

- 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 Spaltes 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 Spaltes zwischen ihnen wirkt. Vom Einfluss der Schwerkraft soll abgesehen werden.

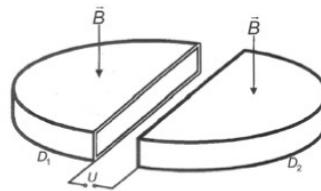


Abbildung 1a

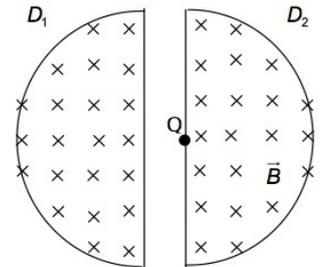


Abbildung 1b: Ansicht von oben (Draufsicht)

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.

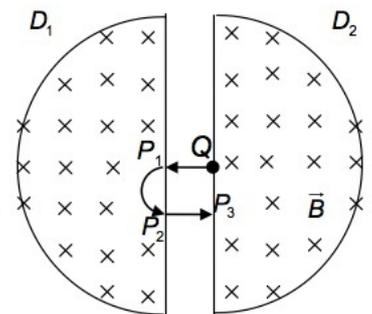


Abbildung 2

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.

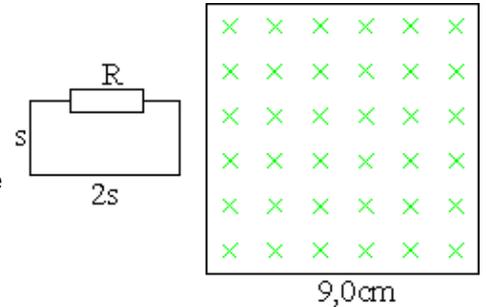
1.4. Die Geschwindigkeit des Protons soll jetzt schrittweise erhöht werden. Dazu wird an die Duanten eine Wechselspannung mit einer konstanten Frequenz angelegt.

- 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 Spaltes 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.



Induktion 1831 entdeckte Michael Faraday das Phänomen der elektromagnetischen Induktion bei seinem Bemühen, die Funktionsweise eines Elektromagneten (elektrischer Strom erzeugt ein Magnetfeld) umzukehren (Magnetfeld erzeugt Strom). Zur Erklärung des Phänomens gibt es zwei alternative Modelle: auf der Grundlage der Lorentzkraft auf bewegte Ladungen oder mit Hilfe der Änderung des magnetischen Flusses.

Ein homogenes Magnetfeld mit der Flussdichte $B=0,80\text{ T}$ steht senkrecht zur Zeichenebene und ist dort auf ein quadratisches Gebiet der Kantenlänge $9,0\text{ cm}$ begrenzt. Durch dieses wird ein rechteckiger Drahtrahmen mit dem Widerstand $R=4,0\ \Omega$ (Abmessungen siehe Skizze, $s=3,0\text{ cm}$) mit der konstanten Geschwindigkeit $v=1,5\text{ cm/s}$ von links nach rechts gezogen. Die Zeitmessung beginnt, wenn der rechte Rand des Drahtrahmens den Magnetfeldbereich berührt. Nach der Zeitspanne 12 s wird der Drahtrahmen in einer vernachlässigbar kleinen Zeit abgebremst, erneut beschleunigt und wiederum 12 s lang mit $v=1,5\text{ cm/s}$ in die entgegengesetzte Richtung bewegt.



2.1. Berechnen Sie die verschiedenen Induktionsspannungen, die im Zeitintervall $0 \leq t \leq 24\text{ s}$ am Widerstand R auftreten, und fertigen Sie ein t-U-Diagramm für diesen Zeitraum an.

2.2. Berechnen Sie die Beträge der Kräfte, die durch die Induktion während dieses Zeitraums auf den Drahtrahmen wirken, und geben Sie deren Richtungen mit Begründung an.

Nun wird die Anordnung so aufgestellt, dass der Drahtrahmen mit dem Widerstand frei durch das Magnetfeld fallen kann.

2.3. Erläutern Sie qualitativ, wie der Fall des Drahtrahmens durch das Magnetfeld beeinflusst wird. Die Magnetfeldlinien sollen dabei die Fläche des Drahtrahmens senkrecht durchsetzen.

Welchen Einfluss auf die Bewegung hat eine Verdopplung des Widerstandswertes von R ?

