

Universität Bielefeld Fakultät für Physik	Theoretische Physik III WS 2023/2024	Prof. Dr. Jürgen Schnack jschnack@uni-bielefeld.de
--	---	---

Zusätzliches Aufgabenblatt 5 B

5.1 Tröpfchenbildung im Dampf (nach Thomas Dahm)

Betrachten Sie eine Flüssigkeit im thermischen Gleichgewicht mit ihrem Dampf. Die Flüssigkeit sei inkompressibel, und der Dampf verhalte sich in guter Näherung wie ein ideales Gas.

Sowohl der Dampf als auch die Flüssigkeit seien homogen. Wiederholen Sie aus der Vorlesung die Herleitung der Gibbsschen freien Enthalpie und machen Sie sich klar, dass aus der Gibbs-Duhem-Relation folgt

$$G(T, p, N) = \mu(T, p)N . \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet μ wieder das chemische Potential.

- a. Wie kann V aus G berechnet werden? Wenn Sie diesen Zusammenhang auf beiden Seiten durch N teilen, erhalten Sie einen Zusammenhang zwischen μ und dem spezifischen Volumen. Dies können Sie in Teilen aufintegrieren. Zeigen Sie, dass

$$\mu_{Fl}(T, p) = v_0 p + \mu'(T) \quad \text{und} \quad \mu_{Da}(T, p) = k_B T \ln(p) + \mu''(T) . \quad (2)$$

- b. Nehmen Sie an, dass die Dampfdruckkurve $p_D(T)$ bekannt sei. Damit können Sie die Differenz $\mu''(T) - \mu'(T)$ ausdrücken und die Differenz $\mu_{Da}(T, p) - \mu_{Fl}(T, p)$ von $\mu''(T)$ und $\mu'(T)$ befreien. Untersuchen Sie die Ableitung dieser Differenz nach dem Druck und argumentieren Sie, dass für $p > p_D$ der Dampf kondensiert und für $p < p_D$ die Flüssigkeit verdampft.
- c. Betrachten Sie nun ein kugelförmiges Flüssigkeitströpfchen mit Radius r im Gleichgewicht mit dem Dampf. Aufgrund der Oberflächenspannung $\sigma = const > 0$ ist eine Arbeit $dW = \sigma dA$ nötig, wenn die Oberfläche vergrößert werden soll. Dieser Term muss bei dG_{Fl} hinzugefügt werden. Aus der Tatsache, dass $dG = dG_{Fl} + dG_{Da} = 0$ im Gleichgewicht, kann man den Gleichgewichtsradius r_g des Tröpfchens ableiten. Was ergibt sich für $r_g(T, p)$? Überzeugen Sie sich, dass für $r_g(T, p) \rightarrow \infty$ wieder die Gleichgewichtsbedingung $\mu_{Fl} = \mu_{Da}$ gilt.
- d. Betrachten Sie das System bei konstanter Temperatur T . Bei welchem Druck wird r_g positiv? Zeigen Sie, dass r_g als Funktion von p für $p > p_D$ über einen weiten Bereich monoton fallend ist.
- e. Zeigen Sie, dass das Gleichgewicht des Tröpfchens instabil ist. Was passiert mit Tröpfchen, deren Radius kleiner bzw. größer als r_g ist?

Wie kann man sich jetzt die Kondensation vorstellen? Nehmen wir dazu vereinfachend an, dass sich im Dampf spontan Tröpfchen mit Radius r_0 an Kondensationskeimen bilden können. Solange $r_g > r_0$, verdampfen diese Tröpfchen immer wieder. Erst wenn der Druck so hoch ist, dass $r_g < r_0$, kondensiert der Dampf an den Tröpfchen, für die $r > r_g$. Dieser dafür nötige Druck ist etwas höher als der Dampfdruck p_D , der ja eigentlich im Gleichgewicht vorliegt. Wegen der Oberflächenspannung und wegen des endlichen Radius der Tröpfchen muss das System realistischere durch einen metastabilen Bereich, in dem der Druck höher als der Dampfdruck ist. Während dieses Prozesses sinkt der Druck auf den Dampfdruck. Da inzwischen genügend viele Tröpfchen vorliegen, die auch groß genug sind, setzt sich an diesen die Kondensation fort.

5.2 Piezoelektrischer Effekt

Analog zu Aufgabe 4.1.b können Materialien mit permanenten elektrischen Dipolen sich verformen, wenn ein elektrisches Feld E angelegt wird. Die Umkehrung ist die Änderung des elektrischen Feldes bei Verformung des Materials; das ist der piezoelektrische Effekt.

- a. Die entscheidende Größe

$$\left(\frac{\partial V}{\partial E} \right)_p \quad (3)$$

ist nicht ganz einfach zu messen, deshalb macht man sich eine Maxwell-Relation zu eigen und misst einfach etwas anderes. Was könnte das sein?

Gehen Sie bei Ihren Überlegungen von folgendem totalen Differential aus:

$$dU = TdS - pdV + EdP . \quad (4)$$

Dabei ist P die extensive Polarisation der Probe (also Dipoldichte mal Volumen). Transformieren Sie $U(S, V, P)$ auf ein thermodynamisches Potential $G(T, p, E)$. Schreiben Sie das totale Differential und die Maxwell-Relationen hin. Eine hilft Ihnen.

5.3 Physikstudium hilft beim kritischen Denken – Vorsicht vor Energieberatern ;-)

Bitte lesen Sie den Artikel aus der Frankfurter Allgemeinen Zeitung.

- a. Wie schätzen Sie den Artikel ein?
- b. Machen Sie eine Gegenrechnung auf! Seien Sie mutig! Machen Sie Annahmen und schauen Sie, was passiert. Wenn Sie sich das nicht trauen, sind Sie später jedem Berater hilflos ausgeliefert.¹

¹Der Berater braucht gar nicht böse zu sein, sondern ist vielleicht einfach nur selbst ahnungslos.