

Name:

Gruppe:

Aufgabenblatt 3 (TP) - Physik V - WS 2013/2014

Diskussion/Abgabe: 7./8. 11. 2013 in den Übungsgruppen

Aufgabe 3.1: Feynman-Graphen verschiedener Prozesse (1 Punkt)

Zeichnen Sie einen möglichen Feynman-Graphen der **dominanten Wechselwirkung** für die folgenden Teilchenreaktionen:

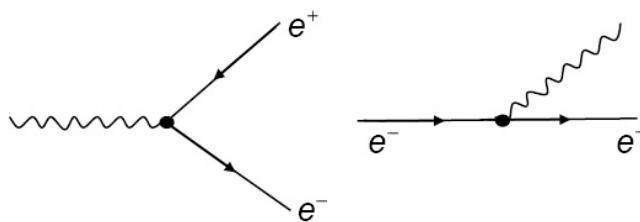
1. $\mu^+ e^- \rightarrow \mu^+ e^-$
2. $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ e^-$
3. $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
4. $\tau^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$
5. $\Delta^{++} \rightarrow p\pi^+$

Betrachten Sie die Reaktionen mit Hadronen auf dem Quarkniveau.

Hinweis: Diskutieren Sie zuerst, um welche Wechselwirkung es sich bei der Reaktion handelt. Bei Reaktionen, die sowohl über die elektromagnetische als auch über die starke Wechselwirkung möglich sind, ist letztere aufgrund der größeren Kopplungskonstanten dominant.

Aufgabe 3.2: Bremsstrahlung und Paarproduktion (1 Punkt)

In der folgenden Abbildung sind die beiden Feynman-Graphen für Paarbildung, d.h. für die Konversion eines Photons in ein freies Elektron und Positron, und für Bremsstrahlung, d.h. Abstrahlung eines Photons von einem freien Elektron gezeigt.



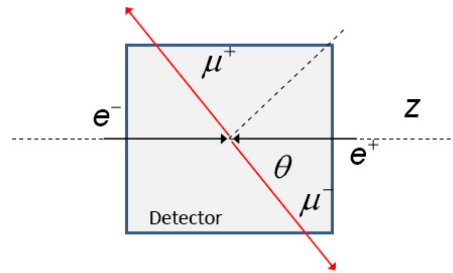
- a) Zeigen Sie, dass die beiden Prozesse, so wie sie skizziert sind, d.h. mit freien Fermionen, kinematisch nicht stattfinden können. Benutzen Sie dazu die Annahme von 4er-Impulserhaltung und die Massen der beteiligten Teilchen.
- b) Bremsstrahlungs- und Paarbildungsprozesse benötigen also zur 4er-Impulserhaltung eine Wechselwirkung mit einem weiteren Streupartner, typischerweise mit dem Kern eines Atoms der Materie, in der die Prozesse stattfinden. Zeichnen Sie für beide Prozesse einen möglichen Feynmangraphen, der diese Wechselwirkung berücksichtigt.

Aufgabe 3.3: Messung der Myonpaarproduktion (1 Punkt)

Für die Myonpaarproduktion $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ wird der differentielle Wirkungsquerschnitt als Funktion des polaren Streuwinkels θ (Winkel zwischen der Richtung des einlaufenden e^- und des erzeugten μ^-) gegeben durch:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{(\alpha\hbar c)^2}{4E_{CMS}^2} (1 + \cos^2 \theta)$$

Die Größe E_{CMS} bezeichnet die Schwerpunktsenergie, für die häufig auch das Symbol \sqrt{s} verwendet wird. Diese Reaktion wird an einem Speicherring, in dem Elektronen einer Energie von 15 GeV mit Positronen gleicher Energie kollidieren, untersucht. Um den Wechselwirkungspunkt der Elektronen befindet sich ein Detektor, der die Myonpaare für Streuwinkel $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$ nachweisen kann (s. Skizze).



- Berechnen Sie den mit dem Detektor sichtbaren Wirkungsquerschnitt.
- Das Produkt aus Teilchenfluß Φ_1 des Elektronenstrahls und der Teilchenanzahl N_2 des Positronenstrahls wird als Luminosität bezeichnet und wird bei Kollidern als ein Maß zur Beschreibung der Teilchenflüsse benutzt. Für den verwendeten Beschleuniger betrage die Luminosität $\mathcal{L} = \Phi_1 \cdot N_2 = 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Geben Sie die Rate negativ geladener Myonen an, die im Nachweisvolumen des Detektors registriert werden.
- Die maximale Luminosität, die bisher am LHC erreicht wurde, beträgt $7.5 \times 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Der Proton-Proton Wechselwirkungsquerschnitt bei der momentanen LHC-Schwerpunktsenergie von 8 TeV beträgt etwa 100 mb. Welcher maximalen Ereignisrate entspricht dieser Wirkungsquerschnitt?

Aufgabe 3.4: Wirkungsquerschnitt und freie Weglänge (1Punkt)

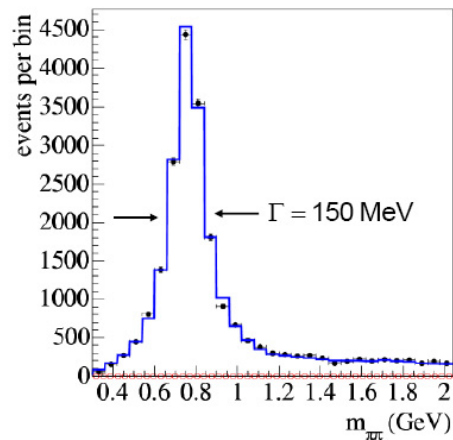
Um den Proton-Strahl am LHC in einer Notsituation gefahrlos "loszuwerden", wird er auf ein Kohlenstofftarget (^{12}C , $\rho = 2.265 \text{g/cm}^3$) geschossen. Nehmen Sie einen p- ^{12}C Wirkungsquerschnitt von $\sigma = 230 \text{mb}$ an. Wie dick muß das Target mindestens sein, damit weniger als 1 ppm der Protonen das Target ohne Wechselwirkung durchfliegen?

Verständnisfragen / Fragen zur Diskussion

- Ein neues Teilchen x^{--} habe bis auf die doppelte Ladung die gleichen Eigenschaften wie ein Elektron. Wie groß ist die Übergangsamplitude bzw. die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit der Reaktion $x^{++} + x^{--} \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ relativ zur Reaktion $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$?
- In der Reaktion $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ strahle eines der beteiligten Fermionen ein Photon ab, so dass man im Endzustand ein zusätzliches Photon beobachtet: $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^- + \gamma$. Wie sieht der

Feynman-Graph dieser Reaktion aus. Was können Sie über die Wahrscheinlichkeit dieser Reaktion im Vergleich zur Reaktion ohne zusätzliches Photon sagen? Was können Sie über das Quadrat des Vierer-Impulses des Austauschphotons bzw. des Bremsstrahlungsphotons sagen?

- c) Die Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung sind die massiven W^\pm - und Z-Bosonen. Schätzen Sie aus der Boson-Masse die Reichweite der Wechselwirkung ab.
- d) Europa hat eine Fläche von $10.2 \times 10^6 \text{ km}^2$. Welchem Raumwinkelanteil der Erdkugel entspricht diese Fläche?
- e) Zwei harte Kugeln mit den Radien $R_1 = 1 \text{ cm}$ und $R_2 = 3 \text{ cm}$ werden aufeinander geschossen. Wie groß ist der Wirkungsquerschnitt für die elastische Streuung der beiden Kugel? Diskutieren Sie den elastischen Stoß beim Poolbillard ($R = 28.5 \text{ mm}$). Kann man hier von einem Wirkungsquerschnitt sprechen?
- f) In der Vorlesung wurde die folgende Messung gezeigt:



Hierbei handelt es sich um die Verteilung der invarianten Masse zweier Pionen ($\pi^+\pi^-$), die mit dem BABAR-Detektor registriert wurden. Augenscheinlich stammt der Großteil der Pionen aus dem Zerfall eines instabilen Teilchens mit einer Masse von etwa $770 \text{ MeV}/c^2$. Schätzen sie aus der Massenverteilung die Lebensdauer des instabilen Teilchens ab. Um welche Wechselwirkung handelt es sich bei diesem Zerfall? Vergleichen Sie hierzu, die typischen Lebensdauern anderer Zerfälle, die sie kennen. Was sind hier die “natürlichen Linienbreiten”?