

### 1. Baryon-Photon-Verhältnis

- a) Berechnen Sie das Baryon-Photon-Verhältnis nach Ende der Baryon-Antibaryon-Annihilationsphase. Vor der Annihilation soll die Zahl der Baryonen gleich der der Antibaryonen sein. Nehmen Sie an, dass die Baryonen bzw. Antibaryonen bei einer Temperatur  $kT \approx 20 \text{ MeV}$  ausfrieren.

Hinweis: Die Anzahl an Quantenzuständen pro Volumeneinheit ist gegeben durch  $(4\pi / h^3) \cdot p^2 dp$ . Weiter gilt  $mc^2 \gg kT$  so dass die relativistische Energie

$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$  durch eine Taylorentwicklung angenähert werden kann.

Folgendes Integral kann von Nutzen sein:  $\int_0^\infty y^2 e^{-y^2} dy = \frac{\sqrt{\pi}}{4}$

- b) Berechnen Sie das Baryon-Photon-Verhältnis, welches im heutigen Universum vorherrscht. Nehmen Sie an, dass die Baryonen heute einen Anteil  $\Omega_B = 0,02 h^{-2}$  an der Gesamtenergiedichte haben und größtenteils aus Protonen und Neutronen bestehen. Was folgt daraus für das Baryon-Photon-Verhältnis nach Ende der Baryon-Antibaryon-Annihilationsphase?
- c) Wie lässt sich die Diskrepanz der in a) und b) erhaltenen Werte für das Baryon-Photon-Verhältnis erklären?

### 2. Entdeckung der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung:

Berechnen sie die mittlere Photonenenergie und die entsprechende Wellenlänge für Photonen der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung (CMBR) für eine Temperatur von  $T = 2,725 \text{ K}$ .

Die Entdeckung der CMBR wurde mit Empfängern gemacht, die für Wellenlängen von 7,3 cm ausgelegt waren. Welcher Anteil der CMBR-Photonen hat eine Wellenlänge von mindestens 7,3 cm und konnte somit nachgewiesen werden?