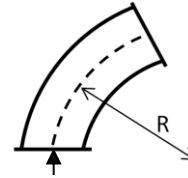


Teilchenbeschleuniger

- Protonen mit $v_0=0$ sollen durch einen Linearbeschleuniger auf die Energie $E = 50\text{MeV}$ beschleunigt werden. Die Frequenz der beschleunigenden Wechsellspannung beträgt $f = 200\text{ MHz}$. Die Spannung zwischen den Driftröhren während des Beschleunigungsvorganges wird als konstant mit $U_B = 400\text{ kV}$ angenommen.
 - Welche Geschwindigkeit würden die Protonen erreichen (klassische Berechnung)?
 - Geben Sie die (theoretische) Anzahl der erforderlichen Driftröhren an.
 - Berechnen Sie die Länge der ersten (l_1) und hundertsten Driftröhre (l_{100}), wenn die Protonen die Driftröhren in der Zeit $t=0,5\text{ T}$ der Frequenz f durchlaufen.

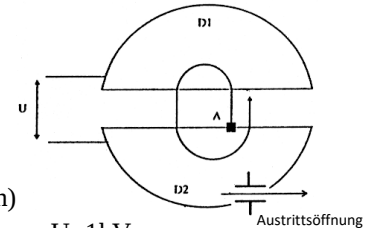
- Die Abbildung zeigt den Kanal eines Führungsmagneten eines Synchrotrons. Aus einem Linearbeschleuniger werden Protonen mit der Energie $E=5\text{ keV}$ hineingeschossen und sollen auf eine Kreisbahn mit $R=350\text{ m}$ abgelenkt werden.
 - Bestimmen Sie die Richtung und die Stärke des Magnetfeldes.



Bis zum Wiederdurchlaufen des Führungsmagneten erfolgt an 5 Stellen eine Beschleunigung durch elektrische Felder bei einer angelegten Spannung von $1,2\text{ kV}$

- Auf welchen Wert muss die Flussdichte im Magnet nach dem zweiten Durchlauf synchronisiert werden?
- Wie viele Umläufe sind erforderlich, damit die Protonen die Geschwindigkeit $v=0,1c$ erreichen?

- Schwere Wasserstoffkerne mit der Masse $m=3,3\cdot 10^{-27}\text{ kg}$ treten im Punkt A zwischen zwei Halbdosen D1 und D2 eines Zyklotrons mit $v_0=0$ aus. Die Teilchen werden im Hochvakuum durch eine Wechsellspannung U zwischen den beiden Dosen beschleunigt. Ein homogenes Magnetfeld mit $B=40\text{ mT}$ zwingt die Teilchen innerhalb der Halbdosen auf eine Halbkreisbahn.
 - Bestimmen Sie die Geschwindigkeit der Deuteronen nach dem ersten (zweiten) Durchlaufen der Beschleunigungsstrecke bei einer Beschleunigungsspannung von $U=1\text{ kV}$.



- Formulieren Sie eine allgemeine Gleichung für die Endgeschwindigkeit v und der Zahl n der vollen Umläufe bei dieser Beschleunigungsspannung von $U=1\text{ kV}$.
- In welcher Zeit durchläuft ein Deuteron eine Halbkreisbahn. Geben Sie die Frequenz der Wechsellspannung an.
- Bestimmen Sie den Bahnradius nach dem ersten vollständigen Durchlauf.
- Auf welche Endgeschwindigkeit wird ein Teilchen beschleunigt, wenn der Radius der äußeren Halbkreisbahn $r=3\text{ m}$ beträgt? Wie viele vollständige Umläufe hat es dabei ausgeführt?

Lösungen:

- $50\text{ MeV} = 8 \cdot 10^{-12}\text{ J}$ $v = \sqrt{\frac{2E}{m_p}} = 2,78 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - $E = N \cdot E_{\text{Drift}}$ $N = \frac{E}{E_{\text{Drift}}} = 125$
 - $f = 200\text{ MHz}$ $T = 5 \cdot 10^{-9}\text{ s}$ $t = 2,5 \cdot 10^{-9}\text{ s}$
 $v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_p}} = 8,75 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $s_1 = v_1 \cdot t = 2,19\text{ cm}$ $v_2 = \sqrt{\frac{200 \cdot e \cdot U}{m_p}} = 8,75 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $s_2 = 21,87\text{ cm}$
- Magnetfeld läuft aus der Ebene heraus.
 - $5\text{ keV} = 8 \cdot 10^{-16}\text{ J}$ $v = 9,78 \cdot 10^5\text{ m/s}$ $B_0 = \frac{m \cdot v}{r \cdot B} = 2,92 \cdot 10^{-5}\text{ T}$
 $E = E_0 + 5 \cdot 1,2\text{ keV} = 11\text{ keV} = 1,76 \cdot 10^{-15}\text{ J}$ $v = 1,45 \cdot 10^6\text{ m/s}$ $B_1 = 4,33 \cdot 10^{-5}\text{ T}$
 - $v = 3 \cdot 10^7\text{ m/s}$ $E = 7,54 \cdot 10^{-13}\text{ J} = 4,7\text{ MeV}$
 je Umlauf steigt die Energie um 6 keV . Es sind etwa 784 Umläufe notwendig.
- $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U}{m}}$ $v_1(1\text{ kV}) = 3,12 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $v_2(2\text{ keV}) = 4,41 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - ein voller Umlauf = 2 Beschleunigungen $v_N = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U}{m} \cdot 2N} = \sqrt{\frac{N \cdot 4 \cdot q \cdot U}{m}} = 4,4 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{N}$
 - $v = \frac{q \cdot B \cdot r}{m}$ und $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ ergibt: $T = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B}$ (unabhängig von v !!!)
 $t = \frac{T}{2} = \frac{\pi \cdot m}{q \cdot B} = 1,62 \cdot 10^{-6}\text{ s}$ $T = 3,24 \cdot 10^{-6}\text{ s}$ $f = \frac{1}{T} = 309\text{ kHz}$
 - $v_1 = 4,41 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $r = \frac{v \cdot T}{2\pi} = 22,74\text{ cm}$
 - $v = \frac{q \cdot r \cdot B}{m} = 5,83 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $N = \left(\frac{v}{4,4 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right)^2 \approx 175$ (Formel siehe b)