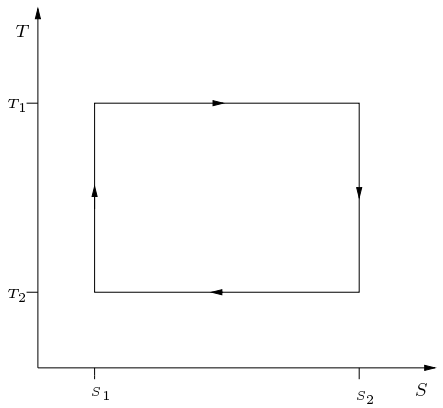
Übungsaufgaben zur statistischen Physik
Blatt 5

Aufgabe 5.1 (8 Punkte): Carnot-Prozess

Der Carnot-Prozess hat im T-S-Diagramm die folgende Gestalt:



a) Auf welchen Wegstücken in diesem Diagramm ist $\Delta W \neq 0$, auf welchen $\Delta Q \neq 0$?

b) Wie lautet der Wirkungsgrad $\eta_C = -\Delta A/\Delta Q_1$ als Funktion der Parameter T_1,T_2,S_1 und S_2?

c) Begründen Sie, dass für jeden beliebigen, zwischen Reservoiren der Temperaturen T_1 und T_2 laufenden Kreisprozess der Wirkungsgrad η immer unterhalb des Wirkungskrades des Carnot-Prozesses liegt ($\eta \leq \eta_C$). *Hinweis:* Betrachten Sie einen beliebigen Prozess im T-S-Diagramm, tragen Sie die Größen ΔQ_1 und ΔQ_2 in das Diagramm ein und Vergleichen Sie mit dem „entsprechenden“ Carnot-Prozess.

Aufgabe 5.2 (0 Punkte): Entropiebilanz

Ein Kilogramm Wasser der Temperatur 273 K wird mit einem unendlich ausgedehnten Wärmereservoir der Temperatur $T_{\text{Res}} = 373$ K in Kontakt gebracht.

a) Wie erhöht sich die Entropie des Wassers?

b) Wie ändert sich die Entropie des Universums?

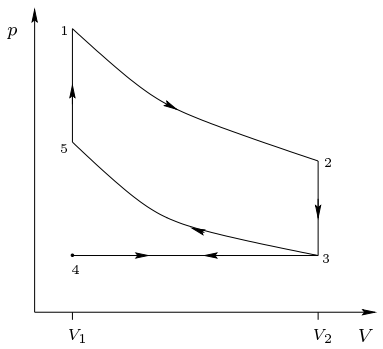
c) Wie sieht die Situation für das Wasser und das Universum aus, wenn man das Wassser zunächst mit einem Reservoir der Temperatur 323 K und dann mit dem Reservoir der Temperatur 373 K in Kontakt bringt.

d) Verallgemeinern Sie dieses Vorgehen auf $N \in \mathbb{N}$ Reservoirs aufsteigender Temperatur mit Temperaturunterschieden $\Delta T = 100/N$. Wie groß sind nun die Entropieänderungen?

e) Bilden Sie den Limes $N \to \infty$. Kommentieren Sie das Ergebnis.

Aufgabe 5.3 (0 Punkte): Der Otto-Motor

Der in einem Otto-Motor ablaufende Prozess kann durch die skizzierte Prozessführung modelliert werden. Bei den auftretenden Zustandsänderungen



handelt es sich um isobare, isochore und adiabatische Zustandsänderungen.

a) Beschreiben Sie detailliert die den sechs auftretenden Zustandsänderungen entsprechenden Prozesse in einem Otto-Motor.

b) Berechnen Sie den Wirkungsgrad des obigen Prozesses als Funktion der Verdichtung ε.

c) Welche Verdichtungsverhältnisse hat man typischerweise bei heutigen Benzin-getriebenen Automobilen? Welcher Quelle entstammt Ihre Information? Warum verwendet man keine höheren Verdichtungszahlen? Warum verdichtet man bei Diesel-Motoren höher?

d) Welchen Wirkungsgrad weisen heutige Otto-Motoren wirklich auf?

Aufgabe 5.4 (15 Punkte):

Bei einer Klimaanlage handelt es sich im Wesentlichen um einen Kühlschrank, welcher seine Abwärme nicht in den Raum sondern an die das Haus/Auto umgebende Luft abführt.
Eine typische Klimaanlage lässt sich recht gut durch einen Carnot-Prozess mit Wärmereservoirs der Temperaturen T_1 (Außentemperatur) und T_2 (Innentemperatur) modellieren. Die Leistungsaufnahme unserer Modellkilmaanlage betrage im Betrieb P (in J/s).

a) In einer Sekunde entnehme die Anlage der Zimmerluft die Wärmemenge Q_2 (in J) und gebe Q_1 (in J) an die Außenluft ab. Geben Sie eine Formel für die Effizienz $\varepsilon = Q_2/P$ der Anlage als Funktion von T_1 und T_2 an.

b) Ein Zimmer ist typischerweise nicht vollständig isoliert. Der Wärmetransport durch Wände, Fenster und kleine Öffnungen werde durch die NEWTONsche Formel $Q_{\text{Leck}} = A \cdot (T_1 - T_2)$ beschrieben, wobei A eine von der Isolierung abhängige reelle Konstante ist. Welche Innentemperatur T_2 stellt nach dem Einschwingvorgang bei Dauerbetrieb mit der Leistung P als Funktion der Parameter T_1,A und P ein?

c) Zur Regelung der Klimaanlage werde nicht die Leistungsaufnahme P verändert sondern das Gerät über einen Thermostaten ein- und ausgeschaltet. Bei der Eintellung „20 °C“ und einer Außentemperatur von 303 K arbeitet die Anlage 30% der Zeit. Welches ist die Maximale Außentemperatur, bei der man noch diese Innentemperatur erzielen kann?

d) Im Winter kann man durch Umlegen eines roten Hebels die Richtung des Kreisprozesses umkehren. Unsere Klimaanlage arbeitet dann als Wärmekraftmaschine. Welches ist die minimale Außentemperatur, bei der die durch Teil c) spezifizierte Anlage noch eine Innentemperatur von 293 K erzeugen kann?