EP-4 Atom- und Molekülphysik
Universität Erlangen–Nürnberg
SS 2017

Übungsblatt 1 (05.05.2017)

Vorlesungen: Mi 10.15 - 11.55 und gegebenenfalls Fr, 08:15 - 09:55 HE
Übungen: Freitag 10 - 12, SR 00.103, SR 00.732, SR 01.332, SR 01.779, SR 02.729, SRLP 0.179
Webpage der Vorlesung: www.qoqi.physik.uni-erlangen.de → "teaching"

---

1) Knallgasreaktion:

Bei der sogenannten *Knallgasreaktion* reagieren zwei Volumenteile Wasserstoff und ein Volumenteil Sauerstoff zu zwei Volumenteilen Wasser(-dampf). Hierbei wird pro Mol gebildeten Wassers eine Energie $\Delta E = 285,8\,\mathrm{kJ}$ frei.

(a) Welche der folgenden Gleichungen beschreibt die Reaktion?

$$2H + O \rightarrow H_2O + \Delta E \tag{1}$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2\Delta E \tag{2}$$

Begründen Sie Ihre Antwort.

(b) Wieviel Gramm Sauerstoff benötigt man zur optimalen Umsetzung von 0,038 m^3 Wasserstoffgas unter Normalbedingungen?

(c) Welche Energiemenge wird dabei frei?

2) Kinetische Gastheorie: Bestimmung der universellen Gaskonstanten R

(a) Leiten Sie die ideale Gasgleichung mikroskopisch her, d.h. unter der Annahme von mit den Wänden stoßenden Molekülen. Wie wird in diesem Ansatz die Temperatur in Abhängigkeit von der mittleren kinetischen Energie eines Gasmoleküls definiert?

(b) Leiten Sie ebenfalls mikroskopisch die Wärmekapazität, die spezifische Wärmekapazität sowie die molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen eines Gases aus der Formel für seine innere Energie her. Wie hängt diese von der Anzahl der Freiheitsgrade des Gasmoleküls ab?

(c) Die spezifische Wärmekapazität c_V von Stickstoff beträgt $741 \frac{J}{kgK}$. Berechnen Sie die universelle Gaskonstante.

3) Bestimmung der Boltzmann-Konstanten k_B

Die Boltzmann-Konstante kann aus dem Sedimentationsgleichgewicht von Kolloiden in einer Lösung bestimmt werden (Jean-Babtiste Perrin, Nobelpreis 1926). Mit der Untersuchung der Brownschen Bewegung von Kolloiden in einer Lösung konnte Perrin die Berechnungen und Vorhersagen Albert Einsteins bestätigen, nach der die Kolloide den Gasgesetzen gehorchen. Das Ergebnis für die Boltzmann-Konstante stand im Einklang mit anderen Bestimmungen und war ein entscheidender Beleg für die Teilchennatur der Materie.

(a) Kolloidteilchen der Dichte ρ und des Volumens $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ werden in einer Flüssigkeit der Dichte ρ' dispergiert. Zeigen Sie, dass die Teilchenzahldichte durch folgende Verteilung beschrieben wird

$$n(h) = n_0 \exp(-\frac{V(\rho - \rho')gh}{k_B T})$$

n_0 sei dabei die Teilchenzahldichte in der Höhe $h = 0$.

(*Hinweis*: Benützen Sie für die Herleitung von $n(h)$ einen Ansatz analog zur barometrischen Höhenformel $dp = -\rho(h)gdh$ und verwenden Sie das ideale Gasgesetz.)

(b) Aus dieser Erkenntnis kann nun die Boltzmannkonstante bestimmt werden. Setzen Sie dazu an, dass im thermischen Gleichgewicht der durch das Konzentrationsgefälle erzeugte, nach oben gerichtete Diffusionsstrom $j_{diff} = -D \cdot \frac{dn}{dh}$ dem aufgrund der Gewichtskraft nach unten gerichteten Teilchenstrom $j_g = nv_g$ entspricht, mit $v_g = -\frac{V(\rho-\rho')g}{6\pi\eta r}$ (Gesetz von Stokes). Hierbei ist η die Viskosität der Flüssigkeit. Leiten Sie daraus einen Ausdruck für k_B her.

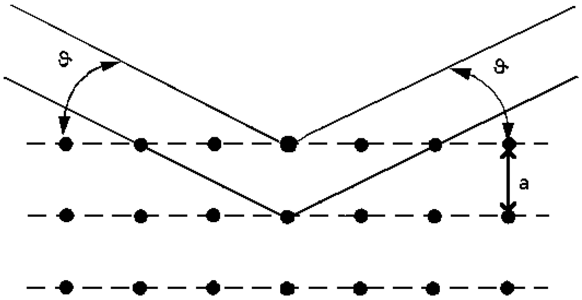
4) Bestimmung der Avogadro-Konstante N_A

Eine sehr genaue Möglichkeit zur Messung der Avogadrozahl besteht im genauen Vermessen eines Kristallgitters. Aufgrund der Regelmäßigkeit des Gitters lässt sich mit bekannten Gitterkonstanten leicht die Gesamtzahl der Atome im Kristall bestimmen. Wir betrachten den Fall eines Kristalls mit kubischer Struktur, d.h. die Atome sitzen jeweils an den Ecken eines gedachten Würfels mit Kantenlänge a. Die Gitterkonstante wird mit Hilfe der Bragg-Streuung (d.h. Streuung und Interferenz von Strahlen an zwei benachbarten Kristallebenen, siehe Zeichnung) von Röntgenlicht vermessen. Das erste Beugungsmaximum findet sich unter einem Glanzwinkel $\vartheta = 13,3°$, wenn der Kristall mit monochromatischem Röntgenlicht der Wellenlänge $\lambda = 1,54 \cdot 10^{-10}m$ beleuchtet wird.

(a) Wie groß ist die Gitterkonstante a?

(b) Wie viele Atome befinden sich in einem kugelförmigen Kristall mit einem Radius von 1 cm?

(c) Die Kristallkugel hat ein Gewicht von 38,9 g, die Gitteratome ein Atomgewicht von 209,98 u. Zu welcher Avogadrozahl führt das?



5) Größe eines Moleküls:

Schätzen Sie den Radius eines Wassermoleküls aus der Dichte von Wasser $\rho = 1 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$ und der Avogadrozahl $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ mol^{-1} ab. Der Raumfüllungsgrad bei angenommener dichtester Kugelpackung beträgt in Wasser ungefähr 74%.