

31**WYZNACZANIE CIEPŁA
WŁAŚCIWEGO CIAŁ STAŁYCH
ZMODYFIKOWANĄ METODĄ
NERNSTA****1. ZAGADNIENIA TEORETYCZNE**

- Ciepło właściwe i ciepło molowe
- Zasada ekwipartycji energii
- Prawo Dulonga – Petita
- Ciepło Joule’a – Lenza
- Metody wyznaczania ciepła właściwego - opis metody Nernsta

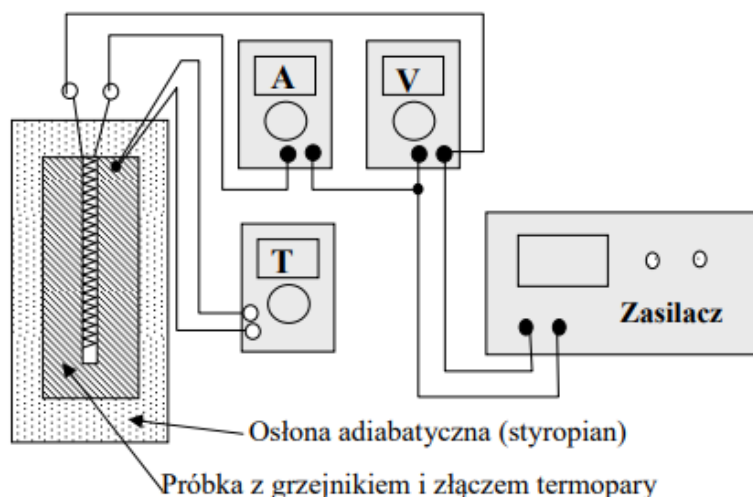
2. POMIARY

Zmodyfikowana metoda Nernsta służy do wyznaczania ciepła właściwego ciał stałych poprzez precyzyjny pomiar energii elektrycznej dostarczanej do układu i rejestrację odpowiadającego jej przyrostu temperatury. Opiera się ona na analizie bilansu mocy z uwzględnieniem wymiany ciepła z otoczeniem. Wykorzystanie pomiaru szybkości zmian temperatury w fazie grzania oraz w fazie swobodnego stygnięcia pozwala na wyznaczenie poprawki na straty energii w procesie termodynamicznym zgodnie z zależnością:

$$C = \frac{U \cdot I}{m \left(\frac{dT}{dt} + \left| \frac{dT}{dt} \right| \right)} \quad (1)$$

Szczegółowy opis fizyczny zjawiska, analiza zależności ciepła właściwego od temperatury w odniesieniu do prawa Dulonga-Petita oraz pełne wyprowadzenie powyższego równania znajdują się w „Materiałach dodatkowych”.

Rysunek 1 przedstawia schemat układu pomiarowego. W pojemniku wyłożonym styropianem umieszczono 4 próbki wykonane odpowiednio z miedzi, mosiądzu, aluminium i grafitu. Mają one takie same rozmiary, a ich masy wynoszą odpowiednio: $m_{Cu} = 0.157$ kg, $m_{mos.} = 0.148$ kg, $m_{Al} = 0.051$ kg, $m_C = 0.031$ kg. Masy i ciepło właściwe grzejników elektrycznych i termopar należy zaniedbać. Każda próbka ma wyprowadzone niezależne od innych próbek przewody do grzejnika i termopary. Przy badaniu kolejnych próbek należy przełączyć odpowiednie przewody.



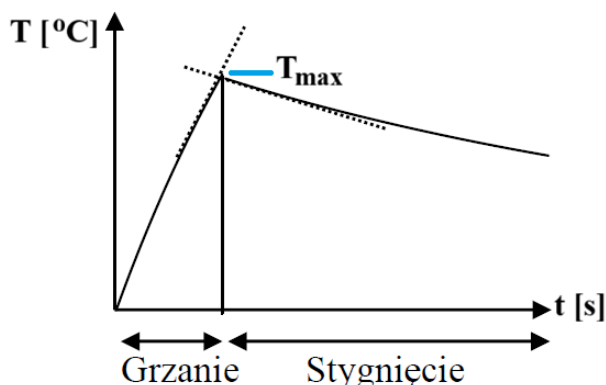
Rys. 1. Schemat układu pomiarowego: A – amperomierz, V – woltomierz, T – termopara.

- 1) **Kalibracja zasilacza.** Przed podłączeniem do próbek włączyć zasilacz i ustawić napięcie wyjściowe dokładnie na 7 V. Następnie zasilacz wyłączyć.
- 2) Pierwszą badaną próbkę – **grafit (C)** połączyć do układu według schematu na rys. 1.
- 3) Zapisać temperaturę początkową (T_0).
- 4) **Pomiar fazy grzania:**
 - Włączyć zasilacz i uruchomić stoper.
 - Co 30 s zapisywać temperaturę T , napięcie U i natężenie I .
 - Pomiar prowadzić do momentu, aż temperatura wzrośnie o 10 °C względem temperatury początkowej.
- 5) **Pomiar fazy stygnięcia:**
 - Po osiągnięciu założonej temperatury należy wyłączyć zasilacz.
 - Kontynuować zapis temperatury co 30 s, aż próbka ochłodzi się o co najmniej 3 °C.
- 6) Wybrać kolejną badaną próbkę (mosiądz (MOS), miedź (Cu) lub aluminium (Al)) i wykonać pomiary opisane w punktach 3–5.

3. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

- 1) Dla każdej badanej próbki sporządzić wykres temperatury w funkcji czasu pomiaru $T = f(t)$, obejmujący oba procesy: grzania i chłodzenia (Rys. 2). Zaznaczyć punkt $T_{\max}$, w którym nastąpiło wyłączenie zasilacza (szczyt wykresu)
- 2) Na podstawie fragmentów wykresu w pobliżu punktu $T_{\max}$ wyznaczyć szybkość grzania $\frac{dT}{dt}$ oraz szybkość chłodzenia $\left| \frac{dT}{dt} \right|$. W tym celu należy wykonać regresję liniową:
 - dla kilku punktów bezpośrednio przed $T_{\max}$ (proces grzania),
 - dla kilku punktów bezpośrednio po $T_{\max}$ (proces chłodzenia),
 w zakresie, w którym zależność ma charakter liniowy.

Otrzymane parametry odpowiadają współczynnikom kierunkowym prostych: B_g – dla grzania, B_{ch} – wartość bezwzględna współczynnika kierunkowego dla chłodzenia.



Rys. 2. Przykładowe zmiany temperatury podczas grzania i chłodzenie próbki (więcej w „Materiały dodatkowe”).

- 3) Obliczyć średnie wartości napięcia U_{sr} i natężenia prądu I_{sr} uzyskane podczas grzania.
- 4) Obliczyć ciepło właściwe c grafitu i drugiej badanej próbki ze wzoru 1.
- 5) Korzystając z tablicowych wartości mas molowych (μ) badanych pierwiastków, obliczyć ciepło molowe: $C_m = \mu \cdot c$. Otrzymane wyniki zestaw w tabeli i porównaj z wartością wynikającą z prawa Dulonga-Petita: $C_m = 3R \approx 24,9 \frac{J}{mol \cdot K}$.
- 6) Porównaj wszystkie obliczone wartości doświadczalne z wartościami teoretycznymi.

4. ANALIZA NIEPEWNOŚCI

Rachunek niepewności należy przeprowadzić dla wartości ciepła właściwego (c), opierając się na pojęciu **niepewności maksymalnej**. Należy wykorzystać jedną z poniższych metod:

- **Metoda I – różniczki zupełnej równania (1):** należy obliczyć niepewność, sumując wartości bezwzględne pochodnych cząstkowych względem wszystkich mierzonych bezpośrednio wielkości (x_k) (wzór 18 ONP).
- **Metoda II - różniczki logarytmicznej (Niepewność względna)** Należy zastosować różniczkowanie logarytmiczne równania (1) w celu wyznaczenia maksymalnej względnej niepewności $\frac{\Delta c}{c}$. Ostateczną postać niepewności należy przedstawić jako sumę niepewności względnych poszczególnych wielkości fizycznych (x_k).

Wynik końcowy zapisać w postaci $c \pm \Delta c$ wraz z jednostką.

Przyjmowanie niepewności składowych (Δx_k): Niepewności ΔU i ΔI należy przyjąć na podstawie klasy mierników lub ich rozdzielczości cyfrowej, mimo wyznaczania wartości średnich (punkt 3.3). Pozwala to uwzględnić błąd systematyczny pomiaru, który w tym doświadczeniu dominuje nad rozrzutem statystycznym wyników. Niepewność Δm wynosi 0,001 kg. Niepewności ΔB_g oraz ΔB_{ch} należy wyznaczyć na podstawie błędu standardowego regresji liniowej (analiza komputerowa) lub dokładności geometrycznego odczytu z wykresu (analiza graficzna).

5. LITERATURA

- S. Szczeniowski, Fizyka Doświadczalna, tom II, PWN Warszawa 1976
- I. W. Sawieliew, Kurs Fizyki, Tom I, PWN Warszawa 1989
- OpenStax: <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkół-wyższych-tom-2>

- D. Halliday, R. Resnick, Fizyka, tom I, PWN, Warszawa 1994.
- H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN Warszawa 1999, str. 68