Name: Luca Cordes, 444900
Name: Mahmut Can Dogan, 435714

Experimentalphysik II (SS 2023/2024)

Übung 8

Tutorium: 2 Abgabe: 09.06.2023

Aufgabe 1: Driftgeschwindigkeit im Kupfer

(a)

$$
\begin{aligned}
j &= nqv \\
v &= \frac{j}{nq} = \frac{I}{Anq} \\
n &= n_A N_{frei} \frac{\rho_V}{\rho_n} \\
v &= \frac{I\rho_n}{\pi r^2 q n_A N_{frei} \rho_V} \\
&\approx \frac{500\,\mathrm{mA} \cdot 63.5\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}}{\pi \cdot \frac{1}{2^2}\,\mathrm{mm}^2 \cdot (-1.602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}) \cdot 6.022 \cdot 10^{23}\,\frac{1}{\mathrm{mol}} \cdot 1 \cdot 8.92\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}} \\
&\approx -4.70 \cdot 10^{-5}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = -47.0\frac{\mu\mathrm{m}}{\mathrm{s}}
\end{aligned}
$$

(b)

$$
\begin{aligned}
j &= nqv \\
\sigma_{el} E &= nqa\tau_s \\
\frac{1}{\varrho_s} E &= nq\frac{qE}{m_e}\tau_s \\
\tau_s &= \frac{m_e}{\varrho_s n q^2} \\
&= \frac{m_e \rho_n}{\varrho_s n_A N_{frei} \rho_V q^2} \\
&\approx \frac{9.11 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg} \cdot 63.5\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}}{1.7 \cdot 10^{-8}\Omega\,\mathrm{m} \cdot 6.022 \cdot 10^{23}\,\frac{1}{\mathrm{mol}} \cdot 1 \cdot 8.92\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}(-1.602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C})^2} \\
&\approx 2.47 \cdot 10^{-14}\,\mathrm{s}
\end{aligned}
$$

$$\Lambda = v\tau_s$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T$$
$$v = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_e}}$$

$$\Lambda = \tau_s\sqrt{\frac{3k_B T}{m_e}}$$
$$\approx 2.47 \cdot 10^{-14}\,\mathrm{s} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 1.381 \cdot 10^{-23}\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} \cdot 300^\circ\,\mathrm{K}}{9.11 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}}}$$
$$\approx 2.89\,\mathrm{nm}$$

Aufgabe 2: Innenwiderstand einer Batterie
(a)

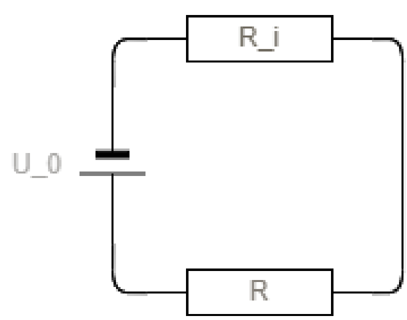

Figure 1: Schaltbild einer vereinfachten Batterie

(b)

$$-I_0 = I$$
$$-\frac{U_0}{R_{ges}} = \frac{U}{R}$$
$$U = -U_0\frac{R}{R_{ges}} \quad , \text{ mit } R_{ges} = R + R_i$$
$$I = -\frac{U_0}{R_{ges}}$$

(c)

$$P = U \cdot I = R\left(\frac{U_0}{R_{ges}}\right)^2$$

$$\begin{aligned}\left|\frac{U}{U_0}\right| &= \frac{R}{R_{ges}}\\ R &= \left|\frac{U}{U_0}\right| R_{ges}\end{aligned}$$

$$P = \left|\frac{U}{U_0}\right| \frac{U_0^2}{R_{ges}} = 0.85\% \frac{U_0^2}{R_i + R}$$

(d)

$$\to \begin{cases} U_1 = -U_0 \frac{R_1}{R_{ges}} = -U_0 \frac{R_1}{R_i + R_1} \\ I_1 = -\frac{U_0}{R_{ges}} = -\frac{U_0}{R_i+R_1} \\ U_2 = -U_0 \frac{R_2}{R_i+R_2} \\ I_2 = -\frac{U_0}{R_i+R_2} \end{cases}$$

$$\to \begin{cases} \frac{U_1}{I_1} = R_1 \\ \frac{U_2}{I_2} = R_2 \\ I_1(R_i + R_1) = I_2(R_i + R_2) \\ U_0 = -I_1(R_i + R_1) \end{cases}$$

$$\to \begin{cases} R_1 = \frac{U_1}{I_1} \\ R_2 = \frac{U_2}{I_2} \\ R_i = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} \\ U_0 = -I_1\left(\frac{I_2R_2 - I_1R_1}{I_1 - I_2} + R_1\right) = I_1 I_2 \frac{R_1 - R_2}{I_1 - I_2} \end{cases}$$

$$\overset{(1)}{\to} \begin{cases} R_1 = 10.1 \pm 0.0715\,\Omega \\ R_2 = 0.771 \pm 0.00263\,\Omega \\ R_i = 0.0594 \pm 0.004\,\Omega \\ U_0 = -3.20 \pm 0.0109\,\mathrm{V} \end{cases}$$

(1) : Fehlerfortpflanzung von Summen/Differenzen berechnet mit: $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ und bei Produkten/Brüchen mit: $\sigma = \mu_1\mu_1\sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\mu_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\mu_2}\right)^2}$

Aufgabe 3: Widerstandsmessung mit Wheatstone-Brücke

In den Punkten a und b gilt aufgrund der Knotenregel:

$$0 = I_1 - I_G - I_2 = I_1 - I_2 \tag{1}$$
$$0 = I_x + I_G - I_0 = I_x - I_0 \tag{2}$$

Außerdem gilt aufgrund der Maschenregel:

$$U_1 = U_x - U_G = U_x \implies I_1R_1 = I_xR_x \tag{3}$$
$$U_2 = U_0 + U_G = U_0 \implies I_2R_2 = I_0R_0 \tag{4}$$

Und daher:

$$
\begin{aligned}
(3) \div (4): && \frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} &= \frac{I_x R_x}{I_0 R_0} \\
(1) \wedge (2): && \frac{R_1}{R_2} &= \frac{R_x}{R_0} \\
&& R_x &= R_0 \frac{R_1}{R_2} \\
&& &= R_0 \frac{x}{L - x} \\
&& &= 160\Omega \frac{85\,\mathrm{cm}}{1\,\mathrm{m} - 85\,\mathrm{cm}} \\
&& &\approx 907\Omega
\end{aligned}
$$

Aufgabe 4: Wasserkocher

$$
\begin{aligned}
R_{ges} &= R + R_0 \\
R'_{ges} &= R + \frac{1}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0}} = R + \frac{R_0}{2}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
I_0 &= \frac{U}{R_{ges}} = \frac{U}{R + R_0} \\
I'_0 &= \frac{U}{R'_{ges}} = \frac{U}{R + \frac{R_0}{2}}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
U_0 &= I_0 R_0 = \frac{U R_0}{R + R_0} \\
U'_0 &= I'_0 \frac{R_0}{2} = \frac{U R_0}{2R + R_0}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
P &= P' \\
U_0 I_0 &= U'_0 I'_0 \\
\frac{U R_0}{R + R_0} \frac{U}{R + R_0} &= \frac{U R_0}{2R + R_0} \frac{U}{R + \frac{R_0}{2}} \\
(R + R_0)^2 &= (2R + R_0) \left(R + \frac{R_0}{2} \right) \\
&= \frac{1}{2} (2R + R_0)^2 \\
R^2 + R_0^2 + 2RR_0 &= \frac{1}{2} \left(4R^2 + R_0^2 + 4RR_0 \right) \\
0 &= R^2 - \frac{1}{2} R_0^2 \\
R &= \frac{R_0}{\sqrt{2}} \approx \frac{25\Omega}{\sqrt{2}} \approx 17.7\Omega
\end{aligned}
$$

Aufgabe 5: Energieversorgung durch Solarzellen
(a)

$$\begin{aligned}
P &\overset{(1)}{=} A_{eff} \cdot \rho_S \cdot \eta \\
&\overset{(2)}{=} \vec{A} \cdot \vec{\rho}_S \cdot \eta \\
&= \cos(\alpha) \cdot A \cdot \rho_S \cdot \eta \\
A &= \frac{P}{\cos(\alpha) \cdot \rho_S \cdot \eta} \\
&\approx \frac{9\,\mathrm{kW}}{\cos(45°) \cdot 1\,\frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{m}^2} \cdot 21\%} \\
&\approx 60\,\mathrm{m}^2
\end{aligned}$$

$$(1): \begin{cases} A_{eff} \rightarrow \text{Der Sonne zugewandte Solarzellen-Fläche} \\ \rho_S \rightarrow \text{Strahlungsleistung der Sonne pro } \mathrm{m}^2 \\ \eta \rightarrow \text{Wirkungsgrad der Solarzellen} \end{cases}$$

$$(2): \begin{cases} \vec{A} \rightarrow \text{Fläche der Solarzellen; Richtung ist der Normalvektor der Solarzellen} \\ \vec{\rho}_S \rightarrow \text{Strahlungsleistung der Sonne pro } \mathrm{m}^2\text{, Richtung ist die des Lichts} \end{cases}$$

(b)

$$\begin{aligned}
\eta_{Nachbar} &= \eta_{th} \cdot \eta_{carnot} \\
&= \eta_{th} \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) \\
&\approx 80\% \cdot \left(1 - \frac{273.15°\,\mathrm{K} + 20°\,\mathrm{K}}{273.15°\,\mathrm{K} + 90°\,\mathrm{K}}\right) \\
&\approx 15.4\%
\end{aligned}$$

Der Wirkungsgrad der Solarzellen ist um etwa $\left(\frac{21}{15.4} - 1\right)\% \approx 36.4\%$ größer als der des Wasserresevoir + Carnotmaschine des Nachbars.

(c)

$$
\begin{aligned}
P &= \cos(\phi) \cdot A \cdot \rho_S \cdot \eta \\
E &= \eta \rho_S A \int_{t_0}^{t_1} \cos(\phi(t'))\,\mathrm{d}t' \\
E_{Jahr} &\overset{(1)}{=} 365 \cdot \eta \rho_S A \int_{-\frac{T}{4}}^{\frac{T}{4}} \cos\left(2\pi \frac{t'}{T}\right)\,\mathrm{d}t' \\
&= \frac{365}{2\pi} \eta \rho_S A T \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)\Bigg|_{-\frac{T}{4}}^{\frac{T}{4}} \\
&= \frac{365}{2\pi} \eta \rho_S A T \left(\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right)\right) \\
&= \frac{365}{\pi} \eta \rho_S A T
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
A &= \frac{\pi}{365} \frac{E_{Jahr}}{\eta \rho_S T} \\
&\approx \frac{\pi}{365} \frac{6.2 \cdot 10^{20}\,\mathrm{J}}{21\% \cdot 1\,\frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{m}^2} \cdot 24\,\mathrm{h}} \\
&\approx 294000\,\mathrm{km}^2
\end{aligned}
$$

(1) : Es muss für jeden Tag nur über den Zeitraum integriert werden, in dem die Sonne sich nicht auf der anderen Erdseite befindet.