



Thermodynamik

Serie 5

HS 2020
Prof. P. Jetzer

M. Haney, S. Tiwari, M. Ebersold
<https://www.physik.uzh.ch/de/lehre/PHY341/>

Ausgeteilt am: 20.10.20
Abzugeben bis: 27.10.20

1. Joule-Thomson Effekt

[5 P]

Aus der Vorlesung wissen wir, dass sich ein Gas beim Joule-Thomson Versuch abkühlt bzw. erwärmt, falls

$$\left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_H > 0 \quad \text{bzw.} \quad \left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_H < 0, \quad (1)$$

Auch haben wir gesehen, dass

$$\left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_H = \frac{1}{c_p} \left(T \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_p - V \right). \quad (2)$$

Die thermische Zustandsgleichung eines van der Waals Gases lautet

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT. \quad (3)$$

Bestimme die Inversionstemperatur T_i als Funktion von V und daraus den Inversionsdruck p_i als Funktion von T . Zeichne qualitativ im p - T Diagramm das Gebiet, wo bei Joule-Thomson Expansion Abkühlung eintritt, und finde eine mikroskopische Begründung für den Vorzeichenwechsel.

Hinweis: Um das Gebiet mit Abkühlung zu bestimmen, betrachte den Fall $p \rightarrow \infty$. Wie verhält sich dann V für feste T , und welchem Wert nähert sich damit $T \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_p - V$?

2. Thermodynamik der Supraleiter

[5 P]

Viele Metalle und Legierungen gehen beim Unterschreiten einer kritischen Temperatur T_c von einer normalleitenden (NL) in eine supraleitende (SL) Phase über. In dieser neuen Phase ist nicht nur die Leitfähigkeit unendlich, sondern das Material wird auch zu einem idealen Diamagneten, d.h. $\vec{B} = \vec{H} + \vec{M} = 0$ (Meissner-Ochsenfeld-Effekt).

Nebst der Temperatur vermag auch ein genügend starkes Magnetfeld $H > H_c(T)$ bei $T < T_c$ die Supraleitung zu zerstören, wie aus dem Phasendiagramm eines Typ I Supraleiters ersichtlich wird (siehe Abbildung 1). Wir nehmen im Folgenden an, dass alle Felder homogen und parallel sind, so dass sich das System mit skalaren (statt vektoriellen) Größen beschreiben lässt.

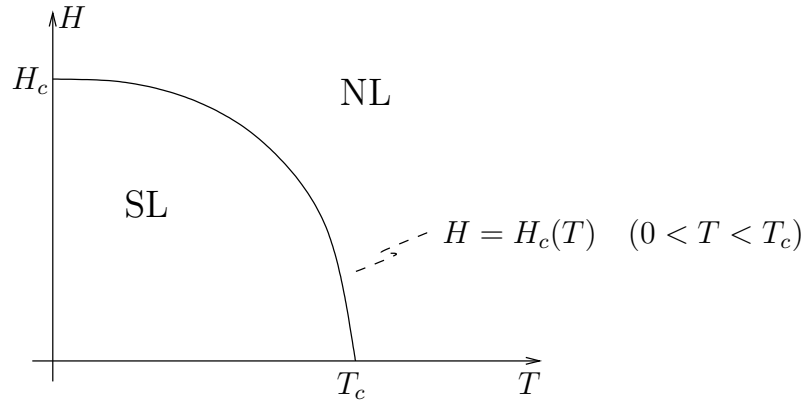


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Phasendiagramms eines Typ I Supraleiters.

- a) Wie lautet die Zustandsgleichung $M = M(T, H)$ in beiden Phasen?

Hinweis: Nutze, dass für die magnetische Suszeptibilität von üblichen Materialien im NL-Zustand folgende Beziehung, $|\chi_{NL}| \ll |\chi_{SL}| = 1$, gilt.

Bemerkung: M stellt die Magnetisierungsdichte und nicht die Gesamtmagnetisierung ($\mathcal{M} = MV$) dar.

- b) Zeige, unter Verwendung einer Analogie zur Clausius-Clapeyron Gleichung, dass die spezifische Wärme $c_H = \delta q / \partial T|_H$ an der Übergangskurve einen Sprung aufweist, und berechne diesen. Leite daraus *Rutgers Formel*

$$\Delta c_H(T_c) = T_c \left(\frac{dH_c}{dT} \right)^2, \quad (4)$$

bei $T = T_c$ (mit $H_c(T_c) = 0$) her.

Hinweis: Zeige mithilfe von a), dass im gegebenen System $s(T, H) = s(T)$ erfüllt ist, und nutze diese Eigenschaft für diese Teilaufgabe.

- c) Der Verlauf der Übergangskurve entspricht näherungsweise der Parabel

$$H_c(T) = H_c(0) \left(1 - \frac{T^2}{T_c^2} \right). \quad (5)$$

Berechne die Unstetigkeit von c_H in diesem Fall.