

Kapitel 16.1 und 16.2 Die Expansion des Universums

Hubbles Gesetz besagt, dass sich alle Galaxien von uns entfernen, und zwar je schneller, je weiter sie entfernt sind. Daraus folgt, dass alle Materie des Universums sich einmal an einem Platz befunden hat und dass Universum mit dem Urknall begonnen hat, ist allgemein bekannt. Dafür spricht auch die im Jahre 1964 entdeckte kosmische Hintergrundstrahlung als Echo des erst 400.000 Jahre alten Universums.

Hubble fand eine Proportionalität zwischen der Expansionsgeschwindigkeit und der Entfernung der Galaxien und folgerte daraus die Gleichung

$$v = H_0 \cdot d$$

Dabei wird d in der Regel in Mpc angegeben und v in $\frac{\text{km}}{\text{s}}$, so dass H_0 die Einheit $\frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$ hat.

Diese Gleichung ist aber nur bei „klassischer“ Bewegung gültig, also für $z \ll 1$. Falls das nicht gilt, kommt die relativistische Form zur Anwendung:

$$d \simeq \frac{c \cdot (z + 1)^2 - 1}{H_0 \cdot (z + 1)^2 + 1}$$

Für die Geschwindigkeit und die Rotverschiebung gilt dabei folgender Zusammenhang:

$$1 + z = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

Der Kehrwert der Hubble-Konstante ergibt das Alter des Universums, wenn es keine Masse beinhalten würde, dient also als obere Schranke für das Alter des realen Universums.

Das kosmologische Prinzip besagt:

Auf großen Skalen ist das Universum homogen und isotrop.

Um diesen Effekt zu bemerken müssen allerdings Strukturen von ca. 100 Mpc Durchmesser betrachtet werden. Bei diesen Skalen sind die Pelikulargeschwindigkeiten der Galaxien vernachlässigbar und es überwiegt die allgemeine Expansion, die auch als „Hubble-Fluss“ bezeichnet wird.

Das kopernikanische Prinzip besagt:

Unser Standort ist durch nichts gegenüber anderen ausgezeichnet.

Beide Prinzipien zusammen ergeben, dass ein Beobachter in einer weit entfernten Galaxie die gleiche Entwicklung des Universums und die gleiche Hubble-Konstante messen würde. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien nicht immer gleich war und die Hubble-Konstante H eigentlich eine Funktion der Zeit $H = H(t)$ mit $H(t_0) = H_0$ ist. (Allerdings sind bei t natürlich relativistische Erscheinungen möglich und müssen berücksichtigt werden.)

Der kosmische Mikrowellenhintergrund entspricht einem schwarzen Strahler mit einer Temperatur von 2,725 K ($\lambda_{\text{max}} = 1,06 \text{ mm}$). Die Strahlung aus verschiedenen Richtungen weist nur minimale Abweichungen in der Größenordnung 10^{-5} K auf. Auch dieser Wert ist für alle Beobachter im Universum gleich, solange sie sich relativ zum Hubble-Fluss in Ruhe befinden. Und das nicht der Fall, so ist die Temperatur, die ein bewegter Beobachter durch Beobachten im Winkel θ zu seiner Bewegungsrichtung erhält:

$$T_{\text{bewegt}} = \frac{T_{\text{ruhe}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos(\theta)}$$

Weblinks Wenn man noch mehr wissen will...

- <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-fliegt-2005-ID1207911007160.xml>
- <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-universum-2002-ID1208354132925.xml>
- <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-big-bang-2001-ID1208425043440.xml>
- <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-hintergrundstrahlung-2001-ID1208432936471.xml>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Hintergrundstrahlung>
- http://de.wikipedia.org/wiki/Kosmologisches_Prinzip
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Hubble-Konstante>