LMU München
Fakultät für Physik

Prof. G. Buchalla 12. Juni 2023

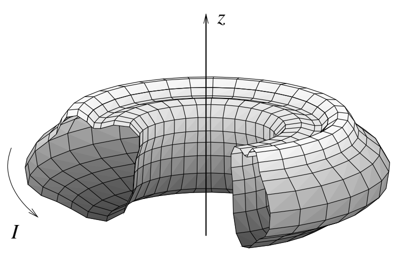
Übungen zu T3p Elektrodynamik im SoSe 2023
Blatt 9

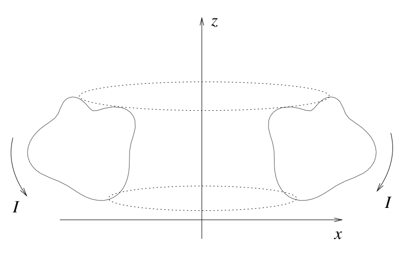
Aufgabe 1: Unendlich lange Zylinderspule (Solenoid)

Betrachten Sie eine unendlich lange zylindrische Spule vom Radius R mit n Windungen pro Längeneinheit, die vom Strom I durchflossen wird. Die Windungen seien so dicht aneinander gelegt, dass der Strom als eine Schicht konstanter Flächenstromdichte (Strom pro Länge) dargestellt werden kann. Das Magnetfeld im Inneren der Spule ist $\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{4\pi}{c} n I \mathbf{e}_z$ und verschwindet außerhalb.
Machen Sie den Ansatz $\mathbf{A}(\mathbf{r}) = A_\varphi(r)\mathbf{e}_\varphi$ für das magnetische Vektorpotential und benutzen Sie $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$ sowie den Satz von Stokes, um die Komponente $A_\varphi(r)$ zu finden. Zeigen Sie durch explizite Rechnung, dass Ihr gefundenes Vektorpotential das Magnetfeld der Spule erzeugt.

Aufgabe 2: Magnetfeld eines Torus

Um einen ringörmigen Körper (azimutale Symmetrie, aber beliebige Querschnittsform) seien n Windungen eines Drahts dicht gewunden, durch den der Strom I fließt. Aufgrund der Symmetrie hängt das Magnetfeld $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ in Zylinderkoordinaten nur von r und z ab. Überlegen Sie sich, warum zusätzlich die Komponenten B_r und B_z verschwinden müssen, also $\mathbf{B}(\mathbf{r}) = B_\varphi(r,z)\mathbf{e}_\varphi$ gilt. Bestimmen Sie ausgehend von diesem Ansatz mit Hilfe des Ampèreschen Gesetzes die Komponente $B_\varphi(r,z)$.
Hinweis: Wählen Sie als Integrationskurven Kreisringe mit Radius r in der xy-Ebene.



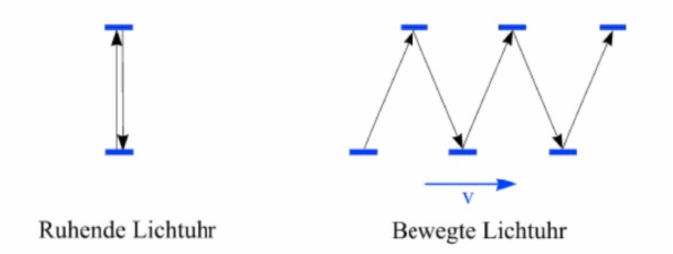


Aufgabe 3: Zeitdilatation

Eine Uhr besteht aus einer Röhre der Länge l, welche oben mit einem Spiegel verschlossen ist. Eine Quelle am Boden der Röhre sendet einen Lichtblitz, welcher am oberen Ende reflektiert wird. Trifft der Blitz wieder bei der Quelle ein, sendet diese erneut einen Lichtblitz aus und macht dabei "Tick".
Wir betrachten nun eine ruhende und eine bewegte Uhr, welche sich mit der konstanten Geschwindigkeit v senkrecht zur Röhre bewegt, siehe Abbildung. Wir bezeichnen dabei mit T bzw. T' die Zeit zwischen zwei Ticks bei der bewegten bzw. der ruhenden Uhr. Leiten Sie ausgehend von den Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie, d.h. ohne Verwendung der Lorentztransformation, folgendes Verhältnis her:

$$\frac{T}{T'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \,. \tag{1}$$

Könnte man auch annehmen, dass statt der Zeitdilatation die Längen transversal zur Boost-Richtung kontrahiert werden? Nutzen Sie die Äquivalenz der Intertialsysteme und konstruieren Sie einen Widerspruch.



Aufgabe 4: Lorentztransformation

Ein Intertialsystem S' bewege sich relativ zum Inertialsystem S mit der Geschwindigkeit $\beta = \frac{v}{c}$ in positive x-Richtung, die parallel zur x'-Achse orientiert sein soll.

a) Zur Zeit $t = t' = 0$ befinde sich am Ort $x = x' = 0$ eine mit S' fest verbundene Uhr. Nach einer Zeitspanne Δt in S zeigt die Uhr in S' die Zeit $\Delta t'$ an. Leiten Sie mit Hilfe der Lorentztransformation die Formel für die Zeitdilatation her. *Ergebnis:* $\Delta t' = \sqrt{1-\beta^2}\Delta t$.

b) Im System S' ruhe ein Stab der Länge $\Delta x'$ zwischen $x' = 0$ und $x' = \Delta x'$. Zeigen Sie, dass der Stab im System S die Länge $\Delta x = \sqrt{1-\beta^2}\Delta x'$ besitzt. Dieses Phänomen nennt man Längenkontraktion.