Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Theorie der Wärme
Serie 4

HS 09
Prof. G. Blatter

Aufgabe 4.1 Wärmekapazitäten

Wir wollen $c_p - c_V$ für das ideale Gas berechnen. Zeige dazu zuerst Gleichung (4.37) im Skript und setze dann in (4.39) für das ideale Gas ein.
Hinweis: Verwende die Eigenschaften von S als Zustandsgrösse.

Aufgabe 4.2 (Ir)Reversible Expansion und einige Konsequenzen

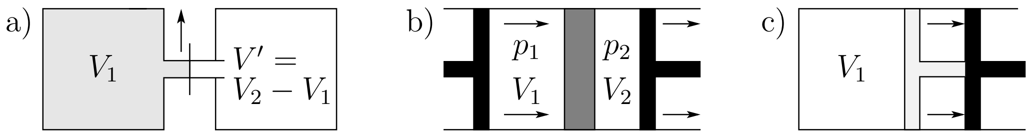

Abbildung 1: Drei Versuche: a) Gay-Lussac, b) Joule-Thomson, c) reversible Expansion.

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

a) den irreversiblen Versuch von Gay-Lussac,

b) den irreversiblen Versuch von Joule-Thomson,

c) die reversible Expansion im Zylinder-Kolben System.

Wir unterscheiden zusätzlich

c1) die reversible isotherme Expansion (das System ist zu jedem Zeitpunkt im thermischen Gleichgewicht mit der Umgebung),

c2) und die reversible adiabatische Expansion (das System ist thermisch isoliert).

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

1. Wir betrachten zuerst die Prozesse a) und c2). In beiden Fällen geht es um eine adiabatische Expansion. Wie verhalten sich T_1 und T_2 während der Prozesse? Erkläre das mikroskopisch.

2. Beschreibe die Energiebilanz für die beiden reversiblen Prozesse c1) und c2).

3. Zeige, dass in b) die Temperatur vor und nach dem Prozess für ein ideales Gas dieselbe ist.

4. Finde die Veränderung der Temperatur in b) allgemein für ein reales Gas als Funktion des Ausdehnungskoeffizienten. Was passiert für $\alpha > \alpha_{\mathrm{id.Gas}}$ und für $\alpha < \alpha_{\mathrm{id.Gas}}$?

Das Ergebnis aus 4. 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 $\alpha_{\mathrm{H_2}} < \alpha_{\mathrm{id.Gas}}$ in Bezug auf die Sicherheit?

Aufgabe 4.3 Wärmeaustausch, Gleichgewicht, Arbeit und Entropie

Ein Körper (1) mit spezifischer Wärme bei konstantem Volumen $c_V^{(1)}$ besteht aus n_1 Mol und hat die Temperatur T_1. Er ist im thermischen Kontakt mit einem zweiten Körper (2), bestehend aus n_2 Mol, mit einer spezifischen Wärme $c_V^{(2)}$ und der Temperature $T_2 < T_1$ (Abbildung 2). Wir betrachten nur den Wärmeaustausch zwischen 1 und 2 und vernachlässigen andere Prozesse (wie zum Beispiel thermische Expansion).

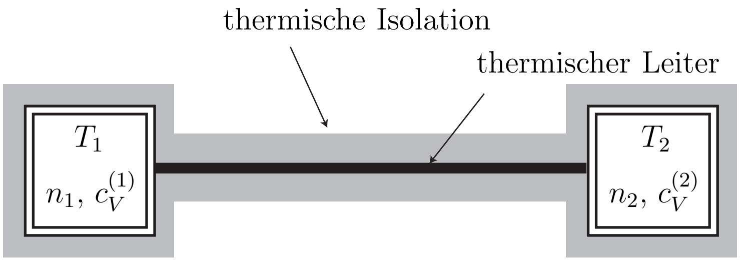

Abbildung 2: Wärmefluss von Körper 1 nach Körper 2.

1. Ist der Prozess reversibel oder irreversibel? Begründe deine Antwort.
2. Berechne die Temperatur T als Funktion von T_1, T_2, n_1, n_2, $c_V^{(1)}$ und $c_V^{(2)}$ nach der Einstellung des thermischen Gleichgewichts. Überprüfe, dass $T_2 < T < T_1$.
3. Zeige, dass die Änderung der Entropie durch
$$\Delta S = n_1 c_V^{(1)} \ln \frac{T}{T_1} + n_2 c_V^{(2)} \ln \frac{T}{T_2} \tag{1}$$
gegeben ist und überprüfe, dass $\Delta S > 0$.
4. Bei diesem Prozess wird keine Arbeit gewonnen. Wie könnte man es einrichten, dass die gewonnene Arbeit nicht nur endlich ist, sondern sogar maximal? Wie würde sich die Entropie in diesem Fall ändern?
5. Stelle folgende, allgemeinen Betrachtungen an: Am Anfang ist das Gesamtsystem nicht im Gleichgewicht (es ist in der extensiven Grösse Entropie gehemmt). Es hat die Gesamtentropie S_0 und die innere Energie $U_0 = U_0(S_0; T_1, T_2) \neq U(S_0)$ (da V immer konstant bleibt betrachten wir es nicht). Das System gehe nun über in einen Gleichgewichtszustand mit Entropie S und innerer Energie $U(S)$. Wie muss das System in den Gleichgewichtszustand übergehen, damit die gewonnene Arbeit ΔW maximal wird? Wie gross ist $\Delta W_{\max}$? Berechne dazu $\partial \Delta W / \partial S|_V$.