

# Experimentelle Elementarteilchenphysik I: Hausaufgaben

Humboldt-Universität zu Berlin, Sommersemester 2017

Prof. Dr. H. Lacker

## Übungsblatt 5 (Besprechung: 23.05.2018)

### Aufgabe 1: Existenz des Topquarks aus $A_{FB}^b$

Aus dem Vergleich der Messung der Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrie  $A_{FB}^b$  für  $e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow b\bar{b}$  bei LEP mit der Standardmodellvorhersage für  $A_{FB}^b$  konnte man auf die Existenz des Topquarks als schwachen Isospinpartners des  $b$ -Quarks schliessen, ohne etwas über die Masse des Topquarks wissen zu müssen.

- Zeigen Sie mit Hilfe des Messwertes für  $A_{FB}^b$  aus der Vorlesung, dass das  $b$ -Quark einen schwachen Isospinpartner mit  $T = 1/2$  besitzen muss.
- Welche zwei Parameterwerte muss man für diesen Schluss noch kennen und aus welchen Observablen kann man sie bestimmen?

### Aufgabe 2: $W$ -Erzeugung und Zerfall am Hadron-Collider

Betrachten Sie die  $W$ -Erzeugung in  $\bar{p}p$ -Kollisionen in der Reaktion  $u\bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+\nu_e$ .

- Welche der folgenden Größen sind mit einem realistischen Detektor meßbar?

$$p_{eL}, \vec{p}_{eT}, E_e, p_{\nu L}, \vec{p}_{\nu T}, E_\nu$$

(L = longitudinale Richtung entlang der Strahlachse, T = transversale Richtung). Begründen Sie Ihre Antwort!

- Zeigen Sie für den Fall in Ruhe erzeugter  $W$ -Bosonen, dass der Jacobian Peak für die Variable  $r = M_T/M_W \in [0, 1]$  gegeben ist durch:  $\frac{dN}{dr} \propto \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}(1 + \sqrt{1-r^2})^2$
- Argumentieren Sie mit Hilfe der Paritätsverletzung, dass die Positronen aus dem  $W^+$ -Zerfall bevorzugt in die Flugrichtung des Antiprotons emittiert werden. (Hinweis: Betrachten Sie dafür die Produktion über Valenzquarks.)

### Aufgabe 3: $\tau$ -Polarisation im $Z$ -Zerfall

Bezüglich einer vorgegebenen 3-Achse sei der Drehimpulszustand  $|j, m\rangle$  gegeben. Es werde nun eine Drehung um den Winkel  $\theta$  um die 2-Achse angewendet. Dadurch geht der Zustand über in  $e^{-i\theta J_2}|j, m\rangle = \sum_{m'} d_{mm'}^j(\theta)|j, m'\rangle$ . Die sogenannten  $d$ -Funktionen,  $d_{mm'}^j(\theta)$ , finden Sie im PDG-Booklet in Kapitel 43.

Wir betrachten speziell den Zerfall  $Z \rightarrow \tau^+\tau^-$  und den sukzessiven Zerfall  $\tau^- \rightarrow \pi^-\nu_\tau$ , um mit Hilfe der Paritätsverletzung die  $\tau$ -Polarisation zu messen.

a) Betrachten Sie das  $\tau$ -Lepton in dessen Ruhesystem und den Fall, dass es bez. der  $\tau$ -Flugrichtung im Spinzustand  $|\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}\rangle$  ist.

Zeigen Sie, dass für die Zerfallsrate  $\frac{d\Gamma^+}{d\cos\theta^*}(\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau) \propto (1 + \cos\theta^*)$  gilt, wobei  $\theta^*$  der Emissionswinkel des Pions bez. der  $\tau$ -Flugrichtung ist.

Hinweis: Machen Sie sich klar, dass die Zerfallsrate im Fall der  $\nu$ -Emission entgegengesetzt zur  $\tau$ -Flugrichtung ( $\theta^* = 0$ ) maximal ist. Für  $\theta^* \neq 0$  wird der Zustand  $|\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}\rangle$  um  $\theta^*$  gedreht, so dass die Zerfallsamplitude proportional zu  $\langle \frac{1}{2}, +\frac{1}{2} | e^{-i\theta^* J_2} | \frac{1}{2}, +\frac{1}{2} \rangle$  ist.

b) Zeigen Sie, dass für diesen Fall die Pionimpulsverteilung im Laborsystem näherungsweise der Verteilung  $\frac{d\Gamma^+}{d|\vec{p}_\pi|} \propto \frac{2|\vec{p}_\pi|}{E_{beam}}$  folgt, indem Sie die Näherung  $m_\pi \ll m_\tau$  verwenden.

(Bemerkung: Analog geht man vor, um die Pionimpulsverteilung für den Spinzustand  $|\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\rangle$  zu berechnen. Man erhält:  $\frac{d\Gamma^-}{d|\vec{p}_\pi|} \propto 2 - \frac{2|\vec{p}_\pi|}{E_{beam}}$ . Nun kann man den relativen Anteil beider Verteilungen an die gemessene Verteilung anpassen, um die  $\tau$ -Polarisation zu bestimmen.)

**Abgabe:** Dienstag, 22.05.2018 up to 09:00 in box in front of room 1'415