

XV OLIMPIADA FIZYCZNA (1965/1966). Stopień wstępny, zad. doświadczalne – D

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej ;
Tadeusz Pniewski: *Olimpiady Fizyczne XV i XVI*. PZWS, Warszawa 1969
(str. 19 – 22)

Nazwa zadania: Wyznaczanie gęstości cukru za pomocą piknometru

Działy: Hydrostatyka, mechanika

Słowa kluczowe: gęstość, objętość, masa, piknometr, waga, woda, cukier,

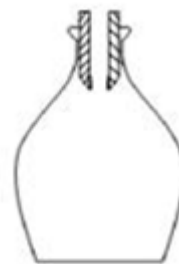
Zadanie 4, doświadczalne – D, zawody stopnia wstępnego, XV OF

Do buteleczki o pojemności około 100 cm^3 dopasuj korek z otworkiem a w nim rurkę szklaną długości około 5 cm.

Stosując zasadę piknometru wyznacz gęstość cukru. Opisz przebieg doświadczenia. Jeśli w pracowni jest piknometr możesz go użyć do doświadczenia.

Rozwiązanie

Piknometr jest naczynkiem o bardzo dobrze określonej pojemności. Napełniając piknometr cieczą, obserwujemy jej poziom w rurce umieszczonej w korku (rys. 1). Nalewamy tyle cieczy, aby całkowicie wypełniła ona kanalik (nadmiar usuwamy bibułą). Dzięki temu, że przekrój rurki jest bardzo mały, niedokładność ustawienia żądanego poziomu cieczy ma minimalny wpływ na całkowitą objętość cieczy w piknometrze. Ta własność piknometru ma zasadnicze znaczenie przy wyznaczaniu za jego pomocą gęstości cieczy i ciał stałych. Umożliwia bowiem bardzo dokładny pomiar objętości badanych ciał.



Pomiar gęstości cieczy za pomocą piknometru polega na znalezieniu stosunku mas tej samej objętości dwóch różnych cieczy, z których gęstość jednej jest znana. Jako cieczy o znanej gęstości używa się najczęściej wody destylowanej. Wykonuje się trzy ważenia: piknometru suchego, piknometru napełnionego cieczą o znanej gęstości oraz piknometru napełnionego badaną cieczą. Wówczas gęstość d_c badanej cieczy wyraża się wzorem:

$$d_c = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot d_w \quad (1)$$

gdzie: m_1 – masa suchego piknometru,

m_2 – masa piknometru napełnionego wodą destylowaną

m_3 – masa piknometru napełnionego badaną cieczą

d_w – gęstość wody w danej temperaturze.

Dla wyznaczenia gęstości ciała stałego, ważymy je, znajdując w ten sposób jego masę. W celu znalezienia objętości ciała za pomocą piknometru, ważymy piknometr napełniony cieczą o znanej gęstości, a następnie wrzucamy badane ciało do środka piknometru, wskutek czego z piknometru wylewa się część cieczy (ciało nie może się rozpuszczać w cieczy). Objętość wypartej cieczy równa jest objętości wrzuconego ciała. Do jej wyznaczenia konieczne jest jeszcze zważenie piknometru z cieczą i ciałem wewnątrz. Gęstość ciała d_x wyraża się wzorem:

$$d_x = \frac{m_4}{V}, \quad (2)$$

gdzie: m_4 – masa badanego ciała,
 V – objętość badanego ciała.

Objętość V znajdujemy dzieląc masę wypartej cieczy przez jej gęstość d_c w danej temperaturze:

$$V = \frac{m_3 + m_4 - m_5}{d_c}, \quad (3)$$

gdzie: m_1 – masa piknomtru wypełnionego cieczą o gęstości d_c ,
 m_4 – masa ciała,
 m_5 – masa piknomtru z cieczą i ciałem wewnątrz,
 d_c – gęstość cieczy w piknometrze.

Stąd korzystając z (2) i (3) możemy wyznaczyć gęstość badanego ciała

$$d_x = \frac{m_4}{m_3 + m_4 - m_5} \cdot d_c. \quad (4)$$

W naszym przypadku badanym ciałem jest cukier. Należy więc użyć takiej cieczy, w której cukier się rozpuszcza. Może to być na przykład nafta. Istnieją jednak różne gatunki nafty o różnych gęstościach. Jeżeli gęstość nafty użytej w doświadczeniu nie jest znana, należy ją wyznaczyć stosując poprzednio opisaną metodę.

Zadanie sprowadza się więc do wykonania pięciu ważeń.

Wyznaczamy następujące masy:

m_1 – masa suchego piknomtru,
 m_2 – masa piknomtru napełnionego naftą,
 m_3 – masa piknomtru napełnionego badaną cieczą,
 m_4 – masa cukru,
 m_5 – masa piknomtru z naftą i cukrem wewnątrz.

Wykorzystując zależności (1) i (4) otrzymujemy następujące wyrażenie na gęstość cukru:

$$d_x = \frac{m_4}{V} = \frac{m_4}{m_3 + m_4 - m_5} \cdot \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} d_w, \quad (5)$$

gdzie: d_w – gęstość wody w danej temperaturze, w jakiej przeprowadzane jest doświadczenie (wartość wzięta z tablic).

Opisana metoda wyznaczania gęstości ciał stałych i cieczy jest metodą bardzo dokładną.

Zastosowanie piknomtru pozwala dokładność wyznaczania gęstości posunąć tak daleko, jak tylko pozwala na to dokładność ważenia gdyż błędy związane z niedokładnym napełnieniem piknomtru, a więc z niedokładną znajomością objętości cieczy są tak małe, że mogą być w ogóle zaniedbywane. Jeśli rozporządzamy wagą analityczną o dużej czułości, to możemy ważyć z dokładnością nawet do 0,1 mg.

Przy tak dużej dokładności należy już uwzględnić wypór, jakiego ciała doznają ze strony powietrza. Odpowiednia poprawka może mieć wartość nawet kilku miligramów. Objętość piknomtru jest bowiem rzędu kilkudziesięciu cm^3 .

Jeżeli rzeczywiście uzyskana dokładność wyznaczania gęstości ma odpowiadać dokładności ważenia, to pomiary należy wykonywać szczególnie starannie. Piknometr należy do-

kładnie oczyścić przed każdorazowym napełnianiem. W tym celu płucze się piknometr alkoholem, co przyspiesza jego osuszanie. Ważenia trzeba wykonywać szybko, aby uniknąć parowania cieczy. Poważnym źródłem błędów może być obecność pęcherzyków powietrza wewnątrz piknometru wypełnionego cieczą. Należy je więc starannie usuwać.

Jeżeli zamiast piknometru stosuje się odpowiednio przystosowaną, zwykłą buteleczkę (patrz treść zadania), wówczas głównym źródłem błędów może okazać się znacznie gorzej, niż w przypadku piknometru, określona pojemność buteleczki. Zależy to od dokładności dopasowania korka i od średnicy umieszczonej w nim rurki. Niepewności pomiarowe związane z niedokładną znajomością pojemności buteleczki, mogą znacznie przewyższać niepewności pomiarowe ważenia. W tej sytuacji zwiększanie dokładności ważenia nie ma wpływu na dokładność wyznaczenia gęstości cukru.

Niepewność pomiarowa wyznaczenia tej gęstości może być natomiast zmniejszona przez kilkakrotne powtórzenie pomiaru.