



Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych

Katedra Nauk Ogólnokształcących

SPRAWOZDANIE

z ćwiczenia przeprowadzonego w zintegrowanym laboratorium fizyki, mechaniki i termodynamiki.

Temat ćwiczenia: **Wyznaczenie ciepła właściwego ciał stałych**

Sluchacz: **Łukasz Kusek**

Grupa: **C9D**

Ćwiczenie zaliczono:

.....

1 Krótki opis ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie **ciepła właściwego ciała stałego**. Korzystamy z zerowej zasady termodynamiki

Zasada 1.1 (Zerowa zasada termodynamiki). *Jeżeli dwa ciała A i B są w stanie równowagi termodynamicznej z trzecim ciałem T , to są one też w stanie równowagi termodynamicznej ze sobą nawzajem.*

Innymi słowy kiedy dwa ciała znajdują się w stanie **równowagi termodynamicznej**, to ich **temperatury** są sobie **równe** i na odwrót.

Gdy pewien **układ** (o temperaturze T_U) pozostaje w kontakcie z pewnym **otoczeniem** (o temperaturze T_O), to zgodnie z obserwacjami, jeśli temperatura T_U jest różna od temperatury T_O , następuje zmiana temperatur, aż do wyrównania się temperatur i osiągnięcia stanu równowagi termodynamicznej.

Obserwowana zmiana temperatur jest wynikiem **przepływu energii termicznej** pomiędzy układem, a jego otoczeniem (Energia termiczna, to energia wewnętrzna, na którą składa się energia kinetyczna i potencjalna atomów, cząsteczek i innych mikroskopowych ciał tworzących układ).

Przekazywana energia nazywana jest **ciepłem** i oznaczana Q .

Ciepło (Q) jakie pobiera (oddaje) ciało jest **zależne** od stałej **pojemności cieplnej** (C) danego ciała i od zmiany **temperatury** ($\Delta T = T_{końc} - T_{pocz}$), jaka wywołała ten proces.

$$Q = C \cdot \Delta T \quad (1)$$

Wygodniej jest związać pojemność cieplną z jednostką masy substancji, z jakiej zbudowane jest ciało.

Dlatego definiuje się **ciepło właściwe** (c), jako "pojemność cieplna na jednostkę masy"

Stąd ciepło jakie pobiera (oddaje) ciało można zapisać wzorem

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (2)$$

Jeżeli nasz układ oraz jego otoczenie potraktujemy jako układ zamknięty adiabatycznie, który nie wykonuje pracy, to suma procesów cieplnych jaka w nim zachodzi nie może zmienić jego ogólnej energii wewnętrznej.

W celu wyznaczenia ciepła właściwego ciała stałego korzystamy z wyżej opisanych własności.

1.1 Przebieg ćwiczenia

Do zbadania ciepła właściwego ciała stałego wykorzystujemy kalorymetr (o znanym cieple właściwym - c_k) oraz wodę (o znanym cieple właściwym - c_w).

- ważymy ciało i zapisujemy jego masę (m)
- ważymy kalorymetr i zapisujemy jego masę (m_k)
- ważymy kalorymetr z wodą i zapisujemy masę tego układu ($m_k + m_w$)
- mierzymy temperaturę początkową kalorymetru z wodą (T_{kw})
- ogrzewamy ciało do temperatury ponad $373K$ i zapisujemy (T_c)
- umieszczymy ciało w kalorymetrze, po ustanowieniu się temperatury uznajemy ją za końcową (T)

2 Tabela odczytów i pomiarów

Masa ciała badanego m (kg)	Masa ka- lory. m_k (kg)	Masa kalory. z wodą $m_k + m_w$ (kg)	Temp. po- czątkowa kaloryme- tru z wodą T_{kw} (K)	Temp. począt- kowa ciała ogrzanego T_c (K)	Temp. końcowa T (K)
0,0417 kg	0,0978 kg	0,3692 kg	296,1 K	378,2 K	298,2 K

3 Opracowanie pomiarów i wyniki

W wyniku przeprowadzonego doświadczenia nastąpił przepływ energii pomiędzy badanym ciałem, a układem kalorymetr-woda (ponieważ temperatura początkowa ciała T_c była większa niż temperatura początkowa kalorymetru z wodą T_{kw}).

Zgodnie z (2) ciepło jakie oddało ciało wynosi:

$$Q_c = m c_x (T_c - T)$$

Ciepło zostało spożytkowane na ogrzanie kalorymetru

$$Q_k = m_k c_k (T - T_{kw})$$

oraz wody

$$Q_w = m_w c_w (T - T_{kw})$$

Zgodnie z bilansem cieplnym mamy

$$Q_c = Q_k + Q_w$$

$$m c_x (T_c - T) = m_k c_k (T - T_{kw}) + m_w c_w (T - T_{kw})$$

Stąd obliczamy szukane ciepło właściwe (c_x)

$$c_x = \frac{m_k c_k (T - T_{kw}) + m_w c_w (T - T_{kw})}{m (T_c - T)}$$

$$c_x = \frac{(m_k c_k + m_w c_w) (T - T_{kw})}{m (T_c - T)}$$

Do obliczenia wykorzystujemy znane ciepło właściwe wody ($c_w = 4185 \frac{J}{kg \cdot K}$) i kalorymetru ($c_k = 880 \frac{J}{kg \cdot K}$) oraz zmierzone wielkości.

Ciepło właściwe badanego ciała wynosi

$$\begin{aligned}
c_x &= \frac{(0,2714 \cdot 4185 + 0,0978 \cdot 880) (298,2 - 296,1)}{0,0417 (378,2 - 298,2)} = \\
&= \frac{1221,873 \cdot 2,1}{0,0417 \cdot 80} = 769,1647 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]
\end{aligned}$$

4 Ocena błędów

Dla funkcji ciepła właściwego

$$c_x(m, m_k, m_w, T, T_c, T_{kw}) = \frac{(m_k c_k + m_w c_w) (T - T_{kw})}{m (T_c - T)}$$

obliczamy błąd pomiaru metodą różniczeki zupełnej

$$\begin{aligned}
\Delta c_x(m, m_k, m_w, T, T_c, T_{kw}) &= \left| \frac{\partial c_x}{\partial m} \cdot \Delta m \right| + \left| \frac{\partial c_x}{\partial m_k} \cdot \Delta m_k \right| + \left| \frac{\partial c_x}{\partial m_w} \cdot \Delta m_w \right| \\
&+ \left| \frac{\partial c_x}{\partial T} \cdot \Delta T \right| + \left| \frac{\partial c_x}{\partial T_c} \cdot \Delta T_c \right| + \left| \frac{\partial c_x}{\partial T_{kw}} \cdot \Delta T_{kw} \right|
\end{aligned}$$

Obliczamy poszczególne różniczeki

$$\begin{aligned}
\frac{\partial c_x}{\partial m} &= \frac{(m_k c_k + m_w c_w) (T - T_{kw})}{(T_c - T)} \cdot \frac{-1}{m^2} \\
\frac{\partial c_x}{\partial m_k} &= \frac{c_k (T - T_{kw})}{m (T_c - T)} \\
\frac{\partial c_x}{\partial m_w} &= \frac{c_w (T - T_{kw})}{m (T_c - T)} \\
\frac{\partial c_x}{\partial T} &= \frac{(m_k c_k + m_w c_w) (T_c - T_{kw})}{m (T_c - T)^2} \\
\frac{\partial c_x}{\partial T_c} &= \frac{(m_k c_k + m_w c_w) (T - T_{kw})}{m} \cdot \frac{-1}{(T_c - T)^2} \\
\frac{\partial c_x}{\partial T_{kw}} &= (-1) \cdot \frac{(m_k c_k + m_w c_w)}{m (T_c - T)}
\end{aligned}$$

Obliczamy wartości różniczek

$$\begin{aligned}
\frac{\partial c_x}{\partial m} &= -18445,195642048 \\
\frac{\partial c_x}{\partial m_k} &= 553,956834532 \\
\frac{\partial c_x}{\partial m_w} &= 2634,442446043 \\
\frac{\partial c_x}{\partial T} &= 375,883443121 \\
\frac{\partial c_x}{\partial T_c} &= -9,614558228 \\
\frac{\partial c_x}{\partial T_{kw}} &= -366,268884892
\end{aligned}$$

Błędy pomiarów przyjmujemy

$$\begin{aligned}
\Delta m &= 10^{-4} \text{ kg} \\
\Delta m_k &= 10^{-4} \text{ kg} \\
\Delta m_w &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \\
\Delta T &= 10^{-1} \text{ K} \\
\Delta T_c &= 5 \cdot 10^{-1} \text{ K} \\
\Delta T_{kw} &= 10^{-1} \text{ K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial c_x}{\partial m} \cdot \Delta m &= -1,844519564 \\
\frac{\partial c_x}{\partial m_k} \cdot \Delta m_k &= 0,055395683 \\
\frac{\partial c_x}{\partial m_w} \cdot \Delta m_w &= 0,526888489 \\
\frac{\partial c_x}{\partial T} \cdot \Delta T &= 37,588344312 \\
\frac{\partial c_x}{\partial T_c} \cdot \Delta T_c &= -4,807279114 \\
\frac{\partial c_x}{\partial T_{kw}} \cdot \Delta T_{kw} &= -36,6268884892
\end{aligned}$$

Δm_w zostało przyjęte jako $2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ ponieważ pomiar wykonywany był 2-krotnie (pomiar m_k oraz $m_k + m_w$)

ΔT_c zostało przyjęte jako $5 \cdot 10^{-1} \text{ K}$ ponieważ pomiar wykonywany był w piecu, gdzie ogrzewane było ciało, a pomiędzy piecem i kalorymetrem ciało przebyło drogę, na której traciło temperaturę w wyniku kontaktu z otoczeniem.

Wstawiamy obliczone wartości różniczek oraz błędy pomiarów i obliczamy błąd pomiaru ciepła właściwego Δc_x

$$\Delta c_x(m, m_k, m_w, T, T_c, T_{wk}) = 81$$

4.1 Wnioski i spostrzeżenia

Wyniki badania ciepła właściwego ciała stałego wraz błędem oraz z jednostkami w układzie SI,

$$c_x = 769 \pm 81 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

Otrzymane wyniki nie znajdują odzwierciedlenia w tablicach fizycznych dla ciepła właściwego. Najprawdopodobniej ciało zostało wykonane ze stopów metali (bądź nie umieszczonego w tablicach metalu).

Zmniejszenie błędu pomiaru można osiągnąć przez zwiększenie temperatury początkowej ciała oraz jego masy. Wydłuży to jednak czas badania.