

1. Temperaturfluktuationen des CMB:

- a) Wie ist der dominante Beitrag zur Anisotropie des CMB zu verstehen? Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der Fluktuation $\Delta T_{\max} = 3,365 \text{ mK}$ und der Geschwindigkeit des Beobachters. Wo groß ist diese Geschwindigkeit?
Hinweis: Rechnen Sie nichtrelativistisch. Die Rechnung wird einfacher, wenn Sie annehmen, dass die Quelle der Hintergrundstrahlung sich relativ zur Erde bewegt.
- b) Zeigen sie grob, wie aus den gemessenen Werten der Temperatur (nach Kompensation der Dipolanisotropie) des CMB die Korrelationsfunktion der Temperaturfluktuationen entsteht und daraus das Leistungsspektrum der Temperaturfluktuationen.

2. Ausdehnung der dominanten Anisotropien der CMBR

- a) Berechnen Sie die Größe des heutigen Universums. (Tipp: siehe Blatt 1, Aufgabe 3 und nehmen Sie zur Näherung ein materiedominiertes Universum an!)
- b) Die CMB-Photonen entkoppelten von der baryonischen Materie, sobald die Temperatur nicht mehr ausreichte, um Wasserstoff zu ionisieren.
Dies geschah zu einer Zeit $t_{dec} \approx 3 \cdot 10^5 \text{ J} \rightarrow z_{dec} \approx 1100$.
Der Übergang vom strahlungs- zum materiedominierten Universum fand zu einer Zeit $t_{rm} \approx 1 \cdot 10^4 \text{ J}$ statt. Wie groß ist der Teilchenhorizont für das Baryon-Photon-Plasma zur Zeit der Rekombination? Gehen Sie von der in a) gefundenen Gleichung aus.
- c) Berechnen Sie aus den in a) und b) erhaltenen Ergebnissen die Winkelausdehnung der größten beobachtbaren Anisotropien der CMBR. Gehen Sie von der Näherung $\tan \theta \approx \theta$ für kleine Winkel aus.

3. Entwicklung großräumiger Strukturen (LSS): Gravitationskollaps und Jeans Masse

Wir gehen heute davon aus, dass sich unser Universum aus einem homogenen und isotropen Zustand heraus entwickelt hat. Irgendwann muss die Bildung großräumiger Strukturen eingesetzt haben. Ein einfaches Modell für den gravitativen Kollaps einer Gaswolke hat Jeans bereits Anfang des letzten Jahrhunderts aufgestellt:

- a) Leiten sie die kritische Dichte und den Radius einer Wolke aus molekularem Wasserstoff her, die eine Masse von 10000 Sonnenmassen und eine Temperatur von 20K besitzt.

4. Übungsblatt

05.12.2012

Bearbeitung bis Mi. 12.12.2012

- b) Als Kriterium dafür, ob eine Anfangsfluktuation in einer Gaswolke der Dichte ρ zu einer Strukturbildung führt, ist die Jeans-Länge geeignet:

$$\lambda_J = v_s \left(\frac{\pi}{G \cdot \rho} \right)^{1/2}$$

Die Masse innerhalb der Wolke von der Größe der Jeans-Länge wird Jeans-Masse genannt: $M_J = \frac{\pi \rho \lambda_J^3}{6}$; v_s ist dabei die Schallgeschwindigkeit des Gases.

Wenn $L \gg \lambda_J$ ist, fängt die Wolke an, um die Anfangsinhomogenität zu kondensieren. Für eine Wolke nichtrelativistischer Materie ist die Schallgeschwindigkeit durch $v_s^2 = \frac{\partial P}{\partial \rho} = \frac{\gamma \cdot kT}{m}$ gegeben, wobei $\gamma = \frac{5}{3}$ in neutralem Wasserstoff ist.

Schätzen sie den Wert für die Jeans-Masse kurz vor und kurz nach der Entkopplung der Strahlung von der Materie in unserem Universum ab.