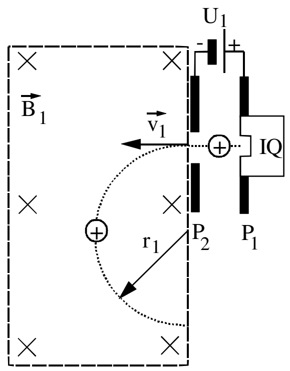
II

BE

1.0

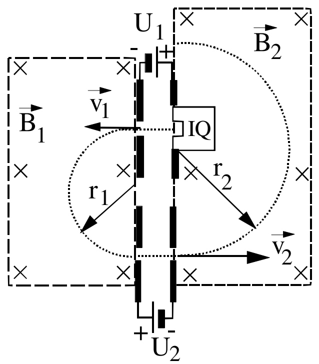


Die Ionenquelle IQ sendet Protonen (Masse m_P, Ladung $Q = + e$) mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit aus. Diese Protonen werden im elektrischen Feld zwischen den Platten P_1 und P_2 eines Kondensators beschleunigt. Nach dem Durchlaufen der Beschleunigungsspannung $U_1 = 18{,}0\ \text{kV}$ dringen die Protonen mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_1$ in das zeitlich konstante, homogene Magnetfeld der Flussdichte $\vec{B}_1$ ein.
Dort bewegen sich die positiven Teilchen auf einem Halbkreis mit dem Radius r_1.
Die Anordnung befindet sich im Vakuum.
Gravitationskräfte sind zu vernachlässigen.
Im Folgenden wird ein Proton betrachtet.

3 | 1.1 Berechnen Sie den Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}_1$

5 | 1.2 Begründen Sie, warum sich das Proton im Magnetfeld der Flussdichte $\vec{B}_1$ auf einer Halbkreisbahn bewegt.

1.3.0



Mit dem Verlassen des Magnetfeldes der Flussdichte $\vec{B}_1$ tritt das Proton in das elektrische Feld der Spannung $U_2 = 18{,}0\ \text{kV}$ ein. Die Spannungsquelle ist so gepolt, dass das Proton erneut beschleunigt wird.
Im zeitlich konstanten, homogenen Magnetfeld der Flussdichte $\vec{B}_2$ wird das Proton auf eine Halbkreisbahn mit dem Radius r_2 gelenkt, wobei $r_2 > r_1$.
Es gilt: $\vec{B}_2 = \vec{B}_1 = \vec{B}$.

5 | 1.3.1 Berechnen Sie die kinetische Energie E_{kin} des Protons und den Betrag v_2 seiner Geschwindigkeit $\vec{v}_2$, nachdem es die Spannung U_1 und die Spannung U_2 durchlaufen hat.
[Teilergebnis: $E_{kin} = 5{,}77 \cdot 10^{-15}$ J]

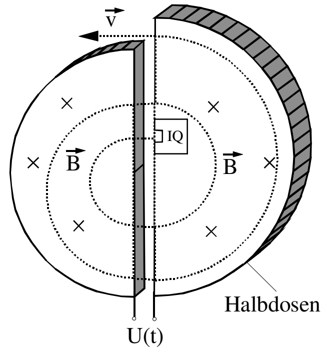
3 | 1.3.2 Der Radius r einer Halbkreisbahn ist vom Betrag v der Bahngeschwindigkeit abhängig.
Zeigen Sie durch allgemeine Herleitung, dass gilt: $r = \frac{m_P}{e \cdot B} \cdot v$.

5 | 1.3.3 Bestätigen Sie durch allgemeine Rechnung, dass die Laufzeit Δt des Protons auf einer Halbkreisbahn in einem Magnetfeld der Flussdichte $\vec{B}$ vom Radius r und vom Betrag v der Bahngeschwindigkeit unabhängig ist.

Fortsetzung nächste Seite

BE

1.4.0 Die nachfolgende Skizze zeigt eine Anordnung, in der ein Proton mehrmals die Beschleunigungsspannung $U = 18{,}0\ \text{kV}$ durchläuft. Dadurch erreicht dieses Proton eine sehr hohe kinetische Energie.



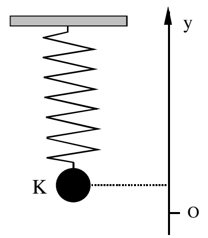
Die Anordnung besteht im Wesentlichen aus zwei flachen Halbdosen. Die beiden halbkreisförmigen Metalldosen werden an die sinusförmige Wechselspannung $U(t) = 18{,}0\ \text{kV} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ angeschlossen.
Im engen Spalt zwischen den Halbdosen wird die Bewegung des Protons durch das elektrische Feld, innerhalb der Halbdosen durch das Magnetfeld der Flussdichte $\vec{B}$ mit $B = 800\ \text{mT}$ bestimmt.
Die Frequenz der Wechselspannung $U(t)$ wird so eingestellt, dass das Proton bei jedem Umlauf zwei Mal zwischen den Dosen die Beschleunigungsspannung $U = 18{,}0\ \text{kV}$ durchläuft.

3 | 1.4.1 Berechnen Sie die Laufzeit Δt eines Protons auf einer Halbkreisbahn.
[Ergebnis: $\Delta t = 4{,}10 \cdot 10^{-8}$ s]

3 | 1.4.2 Die Laufzeit des Protons im engen Spalt ist so klein, dass sie gegenüber der Laufzeit Δt auf den Halbkreisbahnen vernachlässigt werden kann.
Bestimmen Sie eine geeignete Frequenz f für die Wechselspannung $U(t)$.

3 | 1.4.3 Berechnen Sie die Zahl der Umläufe, die das Proton mindestens benötigt, um die kinetische Energie $E_{kin,\,Ende} = 2{,}00 \cdot 10^{-13}$ J zu erreichen.

2.0



Eine vertikal aufgehängte Schraubenfeder (Federkonstante $D = 25{,}1\ \frac{\text{N}}{\text{m}}$) und ein Körper K (Masse m = 0,407 kg) bilden ein Federpendel.
Der Pendelkörper K wird aus der Gleichgewichtslage O um 4,0 cm nach oben ausgelenkt und zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ s aus der Ruhe heraus losgelassen.
Reibungsverluste und Masse der Feder sind zu vernachlässigen.

4 | 2.1 Berechnen Sie die Periodendauer T der harmonischen Schwingung und geben Sie die Zeit-Elongations-Gleichung mit eingesetzten Größenwerten an.

3 | 2.2 Ermitteln Sie die Gleichung für den zeitlichen Verlauf der kinetischen Energie E_k des Pendelkörpers mit eingesetzten Größenwerten.

7 | 2.3 Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der kinetischen Energie E_k für $0 \le t \le T$ in einem Diagramm graphisch dar.
Stellen Sie in diesem Diagramm auch den zeitlichen Verlauf der potentiellen Energie E_p und der Gesamtenergie E_g des Systems dar.

6 | 2.4 Berechnen Sie den Zeitpunkt t_1, in dem die Elongation zum ersten Mal den Wert 2,1 cm annimmt, und ermitteln Sie die kinetische Energie des Körpers K für den Zeitpunkt t_1.

50