

XIX OLIMPIADA FIZYCZNA (1969/1970). Stopień II, zadanie doświadczalne – D2

- Źródło:** Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
Waldemar Gorzkowski: Olimpiady fizyczne XIX i XX. WSiP, Warszawa 1974.
- Nazwa zadania:** Wyznaczanie współczynnika rozszerzalności objętościowej aniliny.
- Działy:** Termodynamika
- Słowa kluczowe:** Współczynnik rozszerzalności objętościowej, termicznej, temperatura, objętość, gęstość, anilina, zlewka, zestaw doświadczalny.

Zadanie doświadczalne – D1, zawody II stopnia, XIX OF.

Dane są:

- 1) zestaw zlewek różnej wielkości,
- 2) termometr (co 1°C od 0°C do 100°C),
- 3) trójnóg, statyw i płyta azbestowa,
- 4) palnik gazowy,
- 5) woda destylowana,
- 6) anilina.

Ponadto dane są tablice gęstości odpowietrzonej wody destylowanej w zależności od temperatury. Wiadomo, że w temperaturze pokojowej gęstość aniliny jest większa niż gęstość wody, a w temperaturze 100°C – odwrotnie – gęstość – gęstość wody jest większa od gęstości aniliny. Wiadomo, że w 20°C gęstość aniliny wynosi 1,0220 g/cm³. Zestaw układ doświadczalny pozwalający wyznaczyć współczynnik rozszerzalności objętościowej aniliny. Wykonaj pomiary i oblicz ten współczynnik przyjmując, że nie zależy on od temperatury. Co zrobisz, by zwiększyć dokładność pomiarów? Jakie zjawiska fizyczne zaobserwowałeś, na czym one polegają.

Uwaga: Przyjmujemy, że anilina zupełnie nie rozpuszcza się w wodzie i odwrotnie.

Gęstość wody od 20°C do 100°C co 5°C w g/cm³:

20°C	0,99820	25°C	0,99704
30°C	0,99564	35°C	0,99403
40°C	0,99221	45°C	0,99022
50°C	0,98804	55°C	0,98570
60°C	0,98321	65°C	0,98056
70°C	0,97778	75°C	0,97486
80°C	0,97180	85°C	0,96862
90°C	0,96531	95°C	0,96260
100°C	0,95835		

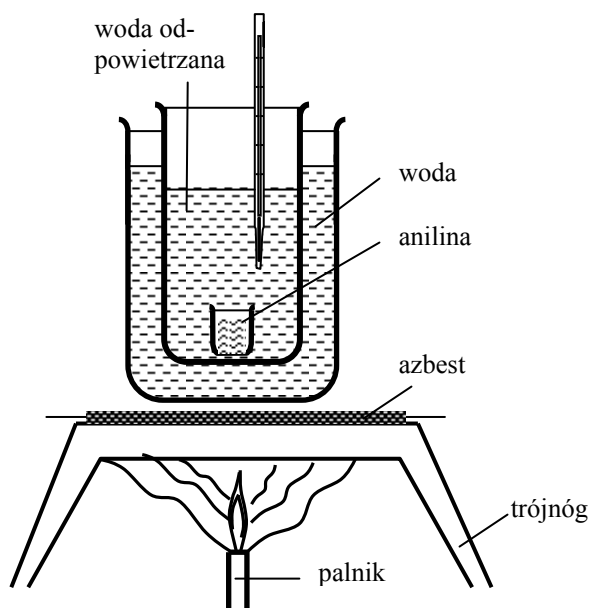
Bardzo ważne: Doświadczenie należy wykonywać pod wyciągiem lub co najmniej w przestronnym, dobrze wietrzonym pomieszczeniu. Anilina ogrzewana z wodą bardzo łatwo paruje, a ponieważ jest związkem szkodliwym dla zdrowia, łatwo jest się zatruć. Jeśli ktoś z Was ma ochotę sam wykonywać pomiary, to najlepiej niech to wykona pod czujnym okiem nauczyciela. Ponadto, mimo że anilina nie jest związkiem tak łatwo palnym jak benzyna lub eter, radzimy uważać z ogniem.

Rozwiązanie

Tekst zadania sugeruje, że należy wyznaczyć temperaturę T_1 , przy której gęstość aniliny i wody będą równe. Poniżej temperatury T_1 anilina wlewna do wody będzie znajdować się na dnie. W miarę ogrzewania gęstość aniliny maleje szybciej niż gęstość wody. Po minięciu temperatury T_1 anilina ma gęstość mniejszą niż woda i powinna wypłynąć. Zjawisko to istotnie obserwuje się doświadczalnie. Jednakże, jak wskazują pierwsze próby, uchwycenie temperatury T_1 nie jest takie łatwe, jakby na pierwszy rzut oka mogło się wydawać. Jeżeli anilinę wlejemy do wody w zlewce i będziemy ogrzewać na płytce azbestowej, to zauważymy następujące, niepożądane zjawiska:

- anilina przylepia się do dna i w miarę zbliżania się do temperatury T_1 zaczyna jakby „pełzać” po ściankach w górę (przyleganie),
- podczas ogrzewania na płytce azbestowej, w wodzie występują dość silne prądy konwekcyjne, które wpływają na proces podnoszenia się aniliny. Anilina zaczyna się podnosić nierównomiernie i właściwie nie wiadomo, czy proces ten jest związany z tym, że osiągnęliśmy już temperaturę T_1 , czy też do T_1 brak nam paru stopni, a podnoszenie się aniliny jest związane z prądami konwekcyjnymi,
- po wypłynięciu anilina przylega do powierzchni wody i spada na dno dopiero wtedy, gdy temperatura obniży się trochę poniżej T_1 .

Układ doświadczalny należy tak zestawić, by wpływ opisanych zjawisk był jak najmniejszy. Oto, jak mi się wydaje, jeden z najdokładniejszych sposobów wykonania pomiarów.



Rys. 1.

Najpierw należy przegotować wodę destylowaną. W ten sposób odpowietrzamy wodę. Jest to konieczne, gdyż tabela gęstości dotyczy wody odpowietrzonej. Następnie zestawiamy układ doświadczalny, tak jak na (Rys. 1.). Na trójnogu kładziemy płytkę azbestową, na niej ustawiamy największą zlewkę, do której wstawiamy zlewkę mniejszą. Następnie do tej zlewki wstawiamy zleweczkę najmniejszą (może być to maleńki kieliszek). Zlewkę środkową należy tak ustawić (wykorzystując statyw), by nie dotykała dna zlewki największej. Największą zlewkę napełniamy wodą. Można użyć zwykłej wody z kranu. Największa zlewka z wodą („łaźnia wodna”) służy do równomiernego i łagodnego ogrzewania zlewki środkowej. W ten sposób zmniejsza się prądy konwekcyjne w wodzie otaczającej anilinę. Do środkowej zlewki wlewamy wodę uprzednio odpowietrzoną przez zagotowanie. Do najmniejszej zleweczki

wlewamy nieco aniliny. Oczywiście robimy to przed umieszczeniem jej w wodzie. Do doświadczenia użyto aniliny technicznej, którą łatwo kupić.

Anilina techniczna, w zależności od stopnia czystości, może mieć nieco różne właściwości. Z tego względu przy powtarzaniu tego doświadczenia możecie otrzymać wyniki nieco inne od tych, które niżej podamy.

Podczas ogrzewania, w tak opisanym układzie doświadczanym anilina wypływa powoli w postaci złocistej, ładnej kuli. Jest to bardzo efektowne i dość niezwykle, ponieważ w życiu codziennym nigdy nie widzi się cieczy w postaci idealnej kuli.

Jeśli zlewkę środkową wybierzemy dość wysoką, to temperaturę T_1 możemy wyznaczyć w następujący sposób. Gdy anilina wypłynie w postaci kuli, wtedy przerywamy ogrzewanie – woda zaczyna stygnąć. Czasami udaje się przy tym osiągnąć to, że kula aniliny zacznie opaść zanim osiągnie powierzchnię wody. Trzeba przyznać, że trudno jest tak właśnie przeprowadzić doświadczenie. Temperaturę T_1 odczytujemy w chwili, gdy kula aniliny zatrzyma się w wodzie. Doświadczenie wychodzi znacznie lepiej, jeśli zamiast zleweczki lub kieliszka jako naczynka na anilinę wziąć napastrzek z tworzywa nie zwilżanego przez anilinę. Unika się wtedy kłopotów związanych z przyleganiem aniliny do naczynia, anilina wypływa „bez opóźnienia” i kulę aniliny łatwiej „zawiesić” w wodzie.

Kilkakrotne powtórzenie doświadczenia dało w opisywanym przypadku następujące wartości T :

$$57^{\circ}\text{C}, 56^{\circ}\text{C}, 56^{\circ}\text{C}, 56^{\circ}\text{C}, 56^{\circ}\text{C}, 57^{\circ}\text{C}.$$

Zanim przystąpimy do opracowania wyników zastanówmy się dlaczego anilina przybiera kształt kuli. Wyjaśnienie tego faktu nie jest trudne. Anilina stara się przyjąć taki kształt, przy którym energia związana z napięciem powierzchniowym będzie najmniejsza. Energia ta jest proporcjonalna do powierzchni. Zatem anilina przyjmie taką postać, dla której powierzchnia będzie najmniejsza. Wiemy jednak, że ze wszystkich brył o danej objętości najmniejszą powierzchnię ma właśnie kula.

A teraz zastanówmy się, jak na podstawie danych z tekstu zadania i znajomości T_1 możemy wyznaczyć współczynnik rozszerzalności aniliny.

Weźmy pod uwagę sieć o masie m i objętości w temperaturze T_0 równej V_0 . Gęstość tej cieczy o temperaturze T_0 wynosi oczywiście $d_0 = m/V_0$. Po ogrzaniu cieczy do temperatury T_1 jej objętość będzie równa się $V_1 = V_0(1 + \alpha\Delta T)$, gdzie $\Delta T = T_1 - T_0$. Gęstość cieczy w tej temperaturze wynosi

$$d_1 = \frac{m}{V_0(1 + \alpha\Delta T)} = \frac{d_0}{1 + \alpha\Delta T}.$$

Zatem

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \frac{d_0 - d_1}{d_1}.$$

W naszym przypadku d_1 równa się gęstości wody w temperaturze T_1 . Możemy ją odczytać z podanej tabeli. Ponieważ najmniejsza podziałka na termometrze równa się 1°C , więc jako T_1 możemy wziąć wartość $(56,5 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}$. Ponieważ $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$, więc $\Delta T = (36,5 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}$. Gęstości wody dla $56,5^{\circ}\text{C}$ nie mamy podanej wprost w tabeli, możemy ją jednak wyznaczyć stosując interpolację (podobnie jak przy dokładniejszym obliczaniu logarytmów z tablic logarytmicznych). Po wykonaniu odpowiednich obliczeń otrzymujemy.

$$d_1 = 0,98495 \text{ g/cm}^3.$$

Dalej mamy

$$d_0 - d_1 = (1,0220 - 0,9850) \text{ g/cm}^3 = 0,0370 \text{ g/cm}^3,$$

$$\alpha = \frac{1}{36,5^{\circ}\text{C}} \frac{0,0370}{0,98495} \approx 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

Jak łatwo zauważyć, niepewności względne $d_0 - d_1$ i d_1 są znacznie mniejsze niż niepewność względna ΔT i można je zaniedbać. Zatem niepewność względna α jest taka sama, jak niepewność względna ΔT , tj. wynosi $\frac{0,5}{36,5} \cdot 100\%$, czyli około 1,5%.

W zadaniu tym zakładaliśmy, że ciecz zmienia swą objętość wg wzoru:

$$V_1 = V_0(1 + \alpha\Delta T),$$

gdzie α jest współczynnikiem rozszerzalności objętościowej, który nie zależy od temperatury. Oczywiście jest to tylko pewne przybliżenie. Tak naprawdę, to α lekko zależy od temperatury. Zmierzone przez nas α jest więc średnim współczynnikiem rozszerzalności aniliny w granicach $20^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C}$. Stosowany przez nas wzór wystarczy do wielu praktycznych zastosowań. Jednak w niektórych badaniach konieczny jest dokładniejszy wzór:

$$V_1 = V_0 \left[1 + \alpha\Delta T + \beta(\Delta T)^2 + \gamma(\Delta T)^3 \right].$$

We wzorze tym α , β i γ słabiej zależą od temperatury niż α we wzorze przez nas stosowanym. Wartości α , β i γ dla różnych cieczy można znaleźć w tablicach fizycznych.

W tekście zadania podano, że rozpuszczalność aniliny w wodzie i wody w anilinie należy zaniedbać. Rozpuszczalność ta rzeczywiście jest bardzo mała, co można sprawdzić w tablicach fizycznych. Może Czytelnik sam zechce zbadać, w którą stronę zmieniliby wynik uwzględnienie rozpuszczania się aniliny w wodzie i odwrotnie.

W związku z tym zadaniem warto wspomnieć o pewnej ciekawostce. Otóż, jak wiecie, jedna ze starszych (obecnie nieaktualna) teorii kosmologicznych głosiła, że planety oddzieliły się od Słońca w skutek jego ruchu wirowego. W czasach gdy ta teoria była bardzo modna, ku uciesze możliwych protektorów albo wprost dla zabawy, różni ludzie demonstrowali proces powstawania planet „w mikroskali” za pomocą następującego doświadczenia. Zawieszali oni w wodzie kulę cieczy (nie wiem, czy była to anilina, pewnie było to coś innego), a następnie wstawiali w nią patyczek lub mały wiatraczek, który wprawiali w ruch obrotowy. Ciecz zaczęła wirować, przy czym w miarę rozkręcania od wirującej kulki kolejno oddzielały się pierścienie, które szybko przekształcały się w mniejsze kulki, krążące wokół macierzystej. Może komuś z Was uda się odtworzyć to doświadczenie.

W dwóch okręgach ze względu na trudności z wentylacją nie można było przeprowadzić doświadczenia z aniliną. W jednym z okręgów przygotowano zastępcze zadanie doświadczalne, natomiast w drugim zamiast zadania doświadczalnego dano uczniom dodatkowe zadanie teoretyczne.