

---

## Übungen zur Klassischen Experimentalphysik II: Elektrodynamik (SS 2020)

Übungsblatt 9 · Besprechung am 24.06.2020 · (A.Ustinov/G.Fischer)

---

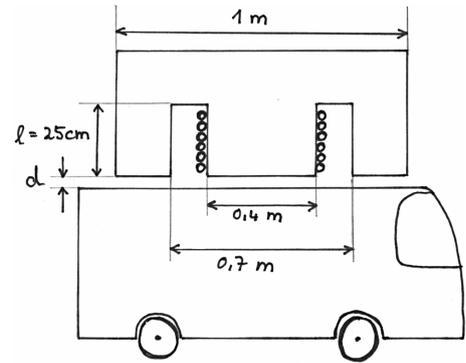
### Aufgabe 33: Topfmagnet (3 Punkte)

Welcher Strom  $I$  muss durch die Spule eines "Topfmagneten" fließen, damit ein Auto der Masse  $m = 1200$  kg angehoben werden kann?

Siehe Skizze: der Topf-Elektromagnet besteht aus einem rotationssymmetrischen Eisenkern, auf dessen inneren Zylinder eine Spule gewickelt ist.

Die Spule hat  $N = 26$  Windungen. Die Magnetisierung im Material ist nicht gesättigt, es kann mit einer relativen Permeabilität von  $\mu_r = 1000$  gerechnet werden.

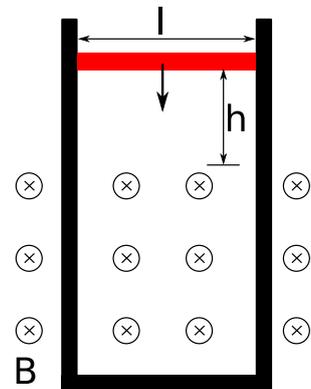
Hinweis: Benutzen Sie das Amperesche Gesetz, um  $B_a$  im zentralen Luftspalt unter der Spule zu berechnen. Über  $\oint \vec{B} d\vec{A}$  bekommen Sie  $B'_a$  in dem Luftspalt des Eisenkerns außen, ohne Spule. Benutzen Sie die magnetische Energie  $W_{\text{mag}}$ , die im Feld des Magneten steckt, und berechnen Sie den Strom  $I$  für  $\frac{l}{\mu_r} \gg d$  ( $l$  ist in der Skizze angegeben  $l = 25$  cm).



### Aufgabe 34: Induktion (3 Punkte)

Ein horizontal ausgerichtet, runder Kupferstab (in der Skizze rot) wird beiseitig von zwei senkrechten, elektrisch leitenden Schienen geführt. Der Stab fällt frei von oben in ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte  $B = 0,03$  T hinein und durchquert dieses. Der ohmsche Widerstand und die mechanische Reibung der Schienen kann vernachlässigt werden. Die Schienen sind am Boden leitend verbunden.

Angaben: Länge des Stabs  $l = 40$  mm, Durchmesser des Stabs  $d = 2$  mm, Dichte von Kupfer  $\rho_m = 8,96 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, spezifische Widerstand von Kupfer  $\rho = 1,78 \cdot 10^{-8}$   $\Omega$ m.



- Aus welcher Höhe  $h$  über dem oberen Rand des Magnetfeldes muss der Stab losgelassen werden, wenn er das Feld mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  durchqueren soll?
- Wie groß sind betragsmäßig die induzierte Spannung  $U_{\text{ind}}$ , der Strom  $I$ , die "Bremskraft"  $F$  und die im Stab umgesetzte elektrische Leistung  $P$ ?
- In welcher Richtung fließt der Strom?

**Aufgabe 35:** (2,5 Punkte)

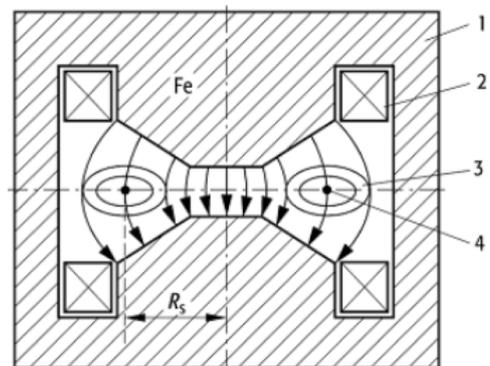
Ein Kabel liegt 0,4m tief unter der Erde und wird von einem Wechselstrom (Amplitude  $I_0$ , Frequenz  $f$ ) durchflossen.

- (a) Welche Amplitude hat die magnetische Flussdichte  $B$  an der Erdoberfläche?
- (b) Zur Messung der magnetischen Flussdichte wird eine kleine Zylinderspule vom Querschnitt  $A$  und Windungszahl  $N$  zusammen mit einem Wechselspannungsmessgerät verwendet. Wie muss die Spule angeordnet werden, um eine maximale Spannung zu erhalten?
- (c) Welche Amplitude hat dann die Spannung?

Zahlenwerte:  $N = 3000$ ,  $A = 1 \text{ cm}^2$ ,  $I_0 = 70,71 \text{ A}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$

**Aufgabe 36:** (3,5 Punkte)

Ein Betatron ist ein Teilchenbeschleuniger für geladene Teilchen wie Elektronen oder Positronen mit dem Energien bis zu 50 MeV erreicht werden. Es besteht aus einer Vakuumröhre, die sich in einem Magnetfeld befindet und in die Elektronen injiziert werden (in der Abbildung ist 1: Magnetkörper, 2: Spulenkörper, 3: Beschleunigungskammer, 4: Elektronenstrahl). Der Elektromagnet erzeugt ein Feld, das erstens die Elektronen innerhalb der Röhre auf ihrer kreisförmigen Umlaufbahn hält und zweitens die Geschwindigkeit der Elektronen erhöht, wenn sich die magnetische Feldstärke  $\vec{B}_0$  ändert. Das Feld  $\vec{B}_0$  steht dabei senkrecht auf der Ebene der Vakuumkammer. Betatrons wurden für kernphysikalische Experimente und insbesondere in der Strahlentherapie verwendet.



- (a) Erläutern Sie kurz, wie es mit dieser Anordnung möglich ist, dass Elektronen beschleunigt werden.
- (b) In welcher Richtung bewegen sich die Elektronen? In welche Positronen?
- (c) Begründen Sie, ob das magnetische Feld  $\vec{B}_0$  zu- oder abnehmen muss, damit die Elektronen beschleunigt werden.
- (d) Bestimmen Sie den Impuls  $p$  eines geladenen Teilchens, das von einem Magnetfeld  $B$  auf einer Kreisbahn mit Radius  $R$  gehalten wird.

Zusatzaufgabe (ohne Wertung): Zeigen Sie, dass die Wideröe-Bedingung  $B(R) = \frac{1}{2} \bar{B}$  erfüllt sein muss, damit Teilchen auf der gewünschten Bahn bleiben. Hinweis: Dabei steht  $\bar{B} = \frac{\int \vec{B} d\vec{A}}{A}$  für den Mittelwert der magnetischen Induktion über die von der Kreisbahn eingeschlossene Fläche  $A$ ,  $B(R)$  bezeichnet ihren Wert auf der Kreisbahn.