
Thermodynamik der Hohlraumstrahlung

1. Für ein thermodynamisches System mit der Entropiefunktion¹ $M \ni x \mapsto S(x)$ sind Temperatur T und Druck p durch

$$dS = \frac{1}{T}dE + \frac{p}{T}dV$$

festgelegt. Es gilt daher $\partial_S^{(S,V)}E = T$ und $\partial_V^{(S,V)}E = -p$. Für die freie Energie des Systems gilt

$$F = E - TS.$$

Zeigen Sie, dass daraus $\partial_T^{(T,V)}F = -S$ und $\partial_V^{(T,V)}F = -p$ folgt.

2. Ein evakuierter Zylinder wird von einem beweglichen Stempel in zwei Teilkammern zerlegt. Die Wand des Zylinders werde von einem Temperaturreervoir auf Temperatur T gehalten, sodass die beiden Teilvolumina von Hohlraumstrahlung erfüllt sind. Besitzt der Stempel eine ausgezeichnete Gleichgewichtslage?
3. Welchen Druck hat das thermische Strahlungsfeld einer Supernova mit $T = 10^{10}$ K? Welchen Wert hat λ_{\max} ?
4. Kontrollieren Sie den Wert des Maximums der spektralen Energieverteilung der kosmischen Hintergrundstrahlung, wie sie in der Wikipedia² wiedergegeben ist. Passt das Maximum zu $T = 2,725$ K?
5. Welchen Druck übt die einfallende Sonnenstrahlung auf das total reflektierende Sonnensegel einer Raumsonde im Bereich der Erde aus, das senkrecht zur Einfallsrichtung steht?
6. Wäre die Erde ein idealer schwarzer Körper, würde sie die gesamte von der Sonne auf sie einfallende Strahlungsenergie als thermische Strahlung der mittleren Temperatur T_E wieder abgeben. Die Sonne ist ein schwarzer Strahler der Temperatur $T_S = 5800$ K. Berechnen Sie T_E . Tatsächlich hat die Erde aber eine Albedo, die dazu führt, dass nur ca. 50% der einfallenden Sonnenenergie in „thermalisierter“ Form abgegeben werden. Welchen Wert hat T_E unter Berücksichtigung der Albedo?
7. Um welchen Faktor wird die Entropie der auf die Erde einfallenden Sonnenstrahlung bei der Thermalisierung verändert? Diese Entropiezunahme kompensiert die Entropieabnahme bei der Entstehung der Biosphäre (bei weitem).
8. Ein schlecht gedämmtes und verschwenderisch beheiztes Haus habe bei einer Umgebungstemperatur von -10°C eine Fassadentemperatur von $+5^\circ\text{C}$. Wieviel Energie verliert die Fassade pro Quadratmeter und Sekunde alleine durch Abstrahlung?
9. Welcher Bruchteil der insgesamt von der Sonne abgestrahlten Energie fällt auf den sichtbaren Wellenlängenbereich $400\text{ nm} < \lambda < 700\text{ nm}$?

¹Die offene Teilmenge $M \subset \mathbb{R}^2$ ist die Menge der thermodynamischen Gleichgewichtszustände. Innere Energie und Volumen bilden eine globale Karte von M .

²http://de.wikipedia.org/wiki/Kosmische_Hintergrundstrahlung