

**Institut für Physikalische Chemie
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg**

**Lösungen zum Übungsblatt 1
zur Vorlesung Physikalische Chemie II
WS 2012/13 Prof. E. Bartsch**

- 1.1 L Wie groß ist die Kraft, die zwei Ca^{2+} -Ionen im Vakuum im Abstand von 0.1 nm aufeinander ausüben? Welche elektrische Arbeit wird benötigt, um die beiden Ionen aus unendlichem Abstand auf 0.1 nm Abstand zu bringen?
Wie lauten die Antworten, wenn diese Betrachtungen in Wasser durchgeführt werden ($\epsilon(\text{H}_2\text{O}) = 80$)? **(6 Punkte)**

Lösung:

Die Kraft wird durch das Coulombgesetz beschrieben:

$$\begin{aligned} F &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \\ &= -\frac{1}{4\pi \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}} \frac{4 \cdot (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{(0.1 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} \\ &= -9.24 \cdot 10^{-8} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= \int_{\infty}^r F dr = -\frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0} \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r} \\ &= \frac{4 \cdot (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \cdot 0.1 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 9.24 \cdot 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

Vorzeichen: Dem System zugeführte Arbeit ist positiv. Nähert man gleiche Ladungen an, muss man dem System Arbeit zuführen. Bei Integration des Coulombgesetzes entsteht negatives Vorzeichen. Um bei gleichsinnigen Ladungen ein positives Vorzeichen von W zu erhalten, muss man im Coulombgesetz negatives Vorzeichen einführen.

Das Coulombgesetz für Ladungen in Materie unterscheidet sich nur durch die Dielektrizitätskonstante (relative Permittivität):

$$F(\text{Vakuum}) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Wir erhalten:

$$F(\text{Materie}) = \frac{F(\text{Vakuum})}{\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}} = -\frac{9.24 \cdot 10^{-8} \text{ N}}{80} = 1.16 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

$$W(\text{Materie}) = \frac{W(\text{Vakuum})}{\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{9.24 \cdot 10^{-18} \text{ J}}{80} = 1.16 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- 1.2 L Berechnen Sie die elektrische Energie in J und in kWh, die mindestens erforderlich ist, um 1000 kg Aluminium durch Reduktion von Al^{3+} -Ionen herzustellen. Die zur Elektrolyse benötigte Spannung beträgt 4.50 V. (4 Punkte)

Lösung:

$$W_{\text{elektr}} = U I t$$

$$I t = Q = z_i n_i F = z(A\ell) \frac{m(A\ell)}{M(A\ell)} F = \frac{3 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 96500 \text{ A s mol}^{-1}}{27 \text{ g mol}^{-1} \cdot 10^{-3} \text{ kg}} = 1.07 \cdot 10^{10} \text{ A s}$$

$$W_{\text{elektr}} = 4.5 \text{ V} \cdot 1.07 \cdot 10^{10} \text{ A s} = 4.8 \cdot 10^{10} \text{ VAs} = 4.8 \cdot 10^{10} \text{ Ws} = 1.310^4 \text{ kWh}$$

$$\text{Einheiten: } 1 \text{ Ws} = 1(10^{-3} \text{ kW}) \frac{1}{3600} \text{ h} = 2.8 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$$

- 1.3 L Nach einstündigem Stromdurchgang haben sich an einer Elektrode 15.21 mg Silber $[\text{M}(\text{Ag}) = 107.9 \text{ g mol}^{-1}]$ abgeschieden. Wie groß war die mittlere Stromstärke? (4 Punkte)

Lösung:

Wir verwenden das Faradaysche Gesetz:

$$Q = n_i z_i F = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} z_{\text{Ag}} F$$

$$= \frac{0.01521 \text{ g}}{107.9 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 1 \cdot 96500 \text{ C mol}^{-1} = 13.6 \text{ C}$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{13.6 \text{ C}}{1 \cancel{\text{h}} 3600 \text{ s}} = 3.75 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

- 1.4 L Welche Strommenge (in $\text{A} \cdot \text{s}$) wird transportiert, wenn bei einer konstanten Spannung von 3.21 V zwei Stunden lang bei einem Gesamtwiderstand von 526 Ω elektrolysiert wird? (4 Punkte)

Lösung:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3.21 \text{ V}}{526 \Omega} = \frac{3.21 \text{ V}}{526 \text{ V A}^{-1}} = 6.1 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$Q = I t = 6.1 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 2 \text{ h}$$

$$= 6.1 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 2 \cdot 3600 \text{ s} = 43.92 \text{ As}$$

1.5 L Wir betrachten die Änderung der potentiellen Energie bei der Bildung eines NaCl-Moleküls in der Gasphase. Das Na⁺- und das Cl⁻-Ion sollen in unendlicher Entfernung keine Wechselwirkung spüren. Beim Berühren Ihrer Hüllen soll die potentielle Energie unendlich groß werden (das bedeutet, dass sich die Elektronenhüllen beim Berühren nicht deformieren können → harte Kugeln).

a) Berechnen Sie die Änderung der potentiellen Energie, wenn Sie die beiden Ionen aus der Unendlichkeit bis zu Ihrem Gleichgewichtsabstand, der 250 pm beträgt, annähern. (12 Punkte)

b) Zeichnen Sie den Verlauf der potentiellen Energie in Abhängigkeit vom Abstand der Ionen. (12 Punkte)

Lösung:

a) Elektrostatische Kraft:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_{\text{Na}^+} Q_{\text{Cl}^-}}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e \cdot (-e)}{r^2} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

Änderung der potentiellen Energie:
$$\Delta\epsilon_{\text{pot}} = -\int_{\infty}^{r_0} F dr = -\int_{\infty}^{r_0} \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} dr = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \int_{\infty}^{r_0} \frac{dr}{r^2} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r_0}$$

$$\Delta\epsilon_{\text{pot}} = -\frac{(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}} \frac{1}{250 \text{ pm}} \frac{\text{pm}}{10^{-12} \text{ m}} = -9.21 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

b)

