

Im vorhergehenden Kapitel haben wir gesehen, dass für hohe Geschwindigkeiten die Umpolung der Felder für die Teilchenbeschleunigung mit der Position der Teilchenbeams synchronisiert werden muss, da die relativistische Massenzunahme die konstante Zyklotronfrequenz zunichte macht. Damit geht ein wesentlicher Vorteil der Zyklotrons verloren.

Bei den relativ engen Kreisbahnen innerhalb von Zyklotrons tritt dann auch noch ein weiteres Problem auf, die Synchrotronstrahlung.

Die Zyklotronanordnung (zwei Halbschalen) war für möglichst große Dimensionen nicht mehr geeignet, sie wurde wieder durch eine Röhrenstruktur (allerdings in Kreisform) ersetzt. Dabei müssen nun aber sowohl die Beschleunigungsstrecken, als auch die Ablenkmagnete permanent an die Position und Geschwindigkeit der Teilchenpakete angepasst werden → Synchrotron Hauptbestandteile:

1. **Strahlrohr:** Querschnitt etwa so groß wie ein Handteller, die Teilchen bewegen sich hier innerhalb eines Vakuums, um nicht gebremst zu werden.
2. **Injektor:** Damit werden die Teilchen erzeugt und in das Ringsystem eingebracht (Linearbeschleuniger).
3. **Beschleunigungsstrecken:** Hier werden die Teilchen weiter beschleunigt, dies geschieht mit elektrischen Feldern in sogenannten Hohlraumresonatoren.
4. **Ablenkmagnete:** Die Lorentzkraft sorgt für die nötige Zentripetalkraft (Kreisbahn).
5. **Magnetische Linsen:** Die Teilchen gleicher Ladung stoßen sich gegenseitig ab → Bündelung nötig
6. **Kollisionszone:** Hier prallt der Strahl auf ein feststehendes Ziel oder auf einen entgegenkommenden Strahl. Detektoren registrieren die wegspritzenden Teilchen, die aus der Aufprallenergie neu entstehen.

3.7 Große Teilchenbeschleuniger

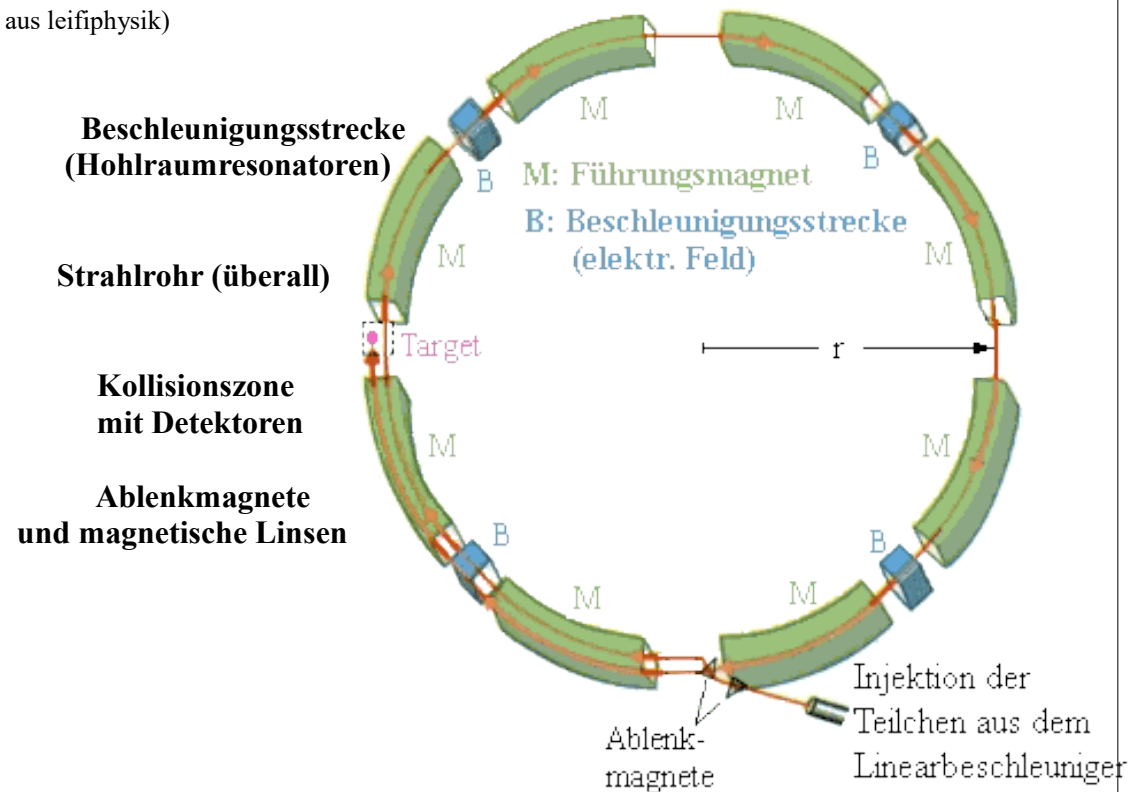
Synchrotronstrahlung

Jeder Körper, der sich auf einer gekrümmten Bahn bewegt, muss hierzu nach innen gezogen werden (Zentripetalkraft). Dies bedeutet eine nach innen gerichtete Beschleunigung (Zentripetalbeschleunigung).

Ladungen, die beschleunigt werden, **geben eine elektromagnetische Strahlung ab**. Bei den Ladungen, die wir im Beschleuniger auf eine Kreisbahn zwingen, führt das zu einem **permanenten Energieverlust (auch bei Zyklotrons)**. Diese Energieverluste können zumindest reduziert werden, wenn man den Kreisradius möglichst groß macht.

Das Synchrotron

(Abb. aus leifiphysik)



Diese Abituraufgabe von 2001 mit Lösung gibt's auf Leifiphysik unter Teilgebiet Relativitätstheorie – Spezielle Relativitätstheorie – Relativistische Masse und Impuls Aufgaben.

In einem Synchrotron bewegen sich Protonen auf einer kreisförmigen Bahn mit dem Radius $r = 100 \text{ m}$ in einer evakuierten Röhre. Das Magnetfeld von Elektromagneten hält die Protonen auf der Bahn. Vereinfachend soll hier angenommen werden, dass das Magnetfeld über dem gesamten Bereich homogen ist. Elektrische Felder, die bei jeder Umrundung neu durchlaufen werden, beschleunigen die Protonen, bis sie nahezu Lichtgeschwindigkeit erreichen. (Tabelle: $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$)

- a) Wie kann man grundsätzlich erreichen, dass die Protonen trotz zunehmender Geschwindigkeit auf derselben Kreisbahn bleiben?
- b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_1 eines Protons, wenn es erstmals die Beschleunigungsspannung von $1,0 \cdot 10^5 \text{ V}$ durchlaufen hat? Warum ist hier eine relativistische Rechnung nicht notwendig?
- c) Nach einigen einigen Umläufen haben die Protonen die Geschwindigkeit $v_2 = 2,62 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ erreicht. Berechnen Sie relativistisch die Gesamtenergie E der Protonen in GeV. Um wie viel Prozent hat sich dabei ihre Masse vergrößert? [zur Kontrolle: $E = 1,93 \text{ GeV}$]
- d) Bestimmen Sie die Flussdichte, die das Magnetfeld haben muss, damit die Protonen aus Teilaufgabe 2c auf der Bahn gehalten werden.

Selbst-Check:

- ***Aufbau Synchrotron***
- ***Hohlraumresonator, magnet. Linse, Detektor***
- ***Kollisionsexperiment***

Weitere Aufgaben findest Du auf Leifiphysik auf den bereits genannten Seiten im **Teilgebiet Relativitätstheorie- Spezielle Relativitätstheorie Aufgabenübersicht** sowie im **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Bewegte Ladungen in Feldern Aufgabenübersicht**.