

Reiner Guse 13.01.2012	Warum glauben wir eigentlich an den Urknall?	Astro- Stammtisch
---------------------------	---	----------------------

1. Was versteht man unter der Urknalltheorie?

Die Urknalltheorie sagt aus, dass das Universum aus einer unglaublich winzigen, heißen und dichten Zusammenballung aus Strahlung und Materie entstanden ist. Dabei weiß man nichts über den Zeitpunkt der Entstehung, kann aber die Entwicklung kurz danach bis zum heutigen Zeitpunkt erklären. Durch Ausdehnung und Abkühlung haben sich als Rest der Materie gegenüber der Antimaterie Protonen, Neutronen und Elektronen gebildet, später Atome und schließlich Sterne und Galaxien.

Der Begriff „Urknall“ stammt von der englischen Bezeichnung „Big Bang“ (großer Knall), die der britische Astronom Fred Hoyle 1950 spöttisch diese Theorie nannte, deren Gegner er war.

2. Was glaubte man 1920?

Damals glaubte man, das Universum sei statisch und ewig, da die Sterne am Himmel bewegungslos erschienen. Da dieses dem Gravitationsgesetz widersprach, nach dem sich alle Massen gegenseitig anziehen, führte Einstein in seine Gleichung zur Beschreibung des Universums eine kosmologische Konstante ein. Dadurch wirken auf großen Skalen Antigravitationskräfte, durch die das Universum statisch bleibt.

3. Die Pioniere der Urknalltheorie

Der Russe Friedmann (1922) und etwas später der Belgier Lemaître verwendeten Einsteins Ansatz zur mathematischen Beschreibung des Universums, glaubten jedoch nicht an seine kosmologische Konstante und setzen diese auf 0. Sie gingen von einem dynamischen sich ausdehnenden Universum aus, fanden aber keine Anerkennung.

4. Beginn der Wende: Hubbles Entdeckung

Hubble stellte 1929 fest, dass sich alle Galaxien von uns entfernen. Je weiter sie weg sind, desto höher ist ihre Geschwindigkeit. Lässt man diesen Vorgang zeitlich rückwärts laufen, müssen sie alle vor langer Zeit dicht zusammen gewesen sein und sich schließlich in einem Punkt vereint haben. Diese Beobachtung unterstützte die Urknalltheorie und sie fand mehr Anhänger, u. a. auch Einstein, der seine ursprüngliche Einführung der kosmologischen Konstante als größte Eselei seines Lebens bezeichnete.

5. Urknall kontra Steady-State

Nach Hubbles Entdeckung standen sich zwei Modelle gegenüber, die bis Ende der 60iger Jahre als gleichwertig angesehen wurden.

Urknall - Universum	Steady-State - Universum
- Das Universum dehnt sich aus, es ist dynamisch.	- Das Universum dehnt sich aus, es ist dynamisch.
- Das Universum ändert durch seine Ausdehnung seinen Zustand, es ist daher nicht ewig.	- Es wird ständig neue Materie in den wachsenden Abständen der Galaxien erzeugt, wodurch es unverändert bleibt.
- Anhänger dieses Modells waren u. a. Lemaitre, Gamow, Alpher, später auch Einstein	- Anhänger dieses Modells waren u. a. Hoyle, Gold und Bondi

6. Die 3 Säulen der Urknalltheorie

Neben der Expansion des Universums haben zwei weitere Phänomene die Entscheidung zugunsten der Urknalltheorie bewirkt:

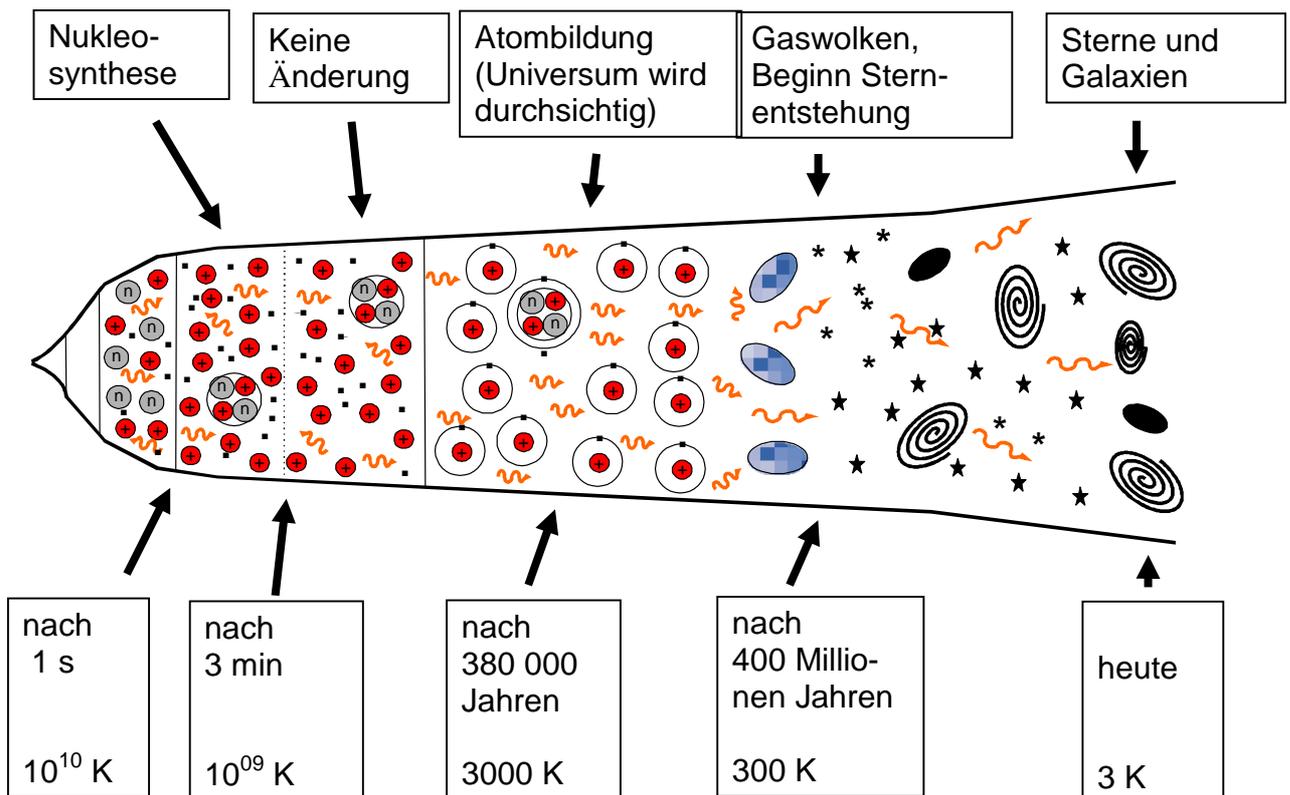
- Die Elementhäufigkeit bzw. primordiale Nukleosynthese (Kernbildungsphase nach dem Urknall) und
- die kosmische Hintergrundstrahlung.

7. Elementhäufigkeit (Primordiale Nukleosynthese)

1948 sagten Gamow und Alpher ein Massenverhältnis von Wasserstoff gegenüber Helium von 75 : 25 im Universum voraus. Erklärung (siehe dazu auch im Bild unten):

- 1 Sekunde nach dem Urknall war die Temperatur mit 10^{10} K noch so hoch, dass das Plasma neben der Strahlung und den Elektronen aus gleich vielen Protonen und Neutronen bestand.
- Größere Kerne wie Helium konnten sich aufgrund der hohen Temperatur nur kurzzeitig bilden.
- Als die Temperatur kurz danach weiter sank, konnten sich keine Neutronen mehr bilden. Aus diesem Grund und wegen des Neutronenzerfalls (in Protonen und Elektronen) vergrößerte sich das Verhältnis Protonen zu Neutronen von 1 : 1 auf 7 : 1. Auf 14 Protonen kamen also 2 Neutronen.
- Nach 3 Minuten und einer Temperatur von 10^9 K haben jeweils 2 Neutronen mit 2 Protonen einen Heliumkern gebildet, der nun nicht mehr zerstört wurde. Alle Neutronen gingen diese Verbindung ein, so dass schließlich das Verhältnis H-Kerne zu He-Kerne 12 : 1 betrug, bzw. das Massenverhältnis H zu He 12 : 4 (da ein He Kern 4 H – Masseneinheiten hat) oder 75 : 25.

Dieses Verhältnis von 75% H gegenüber 25% He wurde später in Gaswolken mit vernachlässigbarer Metallizität gemessen. Die Nukleosynthese bestätigte das Urknallmodell.



8. Kosmische Hintergrundstrahlung

Sie wurde 1948 von Gamow, Alpher und Herman vorausgesagt. Entsprechend dem Bild oben bestand das Universum bis ca. 380 000 Jahre nach dem Urknall aus einem Plasma (keine Bindung der Elektronen an die Kerne) und war daher undurchsichtig. Danach bildeten sich aufgrund der sinkenden Temperatur Atome durch Bindung der Elektronen an die Kerne, das Universum wurde durchsichtig. Die Strahlung mit einer Temperatur von ca. 3000 K konnte sich jetzt im Raum ausbreiten. Durch die Expansion vergrößerte sich die Wellenlänge und es verringerte sich dadurch die Temperatur. Da sich das Universum von damals bis heute um den Faktor 1100 ausgedehnt hat, erhält man für die heutige Temperatur $3000 \text{ K} / 1100 = 2,73 \text{ K}$. Dieser Wert wurde 1964 zunächst angenähert und zufällig von Penzias und Wilson gemessen und später 1992 ziemlich genau durch den Cobe-Satelliten bestätigt.

9. Zusammenfassung

Die Urknalltheorie steht auf den Säulen „Expansion“, „Elementhäufigkeit“ und „Hintergrundstrahlung“. Phänomene, die zunächst noch im Widerspruch zur Theorie standen, konnten später durch die Annahme einer Inflation (schnelle und starke Ausdehnung zu Beginn) erklärt werden. Sicher sind noch viele Fragen unbeantwortet, aber die Urknalltheorie hat sich bisher als eine sehr erfolgreiche Theorie durchgesetzt.