

## Übung 7 zur Vorlesung Physik V

### Aufgabe 1: GZK-Cut-Off

Die Teilchen der kosmischen Strahlung bewegen sich auf dem Weg von der Quelle zum Beobachter durch die kosmische Hintergrundstrahlung. Die Photonen dieser Hintergrundstrahlung folgen der Energieverteilung eines Schwarzen Körpers mit einer Temperatur von  $T = 2,725\text{K}$ . Das Maximum der gemessenen spektralen Strahldichte liegt bei  $E_\gamma \approx 0,66\text{meV}$ .

- a) Bestimmen Sie die Schwerpunktsenergie zwischen einem Proton mit einer Energie von  $10^{20}\text{eV}$  und einem Photon der kosmische Hintergrundstrahlung mit  $1\text{meV}$ . Hinweis: Nehmen Sie an, dass sich das Photon und das Proton in entgegengesetzter Richtung bewegen. 1 (A)
- b) Für ausreichend große Schwerpunktsenergien kommt es zu inelastischen  $p\gamma$  Prozessen, bei denen z.B. eine  $\Delta^+$  Resonanz gebildet wird. Diese Prozesse besitzen einen mittleren Wechselwirkungsquerschnitt von  $300\text{mb}$ . Berechnen Sie die mittlere Wechselwirkungslänge für inelastische  $p\gamma$ -Streuung, wenn das Proton mit einer Photondichte der kosmischen Mikrowellenstrahlung von  $n_\gamma \approx 4 \cdot 10^8\text{m}^{-3}$  interagiert. Können Protonen mit dieser Energie aus anderen Galaxien zu uns gelangen? 1 (A)

### Aufgabe 2: Elektron-Proton Streuung

Elektronen mit  $E_e = 4,879\text{GeV}$  werden an ruhenden Protonen gestreut. Die Energie der gestreuten Elektronen wird unter einem Streuwinkel von  $\theta = 10^\circ$  gemessen. Die Ruheenergie der Elektronen kann vernachlässigt werden.

- a) Wie groß ist die Energie  $E'$  eines am Proton elastisch gestreuten Elektrons? 1 (B)
- b) In Abbildung 9.6 aus dem Skript erkennt man ein Maximum der Zählrate bei einer Energie der gestreuten Elektronen von  $E_e = 4,2\text{GeV}$ . Berechnen Sie den quadrierten 3-er und 4-er Impulsübertrag  $|\vec{q}|^2$  und  $q^2$ . Berechnen Sie hiermit die invariante Masse  $M$  des hadronischen Systems nach der Streuung. Um welche Nukleonanregung kann es sich dabei handeln? 2 (B)

### Aufgabe 3: Feynmandiagramme

Hinweis: Benutzen Sie die Quarkkomponenten für die Hadronen, die Sie z.B. auf den Seiten der Particle Data Group (pdg.lbl.gov) finden können.

a) Zeichnen Sie die Feynman-Diagramme der niedrigsten Ordnung für die folgenden Prozesse:

- $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$
  - $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
  - $\pi^- p \rightarrow K^0\Lambda$
  - $c\bar{c} \rightarrow d\bar{d}$
  - $b\bar{s} \rightarrow b\bar{s}$
  - $gs \rightarrow gs$
  - $gg \rightarrow t\bar{t}$
  - $\nu_e e^+ \rightarrow c\bar{s}$
  - $bW^+ \rightarrow tg$
  - $W^+W^- \rightarrow \tau^+\tau^-$
- 5 (B)**

b) Zeichnen Sie 2 erlaubte Feynman-Diagramme, die zu diesen Prozessen gehören. Die Identität der Teilchen  $\mathcal{X}_i$  dürfen Sie bestimmen.

- $e^+e^- \rightarrow \mathcal{X}_2 \rightarrow e^+e^-$
  - $q\bar{q} \rightarrow \mathcal{X}_3\tau^-\mu^+\mu^-$
  - $\gamma q \rightarrow \mathcal{X}_4 \rightarrow \gamma\mathcal{X}_5$
  - $gg \rightarrow b\bar{d}\bar{\nu}_\mu\bar{b}\mathcal{X}_6\mathcal{X}_7$
  - $\gamma\mathcal{X}_1 \rightarrow \gamma\gamma$
- 5 (B)**

### Aufgabe 4: Erhaltungssätze

**5 (C)**

Begründen Sie, weshalb folgende Reaktionen nicht erlaubt bzw. stark unterdrückt sind:

- $p + \pi^+ \rightarrow K^+ + \Lambda^0$
- $p \rightarrow n + \pi^+$
- $\Lambda^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$
- $J/\psi \rightarrow \gamma + \gamma$
- $\nu_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$
- $e^- + \gamma \rightarrow e^-$
- $\Sigma^+ \rightarrow K^+ + \Lambda^0$
- $J/\psi \rightarrow D^+D^-$
- $\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$
- $p \rightarrow e^+ + \pi^0$