

**XXIII OLIMPIADA FIZYCZNA (1973/1974). Etap III, zadanie doświadczalne – D.****Źródło:** W. Gorzkowski: Olimpiady fizyczne XXIII i XXIV. WSiP, Warszawa 1977.**Autor:** Waldemar Gorzkowski, KG OF**Nazwa zadania:** Bańki na lejkach – pomiar napięcia powierzchniowego**Słowa kluczowe:** Napięcia powierzchniowe, pomiar napięcia powierzchniowego, bańki mydlane**Zadanie 4, doświadczalne – D, zawody stopnia III, XXIII OF.**

Mając do dyspozycji:

- 1) dwa lejki o różnych średnicach,
- 2) statyw z dwoma uchwyty i dodatkowym prętem,
- 3) trzy odcinki rurki gumowej,
- 4) zaciski,
- 5) trójkąt,
- 6) linijkę,
- 7) dwa spodki z płynami A i B,

wyznacz stosunek napięcia powierzchniowego płynu A do napięcia powierzchniowego płynu B. Opisz i uzasadnij metodę pomiaru. Oszacuj błąd wyniku. Czy pomiar byłby możliwy, gdyby zestaw przyrządów zamiast lejków zawierał cienkie rurki?

**Rozwiązanie**

Zadanie polegało na zbudowaniu takiego układu, jak na rysunku 1, Błonki A i B są utworzone odpowiednio z płynów A i B. Zestaw przyrządów umożliwiał pomiar promieni krzywizny  $r_A$  i  $r_B$  błonek A i B. Korzystając z tego, że w stanie równowagi ciśnienia pod błonkami są równe (por. zadanie doświadczalne z zawodów I stopnia), można napisać:

$$\frac{\sigma_A}{r_A} = \frac{\sigma_B}{r_B}, \quad (1)$$

stąd

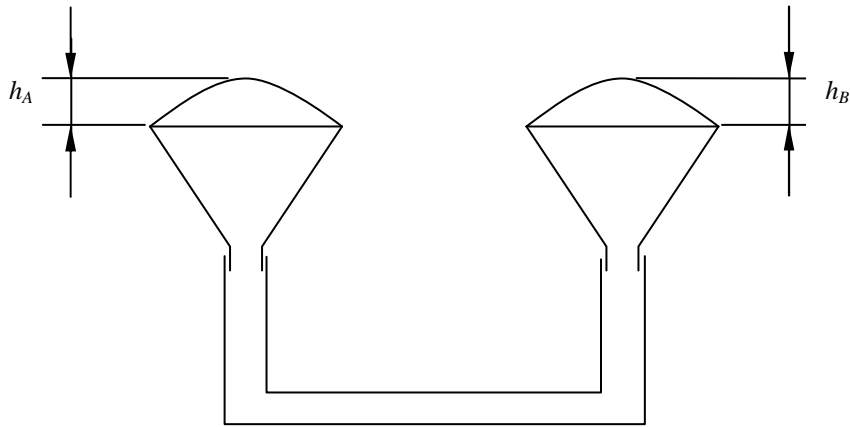
$$\frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \frac{r_A}{r_B},$$

$\sigma_A$  i  $\sigma_B$  oznaczają tu napięcia powierzchniowe płynów A i B.

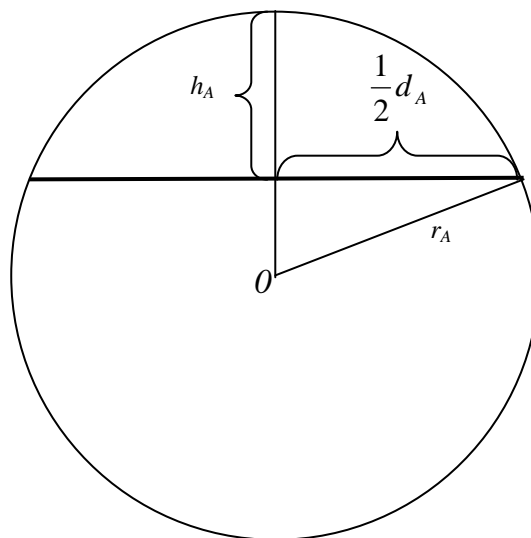
Wielkości  $r_A$  i  $r_B$  można wyznaczyć mierząc średnice lejków  $d_A$  i  $d_B$  oraz wielkości  $h_A$  i  $h_B$  pokazane na rysunku 1.

Jak widać z rysunku 2,  $r_A$  spełnia zależność:

$$(r_A - h_A)^2 + \left(\frac{1}{2}d_A\right)^2 = r_A^2$$



Rys. 1.



Rys. 2.

stąd

$$r_A = \frac{1}{2} h_A + \frac{1}{8} \frac{d_A^2}{h_A}$$

podobnie

$$r_B = \frac{1}{2} d_B + \frac{1}{8} \frac{d_B^2}{h_B}$$

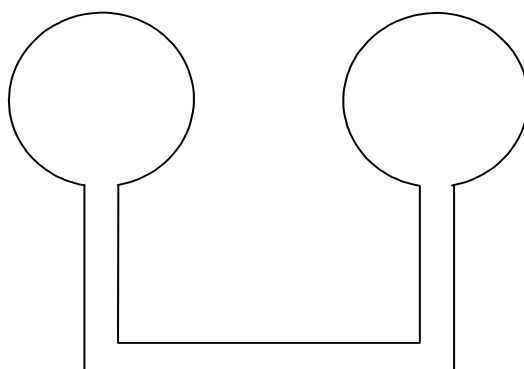
Podstawiając te wyrażenia do wzoru na stosunek napięć powierzchniowych otrzymujemy:

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \frac{4h_A + \frac{d_A^2}{h_A}}{4h_B + \frac{d_B^2}{h_B}}$$

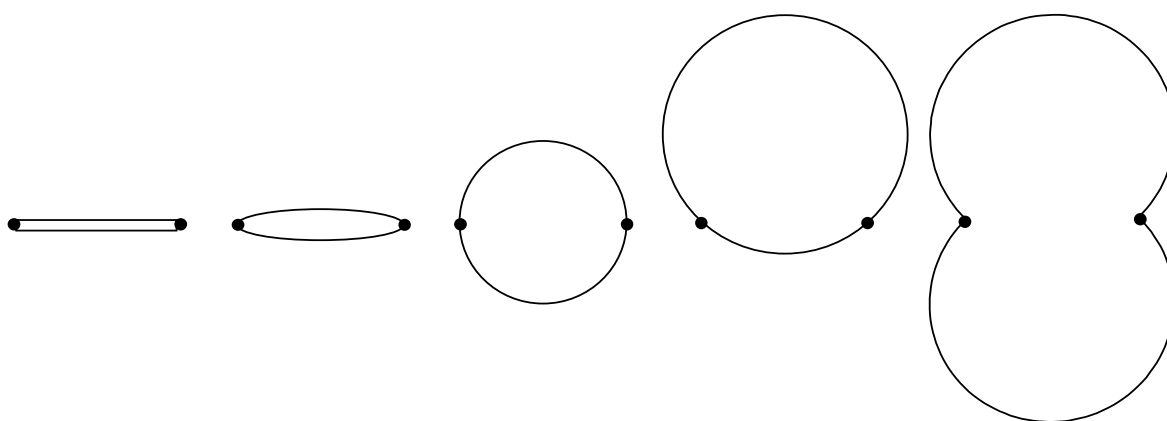
Po prawej stronie tego wyrażenia stoją tylko wielkości łatwo mierzalne. Wykonując serię pomiarów  $h_A$ ,  $h_B$ ,  $d_A$  i  $d_B$  wyznaczamy wartości stosunku  $\sigma_A/\sigma_B$ , a następnie bierzemy średnią otrzymanych wielkości.

Ostatnie pytanie zawarte w tekście zadania sprawiło zawodnikom sporo kłopotu, chociaż w gruncie rzeczy sprawa jest bardzo prosta. Dla uproszczenia rozważań przyjmijmy, że  $d_A = d_B$  i  $\sigma_A = \sigma_B$ . Zbadanie przypadku, gdy  $\sigma_A \neq \sigma_B$  lub  $d_A \neq d_B$  pozostawiamy Czytelnikowi do samodzielnych przemyśleń.

Gdyby do doświadczenia zamiast lejków użyć cienkich rurek, to rzecz jasna, aby móc zmierzyć  $h_A$  i  $h_B$  za pomocą wymienionych w tekście przyrządów, nie wystarczyłoby zrobienie na rurkach czasz kulistych mniejszych od półsfery, lecz trzeba by na każdej rurce zrobić bańkę mydlaną większą od półsfery (rys. 3). Wydaje się, że nie przedstawia to trudności, zależność (1) w stanie równowagi musiałaby być spełniona i wszystko powinno być dobrze. Niestety nie jest to prawdą, a to dlatego, że układ pokazany na rysunku 3 nie może być w równowadze trwałej. Może on być jedynie w równowadze chwiejnej, a taka równowaga, podobnie jak postawienie zaostrego ołówka pionowo na stole, jest w praktyce niemożliwa do zrealizowania.



Rys. 3.



Rys. 4.

Aby się o tym przekonać wyobraźmy sobie, że na kolistym pierścieniu mamy rozpięte dwie bliskie sobie błonki mydlane, między które wdmuchujemy powietrze. Początkowo błonki rozsuwają się symetrycznie tworząc coś w rodzaju soczewki. Dzieje się tak dotąd, aż błonki; utworzą półsfery. Zachowanie się błonek jest zilustrowane na rysunku 4. Można by są-

dzić, że przy dalszym wdmuchiwaniu powietrza między błonki powinniśmy otrzymać bańkę o kształcie pokazanym na rysunku 4e. W rzeczywistości jednak tak się nie zdarza, bańka pozostaje kulista wychodząc nad pierścień (lub pod pierścień w zależności od przypadkowych czynników) - rysunek 4d.

To pozornie dziwne zachowanie się błonek można prosto wyjaśnić. Przyjmijmy, że mamy dwie jednakowe bańki w położeniu takim, jak na rysunku 4e i że wlot powietrza do układu jest zamknięty. Zbadajmy, jaka to będzie równowaga. W tym celu zobaczymy, co się stanie, jeżeli promień jednej z baniek nieco zmniejszymy. Rzecz jasna, że wtedy promień bańki drugiej nieco wzrośnie, bo przecież powietrze wypchnięte z jednej bańki przejdzie do drugiej. Ale zmniejszeniu promienia pierwszej bańki, a zwiększeniu promienia drugiej odpowiada zwiększenie ciśnienia pod błonką otaczającą pierwszą bańkę, a zmniejszenie ciśnienia pod błonką otaczającą bańkę drugą. W rezultacie powietrze z pierwszej bańki będzie przechodzić do drugiej bańki zwiększając jej promień (a zmniejszając ciśnienie) - promień pierwszej będzie malał, a drugiej rósł. Układ będzie się oddalał od rozważanego początkowego stanu równowagi dotąd, aż osiągnie stan pokazany na rysunku 4d. Zatem stan pokazany na rysunku 4e odpowiada równowadze chwiejnej.

Oczywiście dla baniek na rurkach sytuacja jest podobna jak dla rozpatrywanego tu pierścienia, bo długość rurki nie ma żadnego znaczenia.

W stanie równowagi w analizowanym tu przypadku, gdy  $d_A = d_B$  z  $\sigma_A = \sigma_B$  obie powierzchnie, tj. powierzchnia nad pierścieniem i powierzchnia pod pierścieniem (lub też: powierzchnia błonki na jednej rurce i powierzchnia błonki na drugiej rurce - rys. 3) muszą się uzupełniać tworząc razem powierzchnię kuli, podobnie jak w przypadku, gdyby pierścienia (lub rurki) nie było.

Do podstawowych błędów popełnianych przez zawodników w tym zadaniu należały:

- 1) pomiar promieni krzywizn przed wyrównaniem ciśnień pod błonkami, a więc w warunkach braku równowagi;
- 2) pomiary  $h_A$  i  $h_B$  wykonywane niemalże na oko, obarczone były bardzo dużym błędem paralaksy. Do pomiarów tych wielkości wygodnie było wykorzystać pręt, który można było przesuwając wzdłuż statywu.
- 3) Pomiary w układzie, w którym lejki zamiast do góry były zwrócone w dół. W tym przypadku na środku błonek zbierają się krople deformujące ich kulisty kształt.

Jeżeli chodzi o płyny *A* i *B*, to ich skład był jednakowy: 1/3 gliceryny i 2/3 płynu FF, z tym że jeden z płynów był lekko zabarwiony ołówkiem chemicznym, co nie miało wpływu na wartość napięcia powierzchniowego. Wynikiem, który należało otrzymać, była więc jedynka. Płyn o podanym składzie ma tę właściwość, że powierzchnie lub bańki z niego dostrzymane nie pękają przez kilkanaście a nawet czasami przez kilkadziesiąt minut, co bardzo ułatwia pomiary.