Übungsblatt 7: 13.12/16.12

Übungen zu Physik III

H.F. Arlinghaus, R. Friedrich, Veranstaltung Nr. 110969, WS 2005/06

$http://pauli.uni-muenster.de/menu/Arbeitsgebiete/friedrich/lehrews0506.html$

*=Aufgaben aus der Experimentalphysik

SCHRIFTLICH:

Aufgabe 1: Flugzeitmassenspektrometrie* (2P)

In einem Flugzeit-Massenspektrometer werden die zu untersuchenden Ionen der Massen m_i durch eine Spannung von $U = 2\,\mathrm{kV}$ beschleunigt. Anschließend fliegen sie durch eine feldfreie Driftstrecke von $l = 1\,\mathrm{m}$ Länge, bevor sie auf den Detektor auftreffen. Aus den gemessenen Flugzeiten t_i lässt sich die Masse der Ionen berechnen. Berechnen Sie die Flugzeiten t_i für folgende Ionen: H^+, C^+, $C_{60}H^{2+}$ und einfach protoniertes Vitamin B_{12} (Masse $m_{B_{12}} = 1455{,}5\,\mathrm{u}$). Die Masse von Wasserstoff beträgt $m_H = 1{,}0078\,\mathrm{u}$ und von Kohlenstoff $m_C = 12{,}0000\,\mathrm{u}$ ($1\,\mathrm{u} = 1{,}66 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$).

MÜNDLICH:

Aufgabe 2: Induktion I*

Im Innern einer langen Primärzylinderspule (Länge $l_P = 25\,\mathrm{cm}$, Durchmesser $D_P = 5\,\mathrm{cm}$, Windungszahl $n_P = 500$) befindet sich koaxial eine zweite Spule, die Sekundärzylinderspule (Länge $l_S = 5\,\mathrm{cm}$, Durchmesser $D_S = 4\,\mathrm{cm}$, Windungszahl $n_S = 250$). Durch die Primärspule fließt der Strom $I_P = 2\,\mathrm{A}$. Berechnen Sie den in der Sekundärspule induzierten Spannungsstoß, d.i. das Integral $\int U(t)dt$, für folgende drei Fälle, wenn $\Delta t = 1\,\mathrm{s}$ ist:

a) Der Strom wir zur Zeit $t = t_0$ abgeschaltet.

b) Die Sekundärspule wird zur Zeit $t = t_0$ rasch aus der Primärspule herausgezogen.

c) Der Strom I_P in der Primärspule wird im Zeitintervall Δt linear auf Null heruntergefahren.

Zeichnen Sie für alle drei Fälle (bei b) auch für zwei verschiedene Geschwindigkeiten) qualitativ den zeitlichen Verlauf des magnetischen Flusses $\Phi(t)$ durch die Sekundärspule und den Verlauf der in ihr induzierten Spannung $U(t)$. Was ändert sich an den Ergebnissen, wenn die Sekundärspule mit einem Eisenkern der Permeabilitätszahl $\mu_\mathrm{r} = 2000$ gefüllt ist?

Aufgabe 3: Induktion II*

In einem homogenen Magnetfeld ($B = 0{,}1\,\mathrm{T}$), das in Richtung der x-Achse zeigt, befindet sich ein Spule (Durchmesser $D = 1\,\mathrm{cm}$, Windungszahl $n = 1000$), deren Achse senkrecht auf B steht und in Richtung der y-Achse zeigt. Welche Spannung wird induziert, wenn die Spule mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = 100\,\mathrm{s}^{-1}$ rotiert, und zwar a) um die x-Achse, b) um die y-Achse und c) um die z-Achse?

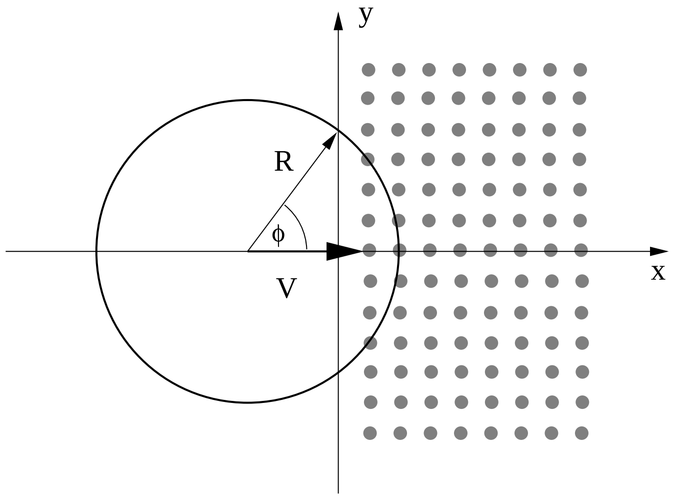
Aufgabe 4: Das Betatron

In einem zeitabhängigen zylindersymmetrischen Magnetfeld $\mathbf{B}_z(\mathbf{r}, t)$ bewegt sich ein Elektron auf einer konzentrischen Kreisbahn mit konstanten Radius r_0. Wie groß ist das elektrische Feld, das auf das Elektron wirkt? Wie ändert sich der Impuls des Elektrons als Funktion der Zeit, geschrieben als Funktion des von der Elektronenbahn eingeschlossenen Flusses, wenn zum Zeitpunkt $t = 0$ das Elektron in Ruhe und das Feld ausgeschaltet ist? Wie muss der zeitliche Verlauf des Magnetfeldes am Ort des Elektrons sein, damit das Elektron auf seiner Kreisbahn bleibt?

Hinweis: Da das Magnetfeld nicht explizit gegeben ist, können Sie auch keine explizite Form für den Fluss angeben. Sie können aber den Fluss durch ein mittleres Magnetfeld $\mathbf{B}_{mittel}$ mal der Fläche (welche?) angeben.

Aufgabe 5: Induktion in bewegter kreisförmiger Leiterschleife

Eine kreisförmige Leiterschleife bewegt sich innerhalb der x-y-Ebene mit konstanter nichtrelativistischer Geschwindigkeit $\mathbf{v} = v\mathbf{e}_x$. Im Bereich $x > 0$ wirkt ein homogenes Magnetfeld $B_0\mathbf{e}_z$, das durch Punkte makiert ist.
Berechnen Sie die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses durch den Ring. Können sie daraus eine induzierte Spannung $U(t)$ berechnen? Welche Voraussetzung ist dazu nötig. Skizzieren Sie die Funktion $U(t)$. Was sagt die Lenz'sche Regel über den Strom aus?



Aufgabe 6: Maxwell einmal anders herum

Ein Blick auf die Maxwell-Gleichungen zeigt, dass mit ihrer Hilfe aus gegebenen Ladungs- und Stromverteilungen $\rho(\mathbf{r}, t)$ und $\mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$ die Felder $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ und $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$ berechnet werden können. In den Übungen zur Elektro- und Magnetostatik haben sie diese Aufgabenstellung schon mehrfach verfolgt. Nun wird die Fragestellung umgekehrt. Sie haben die Aufgabe für ein Experiment ein spezielles elektrisches Feld der Form

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = (0, 0, f(x - vt))$$

zu erzeugen, wobei f eine beliebige differenzierbare Funktion darstellt. Bestimmen Sie mit Hilfe der Maxwell-Gleichungen die dazu erforderliche Ladungsdichte $\rho(\mathbf{r}, t)$ und Stromdichte $\mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$. Der Parameter v ist eine Konstante. Gibt es einen Spezialfall, bei dem Ladungs- und Stromdichte besonders einfach werden? Was sagt ihnen dieses Ergebnis? Wählen sie eine beliebige funktionale Form für $f(x - vt)$ und skizzieren sie ρ und $\mathbf{j}$.