

1. Zerfließen von Ladung – Mr. Gauss, Mr. Ohm und die Kontinuitätsgleichung

In einem Material mit der homogenen, isotropen Leitfähigkeit σ liege zur Zeit $t = 0$ eine Ladungsdichte $\rho_0(\vec{r})$ vor. Leiten sie aus der Kontinuitätsgleichung eine DGL her, die den zeitlichen Verlauf der Ladungsdichte $\rho(\vec{r}, t)$ bestimmt. Auf welcher Zeitskala vollzieht sich das “Zerfließen“ einer anfänglich bei $\vec{r} = 0$ konzentrierten Ladungsverteilung?

(z.B. für Kupfer $\sigma \approx 60 \cdot 10^6 \frac{S}{m}$ und $\epsilon = 1$).

2. Peltier Element

Erklären sie **mündlich**¹ die Funktionsweise eines Peltier Elements.

3. Fadenstrahlrohr – Schraubenlinie – Kurze Verständnis-Aufgabe

- (a) Im Normalfall werden beim Fadenstrahlrohr die Elektronen senkrecht zum homogenen Magnetfeld eingeschossen. Welche Bahn durchlaufen die Elektronen in diesem Fall. Geben sie hierfür eine zeichnerische Erläuterung!
- (b) Welche Bahn würden die Elektronen durchlaufen, wenn sie parallel zum Magnetfeld eingeschossen werden?
- (c) Schießt man die Elektronen beim Fadenstrahlrohr nicht senkrecht aber auch nicht parallel zum Magnetfeld ein, so ergibt sich eine Schraubenlinie (sagen sie nicht “Spirale“, da eine Spirale ihren Durchmesser ändert). Machen sie das Entstehen der Schraubenlinie plausibel.

Der Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor und der Magnetfeldrichtung sei $\alpha = 30^\circ$, der Betrag der Geschwindigkeit ist $0,20 \times 10^7 m/s$ und die Umlaufdauer auf einer Kreisbahn $0,60 \times 10^{-7} s$. Berechnen sie

- (d) die Ganghöhe^a der Schraubenlinie.

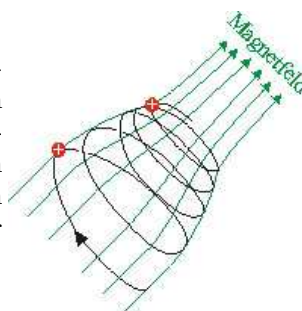
^aHinweis:

Unter der Ganghöhe einer Schraube versteht man diejenige Strecke, um die sich die Schraube bei einer vollen Umdrehung ins Gewinde hineindreht.



4. Magnetische Flasche – Kurze Verständnis-Aufgabe

Treffen geladene Teilchen schräg auf die Feldlinien eines homogenen Magnetfeldes, so bewegen sie sich auf Schraubenlinien um die Feldlinien. Vergleichen sie hierzu die Aufgabe über die Schraubenlinie. Ist das Magnetfeld inhomogen, so wird die Teilchenbahn immer enger und schließlich kehrt das Teilchen wieder um. Geben sie eine plausible Erklärung, warum in dem Bild der Radius der Teilchenbahn kleiner wird.



Zeichnen sie für die zwei Positionen des positiven Teilchens die Lorentzkraft ein. Warum wird das weiter rechts befindliche Teilchen wieder umkehren?

Hinweis: Das betrachtete Teilchen bewege sich gerade in die Zeichenebene hinein

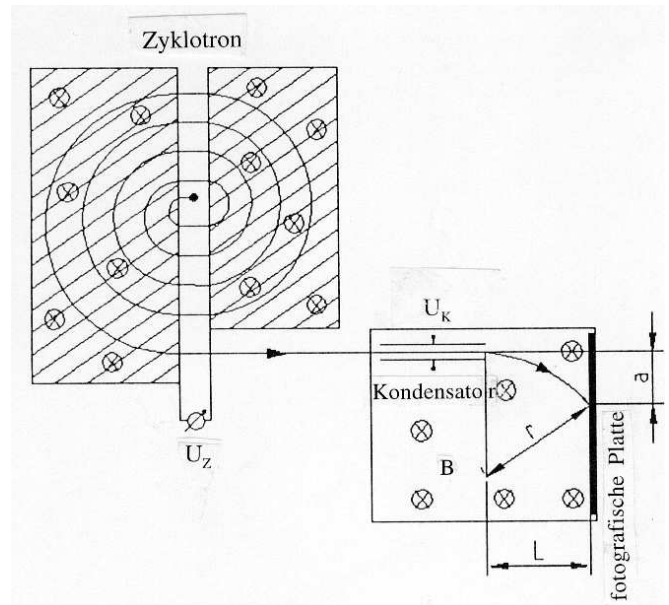
Animation im Internet: Magnetische Flaschen:

<http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~reusch/uebungen/sosem2002/MFlasche.html>

¹mündlich; es dürfen auch an der Tafel Skizzen gezeichnet werden ;-)

Geladene Teilchen unbekannter Masse werden in einem Zyklotron auf die Endgeschwindigkeit v_0 gebracht. Darin ist senkrecht zur Teilchenbahn ein konstantes Magnetfeld B_Z angelegt. Die Ionen werden in der Lücke zwischen den Elektroden durch eine Spannung der Form $U = U_0 \sin(\omega t)$ beschleunigt, d.h. sie erhalten bei jedem halben Umlauf eine zusätzliche kinetische Energie von 20keV. Um eine resonante Beschleunigung zu erreichen, muß die Frequenz des Ionenumlaufs mit der Wechselfrequenz koinzidieren.

Nach mehreren Umläufen verlassen die Ionen den Beschleuniger und treten in einen langen Kondensator mit dem Plattenabstand $d=4\text{mm}$ ein. Dessen homogenes elektrisches Feld ist ein homogenes Magnetfeld der Stärke $B=10\text{mT}$ orthogonal überlagert.



- (a) Bei der Einstellung einer bestimmten Spannung von $U_K = 8000\text{V}$ zwischen den Platten beobachtet man, dass die Teilchen sich auf einer geraden Bahn bewegen und den Kondensator wieder verlassen. Erklären sie diesen Befund! Wie groß ist die Austrittsgeschwindigkeit? Muß man relativistisch rechnen?
- (b) Nach dem Verlassen des Kondensators trifft der Teilchenstrahl auf eine im Abstand $L = 1.6\text{m}$ befindliche fotografische Platte. Die Ablenkung aufgrund des dortigen Magnetfeldes beträgt $a=4.5\text{mm}$. Bestimmen sie Q/m , wobei Q ein vielfaches der Elementarladung ist und m die Ruhemasse der Ionen. Um welches Ion handelt es sich? (Anmerkung: $1.6\text{m} \gg 4.5\text{mm}$)
- (c) Wie hoch war die Anzahl der Umdrehungen der Ionen im Zyklotron?
- (d) Wie lang war die Umlaufzeit eines Ions der Energie E im Magnetfeld B_Z des Zyklotrons? Zeigen sie: Der relativistische Masseanstieg der Ionen bedingt, dass bei der konstanten Wechselspannungsfrequenz ω die Beschleunigungsresonanzbedingung schon bald nicht mehr erfüllt ist (detuning). Um dies zu verhindern, muß die Wechselspannungsfrequenz zeitlich geändert werden, $\omega = \omega(t)$ (Synchrotron-Zyklotron). Finden sie zur Berechnung von $\omega(t)$ einen Ausdruck für die Umlauffrequenz des Teilchens als Funktion der Energie, und berücksichtigen sie, dass das Ion eine zusätzliche Energiezunahme von $2 \int \frac{\hat{E}}{T(t)} dt = \frac{1}{\pi} \int \hat{E} \cdot \omega(t) dt$ erfährt, wobei

\hat{E} : Energieaufnahme pro halben Umlauf,

T : Umlaufzeit.

$$E_P = \sqrt{m_{p,0}^2 c^4 + p^2 c^2}$$

Lösen sie die resultierende Integralgleichung durch zeitliches Differenzieren.

Übungsleiter: Frank Hartmann, IEKP, Forschungszentrum Karlsruhe,

Tel.: 07247 82 6330; Labor

Tel.: 07247 82 4173; Büro

Email: Frank.Hartmann@cern.ch

www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~hartmann/edyn.html

Die Klausur findet am Freitag den 18.07.03 von 14.00 bis 16.00 Uhr im Gerthsen und Gaede Hoersaal statt.