

Kern- und Teilchenphysik, Monobachelor Physik

Humboldt-Universität zu Berlin, Wintersemester 2018/2019,

Prof. Dr. H. Lacker, Dr. C. Scharf, J. Krieg

Hausaufgabenblatt 11

Aufgabe 1: Produktion von W -Bosonen

In hochenergetischen p - p - bzw. p - \bar{p} -Kollisionen können W^\pm -Bosonen in der Quark-Antiquark-Annihilation erzeugt werden. Dabei besitzt das q und das \bar{q} in der Kollision jeweils ein Impulsbruchteil x_1 bzw. x_2 am jeweiligen (Anti-)Protonimpuls. Am $Spp\bar{S}$ -Speicherring, in dem p und \bar{p} mit jeweils 270 GeV Strahlenergie frontal aufeinander geschossen wurden, wurden die W -Bosonen 1983 erstmals nachgewiesen. Am Large Hadron Collider (LHC) wurden 2012 zwei Protonstrahlen mit jeweils 4 TeV Strahlenergie frontal aufeinander geschossen.

- Zeichnen Sie die Feynman-Diagramme niedrigster Ordnung für die Produktion von W^+ - und W^- -Bosonen und deren Zerfälle in leptonische Endzustände. Betrachten Sie für ihre Betrachtungen nur Quarkflavours unterhalb der Strangequarkmasse. (1 Punkt)
- Welche Bedingung muß das Produkt $x_1 \cdot x_2$ für die Erzeugung eines W -Bosons erfüllen? Berechnen Sie dazu die notwendige Schwerpunktsenergie des Quark-Antiquark-Systems mit Hilfe von x_1 und x_2 und der Proton-(Anti-)Proton-Schwerpunktsenergie und vernachlässigen Sie (Anti-)Protonmassen (1 Punkt)
- Wir nehmen nun an, dass das q bzw. das \bar{q} in der Kollision jeweils den gleichen Impulsbruchteil x trägt. Wie groß muß x mindestens sein, damit man W -Bosonen am $Spp\bar{S}$ bzw. am LHC produzieren kann? (1 Punkt)
- Die Valenzantiquarkverteilungen im Antiproton sind gleich den Valenzquarkverteilungen im Proton. Die Seequarkverteilungen sind in beiden Fällen gleich. Argumentieren Sie mit Hilfe der Quarkverteilungsfunktionen, warum die Wirkungsquerschnitte für W^+ - bzw. W^- -Produktion am p - \bar{p} -Speicherring gleich, aber am p - p -Speicherring verschieden sind. (2 Punkte)

Aufgabe 2: Starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkung

Begründen Sie, welche der folgenden Reaktionen bzw. Zerfälle über die starke, schwache oder elektromagnetische Wechselwirkung ablaufen (4 Punkte):

- | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| a) $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ | b) $\pi^- p \rightarrow \Sigma^0 K^0$ | c) $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ |
| d) $K^{*0} \rightarrow K^0 \pi^0$ | e) $\Lambda \rightarrow n \pi^0$ | f) $e^+ e^- \rightarrow \tau^+ \tau^-$ |
| g) $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ | h) $\rho^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ | |

Bitte wenden!

Aufgabe 3: e^+e^- -Annihilation

1. Zeigen Sie, dass für hohe Energien t und u als Funktion des Streuwinkels im Schwerpunktsystem gegeben werden durch $t = -2\vec{p}_A^2(1 - \cos\theta) = -4\vec{p}_A^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} = -s \sin^2 \frac{\theta}{2}$ bzw. $u = -2\vec{p}_A^2(1 + \cos\theta) = -4\vec{p}_A^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} = -s \cos^2 \frac{\theta}{2}$, wenn \vec{p}_A z. B. der Dreierimpuls eines der einlaufenden Teilchen ist. (2 Punkte)
2. Zeigen Sie, indem Sie nur das Betragsquadrat des Matrixelements betrachten, dass bei s -Kanal-Photonenaustausch der differentielle Wirkungsquerschnitt vorwärts-rückwärts-symmetrisch ist: $\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto (1 + \cos^2\theta)$. (1 Punkt)
3. Wie wird sich der integrierte Wirkungsquerschnitt für $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ in der Nähe von $\sqrt{s} = M_{Z^0}$ verhalten, wenn der Z -Austausch dominiert und der Photon-Austausch vernachlässigt werden kann? (1 Punkt)
(Tipp: Bilden Sie das Betragsquadrat des Z -Propagators und setzen Sie $\sqrt{s} = M_Z$ außer im Differenzterm $s - M_Z^2$.)
4. Zeichnen Sie die zwei möglichen Feynmandiagramme niedrigster Ordnung für $e^-e^- \rightarrow e^-e^-$ und begründen Sie damit, warum der differentielle Wirkungsquerschnitt vorwärts-rückwärtssymmetrisch (also invariant unter $\theta \rightarrow \pi - \theta$) sein muss. Betrachten Sie dazu als Analogie $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ und tauschen Sie die Mandelstam-Variablen s , t und u entsprechend in der Formel für das Betragsquadrat des Matrixelements aus. (2 Punkte)

Abgabe: 14.01.2019 bis 13:00 vor Raum NEW 15 1'413/414