

Super Proton Synchrotron

Die Teilchenpakete aus dem Proton Synchrotron werden anschließend in diesen Beschleuniger eingeschleust, das Super Proton Synchrotron. Das Super Proton Synchrotron hat einen Radius von 1100 Metern, ist also fast 7 Kilometer lang. Dementsprechend konnte dieser Beschleuniger nicht mehr auf dem CERN-Gelände untergebracht werden, er wurde deshalb in einem Tunnel unter der Erde aufgebaut. In diesem Tunnel kreisen die Protonen 21,6 Sekunden lang. In dieser Zeit werden sie auf 450 Gigaelektronenvolt, 99,9998 Prozent der Lichtgeschwindigkeit, beschleunigt.

Die roten Kästen sind die Ablenkmagnete, die die Protonen auf die Kreisbahn lenken. Bei der hohen Geschwindigkeit der Teilchen wird die Bahn auch von starken Magneten nur wenig gekrümmt, deshalb der große Radius dieses Tunnels. Der blaue Kasten weiter hinten ist allerdings weder ein Ablenkmagnet, noch eine Beschleunigungsstrecke. Dieses Bauteil ist auch ein Magnet, allerdings ein Magnet mit vier Polen, deshalb Quadrupol genannt. Wozu wird dieser benötigt? Wenn die Ablenkmagnete Fehler haben oder die Protonen mit Gasatomen der Luft zusammenstoßen, werden sie aus der Bahn geworfen und gehen beim Zusammenstoß mit der Wand des Strahlrohrs verloren. Die Quadrupol-Magnete sind dazu da, Teilchen mit der falschen Richtung wieder auf den rechten Weg zu bringen, den Teilchenstrahl also zu fokussieren.

Was passiert nun mit einem auf den Beobachter zufliegenden Elektron, das ins Feld eines Quadrupol-Magneten, also eines Magneten mit vier Polen eintritt?

- Weicht das Elektron nach rechts oder links vom Zentrum ab, so erfährt es eine zur Mitte gerichtete Lorentzkraft, was sich leicht mit der „Linken-Hand-Regel“ anhand der Magnetfeldlinien überprüfen lässt. Das Teilchen wird also wie gewünscht zur Mitte gelenkt.
- Weicht das Elektron nach oben oder unten vom Zentrum ab, so zeigt die Lorentzkraft dahingegen nach außen. In dieser Richtung wirkt der Quadrupol-Magnet also nicht fokussierend, die Teilchen werden noch weiter nach außen befördert.

[Video] Jetzt wollen wir dies im Experiment ausprobieren. Aus vier Spulen haben wir einen Quadrupol-Magneten gebaut. Mit einer Wechselspannung an den Ablenkplatten einer Braun'schen Röhre erzeugen wir einen breiten Elektronenstrahl. Dieser soll für einen auseinanderlaufenden Strahl im Teilchenbeschleuniger stehen, der vom Quadrupol fokussiert werden soll.

Geben wir Strom auf die vier Spulen unseres Quadrupols, so wird der breite Strahl schmaler, die Elektronen werden in der Mitte fokussiert.

Ändert man die Polung an den Quadrupol-Magneten, so ergibt sich ein um 90° gedrehtes Magnetfeld. In dieser zweiten Richtung wird, wie wir sehen, der Strahl nicht fokussiert, sondern aufgeweitet.

Was nützt aber die starke Fokussierung in der einen Richtung, wenn gleichzeitig eine ebenso starke unerwünschte Ablenkung in der anderen Richtung auftritt? Die Idee ist, zwei solche Quadrupol-Magnete hintereinander anzuordnen, wobei der zweite gegenüber dem ersten um 90° gedreht ist. Wie bei Linsen in der Optik folgt damit in jeder Ebene auf einen fokussierenden Quadrupol ein defokussierender, der die Teilchen sozusagen in die falsche Richtung lenkt. Insgesamt werden die Teilchen aber durch die Kombination der verschiedenen Magnete auf der Bahn gehalten.

[Live] Aus diesem Grund also sind beim Proton Synchrotron zwischen den Ablenkmagneten hin und wieder die blauen Kästen mit den Quadrupol-Magneten zu finden. Ohne diese wäre nach mehreren Umläufen nur ein Bruchteil der Protonen übrig, obwohl die Ingenieure den gleichen Trick anwenden, der auch bei sehr viel kleineren Teilchenbeschleunigern zum Einsatz kommt:

[Video] In Fernseher und Oszilloskopen, also Braun'schen Röhren, werden Elektronen beschleunigt, die auf dem Leuchtschirm einen Leuchtpunkt hinterlassen. In der Elektronenbeugungsröhre werden schnelle Elektronen auf eine Graphitfolie geschossen, um die Struktur des Graphits zu untersuchen. Bei beiden Versuchen wäre es sehr unvorteilhaft, wenn die Elektronen mit Gasatomen der Luft zusammenstoßen und gestreut werden – schließlich sollen am Schirm möglichst viele Elektronen ankommen, um ein helles Bild zu erzeugen. Deshalb sind Geräte dieser Art in einem Glaskolben untergebracht, in dem ein Vakuum erzeugt wurde. Wie bereits erwähnt, hat im Teilchenbeschleuniger der Zusammenstoß mit Gasatomen ebenfalls den Verlust von Teilchen zur Folge.

[live] Im Strahlrohr, also der Röhre, in der die Teilchen fliegen, wird deshalb bei allen Beschleunigern ein extrem hohes Vakuum erzeugt. Das Vakuum in den Teilchenbeschleunigern am CERN kommt nahe an die Bedingungen im Weltall heran, ein Volumen von 9000 m^3 , das entspricht dem einer großen Kathedrale, wird mit leistungsfähigen Pumpen leer gepumpt. Doch komplett vermeiden lässt es sich trotzdem nicht, dass einige Gasatome im Strahlrohr zurückbleiben und den beschleunigten Protonen im Weg sind. Die blauen Quadrupol-Magnete des Super Proton Syn-

chrotrons, die abgelenkte Teilchen wieder zurück auf die Bahn zurückbringen, sind deshalb unverzichtbar.