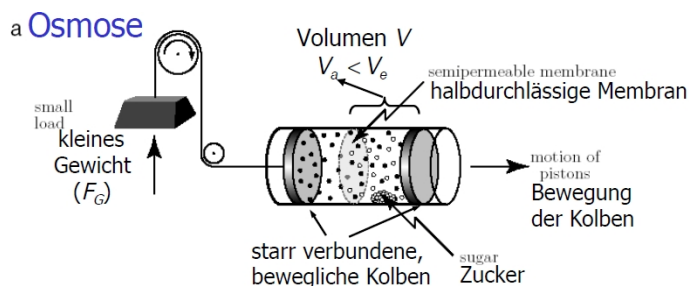


Prof. Dr. Holger Stark
 Johannes Blaschke, Jakob Löber, Torben Winzer, Maria Zeitz

6. Übungsblatt – TPIV: Thermodynamik und Statistische Physik

Abgabe: Fr. 03.06.2016 bis 08:30 Uhr, Briefkasten ER-Gebäude

M Aufgabe 16: Osmotische Maschine



Der gerichtete Fluß von molekularen Teilchen (in der Regel Wasser) durch eine semipermeable Membran nennt man Osmose. Sie wird initiiert durch einen gelösten Stoff, (z.B. Zucker), der sich auf der einen Seite der Membran befindet und diese nicht passieren kann. Triebkraft der Osmose ist die Tendenz des Wassers die Zuckerlösung zu verdünnen und damit die Entropie zu erhöhen.

- (a) Zeigen Sie mithilfe der Gibbschen Enthalpie, dass im Gleichgewicht das chemische Potential der Wasserphase auf beiden Seiten der Membran gleich ist.

Als osmotischer Druck $P_{os} = cRT$ (mit der Konzentration $c = n/V$) wird der Druck bezeichnet, der nötig ist um den Wasserstrom durch die Membran aufzuheben. Diesen Druck kann man nutzen, um eine osmotische Maschine zu betreiben und ein kleines Gewicht F_G zu heben (siehe Bild): Ein mit Wasser gefüllter Zylinder ist mit einer semipermeablen Membran in zwei Kammern unterteilt. Auf der einen Seite der Membran sei reines Wasser, auf der anderen Seite eine Zuckerlösung. Die Membran sei unbeweglich. Die Lösung sei von zwei beweglichen Kolben eingeschlossen, die ein festes Volumen V einschließen.

- (b) In der rechten Kammer seien N Zuckermoleküle gelöst. Berechnen Sie die Arbeit, die von der Maschine verrichtet wird, wenn sich das Volumen mit der Zuckerlösung isotherm von V_a auf V_e erhöht. Wie ändert sich bei diesem Prozess die Entropie?
- (c) Berechnen Sie die Änderung der Freien Energie F .
- (d) Beschreibt die osmotische Maschine einen reversiblen Prozess?

S Aufgabe 17 (11 Punkte): Joule-Thomson-Versuch

Beim Joule-Thomson-Versuch wird ein Gas mit Temperatur T_1 und Druck P_1 über eine Drossel quasistatisch und unter thermischer Isolierung auf einen niedrigeren Druck P_2 entspannt. Dabei wird die Temperatur des Gases erhöht oder erniedrigt, je nachdem, ob es sich in einem Zustand oberhalb oder unterhalb der Inversionskurve befindet.

- (a) Betrachten Sie ein Mol des Gases und begründen Sie, dass bei diesem Versuch die molare Enthalpie h konstant bleibt. Nehmen Sie dann kleine Druckdifferenzen $dP = P_2 - P_1$ an und ermitteln Sie den Koeffizienten

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h$$

unter Verwendung des isobaren Ausdehnungskoeffizienten

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P.$$

6. Übung TPIV SS 16

Wie ist die Inversionskurve definiert?

Hinweis: Verwenden Sie geeignete Maxwellrelationen

- (b) Bestimmen und skizzieren Sie für das van der Waalssche Gas den Verlauf der Inversionskurve in einem $P_r - T_r$ -Diagramm. $P_r = \frac{P}{P_c}$, $T_r = \frac{T}{T_c}$ und $v_r = \frac{v}{v_c}$ sind die auf die kritischen Daten reduzierten Größen. (Die kritischen Größen P_c, T_c und v_c liegen im sog. kritischen Punkt, indem die Isotherme $P(v)$ einen Wendepunkt hat.) Sie lauten für H_2 : $T_c = 33,2 \text{ K}$, $P_c = 134 \text{ bar}$ und für Luft: $T_c = 132,5 \text{ K}$, $P_c = 349 \text{ bar}$. Geben Sie die höchste und die kleinste Inversionstemperatur und den größten Inversionsdruck für H_2 und Luft an.
- (c) Nach welcher Formel berechnet man die Endtemperatur T_2 des Joule-Thomson-Versuches? Die Anfangstemperatur T_1 wird durch ein Vorkühlmittel und der Enddruck P_2 in der Regel durch den Atmosphärendruck gegeben. Wie muss man allgemein den Anfangsdruck P_1 wählen, damit man eine maximale Abkühlung erhält.

S Aufgabe 18 (9 Punkte): Hohlraumstrahlung

Die Hohlraumstrahlung in einem abgeschlossenen Hohlraum mit Volumen V kann man als Photonengas betrachten, das die Temperatur T und den Strahlungsdruck $P = u/3$ besitzt, wobei $u = U/V$ die Energiedichte des Gases bezeichnet. Es befindet sich im thermischen Gleichgewicht mit den Wänden des Hohlraumes.

- (a) **Bonusaufgabe, 4 Pkt** Begründen Sie die Formel für den Strahlungsdruck. Gehen Sie dazu von der Impulsdichte eines Photonenbündels aus und betrachten sie den Impulsübertrag auf die Wände des Hohlraumes. Macht es etwas aus, ob diese reflektierend oder absorbierend sind?
- (b) Leiten Sie das Stefan-Boltzmannsche Gesetz der Hohlraumstrahlung ab,

$$u = \sigma T^4 ,$$

indem Sie das Differential der Entropie dS betrachten und den Kirchhoffschen Satz verwenden. Er besagt, daß die Energiedichte u eine universelle Funktion ist, die nur von der Temperatur abhängt. Die unbestimmte Konstante σ hat den Wert $\sigma = 7,56 \cdot 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$.

- (c) Wie lautet die Entropie $S = S(T, V)$, und wie groß ist die adiabatische Kompressibilität

$$\kappa_S = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_S ?$$

- (d) Im Teilvolumen V_1 eines Hohlraumes $V = V_1 + V_2$ befindet sich Strahlung mit der Temperatur T_1 , während V_2 strahlungsfrei ist. Durch ein Loch in der Trennwand läßt man die Strahlung plötzlich ins Volumen V_2 eintreten (siehe Gay-Lussac-Versuch). Das gesamte System sei abgeschlossen und die Wärmekapazität der Wände vernachlässigbar. Berechnen Sie die Änderung
- der Temperatur
 - des Strahlungsdruckes
 - der Enthalpie und
 - der Entropie. Ist der Prozeß reversibel?

Prof. Dr. Holger Stark
Johannes Blaschke, Jakob Löber, Torben Winzer, Maria Zeitz

Zum Übungsbetrieb: Die Übungsaufgaben teilen sich auf in mündliche **M** und schriftliche **S** Aufgaben. Die Bedingung für die Vergabe eines Übungsscheins gliedert sich daher in zwei Teile:

- Es müssen mindestens 50% der schriftlichen Übungspunkte erreicht werden. Die Abgabe erfolgt in Dreiergruppen. Ab dem zweiten Übungsblatt werden Einzel- und Zweierabgaben nicht mehr akzeptiert!
- Vorrechnen: Jeder Student kreuzt vor jeder Übung diejenigen Aufgaben auf einer ausliegenden Liste an, die er oder sie bearbeitet hat. Wer eine Aufgabe angekreuzt hat, ist bereit diese Aufgabe an der Tafel vorzurechnen. Für den mündlichen Teil des Scheinkriteriums müssen am Ende des Semesters in Summe 50% der mündlichen Aufgaben angekreuzt sein.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr
08-10					EW 203 HS
10-12	EW 229 Johannes		EW 226 Torben		EW 731 Maria
12-14			EW 203 HS		ER 164 Jakob
14-16					
16-18					

Sprechstunden		
Prof. Dr. Holger Stark	Fr 11:30–12:00	EW 709
Johannes Blaschke	Mi 10–11	EW 708
Jakob Löber	Mi 14 –15	EW 737
Torben Winzer	Do 14–15	EW 703
Maria Zeitz	Do 11 –12	EW 702