

# Übungen zur Astroteilchenphysik 1

Wintersemester 2010/2011

Dr. B. Majorovits (MPI) und  
Dr. J.-C. Lanfranchi (TUM)

Blatt 9

04.02.11

---

## Aufgabe 1: Primordiale Nukleosynthese

In den ersten Minuten nach dem Urknall wurde ein Großteil der leichten Elemente, v.a.  $^1\text{H}$  und  $^4\text{He}$ , gebildet. Um die Häufigkeit dieser Elemente zu verstehen, muss man sich die thermodynamischen Vorgänge des frühen Universums ansehen.

- Kurz nach der Entstehung des Universums haben sich u.a. Protonen und Neutronen aus den Quarks gebildet. Durch welche Reaktionen standen diese beiden Teilchensorten im Gleichgewicht? Dieses Gleichgewicht wurde im sog. "freeze-out" ca. eine Sekunde nach dem Urknall gebrochen. Erklären Sie qualitativ, wodurch diese Entkopplung zustande kam! Wovon hängt die *freeze-out-Temperatur*  $T_{\text{fr}} \approx 0.8 \text{ MeV}$  ab?
- Zeigen Sie, dass die Teilchenzahldichte einer nicht-relativistischen Teilchensorte  $i$  durch

$$n_i = g_i \cdot \left( \sqrt{\frac{m_i T_i}{2\pi}} \right)^3 \cdot e^{-\frac{m_i}{T_i}} \quad (1)$$

gegeben ist, wobei  $g_i$  die Anzahl der Freiheitsgrade pro Teilchen bezeichnet. Berechnen Sie daraus das Verhältnis aus Proton- zu Neutronzahl beim *freeze-out*! Überlegen Sie sich auch, welche der 4 fundamentalen Wechselwirkungen dieses Verhältnis beeinflussen!

- Wann beginnt die primordiale Nukleosynthese? Welches Proton-zu-Neutron Verhältnis lag zu diesem Zeitpunkt ( $t \approx 300 \text{ s}$ ) vor?
- Berechnen Sie daraus den erwarteten Massenanteil  $Y_{\text{He}}$  von  $^4\text{He}$ :

$$Y_{\text{He}} = \frac{N_{\text{He}} \cdot m_{\text{He}}}{N_{\text{He}} \cdot m_{\text{He}} + N_{\text{H}} \cdot m_{\text{H}}} \quad (2)$$

Wodurch wurde die primordiale Nukleosynthese letztlich gestoppt?

## Aufgabe 2: Verkehrtes Universum

Nehmen Sie an, dass nicht das Proton leichter ist als das Neutron, sondern umkehrt das Neutron das leichtere (und somit stabile) Teilchen sei. Was würde das für die primordiale Nukleosynthese und die Entstehung schwererer Elemente im Universum bedeuten? Diskutieren Sie Ihre Überlegungen in der Übung!

### Übungstermin:

Montag, 07.02.11, 16 Uhr Seminarraum E15, Raumnr. 3046