

---

# Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik I

Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik  
Wintersemester 2012/13

---

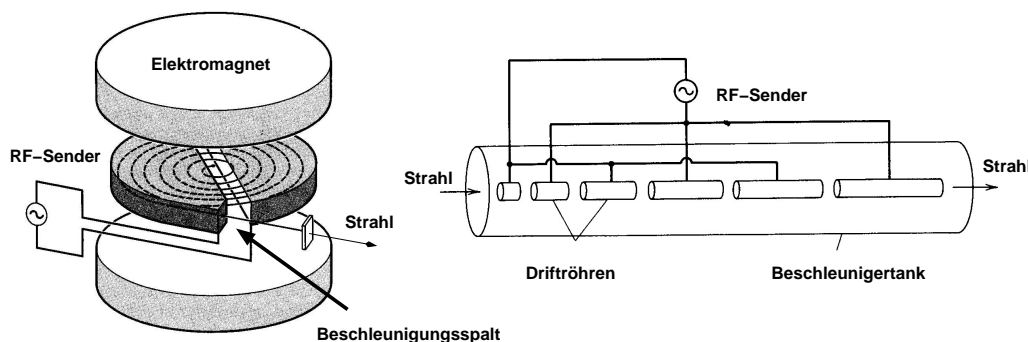
Blatt Nr. 12

16. Januar 2013

## Aufgabe 1 : Beschleuniger

- Der Elektron-Positron-Speicherring LEP des CERN bei Genf (Krümmungsradius der Ablenkmagnete 3 km) wurde im Jahr 2000 bei einer Schwerpunktsenergie von 208 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 GeV zu halten?
- Im selben LEP Tunnel wurde der Proton-Proton-Collider LHC aufgebaut, der eine Schwerpunktsenergie von 14 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 km Länge eine Schwerpunktsenergie von 800 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 km besitzen und eine Schwerpunktsenergie von 1,5 TeV erreichen. Wie groß wären hier die Synchrotronstrahlungsverluste pro Umlauf? Wie stark müsste das Feld der Ablenkmagnete sein?

## Aufgabe 2 : RF-Beschleuniger



Im Gegensatz zum Tandembeschleuniger werden RF-Beschleuniger (Radiofrequenz-Beschleuniger) mit Wechselspannung betrieben. Daher kann die gleiche Spannung auch mehr als zweimal durchlaufen werden. Ausserdem brauchen die Ionen nicht umgeladen werden wie im Tandembeschleuniger. Typische Bauformen sind ein Zyklotron (Abbildung, links) und ein Linearbeschleuniger (Abbildung, rechts). Im Zyklotron wird die Beschleunigungsspannung am Beschleunigungsspalt, der zweimal pro Umlauf durchlaufen wird, angelegt. Im Linearbeschleuniger findet die Beschleunigung zwischen den Driftröhren statt.

- Warum müssen die Ionen aus der Quelle gepulst in einen RF-Beschleuniger eingeschossen werden?
- Überlegen sie sich, wann die Ionenpakete relativ zur Phase der Wechselspannung eingeschossen werden müssen, damit der Beschleuniger auch beschleunigt (Phasenstabilität). Warum werden Ionen mit leicht unterschiedlicher Energie in einem RF-Beschleuniger auf die gleiche Energie "fokussiert"?
- Leiten sie eine Formel zur Berechnung der Längen der Driftröhren in einem Linearbeschleuniger für nichtrelativistische bzw. relativistische Teilchen der Masse  $m$  her.
- Das originale Zyklotron in Berkeley, erbaut von E. O. Lawrence, der dafür 1939 den Nobelpreis erhielt, hatte einen Radius von 12.5 cm und ein Magnetfeld von 1.3 T. Berechnen sie die maximale Energie für Protonen und die dazugehörige Frequenz der angelegten Wechselspannung. Mit dem späteren Ausbau zum heutigen "88-Inch Cyclotron" (Durchmesser = 88") lässt sich welche Energie für Protonen erreichen (gleiche Magnetfeldstärke angenommen)?

### Aufgabe 3 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?

