

- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.)!
- Überprüfen Sie die physikalischen Einheiten in Ihren Rechenschritten und Lösungen! (Vor allem bei längeren Rechenwegen!)

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

**Das Zyklotron** Zur Erforschung von Elementarteilchen und auch zum Einsatz in Medizin und Technik benötigt man Teilchen, die hohe Energie besitzen. Diese hohen Energien erreicht man in sogenannten Beschleunigern. Eine spezielle Ausführung eines Beschleunigers ist das Zyklotron.

Die prinzipielle Funktionsweise des Zyklotrons kann man den beiden folgenden Abbildungen 1a und 1b entnehmen. Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum.

Sie besteht hauptsächlich aus zwei innen hohlen D-förmigen Elektroden  $D_1$  und  $D_2$ , deren Form man sich wie eine in zwei Teile geschnittene flache Dose vorstellen kann. An diese Elektroden, die so genannten Duanten, wird eine Spannung  $U$  angelegt, die ein elektrisches Feld erzeugt, das nur im Spalt zwischen den Duanten, nicht aber im Inneren der hohlen Duanten vorhanden ist. Die Breite des Spalts zwischen den Duanten ist klein gegen ihren Durchmesser. Im Punkt Q befindet sich eine Protonenquelle, die Protonen mit der Anfangsgeschwindigkeit  $v=0\text{ m/s}$  liefert. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass das homogene Magnetfeld nur im Inneren der Duanten, nicht aber im Bereich des Spalts zwischen ihnen wirkt. Vom Einfluss der Schwerkraft soll abgesehen werden.

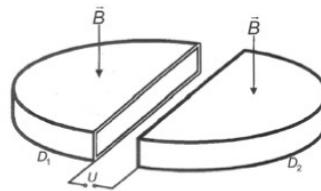


Abbildung 1a

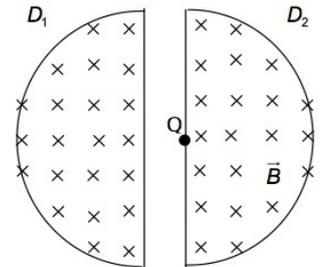


Abbildung 1b: Ansicht von oben (Draufsicht)

1.1. Zunächst sei an die Duanten eine Gleichspannung derart angelegt, dass der linke Duant  $D_1$  negativ geladen ist. Bei einer bestimmten Stärke des Magnetfeldes  $B$  ergibt sich die in Abbildung 2 dargestellte Bahnkurve eines Protons.

- Geben Sie begründet die verschiedenen Bewegungsformen des Protons bis zum Erreichen des Punktes  $P_3$  an.
- Skizzieren Sie in Abbildung 2 die weitere Bahnkurve des Protons, nachdem dieses den Punkt  $P_3$  erreicht hat, und begründen Sie sie.

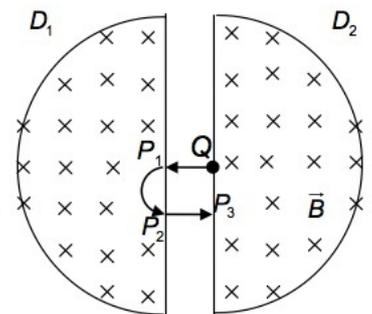


Abbildung 2

1.2. Nun wird die zwischen den Elektroden anliegende Spannung umgepolt, sobald sich das Proton zum ersten Mal im Inneren des Duanten  $D_1$  befindet.

- Erläutern und begründen Sie unter diesen Bedingungen die Bewegung eines Protons beginnend bei der Protonenquelle.
- Skizzieren Sie seine Bahn (in Abbildung 2 gestrichelt) bis zum erstmaligen Austritt aus dem Duanten  $D_2$ .

1.3. Die Aufenthaltsdauer eines Protons in einem Duanten kann mit folgender Beziehung berechnet werden:

$$t_D = \frac{\pi \cdot m_p}{q \cdot B} \quad \text{mit } m_p = \text{Masse des Protons}, q = \text{Ladung des Protons}, B = \text{magn. Feldstärke}$$

- Leiten Sie diese Beziehung begründet her.
- Begründen Sie, warum die Aufenthaltsdauer nicht vom Radius abhängt und daher der Radius nicht in der angegebenen Beziehung vorkommt.

1.4. Die Geschwindigkeit des Protons soll jetzt schrittweise erhöht werden. Dazu wird an die Duanten eine Wechselspannung mit einer konstanten Frequenz angelegt.

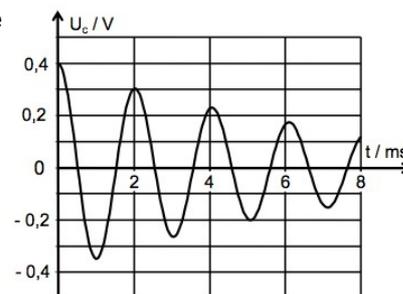
- Begründen Sie anhand der oben angegebenen Beziehung für die Aufenthaltsdauer  $t_D$ , dass durch Anlegen einer Wechselspannung mit einer konstanten Frequenz eine schrittweise Erhöhung der Geschwindigkeit möglich ist. (Hinweis: Da die Breite des Spalts zwischen den Duanten klein gegen ihren Durchmesser ist, kann die Beschleunigungszeit im Spalt dabei vernachlässigt werden.)
- Berechnen Sie begründet – unter Einbeziehung der Einheitenumformung – die Frequenz  $f$  der Wechselspannung, wenn die Stärke  $B$  des Magnetfeldes 1,5 T beträgt.



**Der elektromagnetische Schwingkreis** Der em. Schwingkreis bildet die technische Grundlage für die Erzeugung em. Wellen, die vielfache Anwendungen in der Nachrichten und Informationstechnologie finden.

An einen Kondensator mit der Kapazität  $C=300\mu F$  ist zunächst die Spannung  $U_0=0,40V$  angelegt. Die Stromquelle wird danach abgetrennt und der Kondensator über eine Spule mit der Induktivität  $L=0,35mH$  entladen. Während des Entladens wird der zeitliche Verlauf der Spannung  $U_C$  am Kondensator mit einem Oszilloskop dargestellt.

- 2.1. Fertigen Sie eine Schaltskizze zur Durchführung des obigen Versuchs an.
- 2.2. Leiten Sie die Thomsonsche Schwingungsgleichung für die Berechnung der Schwingungsdauer des Schwingkreises her:  $T=2\pi\sqrt{LC}$   
*(Tipp: Sie können einen geeigneten Energieansatz verwenden oder mit dem 2. Kirchhoffschen Gesetz („Maschenregel“) eine Differentialgleichung aufstellen oder mit Hilfe der Resonanzbedingung zur Lösung ansetzen.)*
- 2.3. Berechnen Sie die Schwingungsdauer  $T$  dieses zunächst als ideal angenommenen Schwingkreises.
- 2.4. Nehmen Sie an, dass während der ersten zwei Perioden der Schwingung die Energie im Schwingkreis konstant bleibt. Berechnen Sie unter dieser Annahme den maximalen Spulenstrom  $I_0$  in diesem Zeitraum.
- 2.5. Zeichnen Sie für die Annahmen aus Teilaufgabe 2.4. den Verlauf der Kondensatorspannung  $U_C$  und des Spulenstroms  $I_L$  in ein  $t$ - $U_C$ - bzw.  $t$ - $I_L$ - Diagramm. Begründen Sie, warum  $U_C$  und  $I_L$  nicht gleichzeitig ihre Maximalwerte annehmen.
- 2.6. Das nebenstehende Diagramm zeigt den realen Verlauf von  $U_C$ . Geben Sie zu den folgenden Aussagen an, ob sie richtig oder falsch sind und begründen Sie jeweils kurz Ihre Antwort.
  - a) Nach 2,5 Perioden ist die Energie im Schwingkreis auf etwa 25 % der Anfangsenergie abgesunken.
  - b) Das Produkt aus  $U_C$  und  $I_L$  ist zeitlich konstant.
  - c) Die Spule erwärmt sich.



Konstanten siehe Formelsammlung

&

Einheiten

Viel Spaß und Erfolg!