

**ÜBUNGSAUFGABEN (XIII)**  
(Besprechung am Donnerstag, 31.01.2013)

**Aufgabe 1: (5 Punkte)**

Der auf eine Fläche  $A$  ausgeübte Strahlungsdruck  $P$  von Licht, das senkrecht auf  $A$  trifft und dort absorbiert wird, ist gegeben durch dessen Energiedichte  $u$ , also  $P = u$ . Zeigen Sie, dass für den Strahlungsdruck von thermischer Hohlraumstrahlung mit Temperatur  $T$  und Energiedichte  $u_T$ , die vollständig von einer Fläche  $A$  in der Wand eines Hohlraums absorbiert wird, gilt  $P = u_T/6$ . Wie groß wird  $P$ , wenn auch die von  $A$  im Temperaturgleichgewicht emittierte Strahlung hinzugenommen wird? Wie ändert sich das Ergebnis, wenn  $A$  zwar vollständig lichtundurchlässig bleibt, aber neben Absorption auch Reflexion von Licht erlaubt ist?

*Hinweise:* Berücksichtigen Sie bei der Integration über den Halbraum die Abhängigkeit des Drucks und der absorbierten Leistung von der Richtung der Strahlung. Die Hohlraumstrahlung ist vollkommen isotrop und trifft daher aus allen Richtungen mit gleicher Intensität auf  $A$ . Daher gilt für ihre Energiedichte pro Raumwinkelelement  $du_T/d\Omega = u_T/4\pi$ .

**Aufgabe 2: (4 Punkte)**

Eine große, kugelförmige Raumstation mit Radius  $R$  soll auf einer festen Position zwischen Erde und Mond installiert werden. Die Oberfläche soll ähnlich der Erde  $\alpha = 70\%$  der einfallenden Sonnenstrahlung absorbieren und sei aufgrund der Rotation gleichmäßig temperiert. Zeigen Sie mit Hilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetzes  $K = \sigma T^4$  für das gesamte Emissionsvermögen  $K$  eines schwarzen Körpers, dass sich im Gleichgewicht mit der Sonnenstrahlung ( $T_S = 5800\text{ K}$ ) die Oberflächentemperatur der Station auf etwa  $T_0 = -17^\circ\text{C}$  einstellt. Nehmen Sie dazu an, dass sich Raumstation und Sonne bzgl. ihres Emissionsvermögens näherungsweise wie schwarze Körper verhalten.

*Zahlenwert:*  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{K}^4$

**Aufgabe 3: (5 Punkte)**

Beim Joule-Thomson-Prozess wird ein Gas vom Behälter  $B_1$  unter dem Druck  $P_1$  in den Behälter  $B_2$  unter dem Druck  $P_2 < P_1$  gepresst und dabei expandiert. Die Behälter sind gegeneinander sowie nach aussen thermisch isoliert; das Gas wird beim Übertritt gedrosselt, so dass der Prozess sehr langsam verläuft.

- Zeigen Sie, dass die Enthalpie  $H$  des übertretenden Gases erhalten bleibt.
- Berechnen Sie  $H$  für ein ideales Gas und bestimmen Sie damit die Temperaturänderung beim Übertritt des idealen Gases, die am und vom Gas geleistete Arbeit sowie die Entropieänderung.
- Diskutieren Sie auf der Grundlage von (b), warum sich in Abhängigkeit von der Ausgangstemperatur beim Joule-Thomson-Prozess eines realen Gas die Gastemperatur auch erhöhen kann, obwohl eine reine Expansion immer zu einer Temperatursenkung führt (vgl. frühere Aufgabe).