

# Einführung in die Astroteilchenphysik

Sommersemester 2010

Übungsblatt 1



Dr. Julian Rautenberg (rautenbe@physik.uni-wuppertal.de)

Daniel Kruppke-Hansen (dkruppke@uni-wuppertal.de)

<http://auger.uni-wuppertal.de/AT2010>

---

## 1 Der Gyromagnetische Cutoff und Ost-West Effekt

Auf dem Weg zur Erde müssen die kosmischen Teilchen das Erdmagnetfeld durchdringen. Dabei werden sie durch die Lorentzkraft abgelenkt. Hat ein Teilchen nicht genügend Energie, so wird es vom Magnetfeld eingefangen und kann die Erde nicht mehr erreichen. Dieser Effekt wurde bereits vor der Entdeckung der kosmischen Strahlung von Carl Størmer berechnet. Dazu berechnete er die minimal notwendige magnetische Steifigkeit (*rigidity*), die ein Teilchen haben muss, um einen bestimmten Punkt im Magnetfeld zu erreichen.

$$R_{\text{cut}}(r, \lambda, \theta, \phi) = \frac{\mu_0 c \mu}{4\pi r^2} \frac{\cos^4 \lambda}{(1 + \sqrt{1 - \cos^3 \lambda \sin \theta \sin \phi})^2} \quad (1)$$

Diese Formel gilt unter der Annahme, dass das Erdmagnetfeld ein exaktes Dipolfeld ist. Die einzelnen Parameter sind:

$r$  : Der Abstand vom Mittelpunkt des Dipolfeldes,

$\lambda$  : Der magnetische Breitengrad, gemessen von der Dipol-Äquatorialebene,

$\theta$  : Der lokale Zenitwinkel des Teilchens, bezogen auf den Mittelpunkt des Dipolfeldes,

$\phi$  : Der Azimutwinkel des Teilchens, gemessen im Uhrzeigersinn mit  $\phi = 0^\circ$  in Richtung Südpol,

$\mu$  : Das Dipolmoment der Erde  $\mu \simeq 8.1 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ .

Die magnetische Steifigkeit ist definiert als Produkt des Gyroradius mit dem Magnetfeld

$$R := \rho B c = \frac{pc}{q}. \quad (2)$$

Der Faktor  $c$  wird genommen um die Einheit  $[R] = \text{V}$  zu erhalten, was Abschätzungen erleichtert (z.B. ein Proton mit  $p = 100 \text{ GeV}/c$  hat  $R = 100 \text{ GV}$ ).

Im folgenden wird der Einfachheit halber angenommen, der Mittelpunkt des Dipols fällt mit dem Erdmittelpunkt zusammen.

1. Was ist die minimale Energie eines Protons, die mit dem AMS Experiment an Bord der ISS ( $H = 350 \text{ km}$ ,  $R_E = 6378 \text{ km}$ ,  $-38.5^\circ \leq \lambda \leq 61.5^\circ$ ), gemessen werden kann?
2. Berechnen Sie die minimale magnetische Steifigkeit für ein horizontal von Osten oder Westen einfallendes Proton für das AMS Experiment ( $\lambda = 0^\circ$ ). Wie stark unterscheiden sich für diesen Ost-West Effekt die Zählraten unter der Annahme eines Spektrums mit  $N(E) \propto E^{-2.7}$ ?
3. Wie kann man mit Hilfe des Ost-West Effekts das Vorzeichen der Ladung der kosmischen Strahlung bestimmen?
4. Der Cutoff wurde auch an der Erdoberfläche für verschiedene Positionen gemessen. Dabei kam heraus, dass der Effekt bis zu einer geographischen Breite von etwa  $50^\circ$  zu beobachten ist, und darüber verschwindet. Was könnte die Erklärung dafür sein?
5. Im Laufe der Geschichte hat sich das Erdmagnetfeld mehrfach umgekehrt. In diesen Phasen geht das Magnetfeld durch Null, wodurch die Abschirmung der kosmischen Strahlung zusammenbricht. Schätzen Sie die Erhöhung der Strahlenbelastung für diese Zeiten ab. Nehmen Sie dazu das Spektrum als  $N(E) \propto E^{-2.7}$  an.