

Blatt №6

Dr. Vladislav Borisov <borisov@itp.uni-frankfurt.de>

Aufgabe 16 (*Barometrische Höhenformel*) (7 Pkte.)

Betrachten wir die Erdatmosphäre in erster Näherung als ein ideales Gas mit molarer Masse $M_{\text{mol}} = 28.97 \text{ g/mol}$, das sich im Gravitationsfeld der Erde befindet.

- Bestimmen Sie die Höhenabhängigkeit vom Druck $p(z)$ in der Atmosphäre für eine bekannte Temperaturverteilung $T(z)$. Betrachten Sie die Höhen z , die deutlich kleiner sind als der Erdradius, sodass das Gravitationsfeld als homogen betrachtet werden kann. (2 Pkte.)
- Die niedrige Schicht der Stratosphäre ($11 \text{ km} < z < 20 \text{ km}$) weist praktisch konstanten Temperaturverlauf mit $T = 217 \text{ K}$ auf. Wie ändert sich der Druck in dieser Schicht, wenn $p = 22 \text{ kPa}$ bei $z = 11 \text{ km}$? Wie hoch ist der Druck auf 20 km Höhe? (2 Pkte.)
- In der Troposphäre fällt die Temperatur meistens mit der Höhe ab, was am Wärmeaustausch mit der Erdoberfläche liegt. Nutzen Sie die adiabatische Näherung, um den Druck- $p(z)$ und Temperaturverlauf $T(z)$ zu finden. Die Werte von Druck und Temperatur auf Meereshöhe sind $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$ und $T_0 = 288 \text{ K}$. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den im Punkt **b** angegebenen Daten für $z = 11 \text{ km}$. Welche Temperatur könnte man auf dem Gipfel des Mount Everest erwarten ($h = 8848 \text{ m}$)? (3 Pkte.)

Aufgabe 17 (*Magnetische Kühlung*) (9 Pkte.)

Tiefe Temperaturen können durch die adiabatische Entmagnetisierung von magnetischen Materialien erreicht werden. Das Grundprinzip dieser Methode basiert auf dem Entropieaustausch zwischen den magnetischen Momenten und dem Rest vom System, wobei die Gesamtentropie erhalten ist ($\Delta S = 0$). In den früheren Experimenten (Debye und Ciaque, 1926) wurden paramagnetische Salzen verwendet, z. B. Cermagnesiumnitrat (CMN), deren Magnetisierung näherungsweise durch das Curiegesetz beschrieben wird: $M(T, B) = CB/T$ ($C = \text{const}$). Es ist bekannt, dass die Wärmekapazität dieser Salzen ohne Magnetfeld folgendermaßen von der Temperatur abhängt: $C_V = A/T^2$, wobei A eine positive Konstante ist.

- Das CMN-System befindet sich anfangs im Magnetfeld der Stärke $B_0 = 1 \text{ T}$ und die Temperatur wird bei $T_0 = 1 \text{ K}$ mithilfe von Helium-Wärmebad gehalten. Nach der thermischen Isolierung des Systems wird das Magnetfeld langsam ausgeschaltet. Berechnen Sie die Endtemperatur bei $B = 0$. Ein Mol des CMN-Materials hat folgende Parameter: $C = 0.25 \text{ J} \cdot \text{K}/(\text{T}^2)$ und $A = 6.2 \cdot 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{K}$. (5 Pkte.)

Hinweis: nutzen Sie die im Blatt 4 bewiesenen Maxwell-Relationen für magnetische Systeme und betrachten Sie die Ableitung $(\frac{\partial T}{\partial B})_S$.

- b) Analysieren Sie, welche Parameter von dem Material und dem Experiment für die Effizienz der magnetischen Kühlung, d.h. die Endtemperatur bei $B = 0$, entscheidend sind. (2 Pkte.)
- c) Im obengenannten Beispiel ist das magnetische Moment elektronischen Ursprungs. In bestimmten Fällen werden Materialien verwendet, bei denen der Magnetismus von Kernspins dominiert wird. Welche Komplikationen erwartet man bei der magnetischen Kühlung solcher Systeme? (2 Pkte.)

Aufgabe 18 (Schlittschuhlaufen)

(4 Pkte.)

Frühere Versuche, die physikalischen Grundlagen von Schlittschuhlaufen zu erklären, basieren auf der Änderung der Schmelztemperatur von Eis unter Druck P , der vom Schlittschuh auf die Eisfläche ausgeübt wird. Dadurch bildet sich eine dünne flüssige Wasserschicht auf der Oberfläche, die die Reibung dramatisch reduziert. Schätzen Sie den Druck P auf der Eisfläche und die dazugehörige Verschiebung ΔT der Schmelztemperatur ab. (2 Pkte.)

Überlegen Sie sich, ob die vorgeschlagene Theorie alleine die niedrige Reibung beim Schlittschuhlaufen, insbesondere bei tiefen Außentemperaturen, erklären kann. Schlagen Sie alternative Theorien vor. (2 Pkte.)

Hinweis: verwenden Sie die Clausius-Clapeyron-Gleichung im Bezug auf den Übergang zwischen fester und flüssiger Form von Wasser.