

Physik III - Übungsblatt 2

SS2006, Universität Heidelberg

Ausgabe am 3.5.2006
Besprechung am 11.5.2006

Die Relativitätstheorie und ihre Konsequenzen für das tägliche Leben vieler Physiker oder Experimente an Beschleunigern und Speicherringen

Zur Lösung der folgenden Aufgaben benötigen Sie keine Kenntnisse der Wirkungsweise von Beschleunigern oder Speicherringen und auch keine Kenntnisse der Eigenschaften der Synchrotronstrahlung. Es geht nur darum zu verstehen, welche Konsequenzen die Spezielle Relativitätstheorie für Experimente mit schnell bewegten Objekten hat.

2.1 Colliding beams

In einem Experiment an einer „Collider“ genannten Beschleunigeranlage treffen Elektronen und Positronen in einem zentralen Stoß antiparallel aufeinander („Colliding beams“). Die Gesamtenergie der Teilchen beträgt im Laborsystem S jeweils 10,22 GeV, woraus folgt $\gamma = 2 \cdot 10^4$. Im Laborsystem bestehen die Elektronen- bzw. Positronenstrahlen aus einzelnen Paketen (sog. „Bunches“) mit der Länge $L = 2$ mm und dem Durchmesser $D = 1$ mm.

- Wie groß sind Länge L' und Durchmesser D' eines Bunches für einen Beobachter, der sich in einem Paket befindet (Bezugssystem S')?
- Wie groß sind für ihn Länge L'' und Durchmesser D'' des ihm entgegenkommenden Bunches?

2.2 Die Synchrotronstrahlung

Ein Elektron bewegt sich mit der Gesamtenergie von 5 GeV ($\gamma = 9785$) durch einen Elektronenspeicherring, in dem es durch Magnetfelder auf eine Kreisbahn gehalten wird.

- Wie ist Elektronengeschwindigkeit β im Laborsystem?
- Die Beschleunigung des Elektrons aufgrund der Ablenkung in den Magnetfeldern führt zur Emission von elektromagnetischer Strahlung, die im Ruhesystem S' des Elektrons senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung und zur Magnetfeldrichtung erfolgt. Diese Strahlung bezeichnet man als Synchrotronstrahlung. Wie groß ist der Winkel zwischen der momentanen Geschwindigkeit des Elektrons und der Emissionsrichtung der Strahlung im Laborsystem?
- Zeigen Sie durch Rechnung, dass die Geschwindigkeit der Synchrotronstrahlung gleich c ist.

2.3 Der relativistische Dopplereffekt

In modernen Schwerionenbeschleunigern kann man Ionen fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigen und in Ringen speichern. Gespeicherte Ni - Ionen emittierten elektromagnetische Strahlung mit der Wellenlänge $\lambda_0 = 0,16$ nm in ihrem Ruhesystem S' . Die im Laborsystem S beobachtete Wellenlänge sei λ . Betrachten wir diese Strahlung bei der Ionengeschwindigkeit $\beta = 0,5$.

- Wie groß ist die im Labor gemessene Wellenlänge λ unter einem Beobachtungswinkel von 0° (longitudinale Verschiebung)?
- Wie groß ist die transversale Verschiebung der Wellenlänge (Beobachtung unter 90° zur Bewegungsrichtung der Ionen) ausgedrückt in % der Wellenlänge λ_0 ?
- Wie verhält sich die transversale Verschiebung im nichtrelativistischen Fall $v/c \ll 1$?