

# Experimentelle Methoden der Teilchenphysik

Markus Schumacher

## Übungsblatt V

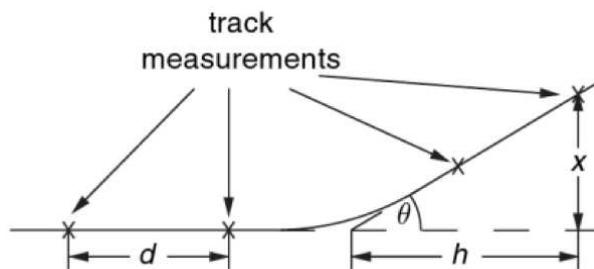
Martin Flechl, Anna Kopp, Stan Lai

08. Juni 2012

### Anwesenheitsaufgaben

#### Aufgabe 22 *Impulsmessung*

Betrachten Sie die folgende Abbildung, die vier Positionen auf einer Spur darstellt. Der Abstand zwischen zwei Messungen ist jeweils  $d$ .



Ein Magnetfeld verursacht eine Krümmung der Spur um einen Winkel  $\theta$ . Zwei Positionsmessungen werden vor der Krümmung durchgeführt und zwei Positionsmessungen danach.

- (i) Zeigen Sie, dass der Krümmungsradius  $\rho$  einer Spur mit Impuls  $p$  gegeben ist durch:

$$\rho = \frac{p}{eB}$$

wobei  $e$  die Ladung des Teilchens ist und  $B$  die Stärke des Magnetfelds, wenn die Richtung des Magnetfeldes senkrecht ist zum Impuls des Teilchens.

- (ii) Für  $\rho \gg L$ , wobei  $L$  die Magnetlänge ist, zeigen Sie, dass

$$\theta \simeq \frac{L}{\rho} = \frac{L}{p} eB$$

sodass

$$\frac{\sigma_p}{p} = \frac{\sigma_\theta}{\theta}$$

wobei  $\sigma_p$  und  $\sigma_\theta$  die Fehler auf  $p$  und  $\theta$  sind.

- (iii) Für die Messungen in der Abbildung, zeigen Sie, dass

$$\sigma_\theta = \frac{2\sigma_x}{d}$$

für kleine Winkel  $\theta$ . Hier ist  $\sigma_x$  der Fehler auf die jeweilige Positionsmessung.

- (iv) Zeigen Sie, dass die Auflösung des Impulses gegeben ist durch:

$$\frac{\sigma_p}{p} = \frac{2\sigma_x}{d} \frac{p}{LeB} = \frac{p \text{ [GeV]}}{0.3L \text{ [m]} B \text{ [T]}} \frac{2\sigma_x}{d}$$

**Aufgabe 23** *Zeitprojektionskammer*

Zeitprojektionskammern wurden in vielen LEP Experimenten (DELPHI, ALEPH, etc.) benutzt. Erläutern Sie, warum sie nicht auch für den ATLAS oder CMS Detektor am LHC benutzt werden. (*Hinweis:* Die typische Driftgeschwindigkeit in einer Zeitprojektionskammer ist  $5 \text{ cm}/\mu\text{s}$ . Was ist anders an den Operationsbedingungen bei LEP im Vergleich zum LHC?)

## Hausaufgaben

### Aufgabe 24 *Driftkammern*

5 Punkte

Die Wahl eines Gases für eine Driftkammer ist sehr wichtig.

- (i) Unterschiedliche Gase haben unterschiedliche Driftgeschwindigkeiten. Erläutern Sie die Vorteile eines Gases mit hoher beziehungsweise niedriger Driftgeschwindigkeit.
- (ii) Sie haben eine Driftkammer mit einem Gas mit konstanter Driftgeschwindigkeit. Die Verteilung der Positionen der ionisierten Teilchen hat eine Standardabweichung von

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{2DL}{u}}$$

wenn die Driftgeschwindigkeit gleichmäßig ist. Hier ist  $L$  die Driftlänge,  $D$  ist der Diffusionskoeffizient und  $u$  die Driftgeschwindigkeit. Was ist der Fehler auf die Position des ursprünglichen Elektrons, wenn  $n$  Elektronen durch die Ionisationslawine erzeugt werden?

- (iii) Wenn eine Driftlänge von 5 cm eine Auflösung von  $100 \mu\text{m}$  ergibt, welche Driftlänge ist nötig, um eine Auflösung von  $10 \mu\text{m}$  zu erreichen?

### Aufgabe 25 *Geiger-Müller Zählrohr*

6 Punkte

Sie haben Proportionalzählrohre und Geiger-Müller Zählrohre in der Vorlesung diskutiert. In einem Geiger-Müller Zählrohr können zwei Teilchen, die es gleichzeitig durchqueren, nicht aufgelöst werden. Nehmen Sie an, dass eine radioaktive Quelle eine Reaktionsrate von  $\lambda$  hat.

- (i) Wann ist ein Geiger-Müller Zählrohr besser geeignet als ein Proportionalzählrohr? Warum? Wann ist ein Proportionalzählrohr besser geeignet? Warum?
- (ii) Zeigen Sie, dass die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb einer Zeit  $T$  keine Reaktion stattfindet, gegeben ist durch:

$$P(T) = e^{-\lambda T}$$

*Hinweis:* Die Wahrscheinlichkeit entspricht einer Poissonverteilung.

- (iii) Wenn die Zeitauflösung (die Zeitdifferenz, die nötig ist, um zwischen zwei unterschiedlichen Ereignissen zu unterscheiden) eines Geiger-Müller Zählrohres  $\Delta T = 0.1 \text{ s}$  ist, wie muss man die gemessene Rate bei einer Quelle mit  $\lambda = 1 \text{ Hz}$  korrigieren, um gleichzeitige Ereignisse zu berücksichtigen?

### Aufgabe 26 *Grenzwert der Reaktionsrate*

5 Punkte

Sie messen mit einem Geiger-Müller Zählrohr die Rate  $\lambda$  einer radioaktiven Quelle, die allerdings sehr gering ist. Sie beobachten sogar kein Ereignis innerhalb einer Zeit  $T$ .

Das Konfidenzintervall, dass  $0 < \lambda < \lambda_0$  für einen Grenzwert  $\lambda_0$  mit Wahrscheinlichkeit  $P$  ist gegeben durch

$$\lambda_0 = -\frac{1}{T} \ln(1 - P).$$

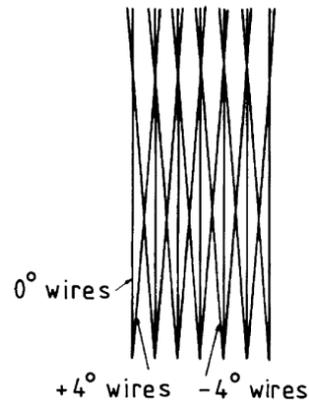
Nehmen Sie an, dass Sie 100 g von  $^{82}\text{Se}$  haben und innerhalb von zwei Wochen keine Ereignisse beobachtet haben.

- (i) Wie viele  $^{82}\text{Se}$  Kerne gibt es in 100 g?
- (ii) Was ist der Grenzwert  $\lambda_0$  für  $P = 0.95$ ? (Nehmen Sie an, dass die Detektoreffizienz 100% ist.)
- (iii) Was ist der entsprechende Grenzwert für die mittlere Lebensdauer  $\tau$  beziehungsweise für die Halbwertszeit  $t_{1/2}$ ?

**Aufgabe 27 Stereodraht**

**4 Punkte**

Betrachten Sie die folgende Abbildung einer zylindrischen Drahtkammer. (Die  $z$  Koordinate zeigt nach oben.)



- (i) Erläutern Sie, warum Stereodrähte nötig sind, um eine Messung der  $z$ -Position der Spur durchzuführen.
- (ii) Wie hängen in einer zylindrischen Drahtkammer die Auflösungen  $\sigma_{r,\phi}$  der  $r, \phi$  Koordinaten mit der Auflösung  $\sigma_z$  der  $z$ -Koordinate als Funktionen des Stereowinkels zusammen?
- (iii) Wenn  $\sigma_{r,\phi} = 50\mu\text{m}$  und die Stereowinkel  $2^\circ$  sind, wie ist die Auflösung der  $z$ -Position?