

# Thermodynamik & Statistische Physik

FSU Jena - WS 2008/2009

Klausur - Aufgabenstellung

14.02.2009

---

## Aufgabe 01 - Kreisprozess mit Photonengas (10P)

Die freie Energie des Photonengases lautet

$$F = -\frac{4\sigma}{3c}VT^4$$

( $\sigma$  Stefan-Boltzmann-Konstante,  $c$  Lichtgeschwindigkeit,  $V$  Volumen,  $T$  Temperatur).

- Führen Sie mit dem Photonengas einen reversiblen Kreisprozess zwischen zwei Isobaren ( $p_1 > p_2$ ) und zwei Isochoren ( $V_1 > V_2$ ) durch und berechnen Sie dessen Wirkungsgrad als Funktion von  $p_2/p_1$  und  $V_2/V_1$ .
- Wie hängen die Isobaren mit den Isothermen zusammen?
- Welche Beziehung  $p(V)$  gilt auf Adiabaten?
- Zeigen Sie für den Grenzfall ( $V_2/V_1 \rightarrow 0$ ), dass der Wirkungsgrad des obigen Kreisprozesses wie zu erwarten kleiner ist als der des Carnotschen Kreisprozesses zwischen denselben Temperaturen.

## Aufgabe 02 - Adiabaten und Isothermen (6P)

- Beweisen Sie, dass sich eine Adiabate und eine Isotherme eines  $pVT$ -Systems nur höchstens einmal schneiden können.
- Zeigen Sie, dass bei einem  $pVT$ -System (konstante Teilchenzahl) die infinitesimale Arbeit  $\delta W$  längst Adiabaten oder Isothermen ein totales Differential ist.
- Begründen Sie mit Hilfe des 1. und 2. Hauptsatzes, dass der Wirkungsgrad des Carnotschen Kreisprozesses nicht von der Arbeitssubstanz abhängt.

## Aufgabe 03 - Magnetisierbare Substanzen (8P)

Beweisen Sie die Gleichung

$$\mathbf{H} - T \left( \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial T} \right)_{\mathbf{M}} = \left( \frac{\partial U}{\partial \mathbf{M}} \right)_T$$

unter Verwendung der Gibbsschen Fundamentalgleichung für eine magnetisierbare Substanz bei festem Volumen.  $\mathbf{H}$  ist die magnetische Feldstärke,  $\mathbf{M}$  das magnetische Moment und  $U$  die innere Energie. Oberhalb der Curie-Temperatur  $T_C$  gilt für ein Ferromagnetikum

$$M = \frac{C}{T - T_C} H$$

( $\mathbf{M} = M\mathbf{e}_z$ ,  $\mathbf{H} = H\mathbf{e}_z$  mit  $\mathbf{e}_z$  Einheitsvektor in  $z$ -Richtung) mit der positiven Curie-Konstanten  $C$ .

Berechnen Sie die innere Energie  $U(T, M)$ . Welche physikalische Bedeutung hat eine dabei auftretende von  $M$  unabhängige Funktion von  $T$ ?

## Aufgabe 04 - Harmonische Oszillatoren und statistische Verteilungen (8P)

Ein thermodynamisches System aus  $N$  ortsfesten unabhängigen 1-dimensionalen klassischen harmonischen Oszillatoren mit Kreisfrequenz  $\omega$  besitzt die spektrale Zustandsdichte (Zustandsdichte pro Energieeinheit)

$$\omega(E) = \frac{1}{(\hbar\omega)^N} \frac{E^{N-1}}{(N-1)!}$$

- Berechnen Sie daraus mit Hilfe der kanonischen Verteilung die freie Energie  $F$ .
- Wie lautet die Entropie  $S$  als thermodynamisches Potential, die man aus  $F$  erhält?
- Berechnen Sie die Entropie mit Hilfe der mikrokanonischen Verteilung und vergleichen Sie die beiden Ausdrücke, die Sie für  $S$  erhalten.
- Wie lautet die kalorische und thermische Zustandsgleichung?
- Wie groß ist das chemische Potential?