

Aufgabe 3.1 Wärmekapazitäten

In der Vorlesung wurde für $C_p - C_v$ der Ausdruck

$$C_p - C_v = \frac{TV\alpha^2}{\kappa_T}$$

hergeleitet, vgl. Gleichung (4.37). Für die Herleitung dieses Ausdrucks wurde die Gleichung (4.35),

$$TdS = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \Big|_p + p \frac{\partial V}{\partial T} \Big|_p \right) dT - T \frac{\partial V}{\partial T} \Big|_p dp,$$

ohne Herleitung verwendet. Leite letzteren Zusammenhang her und berechne $C_p - C_v$ explizit für das ideale Gas.

Mit Hilfe dieser Aufgabe soll der Umgang mit Differentialen weiter geübt werden. Beachte, dass die obigen Resultate für alle Systeme im GG gelten und nicht nur für das ideale Gas!

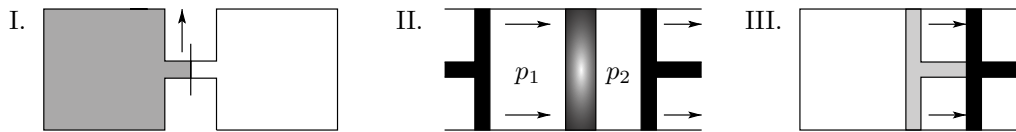
Aufgabe 3.2 (Ir)Reversible Expansion und einige Konsequenzen

Abbildung 1: Drei Versuche: I. Gay-Lussac, II. Joule-Thomson, III. reversible Expansion.

Wir betrachten die folgenden drei Versuche mit einem idealen Gas als Arbeitsmedium (siehe Abb. 1):

- I. den irreversiblen Versuch von Gay-Lussac,
- II. den irreversiblen Versuch von Joule-Thomson,
- III. die reversible Expansion im Zylinder-Kolben-System. Hier unterscheiden wir zwischen
 - i) der reversiblen isothermen Expansion (das System ist zu jedem Zeitpunkt im thermischen Gleichgewicht mit der Umgebung),
 - ii) und der reversiblen adiabatischen Expansion (das System ist thermisch isoliert).

T_1 , V_1 , p_1 und T_2 , V_2 , p_2 sind die Temperaturen, Volumina und Drücke des Gases vor und nach der Expansion.

- a) Wir betrachten zuerst die Prozesse I. und III.ii). In beiden Fällen geht es um eine adiabatische Expansion. Wie verhalten sich T_1 und T_2 während den Prozessen? Erkläre dies mikroskopisch.

- b) Beschreibe die Energiebilanz für die beiden reversiblen Prozesse III.i) und III.ii).
- c) Zeige, dass im Prozess II. die Enthalpie H erhalten bleibt. Leite nun einen allgemeinen Ausdruck für die Veränderung der Temperatur, $(\partial T/\partial p)|_H$, unter Verwendung der Relation

$$\left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_H = - \frac{\left. \frac{\partial H}{\partial p} \right|_T}{\left. \frac{\partial H}{\partial T} \right|_p}$$

her.

- d) Zeige mithilfe dieses Ausdruckes, dass für ein ideales Gas die Temperatur vor und nach dem Prozess II. dieselbe ist. Was passiert für $\alpha > \alpha_{\text{id.Gas}}$ und für $\alpha < \alpha_{\text{id.Gas}}$?

Das Ergebnis aus d) ist für den Umgang mit Gasflaschen relevant. Das Austreten von Gas durch das Ventil einer Gasflasche ist näherungsweise eine gedrosselte isenthalpische Expansion. Was schliesst man mit dem Hinweis $\alpha_{\text{H}_2} < \alpha_{\text{id.Gas}}$ in Bezug auf die Sicherheit?

Aufgabe 3.3 Über das Öffnen eines Tiefkühlschranks

Ein Tiefkühlschrank lässt sich kurz nachdem die Tür verschlossen wurde mit mehr Mühe öffnen als wenn man ein paar Minuten wartet. Aber selbst dann geht sie nicht ganz widerstandslos auf. In dieser Aufgabe soll ein Modell erarbeitet werden, um die Ursachen dieser beiden Effekte zu verstehen. Versuche die unten genannten Begründungen qualitativ zu verstehen und abzuschätzen, welche davon quantitativ relevant sind.

Ein Tiefkühlschrank mit einer Temperatur von $T_0 = -20^\circ \text{C}$ stehe in einem Zimmer bei Raumtemperatur. Folgende Aussagen gilt es zu studieren.

- a) In der Kautschukdichtung des Tiefkühlschranks ist ein Magnetstreifen eingelassen. Verifiziere oder widerlege diese Aussage.
- b) Durch das Öffnen der Tür strömt warme Luft in das Kühlgerät, während das gefrorene Gut kalt bleibt. Wird die Tür daraufhin geschlossen, so entsteht durch das Abkühlen der Luft ein Unterdruck im Inneren des Tiefkühlschranks. Quantisiere diesen und diskutiere das Ergebnis.
- c) Nach Verschliessen der Tür wird durch Solidifikation der Wasserdampfgehalt (etwa $9 \text{ g/m}^3 \approx 0.5 \text{ mol/m}^3$, bei Raumtemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit von 50%) der Luft entzogen. Das Fehlen dieses Partialdrucks ($p_{\text{tot}} = p_{\text{WD}} + p_{\text{L}} \rightarrow p_{\text{tot}}^{\text{red}} = p_{\text{L}}$) reduziert ebenfalls den Druck im Inneren des Gefrierschranks. Wie gross ist dieser Effekt?

Hinweis: Für eine Gasmischung (Wasserdampf, trockene Luft) ist der Gesamtdruck p_{tot} die Summe der Partialdrücke p_{WD} und p_{L} , wobei jeder Partialdruck der thermischen Zustandsgleichung des idealen Gases genügt.

- d) Womit muss unser Modell ergänzt werden, damit sich der Tiefkühlschrank überhaupt wieder öffnen lässt? Wie sieht unser komplettes Modell aus? Fasse das Gelernte in ein paar Sätzen zusammen.

Diese Aufgabe ist das Produkt einer regen Kaffeediskussion der Gruppen von Prof. Sigrist und Prof. Blatter.