



Institut für Physikalische Chemie

**Lösungen zu den Übungen zur Vorlesung „Physikalische Chemie II“ im WS 2015/2016**

Prof. Dr. Eckhard Bartsch / M. Werner M.Sc.

— Aufgabenblatt 1 vom 30.10.15 —

**Aufgabe 1 – 1 (L)**

Wie groß ist die Kraft, die zwei  $\text{Ca}^{2+}$ -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  $\epsilon(\text{H}_2\text{O}) = 80$ ?

**Lösung:**

Die Kraft wird durch das Coulombgesetz beschrieben:

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \\ &= \frac{1}{4\pi \cdot 8.8544 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}} \frac{4 \cdot (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(0.1 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} \\ &= 9.24 \cdot 10^{-8} \text{ N} \end{aligned}$$

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

**Vorzeichen:** Abstoßende Kräfte sind  $> 0$ , da die Kraft die negative Ableitung der Energie nach dem Ort ist. Demzufolge ist die Arbeit negativ. Nähert man gleiche Ladungen an, muss man dem System Arbeit zuführen.

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:

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

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

### Aufgabe 1 – 2 (L)

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

### Lösung:

$$W_{el} = UIt$$

$$It = Q = z_i n_i F = z(\text{Al}) \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} F = \frac{3 \cdot 10^3 \cancel{\text{kg}} \cdot 96500 \text{ A s mol}^{-1}}{27 \text{ g mol}^{-1} \cdot 10^{-3} \cancel{\text{kg}}/\cancel{\text{g}}} = 1.07 \cdot 10^{10} \text{ C}$$

$$W_{el} = 4.5 \text{ V} \cdot 1.07 \cdot 10^{10} \text{ C} = 4.8 \cdot 10^{10} \text{ J} = 4.8 \cdot 10^{10} \text{ Ws} = 1.3 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

Einheiten:

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

### Aufgabe 1 – 3 (L)

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

### Lösung:

Wir verwenden das Faradaysche Gesetz:

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

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

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

### Aufgabe 1 – 4 (L)

Welche Strommenge (in As) wird transportiert, wenn bei einer konstanten Spannung von 3.21 V zwei Stunden lang bei einem Gesamtwiderstand von  $526 \Omega$  elektrolysiert wird?

**Lösung:**

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

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

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

**Aufgabe 1 – 5 (L)**

Wir betrachten die Änderung der potentiellen Energie bei der Bildung eines NaCl-Moleküls in der Gasphase. Das  $\text{Na}^+$ - und das  $\text{Cl}^-$ -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 ( $\rightarrow$  harte Kugeln)).

- Berechnen Sie die Änderung der potentiellen Energie, wenn Sie die beiden Ionen aus der Unendlichkeit bis zu Ihrem Gleichgewichtsabstand, der 250 pm beträgt, annähern.
- Zeichnen Sie den Verlauf der potentiellen Energie in Abhängigkeit vom Abstand der Ionen.

**Lösung:**

- Elektrostatische Kraft:

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

Änderung der potentiellen Energie:

$$\begin{aligned} \Delta \epsilon_{\text{pot}} &= - \int_{\infty}^{r_0} F dr = - \int_{\infty}^{r_0} -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \int_{\infty}^{r_0} \frac{dr}{r^2} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \\ &= -\frac{(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{J}^{-1} \text{m}^{-1} \cdot 250 \text{ pm} \cdot 10^{-12} \text{ m}} \\ &= -9.21 \cdot 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

- Verlauf von  $E_{\text{pot}}$ :

