

6. Übungsblatt

Aufgabe 17

a) Der CMB ist die erste (bzw. älteste) beobachtbare Strahlung im Universum.

Aufgrund der hohen (Energie- und Materie-) Dichte kurz nach dem Urknall konnten sich Protonen und Elektronen nicht binden. Durch diese mit freien Elektronen gefüllte “Wolke“ konnten sich aufgrund der Thomson-Streuung Photonen nicht ausbreiten.

Erst als sich das Universum so weit ausgebreitet hatte, dass die Temperatur unter $3000K$ fiel, (ca. 380000 Jahre nach dem Urknall) konnten sich Wasserstoffatome bilden und elektromagnetische Strahlung konnte sich ausbreiten.

Da sich das Universum weiter ausgedehnt hat, fiel auch die dem CMB entsprechende Temperatur (wenn man annimmt die Strahlung käme von einem schwarzen Strahler) weiter runter, mittlerweile entspricht dem CMB eine Temperatur von $2.725K$. Diese Strahlung liegt im Mikrowellenbereich und besitzt ihre maximale Stärke bei $\lambda = 1.06$ mm.

Aus der Differenz zwischen aktueller Temperatur des CMB, der $3000K$ Grenze und der kosmologischen Rotverschiebung rührt dann ein Skalenfaktor $z = 1089$ her, welcher die Ausdehnung des Universums seit der Enkopplung von Materie und Strahlung beschreibt:

$$3000K \approx 2.725K \cdot (1 + z)$$

b) Das Multipolspektrum trägt die Temperaturfluktuationen (bzw. die damit verbundenen Fluktuationen des CMB) gegen die Bogenlänge, auf der diese Fluktuation stattfindet, auf.

Da hier über m (Anzahl Moden entlang des Äquators) der Durchschnitt gebildet wurde kann man die mittlere Wellen-“länge“ (die hier einem Winkel entspricht) abschätzen mit

$$\lambda \approx \frac{\pi}{l}.$$

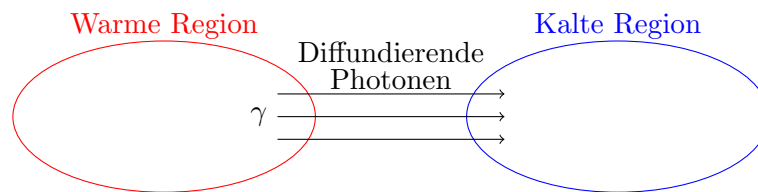
Wobei auch der Ersteller des Diagramms diese Abschätzung (obere und untere x -Achsen Skala) benutzt hat.

Der Peak bei $\sim 1^\circ$ bzw. $l = 200$ bedeutet zum Beispiel, dass wenn man einen Bereich am Himmel mit einem Radioteleskop mit einer Begrenzung auf 1° “Sichtfeld“ betrachtet, starke Fluktuationen (im CMB Spektrum) sieht.

c) Silk-Dämpfung:

Die Silk-Dämpfung sorgte im frühen Universum (vor der Entkopplung) für eine bessere homogenisierung des Universums.

Dabei diffundierten Photonen von warmen (und damit massereicheren) Regionen des Universums in Kältere.



Die Photonen ziehen dabei Elektronen mit sich, welche mit der Coulombkraft auch Protonen mit sich ziehen.

Damit findet insgesamt ein Materiefluss von massereichen zu massearmen Regionen statt, welcher gegen Anisotropien "vorgeht".

Nicht-integrierter Sachs-Wolfe-Effekt

Dadurch dass zum Zeitpunkt der Entkopplung keine 100%-ige Isotropie im Universum vorlag, gab es Stellen gebiete mit höherer und niedrigerer Massedichte und damit höheren und niedrigeren Gravitationspotentialen. Diese Potentialunterschiede sorgen bei den Photonen, welche aus den entsprechenden Regionen stammen, für eine Rot- bzw. Blauverschiebung, welche aus der allgemeinen Relativitätstheorie folgt.