Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Experimentelle Kernphysik

Prof. Dr. J. Blümer
Priv. Doz. Dr. J. Hörandel

Übungen zur Einführung in die Astroteilchenphysik — WS 2004/05
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 Schauergrößenspektren

Das differentielle Energiespektrum der kosmischen Strahlung läßt sich durch den Ansatz

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\gamma} \qquad \text{mit} \begin{cases} \gamma = 2.7; & E < 10^{15}\ \text{eV} \\ \gamma = 3.1; & E > 10^{15}\ \text{eV} \end{cases}$$

beschreiben. Die differentiellen Schauergrößenspektren für Elektronen, Myonen und Hadronen können ebenfalls durch Potenzgesetze der Form

$$\left.\frac{dN}{dN_i} \propto N_i^{-\beta_i}\right|_{i=e,\mu,h}$$

beschrieben werden. Wie groß sind die Differenzen der Spektralindizes β_e, β_μ und β_h am „Knie“ im Energiespektrum der kosmischen Strahlung?

Es gelte

$$N_e \propto E^{1.3}, \quad N_\mu \propto E^{0.96} \quad \text{und} \quad N_h \propto E^{1.3} \quad .$$

bitte wenden!

Aufgabe 22 Nachweis von Čerenkov-Photonen in Luftschauern

Beschreiben Sie den Unterschied zwischen abbildenden und nicht-abbildenden Čerenkov-Detektoren.

Welcher Detektortyp hat im allgemeinen das größere Gesichtsfeld?

Mit welchem Detektortyp lassen sich die Spuren der Luftschauer in der Atmosphäre direkt messen?

Wieviele Teleskope braucht man mindestens um die Spur eines Luftschauers eindeutig zu bestimmen, wenn
a) die Lichtmenge in den einzelnen Zellen der Kamera und
b) zusätzlich die Ankunftszeit der einzelnen Photonen in der Kamera
gemessen werden?

Aufgabe 23 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].

Die Aufgaben werden in den Übungen am 27. Januar 2005 besprochen.
Informationen zu den Übungen: http://www-ik.fzk.de/~joerg/uebungen.html.