

Übung 11

zur Vorlesung im SS 2009

Detektoren in der Elementarteilchenphysik

11.1 Der Ring Imaging Cherenkov Detektor (RICH) des HERA-B Experiments

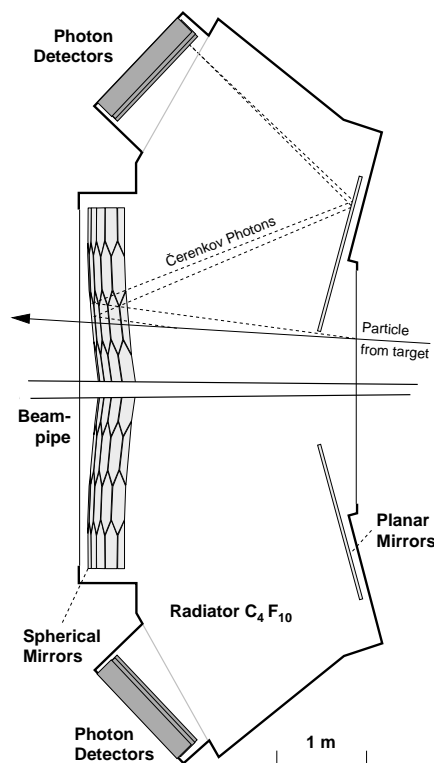


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des RICH-Detektors in HERA-B

In einem Ring Imaging Cherenkov Detektor (RICH) wird die Cherenkov-Strahlung, die von einem geladenen Teilchen emittiert wird, durch ein entsprechendes Abbildungssystem als Ring abgebildet (siehe Abbildung 1).

- a) Erläutern Sie das Abbildungsprinzip anhand von Abbildung 1. Welche Funktionen haben die verschiedenen Spiegel?

Der Ring wird mit einer Matrix aus Photomultipliern aufgenommen. Der Cherenkov-Winkel θ - und damit die Teilchengeschwindigkeit β - wird dann aus dem Radius r des Ringes bestimmt.

Der bei HERA-B eingesetzte RICH ist mit dem Gas C_4F_{10} gefüllt, welches einen Brechungsindex von $n = 1.00153$ besitzt. Die Größe der Photomultiplier-„Pixel“ beträgt $8 \times 8 \text{ mm}^2$. Im folgenden sollen nun die wesentlichen Beiträge zur Geschwindigkeitsauflösung σ_β bestimmt werden. Betrachten Sie zunächst dazu nur ein einzelnes Photoelektron, mit dem man bereits zusammen mit der Richtung der Spur den Cherenkov-Winkel bestimmen kann:

- b) Fehler in der Ortsbestimmung: Wie groß ist der Fehler im Radius σ_r , bedingt durch die Größe der Photomultiplier-„Pixel“? Welcher Winkelfehler σ_θ resultiert daraus, wenn die Brennweite des Spiegels 6 m beträgt? Berechnen Sie daraus den Fehler bei der Bestimmung der Geschwindigkeit $\sigma_\beta^{\text{ort}}$ des Teilchens.
- c) Chromatischer Fehler: Der Brechungsindex n ist abhängig von der Energie der Cherenkov-Photonen. Eine Näherung für diese Abhängigkeit ist gegeben durch $dn/dE = 5.3 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^{-1}$. Berechnen Sie den Beitrag des chromatischen Fehlers zum Geschwindigkeitsfehler $\sigma_\beta^{\text{chrom}}$. Die Breite der Energieverteilung der Cherenkov-Photonen sei gegeben durch $\sigma_E = 0.41 \text{ eV}$. Geben Sie an, wie σ_E abgeschätzt werden könnte.
- d) Gesamtfehler: Zu diesen Beiträgen kommen noch die Fehler durch die Optik des Spiegels, sowie Unsicherheiten in der Spurrekonstruktion. Diese Fehler $\sigma_\beta^{\text{spur}}$ seien im folgenden durch $\sigma_\beta^{\text{spur}} = 1.5 \cdot 10^{-5}$ gegeben. Addieren Sie die Einzelfehler, um den Gesamtfehler σ_β zu bestimmen und berechnen Sie β und σ_β/β für Pionen, Kaonen und Protonen bei den Impulsen $10 \text{ GeV}/c$ und $100 \text{ GeV}/c$.

Für eine zuverlässige Bestimmung des Radius ist mehr als ein Photoelektron notwendig. Eine nützliche Parametrisierung für die Anzahl der optischen Photonen N , die pro Weglänge L in einem RICH erzeugt werden, ist:

$$\frac{N}{L} = 490 \sin^2 \theta_c \text{ cm}^{-1}$$

- e) Wie viele Photoelektronen N werden im Mittel gemessen, wenn die Effizienz des Gesamtsystems für die Erzeugung von Photoelektronen 8.5% und die Länge des RICH-Detektors $L = 2.8 \text{ m}$ beträgt? In welchen Energiebereichen lassen sich in diesem Fall Pionen und Kaonen, sowie Kaonen und Protonen mit einer Signifikanz von $3\sigma_\beta$ voneinander trennen? Wie wird der Gesamtfehler durch die Photonenstatistik beeinflusst?

Literatur: I. Arino et al., „The HERA-B ring imaging Cherenkov counter“, Nucl. Instrum. Meth. A **516** (2004) 445, arxiv: hep-ex/0303012v1.

Besprechung am Donnerstag 09.07.2009, in der Übung