francuski fizyk Du Nouy.

2.2 Metoda kapilary (ćw. 33b)



Rys. 10. Pomiar napięcia powierzchniowego cieczy za pomocą kapilary

Jak opisano wcześniej, w kapilarze występuje dodatkowe ciśnienie Δp (wzór 9). Dla cieczy zwilżającej kąt γ pomiędzy powierzchnią cieczy w kapilarze a powierzchnią kapilary jest w przybliżeniu równy zero. Odpowiada to meniskowi o kształcie półkuli, wtedy $R = r$, gdzie r jest promieniem kapilary. Menisk ten powoduje zmianę ciśnienia o:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2\sigma}{r} . \quad (15)$$

Dla cieczy zwilżającej ścianki kapilary, poziom cieczy w kapilarze podnosi się tak długo, aż ciśnienie dodatkowe zostanie zrównoważone przez ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy wewnątrz kapilary p_h

$$\Delta p = p_h = \rho g h, \quad (16)$$

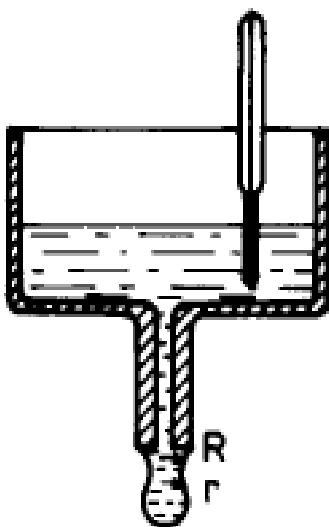
gdzie: ρ - gęstość cieczy, g - przyspieszenie ziemskie, h - wysokość słupa cieczy w kapilarze, mierzona od poziomu cieczy w naczyniu. Stąd

$$\sigma = \frac{\rho g h r}{2}. \quad (17)$$

Do pomiaru używa się kalibrowanych kapilar. Różnicę poziomów pomiędzy powierzchnią cieczy w naczynku i kapilarze h (rys. 10) odczytuje się z milimetrowej skali. Gęstość cieczy, po zmierzeniu jej temperatury, odczytuje się z tablic. Szczegółowy opis przebiegu pomiarów, oraz opracowanie wyników zawarty jest w instrukcji wykonawczej do ćwiczenia 33b.

2.3 Metoda stalagmometru (ćw. 33c)

Stalagmometr (rys.11) jest to naczynie zakończone kapilarą. Ciecz przepływa powoli przez kapilarę pod wpływem siły ciężkości, tworząc na jej końcu kroplę. Ciecz zwilża dolną podstawę kapilary i dobrze przylega do niej. Kropla powiększając się, ulega przewężeniu, po czym się



Rys. 11. Stalagmometr

odrywa. Zewnętrzny promień kapilary wynosi R , a promień przewężenia kropli w momencie odrywania r . Na cały obwód przewężenia kropli działa ciężar kropli mg , równoważący siłę napięcia powierzchniowego. Można więc napisać

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi r}. \quad (18)$$

Pomiar polega na wyznaczeniu promienia przewężenia r oraz masy kropli. Promień przewężenia można zmierzyć bezpośrednio za pomocą mikroskopu z okularnym wyposażonym w skalę, albo wyznaczyć go pośrednio. Główna trudność tego pomiaru polega na tym że jednocześnie należy obserwować dwie krawędzie przewężenia (lewą i prawą). Trudno także ustalić chwilę pomiaru. Dlatego w pracowni promień przewężenia wyznacza się w sposób

pośredni. Pomiar pośredni promienia przewężenia kropli polega na zastąpieniu promienia przewężenia r promieniem zewnętrznym kapilary R oraz na wprowadzeniu jednocześnie współczynnika $k = R/r$. Wtedy

$$\sigma = \frac{mgk}{2\pi R} . \quad (19)$$

Po wprowadzeniu nowej stałej $K = k/(2\pi)$, otrzymamy ostatecznie

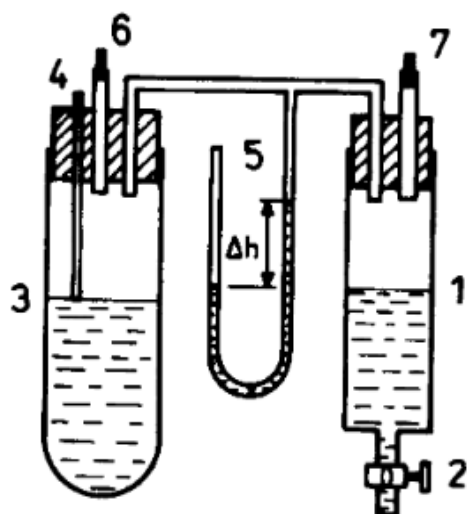
$$\sigma = \frac{mgK}{R} . \quad (20)$$

Czynnik liczbowy K jest funkcją zależną od wyrażenia

$$U = \frac{m}{\rho_T R^3} , \quad (21)$$

w którym m jest masą jednej kropli, a ρ_T jest gęstością badanej cieczy w temperaturze jaką miała w momencie pomiaru. Jako masę pojedynczej kropli przyjmuje się uśrednioną masę np. 50 kropli. Zależność K od U jest podana w Tabelicy 1 instrukcji wykonawczej do ćwiczenia 33c. W niej też podany jest szczegółowy opis przebiegu pomiarów, oraz opracowanie wyników.

2.4 Metoda pęcherzykowa (ćw. 33d)



Rys. 12. Urządzenie do pomiaru napięcia powierzchniowego metodą pęcherzykową
 1. Naczynie z wodą do wytwarzania podciśnienia
 2. Zawór spustowy
 3. Naczynie z badaną cieczą
 4. Kapilara
 5. Manometr cieczowy
 6. Rurka do uzupełniania badanej cieczy
 7. Rurka do uzupełniania wody

Urządzenie do pomiaru napięcia powierzchniowego metodą pęcherzykową przedstawiono na rys. 12. Jeżeli z naczynia 1 przez zawór 2 będzie wypływać woda, to ciśnienie w zbiornikach 1 i 3 będzie się zmniejszać. W pewnej chwili u wylotu kapilary 4, który znajduje się tuż pod powierzchnią badanej cieczy, zaczną się tworzyć pęcherzyki powietrza. Dolny koniec kapilary 4 jest zakończony stożkowo, tak że otwór kapilary i tworzące stożka stanowią ostrą krawędź. Promień pęcherzyka R jest równy promieniowi kapilary r . Ciśnienie wewnątrz pęcherzyka jest równe ciśnieniu atmosferycznemu p_a . Ciśnienie to jest równoważone przez ciśnienie pochodzące od napięcia powierzchniowego cieczy $2\sigma/r$ oraz ciśnienia p_w , panującego wewnątrz naczynia 3, zatem

$$p_a = \frac{2\sigma}{r} + p_w, \quad (22)$$

$$\Delta p = p_a - p_w = \frac{2\sigma}{r}. \quad (23)$$

Wartość $p_a - p_w$ można obliczyć na podstawie różnicy poziomów cieczy Δh w manometrze 5

$$p_a - p_w = \rho_T g \Delta h, \quad (24)$$

gdzie ρ_T jest gęstością cieczy w manometrze. Zatem

$$\frac{2\sigma}{r} = \rho_T g \Delta h, \quad (25)$$

stąd

$$\sigma = \frac{1}{2} \rho_T g \Delta h r. \quad (26)$$

Aby był spełniony warunek zrównoważenia ciśnień, pęcherzyki powietrza wychodzące z kapilary 4 powinny się tworzyć wolno. Opisana metoda może być stosowana do pomiaru napięcia powierzchniowego różnych cieczy. W ćwiczeniu 33d mierzymy napięcie powierzchniowe wody. Szczegółowy opis przebiegu pomiarów, oraz opracowania wyników znajduje się w instrukcji wykonawczej do tego ćwiczenia.

3 Pytania:

1. Jaki jest warunek równowagi sił działających pomiędzy dwoma cząsteczkami cieczy?
2. Przedstawić rozkład sił działających na cząsteczkę znajdującą się wewnątrz cieczy i na jej powierzchni. Dlaczego powierzchnia cieczy kurczy się?
3. Zdefiniować pojęcie napięcia powierzchniowego (jednostka). Od czego zależy napięcie powierzchniowe?
4. Wyjaśnić zjawisko menisku. Co decyduje o jego rodzaju?
5. Od czego zależy ciśnienie Laplace'a pod zakrzywioną powierzchnią cieczy?
6. Podać przykłady występowania napięcia powierzchniowego w życiu codziennym.
7. Opisać sposób wyznaczenia napięcia powierzchniowego metodą odrywania. Jakie siły działają na płytkę zanurzoną w cieczy?
8. Przedstawić sposób wyznaczenia napięcia powierzchniowego metodą kapilary. Od czego zależy wysokość słupa cieczy w kapilarze zanurzonej w cieczy?
9. Omówić sposób wyznaczenia napięcia powierzchniowego metodą stalagmometru. Jak można wyznaczyć promień przewężenia kropli?
10. Objąć sposób wyznaczenia napięcia powierzchniowego metodą pęcherzykową. Jakie ciśnienie panuje w pęcherzyku powietrza znajdującego się w cieczy?

Opracowano na podstawie podręcznika - „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki” pod redakcją Ryszarda Żuczkowskiego, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1989 r.

opracował Zbigniew Gumienny