

<b>Wydział:</b> <b>Fizyki i Informatyki Stosowanej</b>	<b>Autor/Autorzy:</b> Maciej Szeptuch	<b>Rok:</b> 2026	<b>Grupa:</b> 2	<b>Zespół:</b> N/A
<b>PODSTAWY FIZYKI CIAŁA STAŁEGO</b>		Ciepło Właściwe		<b>Ćwiczenie nr: 2</b>
<b>Data wykonania:</b> <b>2026-01-21</b>	<b>Data oddania:</b> <b>2026-01-21</b>	<b>Zwrot do popr.:</b>	<b>Data oddania:</b>	<b>Data zaliczenia:</b>

## 1 Cel ćwiczenia

Celem przeprowadzonego projektu było wyznaczenie temperatury Debye'a oraz współczynnika Sommerfelda dla złota  $Au$ .

## 2 Wstęp teoretyczny

### 2.1 Temperatura Debye'a

W modelu Debye'a temperaturą Debye'a ( $T_D$ ) nazywamy temperaturę odpowiadającą maksymalnej częstości drgań sieci krystalicznej  $\omega_D$ . Definiuje się ją następująco:

$$k_B * T_D = \hbar\omega_D \quad (2.1)$$

### 2.2 Poprawka Sommerfelda

W strukturach krystalicznych mierzona wartość ciepła właściwego obarczona jest błędem wynikającym z faktu, iż elektrony swobodne również przyczyniają się do wartości ciepła właściwego. Poprawka Sommerfelda (tzw  $c_{el}$ ) jest to funkcja liniowa temperatury postaci:

$$c_{el} = \gamma T \quad (2.2)$$

gdzie  $\gamma$  to współczynnik Sommerfelda.

### 2.3 Zależność ciepła właściwego od temperatury w modelu Debye'a dla niskich temperatur

W modelu Debye'a, dla niskich temperatur ciepło właściwe ciał stałych opisane jest wzorem:

$$C_{fonon} = 3N_a k_b \frac{4\pi^4}{5} \left( \frac{T}{T_D} \right)^3 \quad (2.3)$$

Po uwzględnieniu poprawki Sommerfelda (2.2) równanie to przyjmuje postać:

$$C_{fonon+elektron} = \gamma T + 3N_a k_b \frac{4\pi^4}{5} \left( \frac{T}{T_D} \right)^3 \quad (2.4)$$

- $N_a = 6.02214076e23 mol^{-1}$  to liczba Avogadro
- $k_b = 1.380649e - 23 \frac{J}{K}$  - stała Boltzmanna

## Ważne

Postać równania (2.4) jest prawdziwa dla temperatur  $T \ll T_D$ .

## 2.4 Ciepło molowe i masowe

Ciepło molowe to ilość ciepła potrzebna do podniesienia temperatury jednego mola substancji o jeden stopień Kelvina (lub Celsjusza). Jednostką ciepła molowego jest  $\frac{J}{mol*K}$ . Ciepło masowe z kolei to ilość ciepła potrzebna do podniesienia temperatury jednego grama substancji o jeden stopień Kelvina (lub Celsjusza). Jednostką ciepła masowego jest  $\frac{J}{g*K}$ .

## Informacja

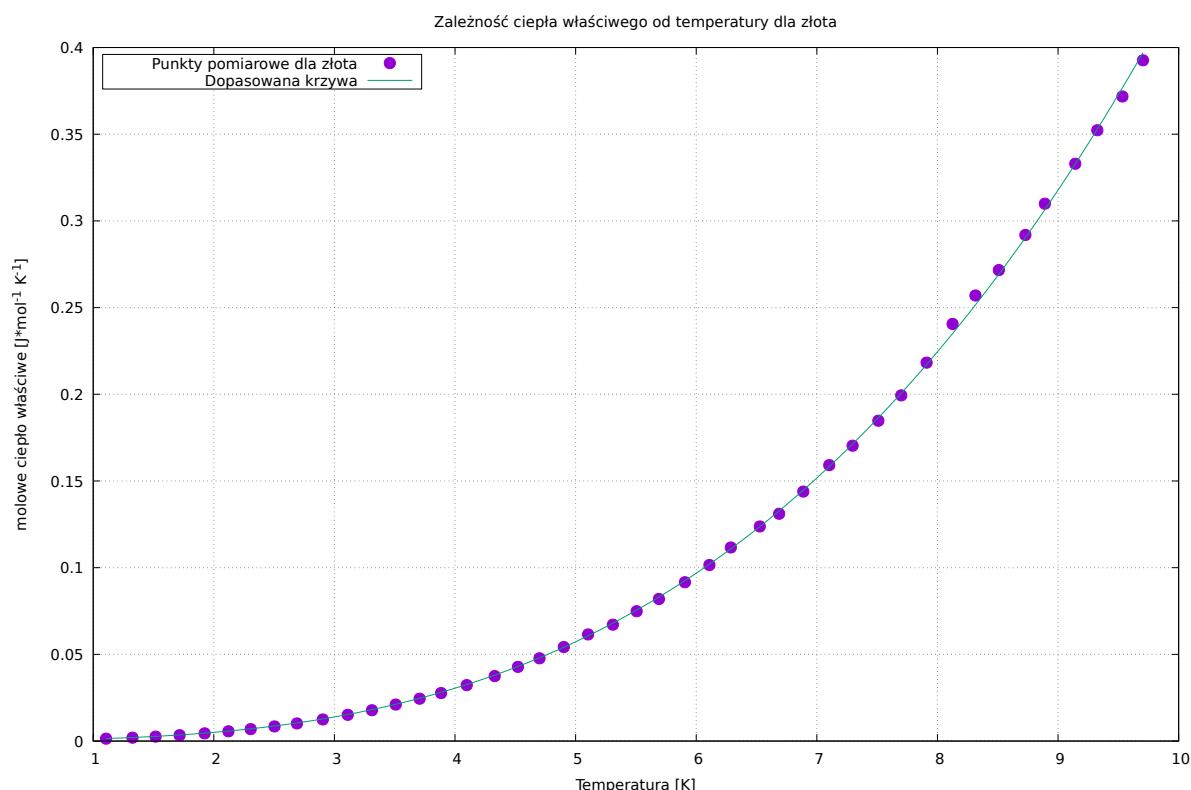
Aby przeliczyć ciepło masowe na molowe, należy przemnożyć ciepło molowe przez masę atomową danej substancji  $c_{mol} = c_{mas} * \mu$ , gdzie  $\mu$  to masa atomowa substancji wyrażona w  $\frac{g}{mol}$ .

## 3 Aparatura i metodyka wykonania

Do wyznaczenia konicznych wielkości wykorzystano zestawy danych udostępnione w załączniku do ćwiczenia (*literature 1.*). Do sporządzenia wykresu oraz dopasowania krzywych użyto programu [gnuplot](#).

## 4 Opracowanie wyników

Przyjęto masę atomową złota równą  $\mu = 196.97 \frac{g}{mol}$ .



Rys. 4.1: Zależność ciepła właściwego od temperatury dla złota wraz z dopasowaną krzywą.

Po dopasowaniu krzywej (2.4) do danych eksperymentalnych otrzymano następujące wartości współczynników:

- $T_D = 165.868K \pm 0.239$
- $\gamma = 8.02359 * 10^4 \frac{J}{g*K^2} \pm 1.16 * 10^4$

## 5 Podsumowanie

### 5.1 Temperatura Debye'a

Według literatury 3., wartość temperatury Debye'a dla złota w temperaturze 0K wynosi  $T_{D_{lit}} = 162.3K$ , co nie zgadza się z wartością otrzymaną w ćwiczeniu  $T_D = 165.868K \pm 0.239$  w otrzymanym przedziale niepewności.

#### Informacja

Rozbierzność otrzymanego wyniku z wartościami tablicowymi może wynikać z przyjętego zakresu temperatury.

[...] Ze względu na przybliżony charakter modelu Debye'a wartości podawane w literaturze znaczco się różnią i zależą od zakresu temperatur, w którym zostały wyznaczone.

(literatura 2.)

W prawdzie powyższe stwierdzenie odnosi się do eksperymentu w którym operowano na temperaturach rzędu  $77K$  (wrzenie azotu), jednak podobny efekt mógłby być zaobserwowany również w warunkach niniejszego eksperymentu pomimo znacznie niższych temperatur.

## 5.2 Współczynnik Sommerfelda

Literatura podaje wartość współczynnika Sommerfelda dla złota jako  $\gamma_{lit} = 7.29 * 10^{-3} \frac{J}{g*K^2}$ , co zgadza się z wynikiem otrzymanym w ćwiczeniu ( $\gamma = 8.02359 * 10^4 \frac{J}{g*K^2} \pm 1.16 * 10^4$ ) w zakresie niepewności.

### Wskazówka

Wartość literaturowa określona jako *Experimental value for  $\gamma$* . Por. literatura 4.

## 6 Literatura

1. dr Joanna Czub - “*Ciepło Właściwe - instrukcja wykonania projektu*” - dostęp: 19.01.2026
2. dr hab. inż. Damian Rybicki - “*Pomiar średniego ciepła właściwego i wyznaczanie temperatury Debye'a*” (Instrukcja do laboratorium nr 1) - dostęp: 17.01.2026
3. [http://www.knowledgedoor.com/2/elements\\_handbook/debye\\_temperature.html](http://www.knowledgedoor.com/2/elements_handbook/debye_temperature.html) dostęp: 19.01.2026
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_specific\\_heat](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_specific_heat) - dostęp: 20.01.2026
5. Maciej Szeptuch - Kod źródłowy niniejszego dokumentu wraz z pełnym skryptem programu gnuplot <https://github.com/gucio321-studies/ciastkaProjekt2>