

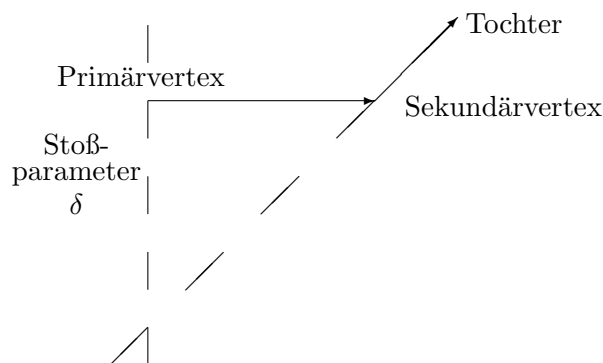
6. Übungsblatt zur Vorlesung Experimentelle Elementarteilchenphysik

Abgabe: Montag, 29. Juni 2009, in der Vorlesung

Aufgabe 17:

(14 Punkte)

Ein Teilchen mit Impuls p und Masse m ($p \gg m$) werde am Primärvertex erzeugt und zerfalle nach einer mittleren Lebensdauer τ an einem Sekundärvertex. Der Zerfall soll dadurch nachgewiesen werden, dass die Spur wenigstens eines der Tochterteilchen den Primärvertex signifikant verfehlt, also einen Stoßparameter $\delta \neq 0$ besitzt.



- i) Am Tevatron werden Top-Quarks primär paarweise und in guter Näherung in Ruhe erzeugt. Welche Flugstrecke legen die aus dem dominierenden Top-Zerfallsprozess $t \rightarrow W^+ b$ stammenden, zu B -Mesonen hadronisierten b -Quarks im Laborsystem zurück?

Hinweis: Schätzen Sie den mittleren Impuls des b -Quarks ab und besorgen Sie sich selbst die weiteren benötigten Zahlenwerte.

- ii) Nehmen Sie als Beispiel an, dass das B -Meson in seinem Ruhesystem isotrop in zwei Töchter zerfällt, deren Massen zu vernachlässigen sind (Welche Bedingung muss dazu erfüllt sein?). Zeigen Sie $\langle \delta \rangle = \frac{\pi}{2} c\tau$, wobei τ die mittlere Lebensdauer und c die Lichtgeschwindigkeit ist. Wie groß ist $\langle \delta \rangle$ für die Teilchen in i)?

Hinweis: Nehmen Sie zunächst an, dass das B -Meson im Ruhesystem unter dem Polarwinkel θ^* relativ zur Flugrichtung zerfällt. Berechnen Sie dann den Polarwinkel θ im Laborsystem zu

$$\theta \simeq \frac{\sin \theta^*}{1 + \cos \theta^*} \cdot \frac{1}{\gamma}$$

mit $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$. Berechnen Sie hieraus δ , und mitteln Sie dann über die Zerfallszeit im Labor (T) und über θ^* .

- iii) Welche Auflösung im Stoßparameter δ muss der Detektor haben, um auf die Zerfälle in ii) signifikant empfindlich zu sein? Nehmen Sie an, Sie könnten zwei Detektorlagen in unmittelbarer Nähe zum Strahlrohr (Tevatron: Radius 1,3 cm) anbringen. Die radialen Koordinaten der Detektorlagen seien $r_1 = 1,5$ cm und

$r_2 = 2,5 \text{ cm}$. Welche Ortsauflösung müssen diese Vertexdetektoren besitzen, um ihr physikalisches Ziel zu erreichen? Falls Sie eine geeignete Detektortechnologie kennen, beschreiben Sie diese kurz.

Hinweis: Zur groben Abschätzung der benötigten Auflösung können die Einflüsse von eventuellen Detektor-Magnetfeldern am Wechselwirkungspunkt vernachlässigt werden.

- iv) Vertexdetektoren zum Nachweis von B - oder τ -Zerfällen waren und sind an vielen Detektoren im Einsatz, z. B. bei ARGUS ($p \simeq 5 \text{ GeV}$), den LEP-Detektoren ($p \simeq 50 \text{ GeV}$), am Tevatron und am LHC. All diese Vertexdetektoren sind ähnlich und haben vergleichbare Ortsauflösungen. Wieso sind alle trotz der völlig unterschiedlichen Energiebereiche gleich gut geeignet?

Aufgabe 18:

(12 Punkte)

Betrachten Sie den Übergang eines B -Mesons ($|B\rangle = |\bar{b}d\rangle$) in ein \bar{B} -Meson ($|\bar{B}\rangle = |b\bar{d}\rangle$):



Dabei stehen stehen die Fermionlinien für Quarks verschiedener Flavours.

- i) Ergänzen Sie die Bilder: Welchen Quarks entsprechen die externen Linien? Welche Feldquanten können ausgetauscht werden? Welche Quarkflavours können Sie einsetzen?
- ii) Die Diagramme enthalten vier schwache Kopplungen und sind somit von höherer Ordnung. Gibt es auch Diagramme niedrigerer Ordnung, d. h. mit Austausch nur eines Feldquants? Begründen Sie Ihre Antwort.
- iii) Schreiben Sie in alle beitragenden Diagramme die relevanten CKM-Parameter an die Kopplungspunkte.
- iv) Zeigen Sie, dass die Summe aller Diagramme verschwände, wenn alle Quarks identische Massen hätten, bzw. wenn der in der Schleife umlaufende Impuls sehr groß gegen alle Quarkmassen ist.
- v) Die B - \bar{B} -Oszillationen wurden 1987 am DESY erstmals experimentell beobachtet. Sie sind überraschend stark ausgeprägt (etwa 17% aller erzeugten B -Mesonen zerfallen als \bar{B} -Mesonen). Haben Sie eine Vermutung, welche der obigen Diagramme besonders stark zu diesem Effekt beitragen könnten? Begründen Sie Ihre Antwort. Hinweis: Beachten Sie Aufgabenteil iv).
- vi) Betrachten Sie semileptonische Zerfälle des b -Quarks im B -Meson bzw. \bar{B} -Meson. Zeigen Sie, dass die Ladung des Leptons eine Unterscheidung zwischen B und \bar{B} erlaubt.
- vii) In der e^+e^- -Vernichtung bei $\sqrt{s} \simeq 10,6 \text{ GeV}$ werden resonant $\Upsilon(4S)$ -Zustände hergestellt. Diese zerfallen in zwei B -Mesonen: $\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$. Wie könnte man die B -Oszillationen nachweisen, wenn beide B -Mesonen semileptonisch zerfallen? Welche Detektorkomponenten werden hierfür benötigt?