

Wyznaczamy współczynnik lepkości cieczy



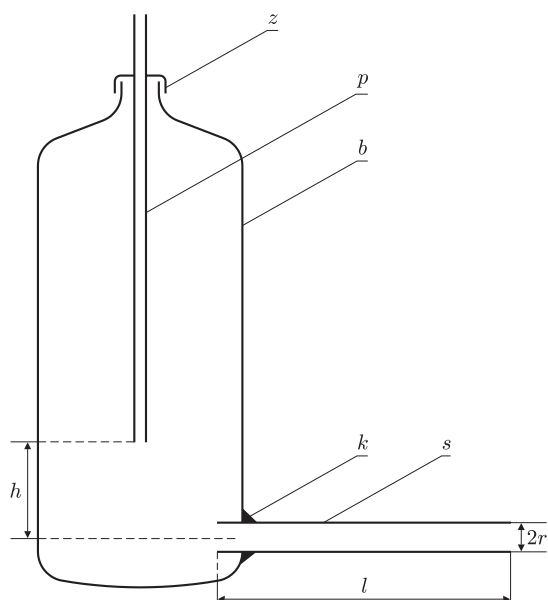
Stanisław BEDNAREK

Ruch dowolnego ciała w cieczy napotyka opór, który zależy od kształtu i wielkości ciała, jego prędkości oraz rodzaju cieczy. Parametrem charakteryzującym rodzaj cieczy w sposób ilościowy jest współczynnik lepkości. Współczynnik ten decyduje również, jaka objętość cieczy przepłynie przez rurkę o danym promieniu przy określonej różnicy ciśnień i w zadany czas. Żeby obliczyć tę objętość ΔV , należy skorzystać ze wzoru Hageny–Poiseuille’a:

$$(1) \quad \Delta V = \frac{\pi r^4 \Delta p \Delta t}{8l\eta}.$$

We wzorze tym r oznacza promień wewnętrzny rurki, l jej długość, Δp – różnicę ciśnień na końcach rurki, Δt – czas przepływu, natomiast η jest współczynnikiem lepkości, który postaramy się dzisiaj wyznaczyć doświadczalnie.

Do przeprowadzenia doświadczenia potrzebne będą: przezroczysta butelka, np. od wody mineralnej o pojemności 1, 5 l z zakrętką, dwa długie kawałki rurki do picia napojów, woda, olej roślinny, linijka z podziałką milimetrową lub lepiej suwmiarka, szybkowiązący klej epoksydowy, np. Poxipol, niewielkie kartonowe pudełko od soku o pojemności 200 ml, stoper, plastelina.



Wygląd butelki Mariotte’a do wyznaczania współczynnika lepkości cieczy: b – przezroczysta butelka plastikowa, z – zakrętka, p – słomka (rurka) pionowa, s – słomka dolna, k – klej, h – wysokość dolnego końca słomki pionowej nad osią dolnej słomki, l – długość dolnej słomki, r – promień wewnętrzny tej słomki.

W plastikowej zakrętce od butelki wiercimy niewielki otwór. W ten otwór wkładamy słomkę do napojów. Otwór powinien być tej wielkości, żeby słomkę można było dość ciasno przesuwac w zakrętce. Następnie wiercimy niewielki otwór w bocznej ścianie w pobliżu dna butelki. W tym otworze umieszczamy drugą słomkę. Miejsce przejścia słomki przez otwór uszczelniamy szybkowiązącym klejem epoksydowym. Zwracamy przy tym uwagę na to, żeby słomka ustawiona była poziomo. Wylot poziomej słomki zamykamy niewielkim korkiem z plasteliny.

W ten sposób przygotowaliśmy tzw. butelkę Mariotte’a. Jej zaletą jest to, że przez pewien czas prędkość wypływu cieczy z butelki jest stała. Do butelki nalewamy prawie do pełna wody. Butelkę zamykamy zakrętką z przechodzącą przez nią słomką i ustawiamy na dowolnej podstawie tak, żeby można było podstawic naczynie na wodę pod wylot poziomej słomki. Gdy podstawimy to naczynie, wyjmujemy plastelinowy korek i obserwujemy wypływ wody. Prędkość tego wypływu jest stała tak długo, aż poziom wody w butelce opadnie poniżej dolnego końca pionowej słomki przechodzącej przez zakrętkę.

Można łatwo wykazać, że wartość tej prędkości wyraża się wzorem

$$(2) \quad v = \sqrt{2gh},$$

gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim. Prędkość wypływu wody możemy regulować przez przesunięcie pionowej słomki w zakrętce. Im wyżej będzie znajdował się koniec tej słomki, tym większa będzie prędkość wypływu, ale tym krócej prędkość ta będzie stała.

Wróćmy teraz do współczynnika lepkości. Wzór (1) przekształcamy do postaci

$$(3) \quad \eta = \frac{\pi r^4 \Delta p \Delta t}{8l \Delta V}.$$

Występująca we wzorze (3) różnica ciśnień Δp wyraża się wzorem

$$(4) \quad \Delta p = \rho gh,$$

w którym ρ oznacza gęstość cieczy.

Dla wody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$,
dla oleju $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$.

Po podstawieniu wzoru (4) do wzoru (3) otrzymujemy równanie

$$(5) \quad \eta = \frac{\pi r^4 \rho g h \Delta t}{8 l \Delta V},$$

z którego można obliczyć współczynnik lepkości η .

Z równania (5) wynika, że lepkość silnie zależy od wewnętrznego promienia dolnej słomki. Dlatego promień ten należy zmierzyć możliwie jak najdokładniej. Najlepiej byłoby użyć do tego celu suwmiarki. Wówczas dokładność pomiaru wynosiłaby co najmniej 0,1 mm. Jeżeli nie dysponujemy suwmiarką, to pozostaje nam kilkakrotny pomiar linijką i obliczenie średniej arytmetycznej.

Długość l dolnej słomki oraz wysokość h dolnego końca pionowej słomki nad osią dolnej słomki łatwo zmierzmy linijką. Pozostaje nam jeszcze do zmierzenia objętość ΔV wody, która przepłynęła przez dolną słomkę i czas Δt jej przepływu. Do pomiaru objętości wykorzystamy kartonowe pudełko od soku, które pozbawiamy górnej pokrywy tak, żeby nie zmienić jego pojemności. Puste pudełko podstawiamy pod wylot dolnej słomki. Butelkę uprzednio napełniamy wodą. Wyjmujemy plastikowy korek z wylotu dolnej słomki. Stoperem mierzymy czas, w którym woda wypełni pudełko.

Po wykonaniu pomiarów wszystkich wielkości występujących we wzorze (5) podstawiamy ich wyniki do tego wzoru i obliczamy współczynnik lepkości η . Porównujemy obliczoną wartość z podanym w tablicach fizycznych wynikiem dla wody: $\eta = 1,0021 \cdot 10^{-3} \text{ (Ns)/m}^2$ (w temperaturze 18°).

Po całkowitym opróżnieniu butelki z wody napełniamy ją olejem roślinnym i powtarzamy pomiar czasu wypływu dla określonej objętości oleju wypełniającego pudełko od soku. Ponownie podstawiamy wyniki do wzoru (5) i obliczamy współczynnik lepkości oleju. Porównujemy obliczoną wartość z wynikiem podanym w tablicach fizycznych dla oleju: $\eta = 84 \cdot 10^{-3} \text{ (Ns)/m}^2$. Na koniec zastanówmy się, jakie czynniki wpływają na rozbieżność lub zgodność uzyskanych przez nas rezultatów z wynikami podanymi w tablicach fizycznych.



Zadania

Redaguje Ewa CZUCHRY

F 721. Kropla wody o masie $m = 0,4 \text{ g}$ została umieszczona między dwiema płaskimi i równoległymi płytkami szklanymi, całkowicie zwilżalnymi wodą. Jaka jest siła przyciągania między tymi płytkami, jeśli znajdują się one w odległości $l = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$? Współczynnik napięcia powierzchniowego wody wynosi $\alpha = 0,073 \text{ N/m}$.

Rozwiązanie na str. 3

F 722. Między dwiema płaskimi płytkami szklanymi umieszczono 8 gramów rtęci. Jaką siłę należy przyłożyć do górnej płytki, aby rtęć miała postać krążka jednakowej grubości o promieniu $r = 10 \text{ cm}$? Zakładamy, że rtęć w sposób doskonały nie zwilża szkła, tzn. kąt między brzegiem powierzchni rtęci a szklaną płytką jest równy zeru. Współczynnik napięcia powierzchniowego rtęci wynosi $\alpha = 0,5 \text{ N/m}$.

Rozwiązanie na str. 15

Redaguje Waldemar POMPE

M 1213. Rozstrzygnąć, czy kwadrat o wymiarach 14×14 można rozciąć na prostokąty o wymiarach 2×5 , 1×10 oraz 3×9 .

Rozwiązanie na str. 17

M 1214. Dany jest pięciokąt wypukły $ABCDE$, w którym $BC = CD$, $DE = EA$ oraz $\sphericalangle EAB = \sphericalangle ABC = \sphericalangle CDE$ (rysunek). Wykazać, że w pięciokąt $ABCDE$ można wpisać okrąg.

Rozwiązanie na str. 11

M 1215. Dane są liczby całkowite dodatnie a , b o następującej własności: dla każdej liczby całkowitej dodatniej k liczby $ak + 2$ oraz $bk + 3$ nie są względnie pierwsze.

Udowodnić, że $3a = 2b$.

Rozwiązanie na str. 17

