

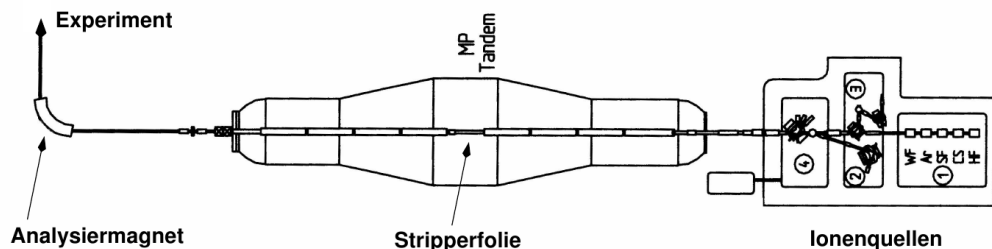
**Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik I**  
**Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik**  
**Wintersemester 2013/14**

Blatt Nr. 10

12. Dezember 2013

### Aufgabe 1 Tandem-Beschleuniger

Bei einem Tandem-Beschleuniger werden zunächst einfach negativ geladene Ionen erzeugt. Diese durchlaufen einmal die Beschleunigungsspannung. Danach treffen sie auf eine Stripperfolie, in der Elektronen abgestreift werden. Die nun positiv geladenen Ionen durchlaufen die gleiche Beschleunigungsspannung noch einmal. Der Tandembeschleuniger des Maier-Leibnitz-Labors in Garching hat eine maximale Terminalspeisung von 14 MV.



- Welche maximale Energie kann für p, d,  $^4\text{He}$  ( $\alpha$ -Teilchen) bzw.  $^7\text{Li}$  erreicht werden (vollständige Ionisation in der Strippingfolie kann angenommen werden)?
- Schätzen sie mit dem Bohrkriterium ab, bis zu welchem Element eine vollständige Ionisation in der Stripperfolie noch erreicht werden kann. Das Bohrkriterium besagt, dass beim Durchgang von Atomen bzw. Kernen mit der Geschwindigkeit  $v_{ion}$  durch Materie Elektronen aus denjenigen Bindungszuständen mit großer Wahrscheinlichkeit herausgeschlagen werden, in denen ihre mittlere Geschwindigkeit kleiner als  $v_{ion}$  ist.

In einfacher Näherung gilt empirisch:

$$\bar{q} \approx \frac{v_{ion}}{v_0} \sqrt{Z} \quad \text{mit} \quad v_0 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar}$$

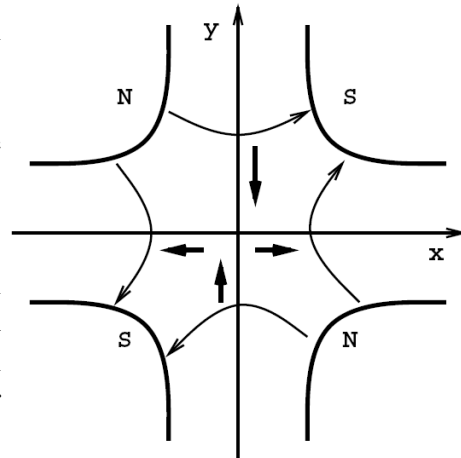
$v_0$  der Bohr'schen Geschwindigkeit des im Atom umlaufenden Elektrons und  $\bar{q}$  den mittleren erreichbaren Ladungszustand.

- Am Tandembeschleuniger in Garching soll ein  $^{238}\text{U}$ -Strahl bei der maximalen Terminalspeisung von 14 MV beschleunigt werden (unter realen Bedingungen ist der Ladungszustand  $13^+$  am häufigsten). Um die gewünschte Teilchensorte (im richtigen Ladungszustand) auszuwählen, wird der Strahl mit Hilfe des Analysiermagneten um  $90^\circ$  umgelenkt (max. Biegekraft  $B \cdot r \approx 1.6 \text{ Tm}$ ). Reicht das für den oben genannten Strahl aus?
- Die Limitierung durch die Biegekraft des Analysiermagneten läßt sich teilweise umgehen, wenn auch auf Kosten der erreichbaren Strahlintensität. (Tipp: Nach der Beschleunigungsstrecke im Tank kann ein weiterer Folienstripper hinzugeschaltet werden). Diskutieren sie wie man dies erreicht.

## Aufgabe 2 Strahlfokussierung

In einem Speicherring für Elektronen werden zur Strahlfokussierung Quadrupolmagnete eingesetzt. Für den Feldverlauf eines solchen Quadrupols gilt  $B_x = b_0 y$ ;  $B_y = b_0 x$ ;  $B_z = 0$  ( $b_0 = \text{const.}$ ). Die Flugrichtung der Teilchen sei in Richtung der  $z$ -Achse.

- Zeigen Sie, dass ein Quadrupolmagnet in einer Ebene **fokussierend** und in der anderen Ebene **defokussierend** wirkt.
- Geben Sie die Brennweite  $f$  eines Quadrupolmagneten abhängig von seiner Länge  $l$  (in Strahlrichtung) und dem Teilchenimpuls  $p$  an. Welcher Wert  $f$  ergibt sich für  $b_0 = 5 \text{ T/m}$  und eine Länge von  $l = 30 \text{ cm}$  für Elektronen mit  $E = 50 \text{ GeV}$ ?
- Wie kann man eine Fokussierung des Teilchenstrahls in beiden Ebenen erreichen?



## Aufgabe 3 : Beschleuniger

- Der Elektron-Positron-Speicherring LEP des CERN bei Genf (Krümmungsradius der Ablenkmagnete  $3 \text{ km}$ ) wurde im Jahr 2000 bei einer Schwerpunktsenergie von  $208 \text{ GeV}$  betrieben. Wie stark muss das Magnetfeld für die Strahlführung sein? Welchen Energieverlust pro Umlauf erleidet ein Strahlteilchen durch die Synchrotronstrahlung? Welche Beschleunigungsspannung musste installiert werden, um eine Schwerpunktsenergie von  $800 \text{ GeV}$  zu halten?
- Im selben LEP Tunnel wurde der Proton-Proton-Collider LHC aufgebaut, der eine Schwerpunktsenergie von  $14 \text{ TeV}$  erreichen soll. Wie groß sind hier die Synchrotronstrahlungsverluste pro Umlauf? Wie stark muss das Feld der Ablenkmagnete sein?
- Am geplanten Elektron-Positron Linear Collider ILC (TESLA) soll mit Hilfe von zwei gegeneinander gerichteten Beschleunigungsstrecken von je  $12 \text{ km}$  Länge eine Schwerpunktsenergie von  $800 \text{ GeV}$  erreicht werden. Wie groß muss der Energiegewinn pro Länge  $dE/dx$  sein? Wieviel Teilchenenergie geht dabei in Form von Synchrotronstrahlung verloren?
- Der vorgeschlagene Myonen-Collider soll einen Umfang von  $2,5 \text{ km}$  besitzen und eine Schwerpunktsenergie von  $1,5 \text{ TeV}$  erreichen. Wie groß wären hier die Synchrotronstrahlungsverluste pro Umlauf? Wie stark müsste das Feld der Ablenkmagnete sein?