

## Übung 11

zur Vorlesung im SS 2009

### Detektoren in der Elementarteilchenphysik

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

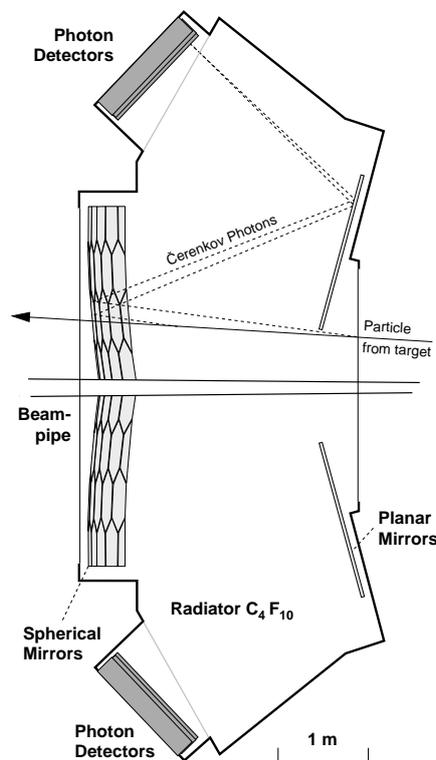


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des RICH-Detektors in HERA-B

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  $\theta$  - und damit die Teilchengeschwindigkeit  $\beta$  - 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  $\sigma_\beta$  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  $\sigma_r$ , bedingt durch die Größe der Photomultiplier-„Pixel“? Welcher Winkelfehler  $\sigma_\theta$  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  $\sigma_E$  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  $\sigma_\beta$  zu bestimmen und berechnen Sie  $\beta$  und  $\sigma_\beta/\beta$  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