9. Übung zur Physik A/B 1 SS 2019

Ausgabe: 24.05.2019
Abgabe: bis 31.05.2019 12:00 Uhr Prof. Dr. D. Suter
Biefkästen: 247, 248, 249

Aufgabe 1: Das Biot-Savart-Gesetz 8 Punkte

Gegeben sei ein stromdurchflossener Draht. Der Strom I fließt dabei von links nach rechts (technische Stromrichtung). Die Form des Drahtes ist der Skizze 1 zu entnehmen.

a) In welche Richtung zeigt das Magnetfeld im Punkt **P**? Begründen Sie Ihre Aussage. (Es ist keine Rechnung notwendig.)

b) Bestimmen Sie mit Hilfe des Biot-Savart-Gesetzes

$$\vec{H}(\vec{P}) = \frac{1}{4\pi}\int \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{\vec{r}^3} \tag{1}$$

$$= \frac{1}{4\pi}\int \frac{Id\vec{l} \times (\vec{P} - \vec{l})}{|\vec{P} - \vec{l}|^3} \tag{2}$$

das Magnetfeld im Punkt P. Der Vektor $\vec{r}$ beschreibt den Verbindungsvektor vom Leiterelement zum betrachteten Punkt P, $\vec{l}$ beschreibt ein zu parametrisierendes Drahtelement und $d\vec{l}$ somit das infinitesimale Drahtelement.
Unterteilen Sie zunächst den Draht in sinnvolle Teilstücke $\vec{l_i}$ und machen Sie sich klar, wie die Integralgrenzen der Teilstücke aussehen.

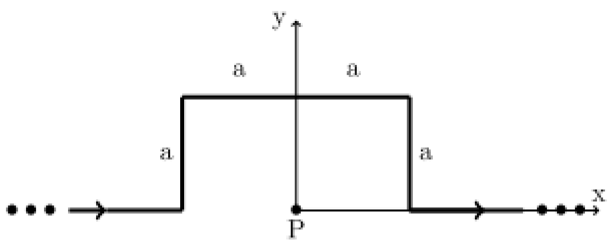

Abbildung 1: stromdurchflossener Draht

Einige nützliche Integrale:

$$\int_{-a}^{a} \frac{1}{(x^2+a^2)^{3/2}}dx = \frac{\sqrt{2}}{a^2}\,, a > 0 \tag{3}$$

$$\int_{0}^{a} \frac{1}{(x^2+a^2)^{3/2}}dx = \frac{1}{\sqrt{2}a^2}\,, a > 0 \tag{4}$$

Aufgabe 2: Das Zyklotron 6 Punkte

Mit dem sogenannten klassischen Zyklotron lassen sich Teilchengeschwindigkeiten bis zu $v = 0.1c$ erreichen.

a) Skizzieren Sie ein Zyklotron und erläutern Sie dessen Wirkungsweise.

b) Zeigen Sie, dass beim klassischen Zyklotron die Zeit T_0, die ein Teilchen mit der Ladung q und der Masse m zum Durchlaufen eines der beiden halbkreisförmigen Magneten M1/M2 benötigt, unabhängig von r ist.

Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass der Radius über $r = \frac{mv}{qB}$ berechnet werden kann. Die Zeit, die für einen Halbkreisdurchlauf benötigt wird, kann über $T_0 = \frac{m\pi}{qB}$ bestimmt werden.

c) Berechnen Sie die Radien r_n der Halbkreisbahnen im Magneten M1 in Abhängigkeit von der Zahl der Umläufe n. Gehen Sie dabei von folgendem aus: Ein Teilchen tritt in den M1 mit der Anfangsenergie W_1 ein und beschreibt dort eine Halbkreisbahn mit Radius r_1. Es nimmt bei jedem Durchlaufen des Spalts die Energie $\Delta W = W_1$ auf.

d) In einem Zyklotron sollen Protonen auf die Geschwindigkeit $v = 0.1c$ gebracht werden. Die magnetische Flussdichte beträgt $B_0 = 0{,}4\,\mathrm{T}$.

   Berechnen Sie (nichtrelativistisch) die Frequenz f_0 der beschleunigenden Wechselspannung, den Durchmesser der äußersten Teilchenbahn sowie die erreichte kinetische Energie der Protonen in MeV.

Aufgabe 3: Der Hall-Sensor 2 Punkte

Zur Messung von Magnetfelder lassen sich Hall-Sonden benutzen. Für einen einachsigen Sensor werden dazu v. a. dünne Halbleiterplatten benutzt (s. Abb. 2). Das Halbleitermaterial Indiumantimonid (Hall-Konstante $K_H = -2{,}4 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m^3/C}$) eignet sich dabei besonders gut, wenn eine hohe Empfindlichkeit benötigt wird.

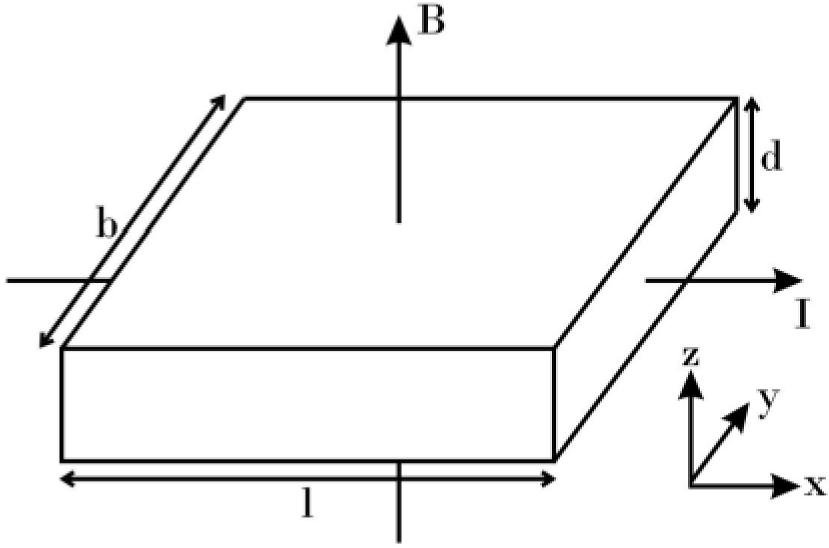

Abbildung 2: Skizze einer Halbleiterplatte

a) Welche Teilchen sind bei einer solchen Hall-Sonde für den Ladungstransport verantwortlich? Was für eine Ladungsträgerdichte herrscht im Material?

b) In Richtung der Länge l des Kristalls wird ein Strom I von $22\,\mathrm{mA}$ angelegt. Über die Kristallbreite b wird eine Hall-Spannung U_H von $960\,\mathrm{\mu V}$ gemessen. Die Abmessungen des Kristalls betragen $l = 14{,}2\,\mathrm{mm}$, $b = 8{,}5\,\mathrm{mm}$ und $d = 1{,}1\,\mathrm{mm}$. Wie groß ist die Flussdichte B des gemessenen Magnetfeldes?