

## Übung Astroteilchenphysik

Prof. Dr. Julia Tjus

Übungen: Matthias Mandelartz, Florian Schuppan (NB 7/172)

Seminarbetreuung: Matthias Mandelartz, Florian Schuppan (NB 7/172)

### Übungsblatt I

WS 12/13

Abgabe: 30.10.2012

## Aufgabe 1: Tensoren und Vektoren [10 Punkte]

Gegeben sei ein Tensor  $T^{\mu\nu}$  und einen Vektor  $V^\mu$ , mit den Komponenten

$$T^{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 5 & 3 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 \\ -2 & 2 & 1 & -2 \end{pmatrix}, \quad V^\mu = (-4, 1, 3, 2).$$

Berechnen Sie die Komponenten folgender Objekte:

- (a)  $T^\mu_\nu$
- (b)  $T_\mu^\nu$
- (c)  $T^\lambda_\lambda$
- (d)  $V^\mu V_\mu$
- (e)  $V_\mu T^{\mu\nu}$

*Hinweis:* Wir verwenden  $g_{\mu\nu} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$  als Metrik.

## Aufgabe 2: Paarbildung [10 Punkte]

Das Universum ist mit der kosmischen Hintergrundstrahlung (CMB) erfüllt. Die durchschnittliche Energie eines CMB-Photons ist  $E_{\text{CMB}} = 0.634 \text{ meV}$ . Die Anzahldichte der CMB-Photonen beträgt  $n_{\text{CMB}} = 411 \text{ cm}^{-3}$ . Hochenergetische Gammaquanten können mit den CMB-Photonen kollidieren und ein Elektron-Positron-Paar erzeugen. Der Wirkungsquerschnitt für diesen Prozess ist  $\sigma = \sigma_T/3$ . Hier ist  $\sigma_T$  der klassische Thomson-Wirkungsquerschnitt.

- (a) Welche Energie benötigen Gammaquanten, damit ihre Lebenszeit im Universum durch diesen Prozess begrenzt ist?
- (b) Welches ist die mittlere freie Weglänge für die Gammaquanten für den Paarbildungsprozess?
- (c) Diskutieren Sie, ob Gammaquanten aus Galaktischen Quellen durch diesen Prozess annihiliert werden können bevor diese die Erdatmosphäre erreichen.
- (d) Welcher teilchenphysikalische Prozess kann die Lebenszeit von ultra-hochenergetischen Protonen im CMB ( $E_p \geq 10^{20} \text{ eV}$ ) begrenzen?  
*Hinweis:* Nehmen Sie an, dass elastische Proton-Photon Streuung vernachlässigt werden kann.
- (e) Welche Quellen können Protonen zu solchen Energien beschleunigen?

## Aufgabe 3: Proton-Proton Stoß [10 Punkte]

Ein Proton mit dem Lorentzfaktor  $\gamma = (1 - \beta)^{-\frac{1}{2}}$  geht mit einem ruhenden Proton einen elastischen Stoß ein. Die Energien der Protonen sind nach dem Stoß gleich.

- (a) Wie verhalten sich die Winkel zwischen den Protonen und dem Initialimpuls im Laborsystem?
- (b) Wie groß ist der Winkel zwischen den beiden Protonen in Abhängigkeit des Lorentzfaktors  $\gamma$ ? Benutzen Sie zur Berechnung lorentzinvariante Objekte (4er-Skalarprodukte).  
*Hinweis:* Sie könnten folgende Winkelrelation gut gebrauchen:  $2 \cos^2 \frac{\theta}{2} = \cos \theta + 1$ .
- (c) Wie verhält sich der Winkel im nicht-relativistischen und hoch-relativistischen Grenzfall?