

## Übung Astroteilchenphysik

Prof. Dr. Julia Tjus

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

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

### Übungsblatt VI

WS 12/13

Abgabe: 22.01.2013

## Aufgabe 16: Quellen der kosmischen Strahlung [10 Punkte]

Auf der Erde misst man das Energiespektrum der kosmischen Strahlung als gebrochenes Potenzgesetz:

$$\frac{dN_{\text{CR}}}{dE_{\text{CR}}} = \begin{cases} A \cdot \left(\frac{E_{\text{CR}}}{10^6 \text{ GeV}}\right)^{-2.7} & 1 \text{ GeV} < E_{\text{CR}} < 10^6 \text{ GeV} \\ A \cdot \left(\frac{E_{\text{CR}}}{10^6 \text{ GeV}}\right)^{-3.0} & 10^6 \text{ GeV} < E_{\text{CR}} < 3 \cdot 10^9 \text{ GeV} \\ B \cdot \left(\frac{E_{\text{CR}}}{10^6 \text{ GeV}}\right)^{-2.7} & E_{\text{CR}} > 10^6 \text{ GeV}. \end{cases}$$

Dabei ist

$$\begin{aligned} A &= 10^{-16} \text{ GeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1} \\ B &= 0.95 \cdot 10^{-19} \text{ GeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}. \end{aligned}$$

- (a) Berechnen Sie den Energiefluss der kosmischen Strahlung,

$$j_E = \int \frac{dN_{\text{CR}}}{dE_{\text{CR}}} E_{\text{CR}} dE_{\text{CR}},$$

und berechnen Sie daraus die Energiedichte

$$\rho_E = \frac{4\pi \text{ sr}}{c} j_E, \quad (1)$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist.

- (b) Im Mittel hält sich die kosmische Strahlung  $\tau \approx 107 \text{ yr}$  in der Milchstraße auf. Berechnen Sie die gesamte Leuchtkraft der kosmischen Strahlung in Einheiten  $\text{erg/s}$  unter der Annahme, dass die Teilchen in der Milchstraße selbst beschleunigt werden.

*Hinweis:* Nähern Sie hierzu das Volumen der Milchstraße durch einen Zylinder mit Radius  $r \approx 15 \text{ kpc}$  und Höhe  $h \approx 0.3 \text{ kpc}$ .

- (c) Berechnen Sie die elektromagnetische Gesamtleuchtkraft von Supernovaresten in der Milchstraße unter den Annahmen, dass jeder einzelne Supernovarest mit  $10^{40} \text{ erg/s}$  ca. 1000 Jahre lang beiträgt und dass in der Galaxie ca. eine Supernovaexplosion alle 30 Jahre stattfindet, und diskutieren Sie, ob SNRs gute Kandidaten für die Quellen der kosmischen Strahlung sind.

## Aufgabe 17: Hadronische Gammastrahlung [10 Punkte]

- (a) Berechnen Sie die Quellfunktion der neutralen Pionen analog zur der in der Vorlesung vorgerechneten Quellfunktion der geladenen Pionen.

- (b) Berechnen Sie das Verhältnis des Photonenflusses zum Fluss der primären Myonenneutrinos, d.h. der Myon(anti)neutrinos aus dem direkten Zerfall der geladenen Pionen.

## Übung Astroteilchenphysik

Prof. Dr. Julia Tjus

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

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

WS 12/13

### Übungsblatt VI

Abgabe: 22.01.2013

- (c) Für die Berechnung des Photonen-Spektrum direkt aus den Protonen erhält man unter der Annahme, dass immer nur ein Pion erzeugt wird folgenden Ausdruck:

$$\frac{dN_\gamma}{dE_\gamma} = 2cn_H \sigma_{\text{inel,pp}} \int_{E_\gamma + m_\pi^2 c^4 / 4E_\gamma}^{\infty} \frac{j_p (m_p c^2 + E_\pi / \kappa)}{\kappa \sqrt{E_\pi^2 + m_\pi^2 c^4}} dE_\pi$$

Hier ist  $\kappa = 0.17$  der Teil der kinetischen Energie, die vom Proton auf die Photonen übergeht,  $j_p(E_p)$  das Protonenspektrum in Abhängigkeit der kinetischen Energie  $E_p$  und  $\sigma_{\text{inel,pp}}$  der inelastische Proton-Proton Wirkungsquerschnitt.

Zeigen Sie, dass Protonen mit einer kinetischen Energie von 5 GeV nur Photonen bis zu einer Energie von  $\sim 683$  MeV aussenden können.

*Hinweis:* Rechnen sie in dieser Aufgabe mit  $m_\pi c^2 \approx 140$  MeV und  $m_p c^2 \approx 938$  MeV.

### Aufgabe 18: $\gamma$ -Strahlung und $\nu$ [10 Punkte]

Bevor *Julia's ATP Explorer* sich zum Supernova Überrest *SN 7-172b* aufmachte, um dessen Schockfronten zu vermessen (siehe Übung 2), hat der Satellit das folgende differentielle Photonen-Spektrum des Supernova Überrestes nahe der Erde gemessen.

$E$ [MeV]	646	1024	1623	2573	4077	6462	10242	16232	25727	40774
$E^2 \cdot \text{Fluss}^1$	12.8	13.5	14.8	8.9	10.5	10.7	8.96	8.12	7.18	6.74
$E^2 \cdot \text{Fehler}^1$	1.4	1.3	1.2	1.1	0.99	0.90	0.82	0.75	0.68	0.62

<sup>1</sup> in Einheiten von  $10^{-6} \text{ MeV} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

- (a) Welchen Spektralindex hat das Photonenspektrum?
- (b) Welchen Spektralindex hat das Pionenspektrum unter der Annahme, dass die Gamma-Strahlung durch  $\pi^0$ -Zerfall entstanden ist? Welchen Spektralindex hat das Protonenspektrum dann?
- (c) Welchen Spektralindex hat das zugehörige Neutrinospektrum? Wie müssen Sie die Normierung des Neutrinospektrums wählen?

*Hinweis:* Neben dem erzeugten Photonenfluss wird auch ein Neutrinofluss durch Pionen-Zerfall im Verhältnis von  $j_\nu / j_\gamma = 0.96$  erzeugt. In dieser Aufgabe wird nicht zwischen Neutrinos, Antineutrinos sowie der Neutrinoart unterschieden.

### Aufgabe 19: Prozesse der schwachen Wechselwirkung [Bonus, 4 Punkte]

Welche der folgenden Prozesse kann stattfinden? Wenn der Prozess nicht stattfinden kann, warum nicht?

- (a)  $\bar{\nu}_\mu p \rightarrow \mu^+ n$ .
- (b)  $\bar{\nu}_\mu p \rightarrow e^+ n$ .
- (c)  $\nu_e p \rightarrow e^+ \Lambda^0 K^0$ .
- (d)  $\nu_e p \rightarrow e^- \Sigma^+ K^+$ .
- (e)  $p \rightarrow e^+ n \nu_e$ .
- (f)  $n \rightarrow e^- p \bar{\nu}_e$ .