

- 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!)
- Lesen Sie die Aufgaben zunächst alle einmal und beginnen Sie dann mit der für Sie einfachsten Aufgabe!

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.

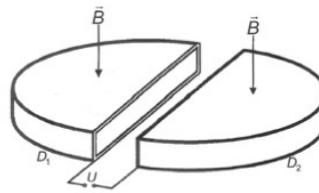


Abbildung 1a

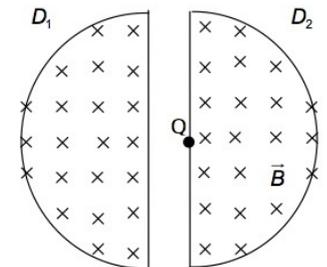


Abbildung 1b: Ansicht von oben (Draufsicht)

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.

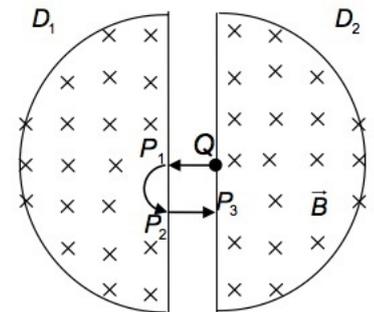


Abbildung 2

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:

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

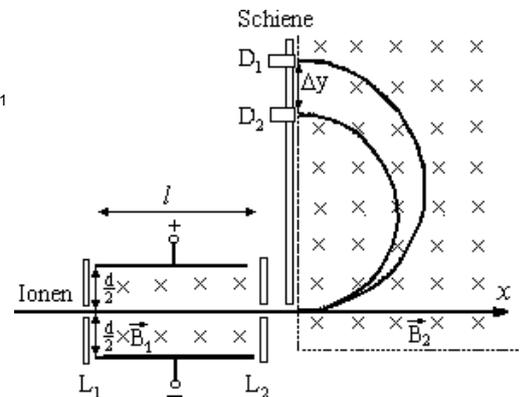
- Leiten Sie diese Beziehung begründet her.
- Begründen Sie, warum die Aufenthaltsdauer nicht vom Radius abhängt und daher der Radius nicht in der angegebenen Beziehung vorkommt.

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.

Massenspektroskopie Ein Massenspektroskop ist ein wichtiges Messinstrument in Chemie und Kernphysik. Es besteht im Wesentlichen aus einem Wienfilter und einem Raum mit einem weiteren Magnetfeld und einem Detektoraufbau, wie z.B. in der nebenstehenden Abbildung dargestellt. (Der Detektor kann auch aus einer Fotoplatte bestehen.)

Ein Gemisch aus einfach positiv geladenen Kohlenstoffionen¹ ^{12}C und ^{14}C tritt durch eine Lochblende L_1 in einen Plattenkondensator mit dem Plattenabstand $d=2,0\text{ cm}$ und der Länge $l=4,0\text{ cm}$ ein. Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum. Das Magnetfeld mit der Feldstärke B_1 ist zunächst abgeschaltet; an den Platten liegt die Spannung U .



2.1. Skizzieren Sie die Bahnen der Kohlenstoffionen unterschiedlicher Masse, aber gleicher Geschwindigkeit zwischen L_1 und L_2 . Begründen Sie, welche Bahn welchem Isotop zuzuordnen ist. (Tipp: Betrachten Sie die Bewegung als ungestörte Überlagerung einer unbeschleunigten Bewegung in x - und einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in y -Richtung.)

2.2. Die Ionen treten nun mit einer Mindestgeschwindigkeit $v=1,5 \cdot 10^5\text{ m/s}$ in den Kondensator ein. Wie groß darf die Spannung am Kondensator höchstens sein, damit die Ionen nicht auf die Kondensatorplatten treffen? Berechnen Sie auch die dabei maximal auftretende Erhöhung der kinetischen Energie (in eV). (Tipp: siehe Tipp zu 2.1.)

Am Kondensator liegt nun die Spannung $U=700\text{ V}$. Die Feldstärke B_1 soll so eingestellt werden, dass alle Ionen mit der Geschwindigkeit $v_0=2,5 \cdot 10^5\text{ m/s}$ den Kondensator unabgelenkt durchqueren.

2.3. Berechnen Sie B_1 und begründen Sie, dass Ionen beider Kohlenstoffisotope den Kondensator durch die Blende L_2 verlassen.

Das Magnetfeld rechts von L_2 hat die Feldstärke $B_2=0,14\text{ T}$. Die Teilchen, die den Kondensator verlassen, durchlaufen zwei Halbkreise.

2.4. Zeigen Sie, dass für den Abstand Δy der beiden Punkte, an denen die Ionen das Magnetfeld wieder verlassen, gilt:

$$\Delta y = \frac{2 \cdot (m_{^{14}\text{C}} - m_{^{12}\text{C}}) \cdot v_0}{e \cdot B_2}$$

2.5. Berechnen Sie Δy .

Konstanten & Einheiten siehe Formelsammlung

Viel Spaß und Erfolg!

TEILCHENBESCHLEUNIGER (WÜRTENDER KONDENSATOR)



1 Kohlenstoff besitzt immer 6 Protonen, ^{12}C hat darüberhinaus 6 Neutronen und ^{14}C 8 Neutronen im Kern. Die Masse von Neutronen und Protonen ist fast identisch, man findet sie in jeder gut sortierten Formelsammlung, die Masse der Elektronen kann man vernachlässigen.