Universität Karlsruhe (TH) Priv. Doz. Dr. J. Hörandel
Institut für Experimentelle Kernphysik Dr. M. Roth

Übungen zur Einführung in die Astroteilchenphysik — WS 2005/06
6. Aufgabenblatt

Aufgabe 20 Einfallsrichtung eines Luftschauers

Mit einem Detektorfeld der Größe 200×200 m^2 sollen ausgedehnte Luftschauer nachgewiesen werden. Die Ankunftszeiten der Teilchen in der Schauerfront werden in den einzelnen Zählern registriert.

Wie groß ist die maximale Differenz der Ankunftszeiten für einen Schauer mit einem Zenitwinkel von $\Theta = 20°$? ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

Schätzen Sie ab, welche Zeitauflösung benötigt wird, um die Richtung der Schauerachse mit einer Genauigkeit von 0.5° zu bestimmen.

Die zentrale Elektronik (Triggerlogik) befinde sich im Zentrum des Detektorfeldes. Ein gültiges Ereignis werde durch koinzidentes Ansprechen mehrerer Detektoren definiert. Schätzen Sie ab, wie lange es (maximal) dauert bis alle Detektoren einen Impuls zur Auslese (Triggerimpuls) erhalten haben. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Kabel betrage $v = 2/3\ c$.

Verlgeichen Sie diese Zeit mit der oben berechneten maximalen Differenz der Ankunftszeiten.

Aufgabe 21 GZK-Cutoff

Hochenergetische Protonen der kosmischen Strahlung können mit den Photonen der 3 K-Hintergrundstrahlung wechselwirken, wenn die Protonen eine Mindestenergie E_{GZK} uberschreiten. Gemäß

$$p + \gamma_{3K} \rightarrow \Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$$

oder

$$p + \gamma_{3K} \rightarrow \Delta^+ \rightarrow n + \pi^+$$

werden hochenergetische Pionen erzeugt. Diese Wechselwirkungen treten auf, wenn die Energie der 3 K-Photonen im Ruhesystems der Protonen den Wert $m_\Delta\ c^2 =$ 1232 MeV übersteigt. Berechnen Sie die Schwellenenergie E_{GZK}. Nehmen Sie hierzu für die Energie der Photonen den Wert $\epsilon_\gamma \approx 2.5$ meV an.

Dieser Effekt wurde 1965 von den Physikern Greisen, Zatsepin und Kuz'min erkannt.

Die Dichte der 3 K-Photonen beträgt $n_\gamma = 411$ Photonen/cm^3, der Wirkungsquerschnitt für obige Wechselwirkung sei $\sigma_{p\gamma} = 300\ \mu$b (1 b=$10^{-24}$cm^2). Berechnen Sie die mittlere freie Weglänge der Protonen in der Einheit [Mpc].

Aufgabe 22 Inverser Compton Effekt

Aus einem interstellaren Gebiet wird Röntgenstrahlung der mittleren Energie $E_\gamma =$ 5 keV beobachtet, die durch inversen Comptoneffekt zwischen hochrelativistischen Elektronen und Photonen der kosmischen 3-K-Hintergrundstrahlung erzeugt wird.

a) Wie groß ist die wahrscheinlichste Energie der 3-K Hintergrundstrahlung in keV? Hinweis: Benutzen Sie das Wien'sche Verschiebungsgesetz.

b) Berechnen Sie die korrespondierende Energie der Comptonelektronen. Benützen Sie die Beziehung $E'_{Ph} = \gamma_e^2 \cdot E_{Ph}$ zwischen dem Lorentz-Faktor γ_e der Elektronen und den Photonenenergien.

Aufgabe 23 Energieproduktion der Sonne

Die Sonne produziert ihre Energie über Kernfusionsprozesse, die sich in der Summe mit der Reaktionsgleichung $4p + 2e^- \rightarrow \ ^4\mathrm{He} + 2\nu_e$ beschreiben lassen. Dabei wird pro Reaktion eine Energie von 26.7 MeV frei, die praktisch vollständig in Strahlung umgewandelt wird.

1. Berechnen Sie die totale Leistung der Sonne aus der Strahlungsleistung am oberen Rand der Erdatmosphäre von $L = 1.4\,\mathrm{kW/m^2}$ in W und MeV/s (Hinweis: Abstand Erde–Sonne $r = 1.5 \times 10^8\,\mathrm{km}$).
2. Wieviele Fusionsreaktionen nach obiger Gleichung laufen pro Sekunde ab und wieviel Materie (in kg/s) wird dabei in Energie umgesetzt?
3. Wie groß ist der Neutrinofluss (ν_e) auf der Erde? Hinweis: Neutrinos sind elektrisch neutrale Teilchen, die ungehindert aus dem Sonneninneren entweichen und isotrop abgestrahlt werden.

Aufgabe 24 Mittlere freie Weglänge für Neutrinos

Der Wirkungsquerschnitt für inelastische Reaktionen von Neutrinos der Energie E_{cm} im Schwerpunktsystem mit Nukleonen ist gegeben durch

$$\sigma_{\nu-n} = 5 \cdot 10^{-44} \left(\frac{E_{cm}}{1\ \mathrm{MeV}}\right)^2\ \mathrm{cm}^2.$$

Berechnen Sie die mittlere freie Weglänge $l = 1/(\sigma_{\nu-n} n)$, wobei n die Anzahldichte ist, für

a) Neutrinoeinfang für Neutrinos mit einer Laborenergie von 1 MeV im Zentrum der Sonne ($\langle\rho\rangle \approx 100\,\mathrm{g/cm^3}$). Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Radius der Sonne.

b) Neutrinos mit einer Laborenergie von 10^{15} eV bzw. 18^{18} eV in Fels (Dichte $\langle\rho\rangle \approx 2.5\ \mathrm{g/cm^3}$, Massenzahl $\langle A\rangle = 22$). Geben Sie das Ergebnis in km an.

Die Aufgaben werden in den Übungen am 14. Februar 2006 um 14:00 Uhr im **Seminarraum 6/1** besprochen.
Informationen zu den Übungen: http://www-ik.fzk.de/~joerg/uebungen.html.