

Übung 1. Otto Motor

Ein Otto Kreisprozess für ein Gas besteht aus zwei adiabatischen und zwei isochoren Zustandsänderungen wie im untenstehenden Diagramm gezeichnet.

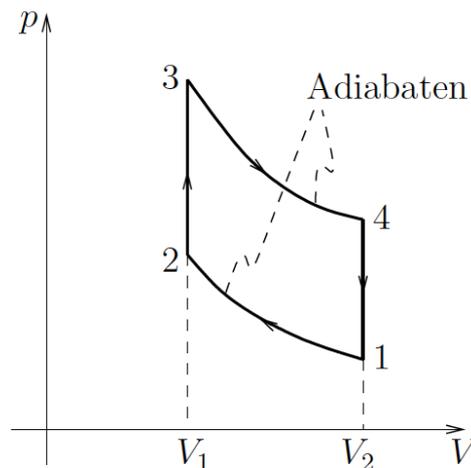
- (i) Stelle den skizzierten Kreisprozess in einem $T - S$ Diagramm dar. In welche Richtung muss der Kreisprozess im $T - S$ Diagramm durchlaufen werden, damit (wie im unten stehenden $V - p$ Diagramm) vom System Arbeit verrichtet wird?
- (ii) Berechne den Wirkungsgrad

$$\eta_{\text{Otto}} := \frac{\text{geleistete Arbeit}}{\text{zugeführte Wärme}} \quad (1)$$

dieser Maschine, wenn als Arbeitssubstanz ein ideales Gas mit $c_V = \text{const}$ verwendet wird.

- (iii) Zeige, dass

$$\eta_{\text{Otto}} < \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}. \quad (2)$$



Hinweis: Eine Entropiedifferenz $S - S_0$ des idealen Gases lässt sich berechnen durch:

$$S - S_0 = \int_{T_0}^T c_V \frac{dT}{T} + \int_{V_0}^V R \frac{dV}{V}. \quad (3)$$

Für einen adiabatischen Prozess haben wir folgende Gleichung, welche T und V in Verbindung setzt:

$$TV^{R/c_V} = T_0 V_0^{R/c_V}. \quad (4)$$

Übung 2. Zustandsgleichung magnetischer Substanzen

Ein isotropes magnetisches Material befinde sich in einem homogenen magnetischen Feld \vec{H} im Inneren einer langen Spule. Die von der Spule am Material geleistete reversible Arbeit, bezogen auf ein Einheitsvolumen, ist gegeben durch

$$\delta A = H dM . \quad (5)$$

Dabei ist M die Magnetisierung des Materials, welche wir bereits am Ende der Physik II Vorlesung kennengelernt haben. Wegen der Isotropie des Materials entfällt der Vektorcharakter von H und M .

- (i) Schreibe die Entropie des Systems als $S = S(T, H)$ und leite daraus einen Zusammenhang zwischen der Magnetisierung $M = M(T, H)$ (thermische Zustandsgleichung) und der Inneren Energie $U = U(T, H)$ (kalorische Zustandsgleichung) her.

Hinweis: dS ist ein exaktes Differential.

- (ii) Eine paramagnetische Substanz erfüllt das Curie-Gesetz

$$M = K \cdot \frac{H}{T} , \quad (6)$$

mit einer materialabhängigen Konstante K .

Nutze diese Tatsache um zu zeigen, dass U nur von T abhängt.

Übung 3. Magnetische Carnot-Maschine

Wir betrachten ein paramagnetisches Material wie in Aufgabe 2(ii), welches eine konstante Wärmekapazität $C_M = \left. \frac{\partial U}{\partial T} \right|_M$ aufweist. Es soll als Carnot-Maschine zwischen zwei Wärmereservoirs der Temperaturen $T_2 > T_1$ verwendet werden.

- (i) Finde die Adiabatangleichung des Systems und skizziere einen Zyklus der Maschine in einem T - M Diagramm. In welche Richtung muss der Kreisprozess durchlaufen werden, sodass die Maschine Arbeit verrichtet?
- (ii) Wie gross ist die Arbeit, welche die Maschine in einem Zyklus verrichtet?
- (iii) Berechne den Wirkungsgrad der Maschine und setze ihn in Verbindung mit dem Wirkungsgrad einer Carnot Maschine, die mit den selben Wärmebädern (T_1 und T_2) arbeitet