

Übungen Flavourphysics

WS 23/24

Übungsblatt Nr. 4

Abgabe bis 18.12.2023, 10:00 Uhr

Aufgabe 1: Tracking in der Spurkammer

(13 Punkte)

In einer Driftkammer werden Anoden- oder Sensitivdrähte und Kathodendrähte aufgespannt. Die ganze Kammer wird mit einem Gas gefüllt, z.B. 50% Ethan, 50% Helium. Wenn nun geladene Teilchen durch die Driftkammer fliegen, ionisieren sie das Gas, wie in der Abbildung 1 dargestellt.

a) Warum sind die Anodendrähte die Sensitivdrähte? Was passiert nach der Ionisation mit den Elektronen und Ionen? Warum kommt es in den Sensitivdrähten zu einem messbaren Strom, obwohl die Zahl der durch die Ionisation freigesetzten Elektronen sehr gering ist (z.B. $25\ e^-/\text{cm}$ in einem Helium basierten Gasgemisch)? Schlagen Sie Kriterien vor, nach denen die Gasmischung bestimmt werden soll! Diskutieren Sie auch die Konsequenzen auf Signaldichte aus kontinuierlich einströmenden Untergrundteilchen, Präzision der Impulsmessung und die Möglichkeiten aufgrund der Ladungsdeposition auf die Teilchenidentität zu schließen (mit der in Abbildung 2 angedeuteten Methode). Diskutieren Sie, wie die Unsicherheit auf die Driftlänge, die aus der Driftzeit abgeleitet wird, von der Driftlänge selbst abhängt. Welchen Effekt hat ein magnetisches Feld parallel zu den Drähten auf die Driftbahn der Elektronen? Welcher Effekt muss bei sehr langen Driftlängen eventuell noch zusätzlich berücksichtigt werden (z.B. in Zeitprojektionskammern, mehr Infos z.B. unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeitprojektionskammer>)?

Die wichtigste Funktion der Driftkammer ist die Messung des Transversalimpulses. Das geschieht durch die Messung der Krümmung ($= 1/R$) in einem Magnetfeld und der Gleichung

$$p[\text{GeV}/c] \cos \lambda \approx 0.3zB[\text{T}]R[\text{m}],$$

mit dem Magnetfeld B in Tesla, dem Radius R in Metern, z der Ladung des Teilchens in Einheiten der Einheitsladung e , p dem Impuls in GeV/c , und dem Neigungswinkel λ , so dass $p \cos \lambda$ dem Transversalimpuls entspricht. Die Unsicherheit δk auf die Messung der Krümmung hat zwei Komponenten:

$$(\delta k)^2 = (\delta k_{res})^2 + (\delta k_{ms})^2.$$

Die erste Komponente kann durch die Glückstern-Formel genähert werden, wenn man entlang der Spur $N > 10$ uniform verteilte Messungen mit einer Positionsunsicherheit ϵ , und einer auf die Beugungsebene projizierten Länge der Spur von L' annimmt.

Die Formel lautet:

$$\delta k_{res} = \frac{\epsilon}{L'^2} \sqrt{\frac{720}{N+4}}.$$

b) Erklären Sie die Proportionalitäten!

Denken Sie sich die Spur dazu als einen sehr großen Kreis um $(X, Y) = (0, R)$ und starten Sie eine Taylorentwicklung um $(0, 0)$, um den Effekt einer Messung bei einem kleinen Wert von x zu erfassen. Verwenden Sie dabei ab der ersten Ableitung die Näherung $R \gg x$. Ein Messpunkt entspricht nun etwa einer Messung $(L', y_M \pm \epsilon)$. Berechnen Sie die Krümmungsauflösung für $N = 56, L' = 1 \text{ m}, \epsilon = 100 \mu\text{m}$. Wie oben diskutiert ist die erwartete Einzelhitauflösung verschieden für verschiedene Driftlängen. Spielt die konkrete Berücksichtigung der unterschiedlichen Auflösung der Einzelhits eine Rolle für die Krümmungsauflösung der Spur? Angenommen, die Hälfte der Hits haben eine Auflösung von $\epsilon = 75 \mu\text{m}$ und die andere Hälfte eine Auflösung von $125 \mu\text{m}$. Wie ist nun die Krümmungsauflösung?

c) Den zweiten Term δk_{ms} (ms steht für multiple scattering/Vielfachstreuung und entspricht einer elektromagnetischen Wechselwirkung mit dem Kern) kann man wie folgt nähern:

$$\delta k_{ms} \approx \frac{(0.016)(\text{GeV}/c)z}{Lp\beta \cos^2 \lambda} \sqrt{\frac{L}{X_0}},$$

wobei p der Impuls des Teilchens in $[\text{GeV}/c]$, z die Ladung des Teilchens in Einheiten der Elementarladung e , L die totale Länge der Spur des Teilchens, X_0 die Strahlungslänge des Streumediums, und β der kinematischen Variable v/c entspricht. Siliziumdetektoren haben eine sehr präzise Ortsauflösung, allerdings deutlich mehr Material pro Messpunkt als Driftkammern. Erklären Sie, wie Sie einen Spurdetektor für i) eine B-Fabrik und ii) einen Linearkollider bei einer Schwerpunktsenergie von einem TeV entwerfen würden.

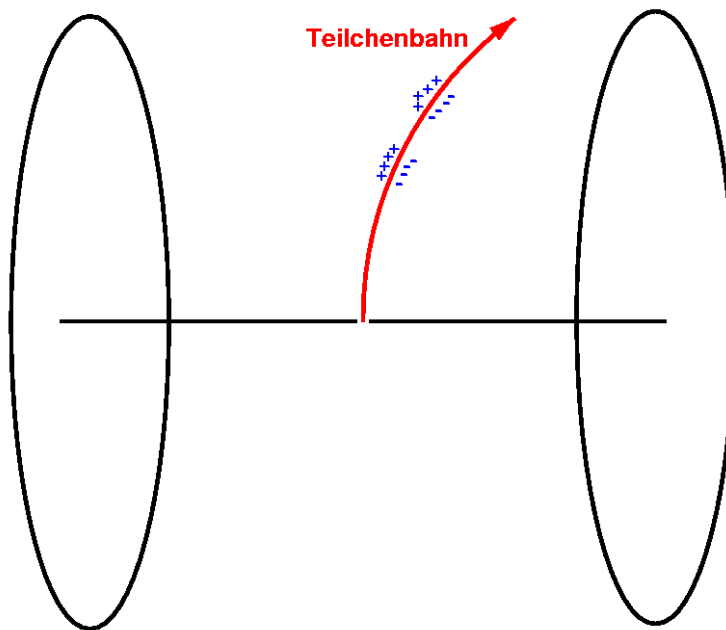


Abbildung 1: Prinzip einer Driftkammer.

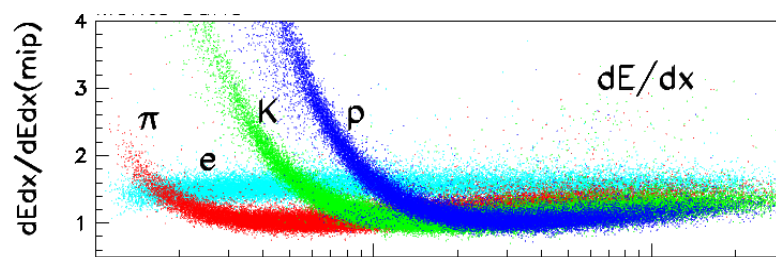


Abbildung 2: Energiedeposition pro durchflogener Strecke in einer typischen Driftkammer.