

# Übungen zur Vorlesung

## Einführung in die theoretische Teilchenphysik

WiSe 15/16

Blatt 4

### Aufgabe 1: Kinematik des Photoelektrischen Effekts

Zeigen Sie unter Verwendung der Kovarianten Formulierung, d.h. mittels Viererimpuls, dass der photoelektrische Prozess  $\gamma(p_1) + e^-(p_2) \rightarrow e^-(p_3)$  an einem freien Elektron kinematisch nicht möglich ist. Was schließen Sie daraus?

### Aufgabe 2: Mandelstam-Variablen

Für Streuprozesse in der Form  $A + B \rightarrow C + D$  ist es von Vorteil die Mandelstam-Variablen

$$s = (p_A + p_B)^2/c^2$$

$$t = (p_A - p_C)^2/c^2$$

$$u = (p_A - p_D)^2/c^2$$

zu definieren.

- Warum sind  $s, t$  und  $u$  in allen Inertialsystemen (und damit auch im Labor und Schwerpunktsystem) gleich?
- Zeigen Sie, dass gilt:
$$s + t + u = m_A^2 + m_B^2 + m_C^2 + m_D^2$$
- Wie groß ist die Energie des Teilchens  $A$  im Schwerpunktsystem als Funktion der Mandelstam-Variablen?
- Wie groß ist die Energie von  $A$  im Ruhesystem von  $B$  (Laborsystem)?
- Berechnen Sie die Gesamtenergie vor der Streuung im Schwerpunktsystem.

### Aufgabe 3: Virtuelle Photonen

Virtuelle Photonen brauchen die Bedingung  $p_\gamma^2 = 0$  nicht zu erfüllen. Wie groß ist die Masse der virtuellen Photonen in den beiden tree-level Beiträgen zur  $e^+e^-$ -Streuung? Wie groß ist die Geschwindigkeit?

## Aufgabe 4: Cherenkov-Strahlung

Geladene Teilchen die sich in einem Dielektrikum mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegen, welche größer ist als die Phasengeschwindigkeit des Lichtes im Dielektrikum, können elektromagnetische Strahlung aussenden, die man Cherenkov-Strahlung nennt. Das Intensitätsmaximum dieser Strahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich.

- a) Ein geladenes Teilchen der relativistischen Gesamtenergie  $E$  bewege sich in einem Medium vom Brechungsindex  $n$  mit der konstanten Geschwindigkeit  $v$ . Zeigen Sie unter Zuhilfenahme von Energie und Impulssatz in relativistischer Form, daß bei Emissionen eines Cherenkov-Quants der Energie  $E_{ce} = h\nu$  in Richtung  $\theta$  zur ursprünglichen Flugrichtung gelten muss:

$$\cos(\theta) = \frac{c}{nv} \left[ 1 + (n^2 - 1) \frac{h\nu}{2E} \right] \quad (1)$$

*Hinweise: Im Medium gilt für den Impuls des Cherenkov Quants  $|\vec{p}_{ce}| = \frac{nE_{ce}}{c}$ .*

- b) Zeigen Sie daß man den zweiten Term in der Klammer vernachlässigen kann.
- c) Ein Elektron bzw. Proton bewege sich mit konstantem  $v$  im Medium vom Brechungsindex  $n$ . Wie groß ist für jedes Teilchen die minimale kinetische Energie  $T_{min}$ , bei welcher Cherenkov-Strahlung auftreten kann?
- d) Zeichnen Sie ein mögliches Feynman Diagram welches diese Mehrfachemission beschreibt, nehmen Sie dabei an, daß es sich bei obigem Teilchen um ein Elektron handelt.

Bei Fragen E-Mail an: [mfuchs@mpp.mpg.de](mailto:mfuchs@mpp.mpg.de)