

Wyznaczanie gęstości roztworu sacharozy za pomocą piknometru

Wprowadzenie

Gęstość jest wielkością, która używana jest do charakterystyki różnych substancji. Jest to masa jednostkowej objętości danego ciała.

Gęstością bezwzględną (d) obiektu materialnego nazywamy stosunek jego masy (m) do objętości (v):

$$d = \frac{m}{v} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

Jednostką gęstości w układzie SI jest kg/dm^3 . Często używaną jednostką jest również g/cm^3 . Praktycznie każda substancja ma inną gęstość zależną od stanu skupienia, ciśnienia zewnętrznego i temperatury. Z grubsza można stwierdzić, że najmniejszą gęstość mają substancje w stanie gazowym, większą w stanie ciekłym, natomiast ciała stałe charakteryzują się największą gęstością. Dla większości substancji objętość rośnie wraz ze wzrostem temperatury, co oznacza zmniejszanie się gęstości. Wzrost ciśnienia powoduje zmniejszenie się objętości, a zatem wzrost gęstości substancji.

Gęstość podawana jest zazwyczaj w tablicach dla określonych wartości ciśnienia (1013 hPa) i temperatury (np. $0^\circ C$, $18^\circ C$, $20^\circ C$, $25^\circ C$)

Gęstością względną (d_w) nazywamy stosunek gęstości bezwzględnej danego ciała (d_1) do gęstości bezwzględnej innego ciała (d_2) przyjętego za wzorcowe.

$$d_w = \frac{d_1}{d_2} \quad (2)$$

Jeśli oba ciała mają tę samą objętość wówczas:

$$d_w = \frac{d_1}{d_2} = \frac{m_1}{v} \cdot \frac{v}{m_2} = \frac{m_1}{m_2} \quad (3)$$

W praktyce gęstość względną danego ciała wyznacza się w odniesieniu do gęstości wody destylowanej. Woda w temperaturze $4^\circ C$ i pod ciśnieniem 1013 Pa ma gęstość równą $1000 kg/m^3$.

Metody wyznaczania gęstości

1. Wyznaczenie masy ciała stałego i pomiar objętości ciała

Najprostszym sposobem wyznaczenia gęstości ciała stałego jest ustalenie jego wymiarów np. przy pomocy suwmiarki oraz masy przez zważenie na wadze laboratoryjnej. Przy obliczaniu stosuje się wzór na gęstość bezwzględną ciał. Metodę tą możemy zastosować w przypadku brył foremnych (np. sześcianów, stożków czy kul),

2. Waga hydrostatyczna

Gęstość ciał stałych o dowolnych kształtach można wyznaczyć korzystając z prawa Archimidesa i wagi hydrostatycznej. Wagę hydrostatyczną może stanowić waga analityczna. Zasada pomiaru w tej metodzie polega na dwukrotnym zważeniu badanego ciała, które jest zawieszone na cienkim druciku (o masie zaniedbywalnie małej) na belce wagi: raz w powietrzu (m_p), drugi raz w cieczy wzorcowej (m_c) (zwykle woda destylowana).

Siła wyporu działająca na ciało zanurzone w cieczy jest równa:

$$F_w = v \cdot d_c \cdot g \quad (4)$$

Natomiast ciężar ciała w powietrzu jest równy:

$$Q_p = m_p \cdot g = v \cdot d \cdot g \quad (5)$$

Gdzie:

v – objętość ciała zanurzonego;

d_c – gęstość cieczy,

g – przyspieszenie ziemskie,

d – gęstość ciała

Zgodnie z prawem Archimidesa ciężar ciała zanurzonego w cieczy (Q') jest równy różnicy ciężaru ciała w powietrzu i wiły wyporu działającej na to ciało.

$$Q' = Q_p - F_w \quad (6)$$

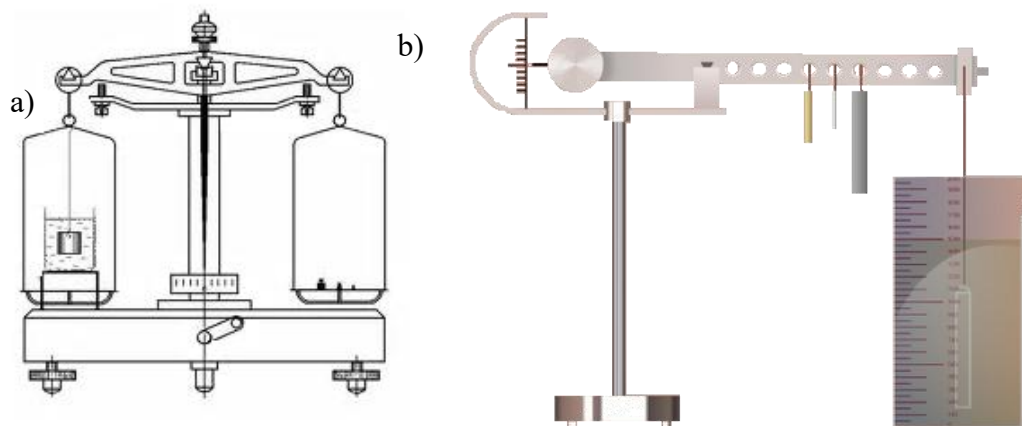
$$Q_p - Q' = v \cdot d_c \cdot g \quad (7)$$

Ze wzoru (7) przekształcając go otrzymuje się wyrażenie na objętość ciał (v):

$$v = \frac{Q_p - Q'}{d_c \cdot g} = \frac{m_p - m'}{d_c} \quad (8)$$

zatem:

$$d = \frac{m_p}{v} = \frac{m_p}{m_p - m'} \cdot d_c \quad (9)$$



Rys.1. Wagi hydrostatyczne a) do pomiarów gęstości ciał stałych, b) waga Westphala-Mohra umożliwiająca pomiar gęstości cieczy.

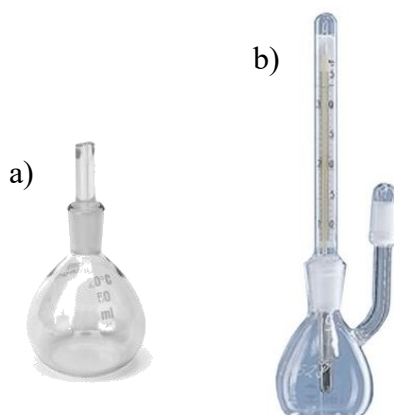
Pomiar wagą hydrostatyczną zwaną również wagą Westphala-Mohra oparty jest także na prawie Archimidesa z tym, że stała jest objętość pływaka, który jest całkowicie zanurzony w badanej cieczy, a siła wyporu hydrostatycznego równoważona jest ciężarem odważników wieszanych na ramieniu wagi.

Ze wzoru (9) wynika możliwość wyznaczenia gęstości badanej cieczy. Próbkę ciała stałego należy zważyć w powietrzu, w cieczy wzorcowej o gęstości d_c oraz w badanej cieczy o gęstości d_x . Wówczas:

$$\frac{d_x}{d_c} = \frac{m_p}{m_p - m'} \quad (10)$$

3. Pomiar gęstości za pomocą piknometru

Piknometr jest to niewielkie naczynie w kształcie kolby z dokładnie doszlifowanym korkiem. W środku korka znajduje się kanalik, przez który może wypływać nadmiar cieczy z naczynia (rys. 2).



Rys.2. Piknometr zwykły (a) i piknometr z termometrem (b).

Ze względu na małe wymiary powierzchni przekroju kanalika zmniejsza się do minimum parowanie cieczy. Przy badaniu cieczy o dużej lotności często na końcówkę korka nanosi się kroplę oleju będącą dodatkową barierą zabezpieczającą przed stratami masy.

Zasada pomiaru przy użyciu piknometru polega na zważeniu piknometru suchego (m_1), następnie napełnionego wodą destylowaną (m_2) oraz napełnionego badaną cieczą (m_3).

Masa cieczy $m = m_3 - m_1$

Masa wody destylowanej $m_w = m_2 - m_1 = v \cdot d_t$

Gdzie

d_T – gęstość wody w temperaturze T

v – objętość wody destylowanej

Objętość cieczy jest równa objętości wody destylowanej, a zatem gęstość cieczy d_x jest równa:

$$d_x = \frac{m}{v} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot d_T \quad (11)$$

Gęstość d_T można odczytać z tablic dla temperatury wody używanej do pomiarów.

4. Metoda areometryczna

Metoda areometryczna wykorzystuje prawo Archimedesesa. Areometr o stałym ciężarze umieszczony w cieczy zanurza się na głębokość zależną od jej gęstości. Z podziałki, która jest umieszczona na areometrze, nad powierzchnią cieczy odczytuje się gęstość badanej cieczy. Areometr jest wąską szklaną rurką zakończoną kulistym zbiornikiem, który wypełniony jest rtęcią lub śrutem, które równoważą siłę wyporu i utrzymują aerometr w pozycji pionowej (częściowo zanurzony w badanej cieczy) podczas pomiaru. Dzieje się tak, ponieważ spełniony jest warunek: siła ciężkości równoważy siłę wyporu. Równowaga ta wyrażona jest wzorem:

$$m \cdot g = v \cdot d_c \cdot g \quad (12)$$

gdzie: m – masa aerometru; g – przyspieszenie ziemskie; v – objętość jego zanurzonej części; d_c – gęstość cieczy.

Wynika z niego, że głębokość zanurzenia aerometru (jej miarą jest v) jest odwrotnie proporcjonalna do gęstości cieczy.

Niektóre areometry wyposażone są dodatkowo w termometr umieszczony w dolnej części areometru ułatwiający kontrolę temperatury podczas pomiaru. Areometry są z reguły skalowane do pomiarów w temperaturze 20 °C. Wykonując pomiary w innej temperaturze trzeba skorzystać z poprawek bądź dokonać kalibracji.



Rys.3. Areometry.

Ćwiczenie. Wyznaczanie gęstości cieczy

1. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie gęstości roztworu sacharozy, który uczniowie przygotowują samodzielnie, poprzez rozcieńczenie roztworu o wyższym stężeniu.

2. Aparatura i szkło laboratoryjne

piknometr, waga laboratoryjna

zlewki, cylindry, kolby miarowe, naczynka wagowe, butelki szklane, termometr, zlewka

3. Odczynniki

sacharoza, woda destylowana

4. Wykonanie doświadczenia

1. Przygotować roztwory sacharozy o stężeniu 10% poprzez rozcieńczenie roztworu bardziej stężonego – o stężeniu 25 %

- W pierwszej kolejności policzyć jaką objętość roztworu o stężeniu 25.% należy odmierzyć za pomocą cylindra, przenieść do kolby o pojemności 250 cm^3 w celu otrzymania roztworu sacharozy o stężeniu 10%.
- Wyliczoną objętość 25% odmierzyć cylindrem miarowym i przenieść do kolby miarowej na 250 cm^3 . Następnie uzupełnić wodą destylowaną do kreski. Roztwór przenieść do butelki i podpisać (nazwa substancji, stężenie).

2. Wykonać pomiary gęstości przygotowanego roztworu za pomocą piknometru.

- Używając wagi analitycznej wyznaczyć masę piknometru wraz z korkiem - m_1 .
- Napełnić piknometr wodą destylowaną. Zamknąć korkiem, aby nadmiar cieczy wypłynął przez kanalik w korku. Osuszyć piknometr papierem i wyznaczyć masę - m_2 .
- Zmierzyć temperaturę badanej wody (przełączyć wodę do zlewki i zmierzyć termometrem; temperaturę zanotować, T). Wylać wodę.
- Przepłukać 3-krotnie piknometr przygotowanym wcześniej roztworem sacharozy. Następnie napełnić piknometr badaną cieczą, osuszyć naczynie papierem i wyznaczyć masę - m_3 .

Pomiary wagi odczytywać z dokładnością do 3 miejsc po przecinku.

Uwaga: Przy napełnianiu piknometru cieczą i jego ważeniu należy unikać ogrzewania piknometru dłońmi. Pod wpływem ciepła ciecz zwiększa swoją objętość i wypływa na zewnątrz

- Powtórzyć czynność 3-krotnie i wyniki zapisać w tabeli.

	I pomiar	II pomiar	III pomiar
Masa pustego piknometru m_1			
Masa piknometru z wodą m_2			
Masa piknometru z badanym roztworem m_3			

f. Policzyc gęstość sacharozy według wzorów:

Masa cieczy

$$m = m_3 - m_1$$

Masa wody destylowanej

$$m_w = m_2 - m_1 = v \cdot d_t$$

Gdzie

d_T – gęstość wody w temperaturze T

v – objętość wody destylowanej

Objętość cieczy jest równa objętości wody destylowanej, a zatem gęstość cieczy d_x jest równa:

$$d_x = \frac{m}{v} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot d_T$$

Gęstość d_T można odczytać z tablic dla temperatury wody używanej do pomiarów.

Obliczyć gęstości sacharozy dla trzech prób pomiarowych.

Wynik końcowy podać w postaci (do 2 miejsc po przecinku):

$$x = \bar{x} \pm s_{\bar{x}}$$

$s_{\bar{x}}$ - Odchylenie standardowe średniej arytmetycznej :
należy policzyć korzystając ze wzorów:

1) Średnia arytmetyczna zbiorowości próbnej : $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n},$$

gdzie:

x_i – poszczególny wynik pomiaru,

n – liczba wyników.

2) Wariancja zbiorowości próbnej V:

$$V = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

gdzie:

$n - 1 = k$ - liczba stopni swobody.

3) Odchylenie standardowe pojedynczego wyniku s :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

4) Odchylenie standardowe średniej arytmetycznej $s_{\bar{x}}$:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

5. Opracowanie wyników pomiarów

Wyniki pomiarów zestawić w tabeli.

Stężenie sacharozy [%]	Średnia gęstość sacharozy [kg/m ³]	Wynik końcowy [kg/m ³] $x = \bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Gęstość 10% roztworu sacharozy na podstawie tablic chemicznych [kg/m ³]
10%			

Utylizacja odpadów:

Roztwory wylewamy do odpowiednich pojemników wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia.

Literatura

1. „Ćwiczenia rachunkowe z chemii fizycznej”, A. Kisz, P. Freundlich, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 2004.
2. „Ćwiczenia laboratoryjne z chemii fizycznej”, T. Bieszczad, M. Moczar, D. Góralczyk, W. Jarzęba, A.M. Turek, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2000, Kraków.
3. E. Więckowska-Bryłka, Eksperymentalna chemia fizyczna, Wyd. SGGW, Warszawa 2003.
4. „Chemia fizyczna t. 1, t. 2”, K. Pigoń, Z. Różewicz, PWN, Warszawa, 2009.

Dodatkowe materiały:

Tabela 1. Gęstość wody w zakresie temperatur 0°C – 30°C.

Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]	Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]	Temperatura [°C]	Gęstość [kg/m ³]
0	999,842	19	998,405	25	997,044
10	999,700	20	998,203	26	996,783
15	999,099	21	997,992	27	996,512
16	998,943	22	997,770	28	996,232
17	998,774	23	997,538	29	995,944
18	998,595	24	997,296	30	995,646

Tabela 2. Gęstość sacharozy w zakresie temperatur 0°C – 30°C

Stężenie	Gęstość (kg/m ³)	
%	<i>t</i> = 15°C	<i>t</i> = 20°C
0	999,13	998,23
1	1003,01	1002,09
2	1006,93	1005,99
3	1010,87	1009,91
4	1014,84	1013,86
5	1018,84	1017,84
6	1022,87	1021,85
7	1026,92	1025,87
8	1031,00	1029,93
9	1035,12	1034,02

10	1039,25	1038,13
11	1043,43	1042,28
12	1047,62	1046,46
13	1051,86	1050,66
14	1056,12	1054,90
15	1060,41	1059,16
16	1064,73	1063,45
17	1069,09	1067,78
18	1073,47	1072,13
19	1077,89	1076,53
20	1082,33	1080,94
21	1086,82	1085,40
22	1091,34	1089,90
23	1095,88	1094,41
24	1100,46	1098,96
25	1105,07	1103,54