



XXIII OLIMPIADA FIZYCZNA

(1973/1974)

ZAWODY III STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zadanie doświadczalne – D

Nazwa – Bańki na lejkach – pomiar napięcia powierzchniowego.

Źródła – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

– Waldemar Gorzkowski, *Fizyka w Szkole nr 6*, 1974

– Waldemar Gorzkowski, *Olimpiady Fizyczne XXIII i XXIV*, WSiP, Warszawa 1977

– Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki: *Olimpiada fizyczna. Wybrane zadania doświadczalne*

z rozwiązaniami. Stowarzyszenie Symetria i Własności Strukturalne,

Poznań 1994 (zad. 23)

– T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Masz do dyspozycji:

- dwa lejki o różnych średnicach,
- statyw z dwoma uchwytemi i dodatkowym prętem,
- trzy odcinki rurki gumowej,
- zaciski,
- trójkąt,
- linijkę,
- dwa spodki z płynami A i B.

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

Rozwiązanie zadania D – XXIII OF, III stopień, doświadczalna

Zadanie polegało na zbudowaniu takiego układu, jak na rys. 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:

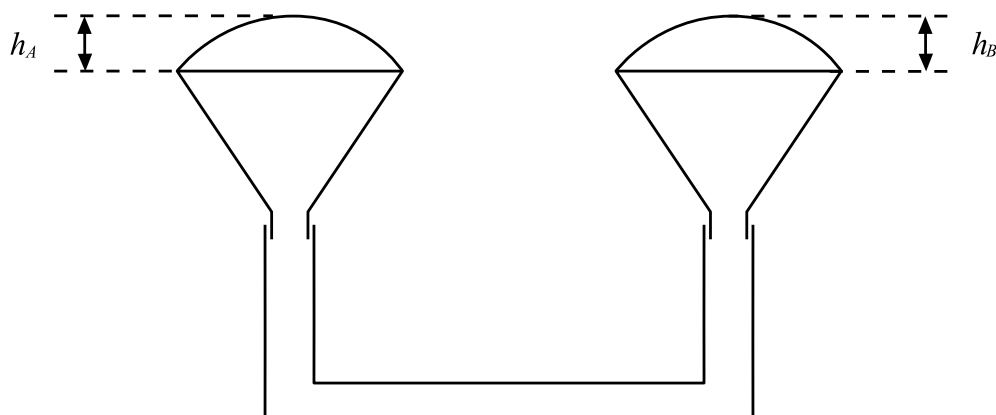
$$\frac{\sigma_A}{r_A} = \frac{\sigma_B}{r_B}, \quad (1)$$

stąd

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \frac{r_A}{r_B}, \quad (2)$$

gdzie σ_A i σ_B oznaczają tutaj napięcie powierzchniowe płynów A i B .

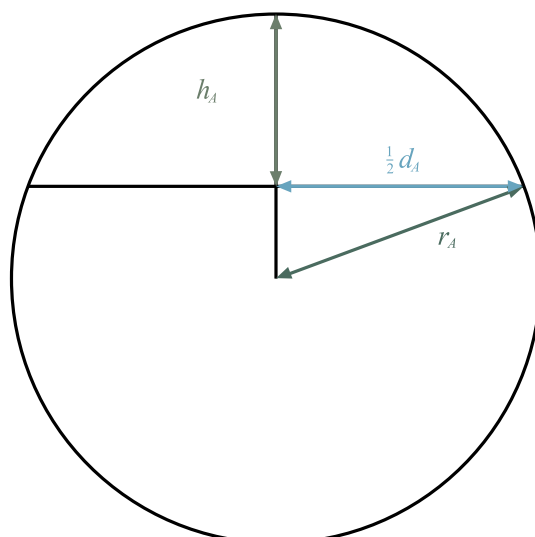
Wielkości r_A i r_B można wyznaczyć mierząc średnice lejków d_A i d_B oraz wielkości h_A i h_B pokazane na rys. 1.



Rys. 1

Jak widać na rys. 2, r_A spełnia zależność

$$(r_A - h_A)^2 + \left(\frac{1}{2}d_A\right)^2 = r_A^2. \quad (3)$$



Rys. 2

Stąd

$$r_A = \frac{1}{2}h_A + \frac{1}{8}\frac{d_A^2}{h_A^2}, \quad (4)$$

podobnie

$$r_B = \frac{1}{2}h_B + \frac{1}{8}\frac{d_B^2}{h_B^2}. \quad (5)$$

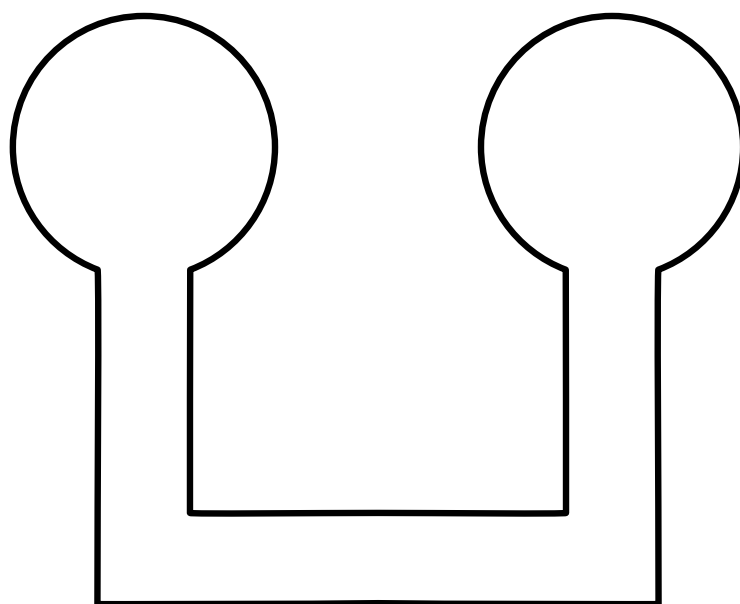
Podstawiając te wyrażenia do wzoru na stosunek napięć powierzchniowych otrzymujemy

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \frac{4h_A + \frac{d_A^2}{h_A^2}}{4h_B + \frac{d_B^2}{h_B^2}}. \quad (6)$$

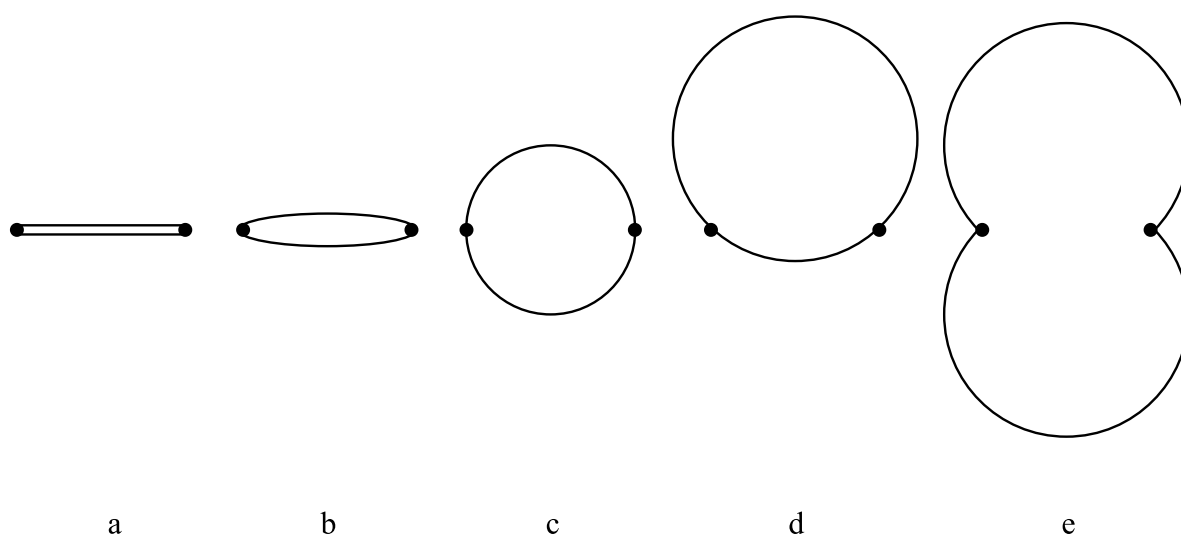
Po prawej stronie tego wyrażenia stoją tylko wielkości łatwo mierzalne. Wykonując serię pomiarów h_A , h_B , d_A i d_B wyznaczamy wartości stosunku σ_A/σ_B , a następnie bierzemy średnią otrzymanych wielkości.

Ostatnie pytanie zawarte w tekście zadania sprawiło zawodnikom sporo kłopotu, chociaż w gruncie rzeczy sprawa jest bardzo prosta. Dla uproszczenia rozważań przyjmijmy, że $d_A = d_B$ oraz $\sigma_A = \sigma_B$. 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 rys. 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 rys. 4. Można by sądzić, że przy dalszym wdmuchiowaniu 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) –rys. 4d.

To pozornie dziwne zachowanie się błonek można prosto wyjaśnić. Przyjmijmy, że mamy dwie

jednakowe bańki w położeniu takim, jak na rys. 4e i że wlot powietrza do układu jest zamknięty. Zbadajmy, jaka to będzie równowaga. W tym celu zobaczmy, 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 rys. 4d. Zatem stan pokazany na rys. 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 $d_A = d_B$ a $\sigma_A = \sigma_B$ obie powierzchnie, tj. powierzchnia nad pierścieniem i powierzchnia pod pierścieniem (lub też: powierzchnia błonki na jednej rurce i powierzchnia błonki na drugiej rurce – rysunek 3) muszą się uzupełniać tworząc razem powierzchnię kuli, podobnie jak w przypadku, gdyby pierścienia (lub rurki) nie było.

Komentarz do rozwiązań

Podstawowe błędy popełniane przez zawodników:

- 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 przesuwac 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 do mycia naczyń, 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 otrzymane nie pękają przez kilkanaście a nawet czasami przez kilkadziesiąt minut, co bardzo ułatwia pomiary.