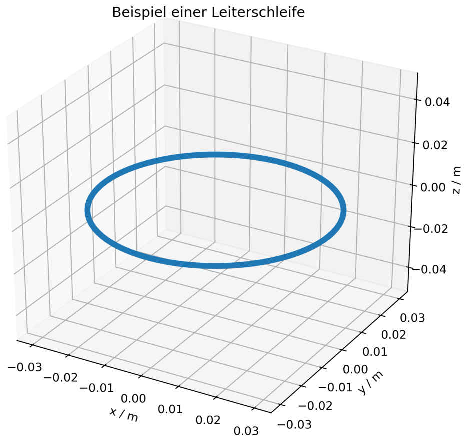
Übungen zur Experimentalphysik II — Blatt 11

Aufgabe 1: *Magnetfeldberechnung (numerisch)* 5 Punkte (3 + 2)



Schreiben Sie ein Programm, welches mit Hilfe des "Biot-Savart-Gesetzes" die numerische Berechnung des Magnetfelds einer Leiterschleife an einem beliebigen Punkt $\vec{r}\,'$ (absolute Angabe, nicht bezogen auf ein Stromelement) ermöglicht. Die Leiterschleife werde beschrieben durch die Funktion

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} R \cdot \cos(2\pi\, t) \\ -R \cdot \sin(2\pi\, t) \\ 0 \end{pmatrix} , \quad 0 \leq t < 1$$

mit dem Radius R und dem Kurvenparameter t.

a) Nutzen Sie z.B. das JupyterHub und das Beispielnotebook in moodle und schreiben sie eine Funktion, welche ausgehend von den Spulenparametern (R, t_{min}, t_{max} und n_w), sowie einer Anzahl n_{step} von Schritten pro Windung, dem elektrischen Strom I und dem Ortsvektor $\vec{r}\,'$ das dort resultierende B-Feld berechnet. Geben Sie bei der Lösung auch den kommentierten, von Ihnen bearbeiteten Quellcode des Makros an.

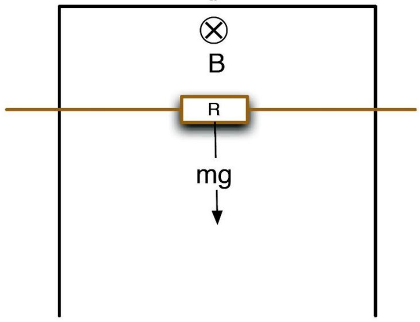
b) Verifizieren Sie ihr Programm, indem Sie Ihre numerischen Ergebnisse mit denen der analytisch berechneten Formel für die z-Komponente des B-Felds (entlang der z-Achse) einer einzelnen Leiterschleife ($R = 3$ cm, $I = 10$ A) vergleichen:

$$B_z(z) = \frac{\mu_0\, I}{2} \cdot \frac{R^2}{\left(\sqrt{z^2 + R^2}\right)^3} ,$$

siehe auch Skriptteil 6, Kapitel 4.2.3 oder z.B. Demtröder, "Experimentalphysik 2". Stellen Sie für $x, y = 0$ und $z = 0 \ldots 20$ cm jeweils die z-Komponente des magnetischen Feldes als Funktion des Abstands dar. Wie gut ist dabei die relative Abweichung zwischen analytischem und numerischen Ergebnis (mindestens)?

Aufgabe 2: *Induktionsstrombremse* 5 Punkte

Zwei im Abstand von $d = 15$ cm vertikal aufgestellte metallische Schienen sind am oberen Ende durch einen metallischen Querträger leitend verbunden. Diese Bauteile sind als ideale Leiter anzunehmen. Ein weiterer Leiter der Masse $m = 45$ g mit dem endlichen Widerstand $R = 4\,\Omega$ gleitet unter dem Einfluss der Gravitation unter ständigem elektrischen Kontakt an den beiden Schienen herab. Berechnen Sie allgemein die Ausdrücke für die Induktionsspannung, den Strom sowie die hier auftretenden Kräfte. Wie groß ist die Endgeschwindigkeit der Schiene, wenn senkrecht zur Leiterschleife ein homogenes Magnetfeld von $B = 13$ T anliegt?



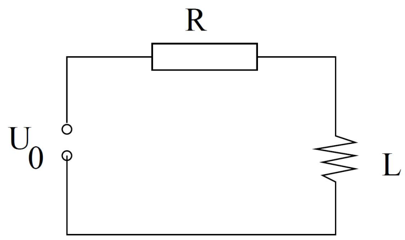
Aufgabe 3: *Ausschaltvorgang an einer Spule*

3 Punkte

Im abgebildeten Stromkreis fließe zunächst ein konstanter Strom I_0. Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird die Gleichspannungsquelle entfernt und durch ein Leiterstück ersetzt. Zeigen Sie, dass für den zeitlichen Verlauf des Stroms gilt:

$$I(t) = I_0 \exp(-t/\tau)$$

mit $\tau = L/R$. Wie groß ist I_0?



Aufgabe 4: *Dynamo*

6 Punkte

Eine Spule mit N rechteckigen Windungen der Seitenlängen a (Längsseite) und b (Querseite) ist in einem Magnetfeld angeordnet. Die Spule rotiert um eine Achse parallel zu den Längsseiten. Das Feld $\vec{B}$ steht senkrecht auf dieser Rotationsachse. Es ist an den Querseiten zu vernachlässigen. Die Spule besitzt den ohmschen Widerstand R_i. Der Widerstand des äußeren Stromkreises sei R_a, in Reihe mit der Spule. Um die Spule mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω rotieren zu lassen, ist ein zeitabhängiges Drehmoment $\vec{M}$ erforderlich. Berechnen Sie dieses (Betrag und Richtung) und die Stromstärke I, jeweils als Funktion der Zeit. Fertigen Sie auch eine Skizze des Aufbaus an. Es seien $N = 250$, $a = 5$ cm, $b = 3$ cm und $B = 0{,}5$ T.

Aufgabe 5: *Nichtperiodische Fourierzerlegung*

6 Punkte $(2 + 2 + 2)$

Führen Sie die Fourierzerlegung der nichtperiodischen Funktion

$$U(t) \quad = \quad \begin{cases} 0\,\mathrm{V} & \text{für} \quad t < 0\,\mathrm{s} \\ U_0 & \text{für} \quad 0\,\mathrm{s} \le t \le t_0 \\ 0\,\mathrm{V} & \text{für} \quad t_0 < t \end{cases}$$

durch.

a) Bestimmen Sie das Frequenzspektrum ($a(\omega)$ und $b(\omega)$, s. Vorlesung Teil 7, Kapitel 5.7.2).

b) Zeichnen Sie die Verteilungen von $a(\omega)$ und $b(\omega)$ für $U_0 = 2{,}5$ V und $t_0 = 0{,}25$ s.

c) Zeigen Sie unter Verwendung der oben berechneten Funktionen $a(\omega)$ und $b(\omega)$, dass die Fourier-Zerlegung tatsächlich die Funktion $U(t)$ ergibt (mit Ausnahme der Punkte $t = 0$ s und $t = t_0$).

Allgemeiner Hinweis: Bitte rechnen Sie grundsätzlich so lange wie möglich mit den Variablen, d.h. setzen Sie die gegebenen Zahlenwerte erst ganz am Schluss ein. Fertigen Sie außerdem aussagekräftige Skizzen an wo immer es hilfreich ist.