

XLII OLIMPIADA FIZYCZNA (1992/1993). Stopień II, zadanie doświadczalne – D.

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Włodzimierz Ungier, Krzysztof Karpierz: <i>Fizyka w Szkole</i> nr 5, 1993.
Nazwa zadania:	Wyznaczanie napięcia powierzchniowego na granicy nafta–woda
Działy:	Mechanika płynów
Słowa kluczowe:	napięcie powierzchniowe, gęstość, energia, powierzchnia, nafta, woda.

Zadanie doświadczalne D, zawody II stopnia, XLII OF.

Wyznacz napięcie powierzchniowe na granicy nafta–woda w temperaturze pokojowej mając do dyspozycji:

1. Szklane naczynie o płaskim denku.
2. Duże naczynie.
3. Metalowe podpórki.
4. Naftę.
5. Wodę.
6. Szklaną rurkę.
7. 2 strzykawki lekarskie z podziałką.
8. 2 igły do strzykawek (w tym jedną wygiętą).
9. Papier milimetrowy.
10. Ręcznik papierowy.

Przyjmij, że gęstość wody to 1000 kg/m^3 , a przyspieszenie ziemskie $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Uwaga! Każdą granicę rozdziału dwóch faz (np.: woda–szkło lub woda–nafta) charakteryzuje pewna energia powierzchniowa, która jest proporcjonalna do wielkości powierzchni rozdziału faz. Energię związaną z jednostkową powierzchnią nazywamy napięciem powierzchniowym.

Wskazówka. Podany zestaw przyrządów umożliwi zaprojektowanie takiego doświadczenia, aby wyeliminować konieczność rozważania napięcia powierzchniowego na granicy faz powietrze–woda oraz powietrze–nafta i sprowadzić problem do rozważania napięcia powierzchniowego na granicy faz woda–nafta, nafta–szkło oraz woda–szkło.

Rozwiązanie**Część teoretyczna**

Rozwiązanie polega na pomiarze grubości równowagowej warstewki wody na dnie naczynka z naftą (rys. 1) oraz nafty pod przykrywką z wodą (rys. 2). W obu przypadkach wyeliminowane jest napięcie powierzchniowe na granicy z powietrzem. Rozpatrując warunki równowagi (minimalizacja energii całkowitej) dla przypadku rys. 1 otrzymujemy

$$E_{nap. pow.} = \Delta p \cdot h_1 S g h_1 / 2. \quad (1)$$

gdzie Δp – różnica gęstości wody i nafty, g – przyspieszenie ziemskie, S – powierzchnia warstewki wody. Wykorzystano tu przybliżenie, że kropla ma stałą grubość h_1 (rys. 1).

$$E_{nap. pow.} = S(\sigma_{W-N} + \sigma_{W-Sz} - \sigma_{N-Sz}). \quad (2)$$

gdzie σ_{W-N} – napięcie powierzchniowe na granicy woda-nafta,

σ_{N-Sz} – napięcie powierzchniowe na granicy nafta-szkło,

σ_{W-Sz} – napięcie powierzchniowe na granicy woda-szkło.

Dla danej objętości kropli $v = S/h_1$ energia całkowita E_c jest równa

$$E_c = \Delta p \cdot h_1 S g h_1 / 2 + (\sigma_{W-N} + \sigma_{W-Sz} - \sigma_{W-Sz}) v / h_1. \quad (3)$$

Warunek minimalizacji energii całkowitej daje:

$$\frac{\delta E_c}{\delta h_1} = 0. \quad (4)$$

$$h_1^2 \cdot \Delta p \cdot g / 2 = \sigma_{W-N} + \sigma_{W-Sz} - \sigma_{W-Sz}. \quad (5)$$

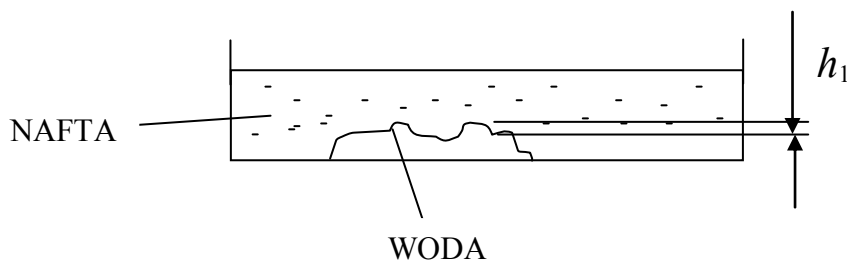
Analogicznie do przypadku z rys. 2.

$$h_2^2 \cdot \Delta p \cdot g / 2 = \sigma_{W-N} + \sigma_{W-Sz} - \sigma_{W-Sz}. \quad (6)$$

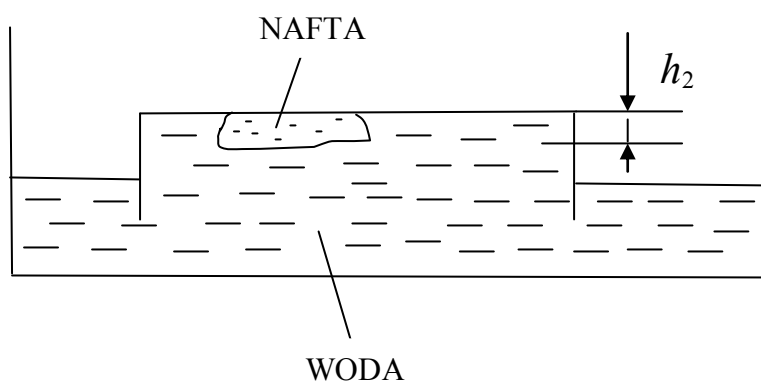
Dodając równania stronami otrzymujemy:

$$\sigma_{W-N} = \Delta p \cdot g (h_1^2 + h_2^2) / 4. \quad (7)$$

Całość rozwiązania opiera się na założeniu stałości grubości kropli na całej ich powierzchni. Umożliwia to proste obliczenie energii grawitacyjnej całej kropli. Należy więc zadbać by przybliżenie to było dobrze spełnione w warunkach eksperymentu. Tak jest w przypadkach przedstawionych na rys. 1 i rys. 2. Uzyskane krople bardzo dobrze spełniają przybliżenie, że mają kształt walcowaty – można to sprawdzić gołym okiem. Dużo gorszym podejściem jest rozważanie swobodnie pływającej kropli na wodzie. Nie ma ona kształtu walca co też widać gołym okiem. Zauważalne jest zakłębienie w środkowej części dużej kropli i beczułkowaty kształt małych kropli. Utrudnia to w sposób znaczący jednoznaczne określenie ich środka ciężkości a co za tym idzie i wyznaczenie energii potencjalnej.



Rys. 1



Rys. 2

Pomiar grubości warstewek cieczy prowadzimy odmierzając za pomocą strzykawki znaną objętość cieczy v i badając na jakiej powierzchni S się ona rozleje (stąd wygodne są naczynia szklane). Wykreślając w układzie współrzędnych (S, v) dane eksperymentalne

z nachylenia prostej odczytujemy szukaną grubość. W rozwiązaniu wzorcowym grubość warstwy wody na dnie szklanego naczynia z naftą wyniosła $h_1 \approx 0,14$ cm, zaś nafty pod szklaną pokrywką z wodą $h_2 \approx 0,64$ cm. Pozostaje tylko wyznaczyć różnicę gęstości wody i nafty. Różnicę tę można wyznaczyć z pomiaru różnicy wysokości słupa obu cieczy zanurzając np. otwartą rurkę z naftą w naczyniu z wodą. Różnica gęstości wynosi $\Delta\rho \approx 230$ kg/m³. Wstawiając podane wartości otrzymujemy wielkość napięcia powierzchniowego równą około $\sigma_{w-n} \approx 0,025$ N/m. Dokładność uzyskanego wyniku jest rzędu 10%. Oczekujemy od zawodników raczej pomysłu doświadczalnego i sprawności w przeprowadzeniu doświadczenia niż dokładnego wyniku końcowego.

Proponowana punktacja

Część doświadczalna

1. Pomysł na wykonanie doświadczenia do 5 pkt.
2. Wyprowadzenie wzoru do obliczeń do 2 pkt.
3. Zaprojektowanie doświadczeń pomocniczych (np. pomiar różnicy gęstości wody i nafty) do 3 pkt.

Część teoretyczna

4. Przeprowadzenie doświadczenia do 7 pkt.
5. Wykorzystanie do obliczeń nachylenia prostej zamiast średniej kilku wyników do 2 pkt.
6. Ustosunkowanie się do wielkości wyniku i jego dokładności do 1 pkt.