

# Einführung in die Astroteilchenphysik

Sommersemester 2010

Übungsblatt 3



Dr. Julian Rautenberg (rautenbe@physik.uni-wuppertal.de)  
Daniel Kruppke-Hansen (dkruppke@uni-wuppertal.de)

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

---

## 1 Alter der kosmischen Strahlung

Die Isotopen-Komposition der kosmischen Strahlung kann genutzt werden um die Zeit zu ermitteln, die die Teilchen in der Galaxie verweilen. Dazu wird im sog. „Leaky Box Model“ angenommen, daß die Teilchen nach einer mittleren Zeit  $\tau_e$  aus der Galaxie entkommen. Die Wahrscheinlichkeit zu entkommen folgt dann einem exponentiellen Zerfallsgesetz. Aus dem experimentell gemessenen Verhältnis eines radioaktiven Isotops zu einem nicht radioaktiven läßt sich dann  $\tau_e$  bestimmen.

1. Leiten Sie das Verhältnis von radioaktiven zu nicht radioaktiven Isotopen im Gleichgewichtszustand her:

$$\frac{N(RA)}{N(NRA)} = \frac{1/\tau_e(NRA)}{1/\tau_e(RA) + 1/\tau_r(RA)} \cdot \frac{C(RA)}{C(NRA)}$$

Dabei ist  $C$  die Produktionsrate der Isotope,  $N$  die gemessene Häufigkeit und  $\tau_r$  die mittlere Lebensdauer des radioaktiven Isotops.

Tipp: Betrachten Sie den Gleichgewichtszustand  $\partial N/\partial t = 0$ . Weiterhin wird angenommen, daß die Teilchen auf ihrem Weg nicht wechselwirken.

2. Bestimmen Sie die Verweildauer von Beryllium. Messungen ergeben ein Verhältnis von  $N(^{10}\text{Be})/N(^7\text{Be}) = 0.028$ . Dabei ist  $^7\text{Be}$  stabil und  $^{10}\text{Be}$  zerfällt mit einer Lebensdauer  $\tau_r(^{10}\text{Be}) = 3.9 \cdot 10^6 \text{ yr}$ . Das Verhältnis der Produktionsraten ergibt sich aus den entsprechenden Wirkungsquerschnitten zu  $C(^7\text{Be})/C(^{10}\text{Be}) = 6.66$ . Nehmen Sie an, daß die Verweildauer für beide Isotope gleich ist.

## 2 Ladung der kosmischen Strahlung

Die kosmischen Strahlung besteht zu 85 % aus Protonen, 12 %  $\alpha$ -Teilchen, sowie schwereren Elementen. Nur etwa 1 % sind Elektronen. Heißt das, daß sich die Erde im Laufe der Zeit positiv auflädt? Wie groß wäre der Effekt wenn dem so ist?

### 3 Pionen Reaktionswahrscheinlichkeiten

Protonen aus der primären kosmischen Strahlung wechselwirken mit der Atmosphäre mit einer mittleren freien Weglänge  $\lambda \sim 100 \text{ g/cm}^2$ . Dabei produzieren sie relativistische Pionen mit der Energie  $E$ , die dann vertikal weiter fliegen. Die Pionen haben die Möglichkeit entweder mit der Atmosphäre mit in etwa der gleichen freien Weglänge zu wechselwirken, oder in Myonen zu zerfallen.

1. Zeigen Sie, dass die Wahrscheinlichkeit für ein Pion zu zerfallen und nicht wechselzuwirken gegeben ist durch:

$$\frac{P_{\text{decay}}}{P_{\text{decay}} + P_{\text{interact}}} = \frac{E_0}{E_0 + E}$$

wobei  $E_0 = m_\pi c^2 H / c\tau_\pi$ . Dabei wurde angenommen, dass die Atmosphäre eine exponentielle Dichteverteilung  $\rho = \rho_0 \exp(-h/H)$  mit  $H = 6.5 \text{ km}$  hat.

2. Wie groß ist die Energie  $E_0$  wenn das Pion eine Masse  $m_\pi c^2 = 0.14 \text{ GeV}$  und eine Lebensdauer  $\tau_\pi = 26 \text{ ns}$  hat?
3. Wie ändert sich die Wahrscheinlichkeit wenn das Pion unter einem Zenitwinkel  $\theta$  produziert wird?

Tipp: Die gesamte atmosphärische Tiefe ( $1030 \text{ g/cm}^2$ ) sei groß gegen  $\lambda$ .