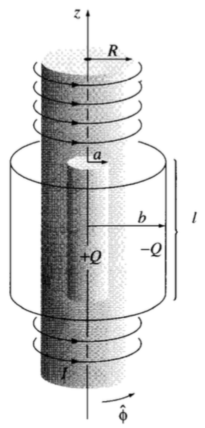
Prof. Dr. Holger Stark
Johannes Blaschke, Alice von der Heydt, Benjamin Lingnau, Maria Zeitz,
Samuel Brem, Christopher Wächtler

10. Übungsblatt – Theoretische Physik III: Elektrodynamik

Abgabe: Mo. 11.01.2016 bis 12:00 Uhr, Briefkasten ER-Gebäude

M **Aufgabe 29:** *Poynting-Vektor und Drehimpulserhaltung*

Ein Strom, I, fließt durch eine unendlich lange Spule, mit Radius R und n Windungen per Längeneinheit. Innerhalb, und außerhalb der Spule befinden sich zwei koaxiale geladene Zylinder mit Ladung $\pm Q$ und Länge l. Der positiv geladene Zylinder befindet sich innerhalb der Spule, und hat Radius $a < R \ll l$. Der negativ geladene Zylinder befindet sich außerhalb der Spule, und hat Radius b, $R < b \ll l$. Siehe Grafik rechts.



Die Zylinder können sich reibungsfrei um die Achse drehen. Wenn der Strom I langsam reduziert wird, fangen die Zylinder an sich zu drehen. Woher kommt der Drehimpuls?

a) Berechnen Sie den Drehimpuls, der im elektromagnetischen Feld gespeichert ist, *bevor* der Strom I reduziert wird. **Hinweis:** Die elektromagnetische Feld-Impulsdichte wird durch den Poynting Vektor bestimmt: $\mathbf{p}_{\mathrm{em}} = \mu_0\epsilon_0\mathbf{S} = \mu_0\epsilon_0\,\mathbf{E}\times\mathbf{H}$. Analog zum mechanischen Impuls, ist die eletromagnetische Feld-Drehimpulsdichte gegeben durch $\mathbf{l}_{\mathrm{em}} = \mathbf{r}\times\mathbf{p}_{\mathrm{em}}$.

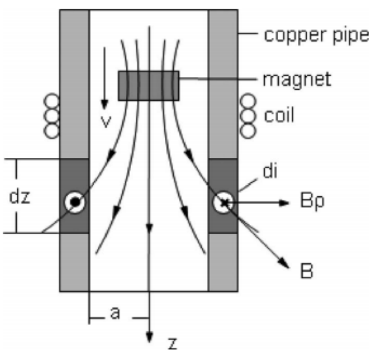
b) Wenn der Strom I variiert wird, wird ein Elektrisches Feld Induzierte, welches ein Drehmoment auf die Zylinder ausübt. Berechnen Sie den dadurch erzeugten Drehimpuls.

S **Aufgabe 30 (10 Punkte):** *Lenz'sches Gesetz*

Ein starker Magnet fällt durch ein leitendes Rohr (siehe Grafik rechts). Verglichen mit einem nichtmagnetischen Gegenstand, fällt der Magnet sehr viel langsamer. Das Ziel dieser Aufgabe ist, die magnetische "Reibungskraft", die den Fall des Magnets bremst, zu bestimmen. Das Rohr hat einen Radius a, Wandbreite τ. Ein Längenelement $\mathrm{d}z$ (quasi ein infinitesimal dünnes "Scheibchen") hat eine Leitfähigkeit

$$\mathrm{d}G = \frac{\tau\sigma}{2\pi a}\mathrm{d}z$$

wobei G der elektrische Leitwert ist, und σ eine Materialkonstante.



Betrachten Sie zuerst das Magnetfeld ganz allgemein unter der Annahme, dass der Magnet mit einer konstanter Geschwindigkeit $\mathbf{v} = v\hat{\mathbf{e}}_z$ entlang der $\hat{\mathbf{e}}_z$-Achse fällt.

a) Bestimmen Sie den magnetischen Fluß, Φ_{B} durch die Wände des Zylinders. Wie Hängt die Zeitableitung $\dot{\Phi}_{\mathrm{B}}$ von der Fallgeschwindigkeit v ab?

b) Bestimmen Sie den Strom $\mathrm{d}I$ induziert durch Teil (a), in einem Längenelement $\mathrm{d}z$ des Rohrs. Bestimmen Sie die Kraft F die auf den Magnet durch alle $\mathrm{d}I$ Anteile wirkt.

Um die Kraft in Teil (b) ausrechen zu können, nehmen wir nun an, dass der Magnet sich als magnetischer Dipol repräsentieren lässt:

c) Bestimmen Sie die Kraft F, aus Teil (b), für ein Dipol-Magnetfeld. **Hinweis:** Benutzten Sie

$$f_0 = \int_0^\infty \frac{u^2}{(1+u^2)^5}\,\mathrm{d}u = \frac{5\pi}{256} \tag{1}$$

Interpretieren Sie F als zusätzliche Reibungskraft $F = kv$ und bestimmen Sie die magnetische Reibungskonstante k.

S **Aufgabe 31 (10 Punkte):** *Poynting Vektor*

Ein langes Koaxialkabel mit Länge l besteht aus einem zylindrischen innenern Leiter mit Radius $a \ll l$, und einem äußeren zylindrischen Leiter mit Radius b, $a < b \ll l$. Im inneren Leiter fließt ein über den Querschnitt gleichmäßig verteilter Strom I mit constanter Ladung λ pro Längeneinheit. Ein entgegengesetzter Strom $-I$ und Ladung $-\lambda$ im fließt im äußeren Leiter.

a) Mit hilfe des Poynting Vektors, $\mathbf{S}$, bestimmen Sie den Energiefluß durch das Kabel. Zeigen Sie dass dieser gleich IV ist (wobei V die angelegte Spannung ist).

b) Bestimmen Sie den gesamten elektromagnetischen Feldimpuls $\int \mathbf{p}_{\mathrm{em}}\,\mathrm{d}V$ im inneren des Kabels. Ist das Resultat intuitiv?

c) Wenn der Strom I variiert wird, wird ein Zusätzliches elektrisches Feld Induziert. Bestimmen Sie den mechanischen Impuls, analog zu Aufgabe 29 (b), der auf die Leiter übertragen wird, wenn der Strom langsam reduziert wird. Vergleichen Sie Ihr Resultat mit Teil (b).

Zum Übungsbetrieb: Die Übungsaufgaben teilen sich auf in mündliche M und schriftliche S Aufgaben. Die Bedingung für die Vergabe eines Übungsscheins gliedert sich daher in zwei Teile:

- Es müssen mindestens 50% der schriftlichen Übungspunkte erreicht werden. Die Abgabe erfolgt in Dreiergruppen. Ab dem zweiten Übungsblatt werden Einzel- und Zweierabgaben nicht mehr akzeptiert!
- Vorrechnen: Jeder Student kreuzt vor jeder Übung diejenigen Aufgaben auf einer ausliegenden Liste an, die er oder sie bearbeitet hat. Wer eine Aufgabe angekreuzt hat, ist bereit diese Aufgabe an der Tafel vorzurechnen. Für den mündlichen Teil des Scheinkriteriums müssen am Ende des Semesters in Summe 50% der mündlichen Aufgaben angekreuzt sein.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr
08-10					EW 203 HS
10-12				EB 133C AH/MZ	BH-N 333 BL/JB
12-14	ER 164 CW	H 3012 SB	EW 203 HS		
14-16			H 1029 CW		
16-18			BH-N 333 SB		

Sprechstunden			
HS	Prof. Dr. Holger Stark	Fr 11:30–12:00	EW 709
AH	Alice von der Heydt	Do 13–14	EW 266
BL	Benjamin Lingnau	Di 14–15	EW 629
CW	Christopher Wächtler	Mo 14–15	EW 060
JB	Johannes Blaschke	Do 10–11	EW 708
MZ	Maria Zeitz	Mi 10–11	EW 702
SB	Samuel Brem	Di 11–12	EW 060