

SPEZIFISCHE WÄRMEKAPAZITÄT VON BERYLLIUM

Ausarbeitung von Erik Brambrink

Betreuer: Herr Schäfer

Ziel des Versuchs

Bei diesem Versuch soll die spezifische Wärmekapazität von Beryllium im Temperaturbereich von 120 K bis 320 K bestimmt werden. Die Werte sollen dann mit den theoretischen Werten der Debye-Theorie verglichen werden.

Theoretische Grundlagen

Die Wärmekapazität leitet sich primär aus den Schwingungen (Phononen) des Kristallgitters her. Nach der Theorie von Debye ergibt sich die Wärmekapazität zu:

$C_V = 3R \left(D\left(\frac{\theta}{T}\right) + T \frac{dD\left(\frac{\theta}{T}\right)}{dT} \right)$, wobei R die allgemeine Gaskonstante, D die Debyefunktion und θ die Debye-Temperatur ist. Für hohe Temperaturen nähert sich C_V den $3 \cdot R$ der Dulong-Petit-Regel.

Einen weiteren Beitrag zur Wärmekapazität liefern die Leitungselektronen. Dieser Effekt ist jedoch sehr klein, da die Elektronen der Fermi-Dirac-Statistik folgen und somit nur sehr wenige Elektronen anregbar sind. Es gilt: $C_{vel} = \gamma T$, wobei $\gamma = 2,25 \text{ J/mol K}$ bei Beryllium ist.

Desweiteren muß berücksichtigt werden, daß im Versuch CP bestimmt wird, wir zur Überprüfung der Theorie aber CV benötigen. Es gilt: $C_V = C_P - \frac{\alpha \cdot \rho \cdot M}{\kappa \cdot p} T$, wobei M das Molekulargewicht, ρ die Dichte, $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} / \text{K}$ und $\kappa = 8,16 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2 / \text{N}$ ist.

Desweiteren muß berücksichtigt werden, daß die Debye-Temperatur mit steigender Temperatur fällt. In unserem Temperaturbereich sind das aber maximal 10%.

Versuchsaufbau und Durchführung

Um die Wärmekapazität zu bestimmen, wurde eine Berylliumprobe mit Strom geheizt und dann aus der Temperatursteigerung die Wärmekapazität bestimmt. Zuerst wurde die Probe mit flüssigem Stickstoff auf ca. 115 K abgekühlt. Als Kontaktgas wurde Helium verwendet, da es in diesem Temperaturbereich noch gasförmig ist und somit als Kontaktgas dienen kann. Danach wurde die Probe mit einem Strom langsam aufgeheizt. Aus Spannung und Stromstärke wurde die Heizleistung bestimmt. Es wurde jeweils 5 Minuten geheizt und 5 Minuten ohne Heizung gemessen, um einen Zwickelabgleich zu ermöglichen. Die Temperatur wurde im Minutenabstand protokolliert.

Ziel des Versuchsaufbaus war es, Wärmeverluste der Probe möglichst zu vermeiden. Zu diesem Zweck wurde die Probe unter Hochvakuum gehalten, um Konvektionsverluste zu vermeiden. Die Aufhängung der Probe war aus gut isolierendem Material, um auch diesen Wärmefluß zu minimieren. Um auch Strahlungsverluste zu vermeiden, wurde die Probe in eine Hülse gepackt, die auf gleicher Temperatur wie die Probe gehalten wurde. Die Temperaturdifferenz zwischen Probe und Hülse wurde über eine Peltier-element gemessen. Während des Versuchs wurde die Heizung der Hülse so reguliert, daß die Thermospannung annähernd Null war. Um dennoch auftretende Wärmeverluste zu berücksichtigen, wurde auch noch ein Zwickelabgleich durchgeführt.

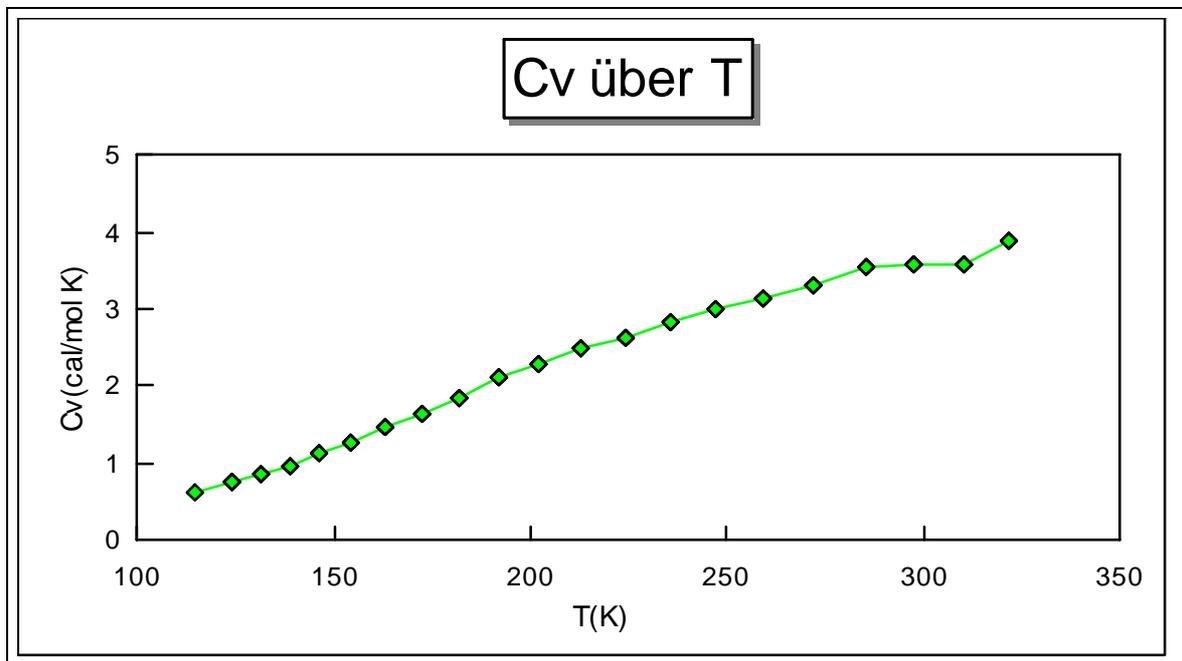
Desweiteren mußte berücksichtigt werden, daß der Heizdraht und die Messinghalterung ebenfalls aufgeheizt werden müssen. Die Messingstifte werden dabei durch eine konstante Wärmekapazität angenähert ($C = 1,01 \text{ J/K}$), die Wärmekapazität des Heizdrahtes dagegen nach Debye berechnet ($= 470 \text{ K}$, $n = 0,0174 \text{ mol}$).

Auswertung

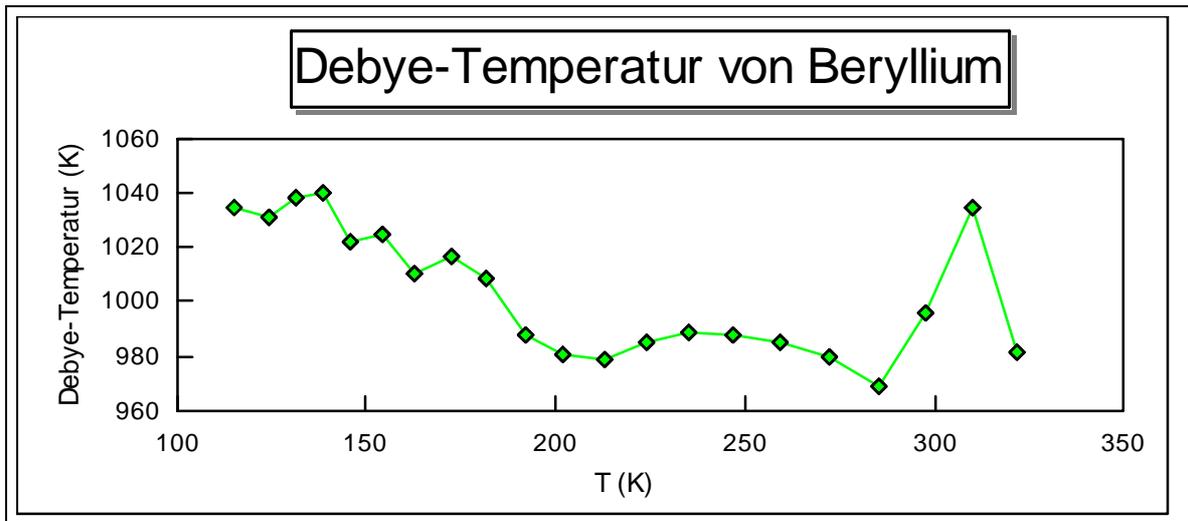
Da die Temperatur der Probe zwischen den Heizphasen im Rahmen der Meßgenauigkeit des Thermometers konstant war, konnte auf den Zwickel-Abgleich verzichtet werden. Statt dessen wurde die mittlere Temperatur zwischen zwei Heizphasen für die Ermittlung der Temperaturänderung gewählt. Mit den oben erwähnten Temperaturen kann man dann C_V berechnen. Es ergeben sich folgende Werte:

T/K	dT/k	P/W	C(Draht)	C(Messing)	C(elektron)	Cp	Cp-Cv	Cv(J/molK)	Cv(cal/molK)
115,0	11,2	1,33	0,211	1,02	0,26	3,40	0,89	2,51	0,60
124,3	7,3	1,03	0,23	1,02	0,28	4,06	0,96	3,10	0,74
131,4	7	1,1	0,245	1,02	0,30	4,54	1,02	3,52	0,84
138,7	7,5	1,3	0,258	1,02	0,31	5,02	1,07	3,94	0,94
146,1	7,3	1,46	0,272	1,02	0,33	5,81	1,13	4,68	1,12
154,1	8,7	1,94	0,279	1,02	0,35	6,49	1,19	5,30	1,27
163,0	9,2	2,34	0,293	1,02	0,37	7,43	1,26	6,17	1,47
172,3	9,3	2,6	0,308	1,02	0,39	8,17	1,33	6,84	1,63
181,8	9,8	3,04	0,315	1,02	0,41	9,09	1,41	7,68	1,83
191,8	10,2	3,57	0,322	1,02	0,43	10,27	1,48	8,79	2,10
202,1	10,4	3,95	0,336	1,02	0,46	11,16	1,56	9,59	2,29
212,8	10,9	4,48	0,343	1,02	0,48	12,09	1,64	10,44	2,49
224,0	11,5	4,98	0,35	1,02	0,51	12,74	1,73	11,01	2,63
235,4	11,3	5,24	0,356	1,02	0,53	13,65	1,82	11,83	2,82
247,0	12	5,89	0,363	1,02	0,56	14,46	1,91	12,55	3,00
259,3	12,6	6,49	0,369	1,02	0,59	15,18	2,00	13,17	3,14
272,2	13,1	7,12	0,375	1,02	0,61	16,02	2,10	13,92	3,32
285,0	12,5	7,25	0,381	1,02	0,64	17,11	2,20	14,91	3,56
297,4	12,4	7,3	0,381	1,02	0,67	17,37	2,30	15,07	3,60
309,8	12,4	7,3	0,387	1,02	0,70	17,36	2,39	14,97	3,57
321,8	11,5	7,3	0,387	1,02	0,73	18,74	2,49	16,25	3,88

C_V nimmt damit folgenden Verlauf an:



Vergleicht man diese Werte mit der normierten Kurve, so ergibt sich für die Debye-Temperatur folgender Verlauf



:Die Debye-Temperatur liegt im erwarteten Bereich von 930 K bis 1100 K. Auch die Abnahme der Debye-Temperatur ist gut zu erkennen. Für den Peak am Ende der Kurve habe ich leider keine Erklärung. Jedenfalls bedürfen diese drei Meßpunkte genauerer Untersuchung.

Fehlerbetrachtung

Als Fehler für Strom und Spannung wurde 1% angenommen, das Thermometer geht auf 0,5 K genau. Desweiteren geht ein Zeitfehler ein, ca 5 s, also etwa 1,5%. Die Fehler der schädlichen Wärmekapazitäten kann man vernachlässigen, da diese Werte schon absolut gesehen sehr gering sind.

Somit gehen die fehlerbehafteten Größen linear in die Wärmekapazität ein und somit können die Relativfehler addiert werden. Die Temperaturdifferenz von ca. 10 K kann auf etwa 5% genau bestimmt werden. Somit ergibt sich ein Gesamtfehler für C_V von 8,5 %. Dieser Fehler setzt sich bei der Bestimmung von $\frac{\rho}{T}$ fort, wobei man aus der Tabelle entnehmen kann, daß der Relativfehler dabei ungefähr gleich bleibt. Bei der Bestimmung der Debye-Temperatur fließt der Temperaturfehler nochmals ein, womit sich hier ein Relativfehler von insgesamt ca. 9 % ergibt.

Im Rahmen der Meßgenauigkeit wird also die Debye-Theorie bestätigt, wobei die Debye-Temperatur bei ca. 950 K liegt. der Anstieg der Debye-Temperatur bei niedrigen Temperaturen ist auch deutlich zu erkennen. Für genauere Werte wäre ein präziseres Thermometer vonnöten, da dieses den größten Fehler verursacht.