

2.4 Spezifische Wärme des Aluminiums bei tiefen Temperaturen

1 Grundlagen

Die Energie, die notwendig ist, um die Temperatur eines Kilogramms einer Substanz um ein Kelvin zu erhöhen, heißt *spezifische Wärmekapazität* c . Bezieht man die Wärmekapazität auf ein Mol, so spricht man von der *Molwärme* bzw. der *molaren Wärmekapazität* C . Für einen Gegenstand mit der einem Mol entsprechenden Masse gilt also

$$\Delta E = C \cdot \Delta T. \quad (1)$$

Nach der klassischen Theorie gibt es bei festen Körpern 6 Freiheitsgrade f (jeweils einen der kinetischen und potentiellen Schwingungsenergie pro Raumrichtung). Daher ergibt sich hier für C (Regel von Dulong und Petit):

$$C = N_A \frac{f}{2} k = 3R. \quad (2)$$

Dabei sind N_A die Avogadro-Zahl, k die Boltzmann-Konstante und R die allgemeine Gaskonstante ist ($R = 8,3145 \text{ J}/(\text{mol K})$). Diese Beziehung gilt jedoch nur für „hohe“ Temperaturen. Bei tiefen Temperaturen sinkt C und nähert sich nach dem 3. Hauptsatz der Thermodynamik dem Wert Null. Nach dem *Debye-Modell* wird C beschrieben durch

$$C(T) = 9R \cdot \left(\frac{T}{\Theta}\right)^3 \cdot \int_0^{\Theta/T} \frac{x^4 e^x}{(e^x - 1)^2} dx \quad (3)$$

mit

$$\Theta = h \nu_g / k. \quad (4)$$

Θ ist die materialabhängige *Debye-Temperatur*. Sie berechnet sich aus dem Planckschen Wirkungsquantum h , der Boltzmann-Konstante k und der *Debyeschen Grenzfrequenz* ν_g . Sie ist die größte auftretende Schwingungsfrequenz der Atome des Festkörpers und hat den Wert

$$\nu_g = v_s / (2 \cdot d), \quad (5)$$

wobei d der mittlere Atomabstand und v_s die Schallgeschwindigkeit ist. Das Integral in Gl. (3) kann nur iterativ berechnet werden. Der sich ergebende Zusammenhang zwischen T/Θ und $C(T)$ ist in Abbildung 4 dargestellt.

2 Versuchsdurchführung

In diesem Versuch soll die molare Wärmekapazität von Aluminium bei Zimmertemperatur und bei ca. -180°C gemessen und hieraus die Debye-Temperatur und die Debyesche Grenzfrequenz bestimmen werden.

Ein 332 g schwerer Aluminiumzylinder, in den eine Heizwicklung und ein Thermoelement (Cu-Konstantan-Drähte) eingebaut sind, hängt in einem Dewar-Gefäß (Abb. 1). Als Referenz wird ein in Eiswasser eingetauchtes zweites Thermoelement benutzt. Die resultierende Thermospannung U_{th} wird mit Hilfe eines noch zu kalibrierenden Spiegelgalvanometers gemessen.

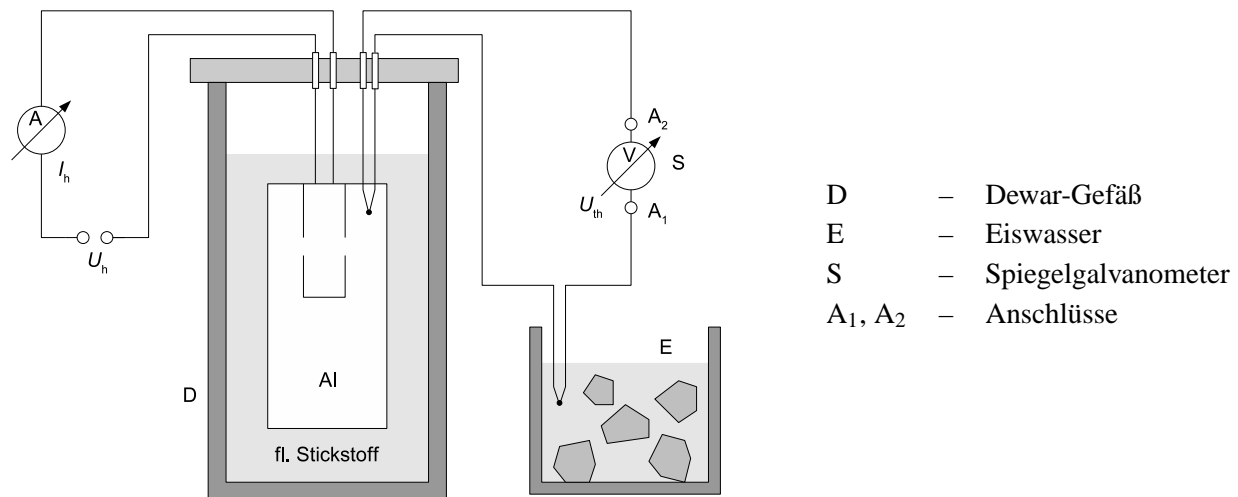


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur C-Messung bei tiefen Temperaturen

2.1 Kalibrierung des Galvanometers

1. Machen Sie das Galvanometer durch Überbrücken der Anschlüsse A₁ und A₂ spannungsfrei, und stellen Sie die Ruhelage auf den Nullpunkt der Skala von -100 bis 100.
2. Lösen Sie die Thermoelementanschlüsse vorsichtig vom Galvanometer und schließen Sie die am Praktikumsplatz vorhandene Gleichspannungsquelle an. Der gesuchte Skalierungsfaktor ergibt sich aus der Spannung (in mV) und dem Ausschlag (in Skt) des Lichtzeigers.

2.2 Messung der molaren Wärmekapazitäten C bei Zimmer- und bei tiefer Temperatur

Zur Messung von C bei Zimmertemperatur ist als Zeigerruhelage (überbrückte Thermoelemente) der Nullpunkt der Skala -100 bis 100 zu wählen, bei tiefer Temperatur der Nullpunkt der Skala 0 bis 200. Schlägt der Zeiger bei Zimmertemperatur in positive Richtung aus, so sind die Anschlüsse am Galvanometer zu vertauschen.

Für die Messung bei tiefer Temperatur muss der Aluminiumzylinder stark abgekühlt werden. Hierzu wird das Dewar-Gefäß mit flüssigem Stickstoff gefüllt und der Zylinder hineingetaucht. Ist keine Dampfbildung mehr zu beobachten, so ist er auf ca. -180°C abgekühlt. Damit er zur C-Messung erwärmt werden kann, wird das Gefäß bis auf einen kleinen Rest wieder entleert. **Die Kühlung darf nur mit Hilfe eines Betreuers vorgenommen werden!** Bei beiden Messungen muss sich der Aluminiumzylinder im Dewar-Gefäß befinden.

1. Beobachten Sie den Verlauf von U_{th} ca. 3 min, und heizen Sie dann mit einer Spannung U_h von 60 V für 5 Minuten. Nehmen Sie alle 15 s einen Messwert auf, wobei die Messung bis 5 min nach Ende des Heizens fortzusetzen ist. Nehmen Sie auch den Heizstrom I_h auf.
2. Tragen Sie U_{th} über t auf und entnehmen Sie dem Diagramm Anfangs- und Endthermospannung U_1 bzw. U_2 . Gehen Sie bei der Bestimmung von U_1 und U_2 nach dem allgemeinen Hinweis in der Anleitung „Spezifische und latente Wärmen“ vor. Der Zusammenhang von U_{th} und der Temperatur ist in guter Näherung gegeben durch

$$T/^{\circ}\text{C} = -19,76 \cdot U_{\text{th}}/\text{mV} \pm 2,62 \cdot (U_{\text{th}}/\text{mV})^2, \quad (6)$$

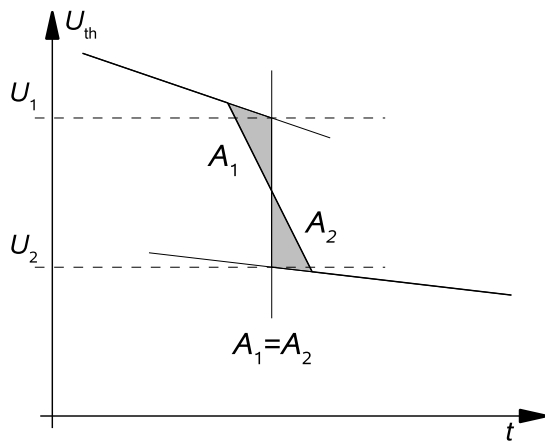


Abbildung 2: U_{th} gegen t , Messbeispiel

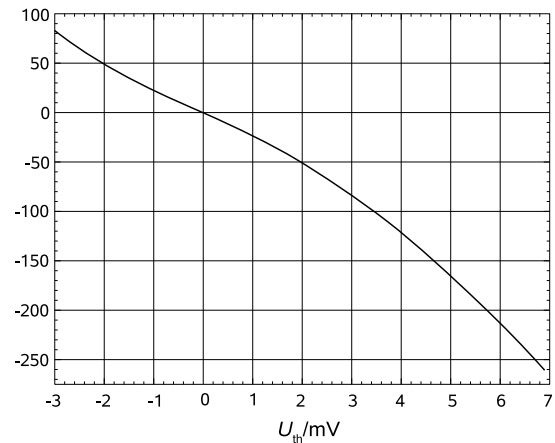


Abbildung 3: Kalibrierkurve des Thermoelementes

wobei „+“ für negative und „-“ für positive U_{th} angenommen wird (Abb. 3). Bestimmen Sie mit Hilfe dieser Beziehung den Temperatursprung $\Delta T = T_1(U_1) - T_2(U_2)$ und aus der mittleren Thermospannung $\bar{U} = 0,5 \cdot (U_1 + U_2)$ die mittlere Temperatur $\bar{T} = T(\bar{U})$.

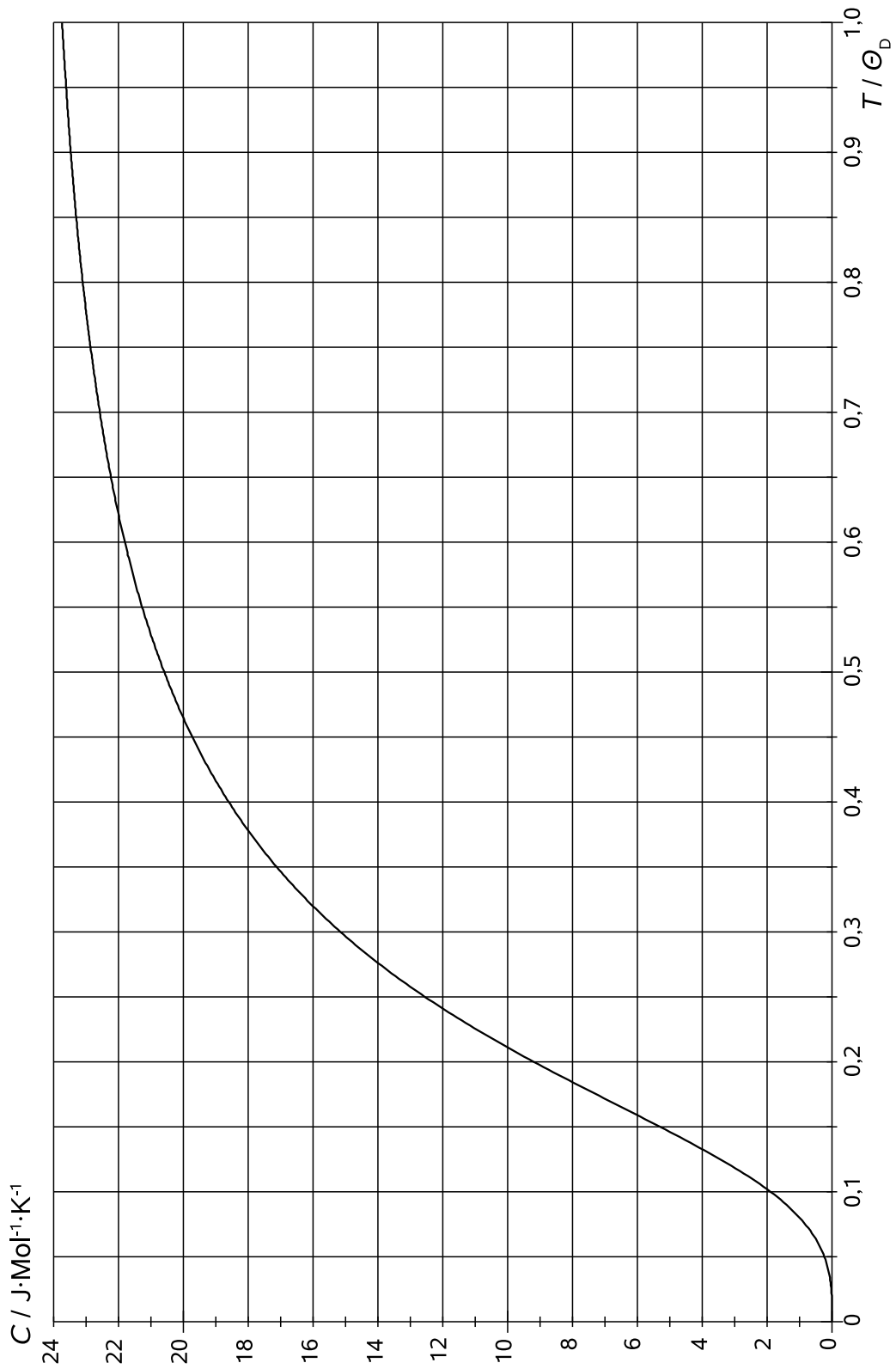
3. Berechnen Sie C aus der Energiebilanz des Erwärmungsvorganges

$$U_h \cdot I_h \cdot t_h = \Delta E = \frac{m}{m_{Mol}} \cdot C \cdot \Delta T \quad (7)$$

Hierbei ist m_{Mol} die Molmasse von Aluminium. Sie hat den Wert 27,0 g/mol.

4. Entnehmen Sie für die so bestimmten C -Werte aus der Abbildung 4 die entsprechenden Werte für T/Θ , und berechnen Sie mit Hilfe der gemessenen mittleren Temperaturen die Debye-Temperatur Θ . Wie groß ist die Grenzfrequenz ν_g (siehe Gl. (4)).

Literatur: Gehrtsen Physik: Kap. 5.1.4, Kap. 17.2.1

Abbildung 4: molare Wärmekapazität C nach Debye