

Experimentalphysik II (SS 2023/2024)

Übung 9

Tutorium: 2

Abgabe: 16.06.2023

Aufgabe 1: Elektrische Leitfähigkeit eines Halbleiters

Liest man den Plot so, als ob die Achsen linear wären und von null in ganzen Zahlen hochzählen würden, dann ist die Funktionsverschrift ungefähr:

$$y = 5.5 - \frac{5.5}{3.5}x = 5.5 - \frac{11}{7}x$$

Aus den linear abgelesen Achsen lassen sich die Werte der realen Achsen wie folgt berechnen:

$$\begin{aligned}\sigma &= 10^{y-2} \implies y = \log_{10}(\sigma) \\ \frac{1}{T} &= (0.8 + x) \cdot 10^{-3} \implies x = \frac{10^3}{T} - 0.8\end{aligned}$$

Setzt man dies in die gefundene Funktionsgleichung ein, folgt:

$$\begin{aligned}\log_{10}(\sigma) + 1 &= 5.5 - \frac{11}{7} \left(\frac{10^3}{T} - 0.8 \right) \\ \sigma &= 10^{\frac{403}{70} - \frac{11}{7} \frac{10^3}{T}} \\ &\approx c_1 \cdot e^{-\frac{c_2}{T}} \quad , \quad \text{mit} \quad \begin{cases} c_1 = 5.72 \cdot 10^5 \frac{1}{\Omega \text{m}} \\ c_2 = 3.62 \cdot 10^3 \text{ K} \end{cases} \\ &= c_1 \cdot e^{-\frac{c_2}{T+273.15^\circ\text{C}}} \quad , \quad \text{mit} \quad c_2 = 3.62 \cdot 10^3 \text{ C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I &= \frac{U}{R} \\ &= U \left(\frac{L}{\sigma F} \right)^{-1} \\ &= \frac{c_1 F U}{L} e^{-\frac{c_2}{T+273.13^\circ\text{C}}} \\ &= \frac{5.72 \cdot 10^5 \frac{1}{\Omega \text{m}} \cdot 1 \text{ mm}^2 \cdot 4 \text{ V}}{3 \text{ cm}} e^{-\frac{c_2}{T+273.13^\circ\text{C}}} \\ &\approx c_1 e^{-\frac{c_2}{T+273.13^\circ\text{C}}} \quad , \quad \text{mit} \quad c_1 = 76.3 \text{ A}\end{aligned}$$

$$\tilde{T} = \frac{c_2}{\ln\left(\frac{c_1}{I}\right)} - 273.15^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}\tilde{T}(0.25 \text{ A}) &\approx \frac{3.62 \cdot 10^3 \text{ C}}{\ln\left(\frac{76.3 \text{ A}}{0.25 \text{ A}}\right)} - 273.15^\circ\text{C} \\ &\approx 360^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Aufgabe 2: Zyklotronfrequenz

(a)

$$\begin{aligned}F_Z &= F_L \\m \frac{v^2}{r} &= qvB \\m \frac{Uf}{r} &= qB \\m \frac{2\pi r}{rT} &= qB \\T &= \frac{2\pi m}{qB} \\&\approx \frac{2\pi \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1.1 \text{ T}} \\&\approx 59.5 \text{ ns}\end{aligned}$$

(b)

$$\begin{aligned}F_Z &= F_L \\m \frac{v^2}{r} &= qvB \\v &= \frac{qrB}{m} \\&\approx \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 32 \text{ cm} \cdot 1.1 \text{ T}}{1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} \\&\approx 3.38 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0.113 c\end{aligned}$$

Obwohl das Teilchen mit einem nicht vernachlässigbaren Anteil der Lichtgeschwindigkeit fliegt, ist der dazugehörige Gammafaktor nur $\gamma \approx 1.0064$, sodass der relative Fehler bei der Galileischen Rechnung kleiner als 1% ist; Es handelt sich somit immer noch um eine sehr gute Näherung.

(c)

$$\begin{aligned}f &= \frac{1}{T} \\&= \frac{qB}{\pi m} \quad , \text{ siehe (a)} \\&\approx \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1.1 \text{ T}}{2\pi \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} \\&\approx 1.68 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{s}}\end{aligned}$$

Die Zyklotronfrequenz ist offensichtlich nicht von r abhängig.

Aufgabe 3: Thermospannungen

(a)

Der Aufbau wird als Thermoelement bezeichnet und funktioniert aufgrund des Seebeck-Effektes.

(b)

$$\begin{aligned}U_M &= (k_{\text{Konst,Pt}} - k_{\text{Ni-Cr,Pt}})(T_1 - T_2) \\&\approx \left(-3.2 \frac{\text{mV}}{100\text{K}} - 2.2 \frac{\text{mV}}{100\text{K}} \right) (200^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) \\&\approx -8.64 \text{ mV}\end{aligned}$$

Aufgabe 4: Galvanische Vernickelung

(a)

$$\begin{aligned} I_{max} &= j_{max} A = j_{max} (2\pi r^2 + 2\pi r l) = 2\pi r j_{max} (r + l) \\ &\approx 2\pi \cdot 30 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot 5 \text{ cm} (5 \text{ cm} + 75 \text{ cm}) \\ &\approx 7.54 \text{ A} \end{aligned}$$

(b)

$$\begin{aligned} A_c &= m_{Ni} n = m_{Ni} \frac{1 \text{ C}}{2|q|n_A} \\ &\approx 58.69 \text{ u} \frac{1 \text{ C}}{2 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} \\ &\approx 304 \text{ ng} \end{aligned}$$

(c)

$$\begin{aligned} V_{neu} &= \pi(r + \delta)^2(l + 2 \cdot \delta) - \pi r^2 l \\ &= \pi \delta (2rl + \delta(l + 4r) + \delta^2) \\ Q_{ges} &= \frac{m_{neu}}{A_c} \\ &= \frac{p_{Ni} V_{neu}}{A_c} \\ t_{ges} &= \frac{Q_{ges}}{I_{max}} \\ &= \frac{p_{Ni} \pi \delta (2rl + \delta(l + 4r) + \delta^2)}{A_c I_{max}} \\ &\approx \frac{\pi \cdot 8.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 0.15 \text{ mm} (2 \cdot 5 \text{ cm} \cdot 75 \text{ cm} + 0.15 \text{ mm} (75 \text{ cm} + 4 \cdot 5 \text{ cm}) + 0.15^2 \text{ mm}^2)}{304 \text{ ng} \cdot 7.54 \text{ A}} \\ &\approx 38.1 \text{ h} \end{aligned}$$

Aufgabe 5: Massenspektrometer

(a)

Die Flugbahn der Na^+ -Ionen ist ein Halbkreis, da die Lorentzkraft immer orthogonal zum Geschwindigkeitsvektor ist, und somit als Zentripetalkraft fungiert.

$$\begin{aligned} E_{kin} &= E_{el} \\ \frac{mv^2}{2} &= nqU \\ v &= \sqrt{\frac{2nqU}{m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_Z &= F_L \\ m \frac{v^2}{r} &= qvB \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m\sqrt{\frac{2nqU}{m}} &= qrB \\
m &= \frac{qr^2B^2}{2nU} \\
&\stackrel{(1)}{\approx} \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \frac{1.38^2 \text{ m}^2}{2} \cdot 1.0^2 \text{ T}^2}{2 \cdot 1 \cdot 100 \text{ V}} \\
&\approx 7.63 \cdot 10^{-22} \text{ kg}
\end{aligned}$$

(1) : Es wurde angenommen, dass die Natriumionen nur einfach positiv geladen sind.

(b)

Man könnte einen Geschwindigkeitsfilter mit Hilfe eines E/- und eines B-Feldes konstruieren, indem man in dem Aufbau aus (a) das B-Feld mit einem homogenen E-Feld überlagert, welches die Ladungsträger in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt, d.h. in der Skizze wäre rechts der positive Pol. So würden nur die Partikel geradeaus fliegen, für die die Kraft der E-Feldes perfekt durch das B-Feld negiert wird. Da beide Kräfte proportional zur Ladung sind, kürzt sich diese weg, und es bleibt ein Ausdruck der nur von E-/B-Feld abhängt. Da E-/ und B-Feldstärke als bekannt und einstellbar angenommen werden, lässt sich somit, durch geschicktes Einstellen der Felder, nach der Geschwindigkeit von Ladungsträgern selektieren.

$$\begin{aligned}
F_L &= F_{el} \\
qvB &= qE \\
v &= \frac{E}{B}
\end{aligned}$$

Nachteile dieses Aufbaus zur Geschwindigkeitsbestimmung sind, dass die Teilchen Ladungsträger sein müssen, und dass bei kleinen Geschwindigkeiten die Erdbeschleunigung das Instrument nutzlos machen würde.

(c)

Sei der Eintrittsspalt der Ursprung des Koordinatensystems, die X-Achse der Schirm. Dann ist die Flugbahn eines positiven Ladungsträgers im homogenen B-Feld ein Kreis mit Radius r , dessen Rand durch den Ursprung geht und dessen Tangente in diesem Punkt mit der Y-Achse den Winkel α einschließt.

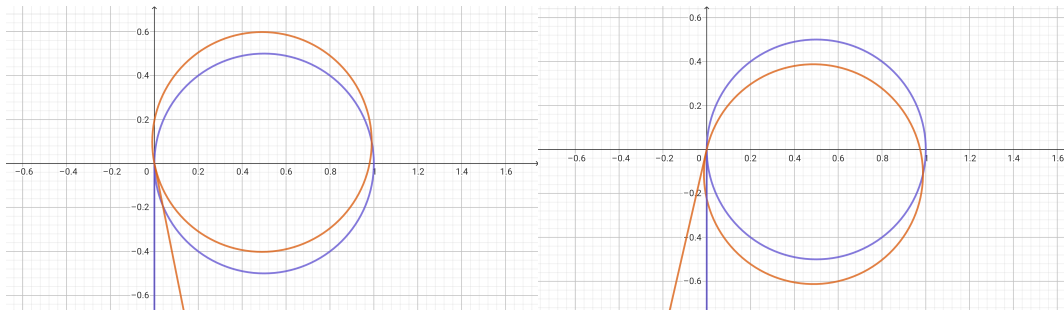


Figure 1: Flugbahnen mit verschiedenen α

In Polarkoordinaten lässt sich somit die folgende Gleichung für die Flugbahn aufstellen:

$$r(\phi) = R \cdot \cos(\phi + \alpha)$$

Für die Kollision mit dem Schirm muss $\phi = 0$ gelten:

$$\begin{aligned}
r_0 &= R \cdot \cos(\alpha) \\
&\approx R \left(1 - \frac{\alpha^2}{2} \right) \quad , \text{ für } |\alpha| \ll 1 \\
\Delta r_0 &= r_0(0^\circ) - r_0(\alpha) \\
&= R(1 - \cos(\alpha)) \\
&\approx \frac{\alpha^2 R}{2} \quad , \text{ für } |\alpha| \ll 1 \\
\Delta r_0(3^\circ) &\approx \frac{\alpha^2 R}{2} = \frac{\alpha^2 x}{4} \\
&\approx \left(\frac{3 \cdot 2\pi}{360} \right)^2 \frac{1.38 \text{ cm}}{4} \\
&\approx 9.46 \cdot 10^{-6} \text{ m}
\end{aligned}$$