

**L OLIMPIADA FIZYCZNA (2000/2001). Etap II, zadanie doświadczalne - D.**

- Źródło:** 50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami  
**Autor:** pod red. Janiszewski P. Mostowski J. PWN, Warszawa 2002  
**Nazwa zadania:** Napięcie powierzchniowe na granicy dwóch faz  
**Działy:** Termodynamika  
**Słowa kluczowe:** Napięcie powierzchniowe, woda destylowana, miedź, drut, granica rozdziału dwóch faz
- 

**ZADANIE DOŚWIADCZALNE - D, zawody II stopnia, L OF (2000/2001).**

Masz do dyspozycji:

1. 4 kawałki drutu miedzianego o podanych średnicach, z których 2 zostały wytrawione w kwasie siarkowym,
2. plastikową „słomkę” do picia napojów z nacięciem na jednym końcu oraz śrubę o tak dobranej średnicy, aby można ją było „wkręcić” w słomkę,
3. menzurkę ze skalą,
4. wodę destylowaną, papier milimetrowy,
5. statyw z uchwytem oraz pudełeczka lub klocki służące jako podpórki,
6. igłę,
7. środek odłuszczający, wodę do płukania, bibułki do osuszania.

Wyznacz wartość napięcia powierzchniowego na granicy faz między wodą destylowaną, a miedzią.

Porównaj wyniki dla drutów o różnych średnicach.

Porównaj wyniki dla drutu wytrawionego w kwasie siarkowym i opłukanego w wodzie destylowanej oraz dla drutu nietrawionego, a tylko odłuszczonego i opłukanego w wodzie destylowanej. Wyznacz błąd pomiarowy i wskaż jego główne źródła.

**WSKAZÓWKA.** Każdą granicę rozdziału dwóch faz (np. woda-miedź) charakteryzuje pewna energia powierzchniowa, która jest proporcjonalna do wielkości powierzchni rozdziału faz. Energię związaną z jednostkową powierzchnią nazywamy napięciem powierzchniowym. Dla podanego przykładu wielkość energii powierzchniowej granicy powietrze-miedź można pominąć.

**Rozwiązanie**

Proponowana metoda polega na pomiarze siły związanej z napięciem powierzchniowym na granicy faz woda-miedź. Do pomiaru tej siły wykorzystuje się zbudowaną ze słomki czułą wagę w układzie przedstawionym na rys.1. Najpierw doprowadzamy wagę do stanu równowagi, gdy drut wisi w powietrzu, a następnie znajdujemy taką głębokość zanurzenia drutu  $L_0$ , aby siła wyporu tej części drutka, która jest zanurzona pionowo w wodzie, była równoważona przez siłę pochodzącą od napięcia powierzchniowego.

Energia  $E$  związana z powierzchnią faz woda-miedź równa jest:

$$E = \sigma x \pi d ,$$

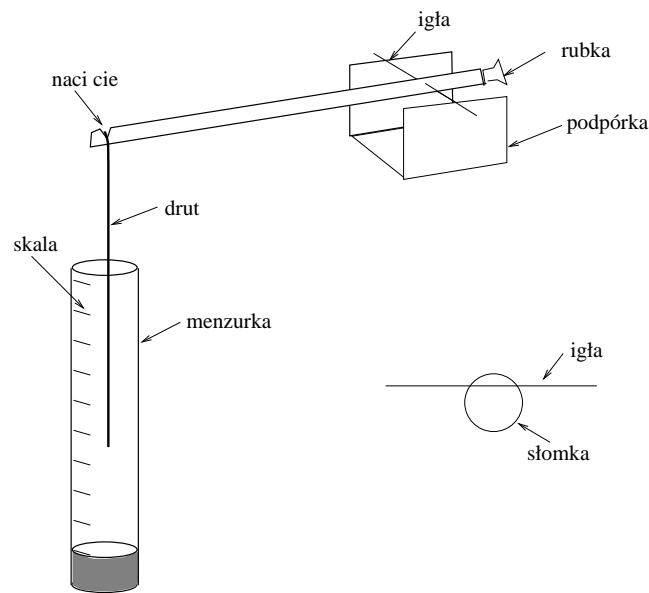
gdzie  $d$  jest średnicą drutu,  $x$  — długością części zanurzonej w wodzie, a  $\sigma$  jest szukaną wielkością napięcia powierzchniowego. Wartość bezwzględna siły  $F$  związanej ze zmianą energii  $E$  jest równa

$$|F| = \frac{\partial E}{\partial x} = \pi d \sigma .$$

W warunkach zrównoważenia zbudowanej wagi, siłę  $F$  można przyrównać do siły wyporu, a następnie poprzez proste przekształcenie znaleźć wielkość napięcia powierzchniowego  $\sigma$ .

$$F = \pi d \sigma = \frac{\pi d^2}{4} L_0 \rho g \quad \Rightarrow \quad \sigma = \frac{L_0 d \rho g}{4} ,$$

gdzie wielkość  $L_0$  jest długością zanurzonej części drutu, gdy waga jest w równowadze,  $g$  — przyspieszeniem ziemskim.

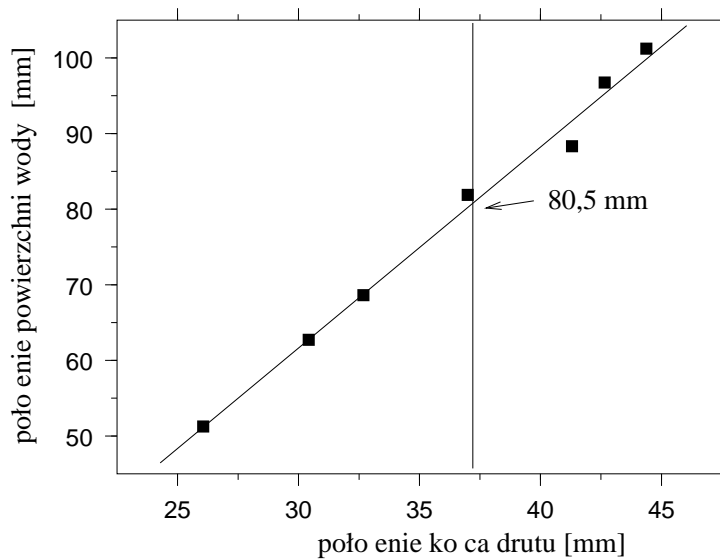


rys.1

W części eksperymentalnej należy zestawić układ jak najczulszej wagi. W tym celu można użyć słomki – jak na rys.1. Następnie należy doprowadzić wagę do zrównoważenia zawieszając badany kawałek drutu miedzianego na jednym ramieniu wagi, a z drugiej strony odpowiednio wkręcając śrubkę. Czynności te wykonujemy bez zanurzania drutu w wodzie. W kolejnym kroku należy zanurzyć drucik w wodzie destylowanej w menzurce. Podnosząc lub opuszczając menzurkę doprowadzamy do zrównoważenia wagi. Długość zanurzonego drutu  $L_0$  można odczytać wprost na skali menzurki. Wyskalowanie odległości między podziałkami menzurki można wykonać przy użyciu dostępnego papieru milimetrowego. Opisany sposób pomiaru jest jednak pomiarem jakościowym, gdyż opiera się na wizualnej ocenie stopnia wypoziomowania słomki. Należy dodać, że ocena taka dokonana przez wprawne oko jest bardzo dobra, ale nie powinna być brana pod uwagę jako wzorcowe rozwiązanie.

Do dokładniejszych pomiarów należy użyć nieco innej metody posługując się stojącą nieruchomo, pustą menzurką i jej skalą jako miernikiem położenia końca drutu, a zatem i wypoziomowania wagi. Należy zanotować położenie końca drutu względem skali menzurki, gdy jest ona pusta. Następnie dolać trochę wody. Potem zmierzyć położenie końca drucika oraz położenie poziomu wody na skali menzurki. Podczas pomiaru położenia drutu należy odczekać aż ustali się równowaga. Dobrze jest dolewać wodę do menzurki w ten sposób, aby nie zmoczył drutu powyżej lustra wody, gdyż może to wpłynąć na warunki równowagi bardzo czulej wagi. Biorąc średnią z kilku tak wykonanych pomiarów otrzymujemy uśrednioną wartość położenia końca drutu. Następnie należy narysować zależność długości zanurzonej części drutu  $L$  od położenia jego końca. Można z niej dokładnie określić  $L_0$  — długość zanurzonej jego części w momencie równowagi. Następuje to wtedy, gdy położenie końca drutu zawieszony w wodzie jest takie samo jak drutu wiszącego tylko w powietrzu.

Przykładowa zależność dla drutu miedzianego o średnicy 0,4 mm odtłuszczonego w środku odtłuszczającym przedstawiona jest na rys.2.



rys.2

Na podstawie rys.2 można znaleźć zależność położenia powierzchni wody w zależności od położenia końca drutu. Pionowa linia odpowiada położeniu końca drutu w powietrzu. Strzałką zaznaczono położenie powierzchni wody dla zrównoważonej wagi. Na podstawie rys.2 można odczytać  $L_0 = 80,5 - 37,0 = 43,5\text{mm}$ . Po wstawieniu do wzoru otrzymujemy bezwzględną wartość napięcia powierzchniowego  $\sigma \simeq 0,043\text{Jm}^2$ . Na błąd w zaproponowanej metodzie pomiaru największy wpływ ma niedokładność określenia wielkości  $L_0$ . Nie bez znaczenia jest fakt dobrego, jednorodnego przygotowania powierzchni (m. in. odtłuszczenia), co wpływa na bardziej jednoznaczne określenie  $L_0$ . Szacowany błąd pomiaru wielkości  $L_0$  jest równy ok.  $\pm 1\text{mm}$ , co daje błąd względny dla najlepiej odtłuszczonej powierzchni ok. 3%.