Institut für Theoretische Physik
Universität zu Köln

Prof. Dr. S. Trebst
Carsten Bauer

# Statistische Physik

Blatt 9

*WS 2017/18*

**Abgabe**: Freitag, **22. Dezember** 2017, 10 Uhr

**Webseite**: http://www.thp.uni-koeln.de/trebst/Lectures/2017-StatPhys.shtml

## Aufgabe 26: Klimaanlage (3 Punkte)

Eine Klimaanlage operiere als Carnot-Prozess zwischen der Außentemperatur $T_A$ und der niedrigeren Raumtemperatur $T_R$. Der Raum nimmt Außenwärme mit einer Rate $r = A\Delta T = A(T_A - T_R)$ auf. Die Klimaanlage versucht diesem Wärmefluss entgegenzuwirken. Sie wird mit der Leistung $P$ betrieben.

**a)** Zeigen Sie das die Temperatur im sich einstellenden stationären Zustand durch

$$T_R = \left(T_A + \frac{P}{2A}\right) - \sqrt{\left(T_A + \frac{P}{2A}\right)^2 - T_A^2} \tag{1}$$

gegeben ist.
*Hinweis: Die Rechnung hat wenige Zeilen.*

**b)** Nehmen Sie an, dass die Außentemperatur 37° beträgt und der Raum mittels 2kW Kühlleistung auf 17° gehalten wird. Berechnen Sie den Wärmekoeffizienten $A$ in $\mathrm{WK}^{-1}$.

## Aufgabe 27: Maxwellscher Dämon (2 Punkte)

**Comic:** http://maxthedemon.com

Wie wir in der Vorlesung gesehen haben, ist ein Perpetuum mobile 2. Art nicht mit der Thermodynamik kompatibel und daher unmöglich. Der *Maxwellsche Dämon* möchte trotzdem versuchen ein solches Gerät zu konstruieren. Seine Idee ist thermodynamische Fluktuationen wie folgt auszunutzen:

(i) Er betrachten ein ideales Gas in einer Box (Volumen $V$) in Kontakt mit einem Reservoir der Temperatur $T$.

(ii) Er wartet bis alle Moleküle in der linken Hälfte der Box sind und führt schnell eine Trennwand in der Mitte der Box ein.

(iii) Nun lässt er das Gas isotherm ($dT = 0$) expandieren. So leistet das Gas Arbeit und dem Reservoir wird Wärme entzogen. Danach geht es wieder bei (i) weiter.

**a)** Welches offensichtliche Problem fällt Ihnen auf?

Maxwells Dämon ist das Problem aus a) auch aufgefallen. Deshalb betrachtet er einfach nur ein einzelnes Atom, d.h. ein ideales Gas mit $N = 1$.

**b)** Berechnen Sie die Entropieänderung des Reservoirs in einem Durchlauf. Erklären Sie, inwiefern das Resultat dem 2. Hauptsatz widerspricht.

Der 2. Hauptsatz gilt nur für abgeschlossene Systeme. Wir müssen also den Dämon selbst mit berücksichtigen.

**c)** Retten Sie mithilfe des Landauer-Prinzips, welches besagt, dass das Löschen von einem Bit Information (hier: Das Atom kann entweder links oder rechts sein) eine Entropie $k_B \ln 2$ erzeugt, den 2. Hauptsatz.

## Aufgabe 28: Entropieänderung eines idealen Gases (5 Punkte)

Im Gegensatz zu Wärme und Arbeit ist die Entropie ein thermodynamisches Potential. Das bedeutet, dass die Entropieänderung im Laufe eines quasistatischen Prozesses nur von Anfangs- und Endpunkt abhängt und nicht vom zurückgelegten Weg. Die Entropieänderung ist gegeben durch

$$dS = \frac{đQ}{T} \tag{2}$$

Zeigen Sie explizit, dass die obige Aussage für ein ideales Gas zutrifft, indem Sie $\Delta S$ sowie die Wärme $Q$ und die geleistete Arbeit $W$ jeweils für folgende quasistatischen Wege mit Anfangspunkt $(V_1, p_1)$ und Endpunkt $(V_2, p_2)$ berechnen.

**a)** Der adiabatische Prozess $pV^{\frac{5}{3}} = c = \text{const}$.

**b)** Zuerst läuft $p$ von $p_1$ nach $p_2$, während $V = V_1$ konstant gehalten wird. Anschließend läuft $V$ von $V_1$ nach $V_2$, wobei $p = p_2$ konstant gehalten wird.

**c)** Zuerst läuft $V$ von $V_1$ nach $V_2$, während $p = p_1$ konstant gehalten wird. Anschließend läuft $p$ von $p_1$ nach $p_2$, wobei $V = V_2$ konstant gehalten wird.

**d)** $p$ ändert sich linear in $V$.