

XII OLIMPIADA FIZYCZNA (1962/1963). Stopień I, zadanie doświadczalne – D

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Czesław Ścisłowski: Fizyka w Szkole nr 2, 1963 r.; Piotr Halfter: Olimpiady Fizyczne XI i XII, PZWS, Warszawa 1966.
Nazwa zadania:	Wyznaczanie ciepła właściwego denaturatu.
Działy:	Termodynamika
Słowa kluczowe:	Ciepło właściwe, bilans cieplny, temperatura, masa, równoważnik cieplny, parowanie, szybkość ostygnięcia, wzór Newtona, prąd elektryczny, woda, denaturat, termometr, kalorymetr, waga, grzałka, termos, opilki.

Zadanie doświadczalne – D, zawody I stopnia, XII OF.

Wyznacz ciepło właściwe spirytusu denaturowanego. Podaj opis i wynik doświadczenia.

Rozwiązanie

Zawodnicy stosowali różne metody. Niektórzy powtarzali pomiary stosując jedną i tę samą metodę. Inni zaś przeprowadzali doświadczenia używając różnych dostępnych przyrządów i stosując różne sposoby.

Metody rozwiązania

I. Zamiast kalorymetru używany był termos o szerokim wylocie. W korku zamykającym termos były wykonane otwory dla termometru, mieszadła i grzałki elektrycznej. Grzałka była połączona z autotransformatorem zasilanym z sieci miejskiej. Dzięki obniżeniu napięcia unika się zbyt szybkiego ogrzewania.

Pojemność termosu (około 1 litra) umożliwiała umieszczenie w nim znacznej masy cieczy (kilkaset gramów). Zawodnik wyznaczał najpierw równoważnik cieplny termosu. W tym celu ogrzewał w ciągu tego samego czasu kolejno m_1 g wody, potem m_2 g. Ogrzewanie trwało $\tau_1 = \tau_2$ (kilka) minut. Przyrosty temperatur Δt_1 i Δt_2 były oczywiście różne, ale ilości dostarczonego ciepła były jednakowe.

Wobec tego

$$Q_1 = (m_1 c + q) \Delta t_1 \quad (1)$$

$$Q_2 = (m_2 c + q) \Delta t_2 \quad (2)$$

gdzie q jest ilością ciepła pobieraną przez ścianki termosu, mieszadło, termometr, obudowę grzałki przy ogrzaniu o 1°C .

Ponieważ $Q_1 = Q_2$, mamy z (1) i (2)

$$(m_1 c + q) \Delta t_1 = (m_2 c + q) \Delta t_2$$

stąd

$$q = \frac{m_2 c \Delta t_2 - m_1 c \Delta t_1}{\Delta t_1 - \Delta t_2} \quad (3)$$

Następnie zawodnik ogrzewa m_3 g spirytusu. Przyrost temperatury wynosi Δt_3 . Czas ogrzewania τ_3 minut. Ilość ciepła dostarczonego wynosi

$$Q_3 = (m_3 c_x + q) \Delta t_3 \quad (4)$$

Napięcie źródła zasilającego grzałkę było to samo. Wobec tego ilości ciepła dostarczonego przez nią są proporcjonalne do czasu ogrzewania.

To znaczy, że

$$\frac{Q_3}{Q_1} = \frac{\tau_3}{\tau_1} \quad (5)$$

Podstawiając (1) i (4) do (5) mamy

$$\frac{(m_3 c_x + q)\Delta t_3}{(m_1 c + q)\Delta t_1} = \frac{\tau_3}{\tau_1} \quad (6)$$

Dalsze obliczenia byłyby uproszczone, gdyby przy ogrzewaniu spirytusu udało się uzyskać przyrost temperatury $\Delta t_3 = \Delta t_1$.

Z (6) otrzymujemy

$$\begin{aligned} m_3 c_x \Delta t_3 \tau_1 &= m_1 c \Delta t_1 \tau_3 + q \Delta t_1 \tau_3 - q \Delta t_3 \tau_1 \\ m_3 c_x \Delta t_3 \tau_1 &= m_1 c \Delta t_1 \tau_3 + (\Delta t_1 \tau_3 - \Delta t_3 \tau_1) q \\ c_x &= \frac{m_1 c \Delta t_1 \tau_3 + (\Delta t_1 \tau_3 - \Delta t_3 \tau_1) q}{m_3 \Delta t_3 \tau_1} \end{aligned}$$

Podstawiając do tego wyrażenia obliczoną poprzednio z (3) wartość q znajdujemy c_x – ciepło właściwe spirytusu denaturowanego.

Przyrosty temperatur przy ogrzewaniu zarówno wody jak i spirytusu wynosiły kilka stopni. Wobec tego, intensywnego parowania nie było.

Największy błąd popełnia się niewątpliwie przy odczytywaniu temperatur zwłaszcza końcowych (po ogrzaniu).

Wyznaczanie równoważnika cieplnego termosu wraz ze znajdującymi się w nim przedmiotami zawsze jest obarczone błędami, których nie sposób uniknąć. Należałoby przeprowadzić serię pomiarów i obliczyć wartość średnią równoważnika.

II. Jeden z zawodników posługiwał się kalorymetrem aluminiowym i naftą. Ważył kalorymetr m_k i naftę w kalorymetrze $m_n = 100$ g, mierzył temperaturę t_1 . Następnie ogrzewał spirytus do $t_2 = 55^\circ\text{C}$ w sposób niewskazany, bo w kolbie nad palnikiem (nie dopuszczalne). Naczynie ze spirytusem można ogrzewać umieszczając je w garnku z ciepłą wodą. Drugi błąd popełnił zawodnik wyznaczając masę spirytusu przed ogrzaniem. Można było wlać spirytus do kalorymetru z naftą i po odczytaniu temperatury mieszaniny t_3 zważyć ponownie kalorymetr z naftą i spirytusem. W ten sposób masa spirytusu m_3 byłaby wyznaczona dokładniej.

Ciepło właściwe aluminium i nafty podane jest w tablicach. Bilans cieplny przedstawia się jak następuje

$$m_s c_s (t_2 - t_3) = m_k c_k (t_3 - t_1) + m_n c_n (t_3 - t_1)$$

stąd

$$c_s = \frac{(m_k c_k + m_n c_n)(t_3 - t_1)}{m_s (t_2 - t_3)}$$

Zawodnik nie uwzględnił ciepła pobranego przez termometr i przez mieszadło, którego masy nie wyznacza. Masa spirytusu wyznaczona była niedokładnie. Błędami obarczone są wyniki ważenia i odczytane temperatury. Zawodnik nie wskazał z jaką dokładnością mógł odczytywać temperatury i z jaką dokładnością wyznaczał masy ciał. Zawodnik ograniczył się do wykonania jednego tylko doświadczenia.

III. Zawodnik posługuje się opiłkami miękkiej stali, kalorymetrem mosiężnym i mieszadłem mosiężnym. Wyznacza masę m_1 kalorymetru wraz z mieszadłem.

Wyznacza masę m_2 spirytusu ważąc go w kalorymetrze i odejmując masę kalorymetru.

Odczytując temperaturę spirytusu i kalorymetru t_1 (pokojowa).

Wyznacza masę m_3 opiłek stali i ogrzewa je w naczyniu zanurzonym we wrzącej wodzie. Odczytuje temperaturę t_2 (około 100°C).

Po wrzuceniu opiłek do spirytusu odczytuje wskazanie termometru t_3 . Przyrost temperatury spirytusu $t_2 - t_1$ wynosi około 5°C .

Bilans ciepła

$$m_2 c_2 (t_2 - t_3) = (m_1 c_1 + m_2 c_2) (t_2 - t_1)$$

z tego równania wyznacza c_2 . Wartość ciepła właściwego mosiądzu i stali podane są w tablicach.

Suma mas spirytusu i kalorymetru była znacznie większa od masy opiłek co sprawiło, że przyrost temperatury spirytusu wynosił około 5°C . Drobne opiłki rozproszone przy wpadaniu do spirytusu mogły jednak spowodować znaczniejsze parowanie.

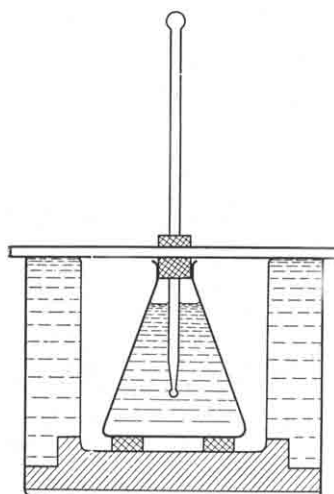
Największy błąd popełnia się przy ustalaniu temperatury ogrzanych opiłek w chwili wrzucenia ich do cieczy. Popełnia się błędy jak zwykle przy wyznaczaniu mas i odczytywaniu temperatury.

IV. Próby wyznaczania ciepła właściwego spirytusu przy pomocy spirali grzejnej (celem wyznaczenia ilości dostarczonego ciepła), przy którym konieczne jest dokładne wyznaczenie oporu spirali i natężenia prądu albo napięcia i natężenia, nie dają zadowalających wyników. Przyczyna tkwi w tym, że zawodnicy widocznie nie mogli uniknąć poważnych błędów przy dokonywaniu pomiarów natężenia prądu i oporu spirali względnie napięcia na zaciskach spirali i natężenia prądu. W paru wypadkach czas trwania ogrzewania był zbyt długi, co spowodowało znaczną utratę ciepła.

V. Niektórzy zawodnicy wyznaczyli ciepło właściwe spirytusu denaturowanego porównując szybkość jego ostygnięcia z szybkością ostygnięcia wody. Sposób ten jest oparty na prawie Newtona, który głosi, że ciepło stracone przez ciało stygnące jest proporcjonalne do różnicy temperatur ciała i otoczenia. Prawo to spełnia się przy małych różnicach temperatur.

Uzyskanie na tej drodze zadowalających rezultatów wymaga sporządzenia odpowiedniego urządzenia zapewniającego przebieg procesu ostygnięcia obu cieczy w warunkach w miarę możliwości jednakowych. Zawodnicy natomiast za bardzo uprościli sobie wykonanie tego zadania.

Przyrząd należałoby zbudować na przykład w sposób podobny do przedstawionego na rysunku 1. Niewielką kolbę stożkową o pojemności około 100 cm^3 z dopasowanym korkiem



Rys. 1

z otworem do osadzania termometru umieszczamy w blaszanym cylindrycznym naczyniu (w puszcze po konserwach) z białej blachy. Korek przechodzi przez otwór wykonany w płyt-

ce ze sklejk lub pilśni o grubości około $5 \div 6$ mm. Korek musi szczelnie zamykać otwór w płytce. Kolbka może opierać się na korku przyklejonym do dna naczynia. Naczynie to należy umieścić w znacznie większym od niego innym pudle blaszanym, które stanowi osłonę. Na dnie umieszczamy podstawkę drewnianą (w kształcie krzyża) tak dobraną, by górne krawędzie osłony i naczynia były na jednym i tym samym poziomie. Płytkę z osadzonym w niej korkiem z termometrem powinna przylegać do krawędzi osłony i naczynia. Przestrzeń pomiędzy ściankami naczynia i osłony trzeba wypełnić wodą. Celem przeciwdziałania wyporowi wody należy na płytce umieścić dostatecznie ciężki krążek. Woda powinna być zawczasu przygotowana w jakimś dużym naczyniu, aby temperatura jej była równa temperaturze panującej w pokoju.

Należy zważyć kolbę pustą, następnie ze spirytusem. Kolbę ze spirytusem ogrzewamy umieszczając ją w naczyniu z wodą – do temperatury około 55°C . Po wyjęciu z wody i osuszeniu kolby zamykamy ją korkiem osadzonym szczelnie w płytce. Po kilku minutach, kiedy temperatura spadnie na przykład do 50°C , umieszczamy kolbkę w naczyniu i notujemy czas (najlepiej posługując się sekundomierzem). Pouczające jest notowanie temperatury co minutę. Pozwoli to później wykreślić krzywą obrazującą przebieg procesu. Po obniżeniu temperatury o kilkanaście stopni notujemy czas i ponownie ważymy kolbę ze spirytusem. Następnie usuwamy spirytus z kolby i wodę z osłony. Do kolby nalewamy tyle wody, by masa jej była równa masie spirytusu. Do osłony nalewamy wody o temperaturze pokojowej. Ogrzewamy wodę w kolbie i po ostudzeniu do tej samej temperatury co spirytus (np. 50°C) umieszczamy kolbę w naczyniu, notujemy czas itd.

Oznaczmy masę spirytusu przez m_1 , jego ciepło właściwe przez c_1 , masę kolby przez m_2 , ciepło właściwe szkła – c_2 , początkową temperaturę – t_1 , końcową – t_2 , czas ostygnięcia τ_1 .

Ciepło stracone przez spirytus i szkło wynosi

$$Q_1 = (m_1c_1 + m_2c_2)(t_1 - t_2)$$

Masa wody jest taka jak spirytusu – m_1 , ciepło właściwe c , temperatura początkowa i końcowa takie same jak w przypadku ze spirytusem.

Czas ostygnięcia – τ_2 .

Ciepło stracone przez wodę i szkło jest

$$Q_2 = (m_1c + m_2c_2)(t_1 - t_2)$$

Całkowitą stratę ciepła Q w ciągu czasu τ można wyrazić posługując się wzorem Newtona

$$Q = h \cdot S \cdot \Theta \cdot \tau$$

gdzie Θ jest różnicą temperatur ciała i ośrodka otaczającego to ciało, S – oznacza powierzchnię ciała, h – nosi nazwę współczynnika przewodnictwa zewnętrznego, zależy on od rodzaju powierzchni oraz od warunków panujących w otoczeniu.

Jeżeli w obu przypadkach wartości h , S i Θ są jednakowe, to

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

albo

$$\frac{(m_1c_1 + m_2c_2)(t_1 - t_2)}{(m_1c + m_2c_2)(t_1 - t_2)} = \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

stąd

$$\frac{m_1c_1 + m_2c_2}{m_1c + m_2c_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

$$m_1c_1\tau_2 = m_1c\tau_1 + m_2c_2\tau_1 - m_2c_2\tau_2$$

$$c_1 = \frac{m_1 c \tau_1 + m_2 c_2 (\tau_1 - \tau_2)}{m_1 \tau_2}$$

Paru uczniów posługując się podobnym przyrządem dokonało pomiarów i otrzymało następujące wyniki¹

$$m_1 = 65,62 \text{ g} \quad \tau_1 = 1570 \text{ s}$$

$$m_2 = 60,0 \text{ g} \quad \tau_2 = 2150 \text{ s}$$

$$c_2 = 0,2 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \text{ (z tablic)}$$

Po podstawieniu do otrzymanego wzoru mamy²:

$$\frac{65,62 c_1 + 60 \cdot 0,2}{65,62 \cdot 1 + 60 \cdot 0,2} = \frac{1570}{2150} \approx 0,73$$

$$65,62 c_1 + 12 = 77,62 \cdot 0,73$$

$$65,62 c_1 = 56,66 - 12$$

$$65,62 c_1 = 44,66$$

$$c_1 = \frac{44,66}{65,62} \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \approx 0,68 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \approx 2849 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Rzecz jasna, że ten sposób wyznaczania ciepła właściwego również obarczony jest błędami. Popełniamy błąd przy odczytywaniu temperatury (w najkorzystniejszych warunkach z dokładnością do $0,1^\circ\text{C}$) początkowej i końcowej przy równoczesnym notowaniu czasu (trzeba posługiwać się sekundomierzem).

Trzykrotnego ważenia kolby (kolby pustej, kolby z wodą i kolby ze spirytusem) dokonujemy z dokładnością co najwyżej do $0,01 \text{ g}$.

W otrzymanym wzorze figuruje ciepło właściwe szkła, które bierzemy z tablic. Dla szkła „Pyrex” podają tablice wartość $0,2 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$. Inne gatunki szkła mają ciepło właściwe mniejsze

($0,12 - 0,19$). Jeśli nie znamy gatunku szkła, to skazani jesteśmy na zgadywanie albo wyznaczanie ciepła właściwego szkła.

Trzeba wreszcie wziąć pod uwagę i to, że temperatura ciał otaczających stygnącą substancję rośnie stopniowo z biegiem czasu. Przeto szybkość ostygnięcia maleje (zgodnie z prawem Newtona) niejednakowo dla porównywanych substancji. Jak wskazuje przytoczony przykład czas ostygnięcia wody jest znacznie dłuższy niż czas ostygnięcia spirytusu. Warunki, w których przebiega proces nie są więc identyczne. Lepsze rezultaty można uzyskać stosując bardziej dokładne przyrządy pomiarowe, budując przyrząd tak, by masa wody tworzącej osłonę była możliwie największa. Kilkakrotne powtórzenie doświadczenia przyczynia się do usprawnienia postępowania a otrzymane wyniki dają możliwość obliczenia średniej wartości.

¹ W zapisie oryginalnym zamiast $^\circ\text{C}$ występuje zapis „stop”; np.: $c_2 = 0,2 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{stop}}$

² $1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$