

Aufgabenblatt 3 (TP) – Experimentalphysik V – WS 2015/16

Diskussion in den Übungen: Do/Fr, 5./6. November

3.1 Positronen-Emissions-Tomographie (1 Punkt)

Bei der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) annihilieren Positronen und Elektronen und es entstehen jeweils zwei 511 keV-Photonen, die einen Winkel von 180° zueinander bilden. Die beiden Photonen definieren eine Linie, auf der der Ort der Paarvernichtung liegt. Dadurch lässt sich die räumliche Verteilung einer mit einem β^+ -Strahler markierten Substanz bestimmen. Die Streuung eines hochenergetischen Photons an einem Elektron wird Compton-Streuung genannt. Dabei ändern sich Richtung und Energie des Photons, wodurch es bei der PET zu einer Signalreduktion kommt.

Der totale Compton-Wirkungsquerschnitt für 511 keV-Photonen beträgt pro Elektron etwa 0,3b. Mit welcher Wahrscheinlichkeit verlässt ein 511 keV-Photon, das eine Strecke von 10 cm im Körpergewebe zurücklegt, den Körper ohne Compton-Streuprozess?

Hinweis: Ersetzen Sie in der Rechnung das Körpergewebe der Einfachheit halber durch Wasser.

3.2 Differentieller Wirkungsquerschnitt (1 Punkt)

In einem Streuexperiment treffen pro Sekunde 8×10^{10} Strahlteilchen auf ein Aluminium-Target (Massenzahl Aluminium $A = 27$) der Dicke $d = 2.7 \text{ mg/cm}^2$. Für den differentiellen Wirkungsquerschnitt ist bekannt, dass er sich durch

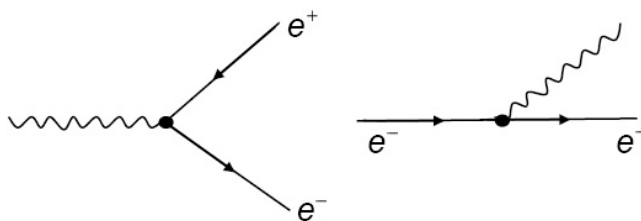
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = a + b \cos^2 \theta$$

beschreiben lässt, wobei Ω der Raumwinkel und θ der Streuwinkel ist. Ein Detektor, der eine Fläche von 0.01 m^2 abdeckt und 6 m vom Target entfernt steht, zeigt eine Zählrate von 500 s^{-1} für $\theta = 30^\circ$ und 400 s^{-1} für $\theta = 45^\circ$.

- Welche Werte haben die Parameter a und b ?
- Wie groß ist der totale Wirkungsquerschnitt?

3.3 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.



- 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.
- 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.

3.4 Feynman-Graphen verschiedener Prozesse (1 Punkt)

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

a) $e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$

d) $\phi \rightarrow K^+ + K^-$

b) $\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^-$

e) $\Delta^{++} \rightarrow p + \pi^+$

c) $J/\psi \rightarrow e^+ + e^-$

f) $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$

Betrachten Sie die Reaktionen mit Hadronen auf dem Quarkniveau.

Zusatzaufgabe: Higgs-Produktion am LHC (1 Extrapunkt)

Bei einem Fixed-Target-Experiment wird das Produkt $\mathcal{L} = \phi N_t$ aus der Flussdichte ϕ der Strahlteilchen und der Anzahl N_t der Target-Teilchen im Strahlprofil *Luminosität* genannt. Die Luminosität ist der Faktor, der die Reaktionsrate \dot{N}_s mit dem totalen Wirkungsquerschnitt σ verknüpft: $\dot{N}_s = \sigma \mathcal{L}$. Diese Beziehung gilt analog auch für Speicherringe, bei denen entgegenlaufende Teilchenbündel kollidieren. Die Luminosität ist in diesem Fall durch die Anzahl der Teilchen pro Bündel, die Querschnittsfläche der Bündel und die Frequenz der Bündel-Kollisionen gegeben.

Im Jahr 2012 wurden am LHC Proton-Proton-Kollisionen bei einer Schwerpunktsenergie von $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ untersucht. Der totale Wirkungsquerschnitt für die Produktion von Higgs-Bosonen beträgt bei dieser Energie $\sigma_{pp \rightarrow H} = 33 \text{ pb}$.

- Die maximale Luminosität betrug 2012 $\mathcal{L} = 7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Wie viele Higgs-Teilchen werden bei dieser Luminosität pro Sekunde an einem Kollisionspunkt erzeugt?
- Die über einen Zeitraum integrierte Luminosität $\mathcal{L}_{\text{int}} = \int \mathcal{L}(t) dt$ betrug 2012 für das ATLAS- und CMS-Experiment jeweils ca. 20/fb, d. h. für einen Prozess mit einem Wirkungsquerschnitt von 1 fb erwartet man im Mittel 20 Ereignisse. Wie viele Higgs-Bosonen wurden 2012 im ATLAS- bzw. CMS-Experiment erzeugt?