

## Q12 \* Astrophysik \* Kosmologie

Die Kosmologie versucht die Struktur und die zeitliche Entwicklung des Universums auf der Basis der Naturgesetze zu beschreiben.

Dabei geht man von der Annahme aus, dass das Universum **isotrop** ist, d.h. keine bevorzugte Beobachtungsrichtung hat, und dass es **homogen** ist, also jede Art von Materie, Strahlung oder Energie gleichmäßig im Raum verteilt ist.

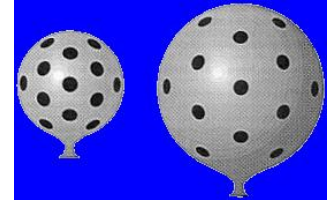
Folgende Beobachtungen sind für die Kosmologie von grundlegender Bedeutung:

- die von Hubble beschriebene Galaxienflucht,
- die räumliche Verteilung der Galaxien,
- die kosmische Hintergrundstrahlung,
- der relative Anteil der Elemente in kosmischen Objekten.

Der belgische Wissenschaftler und Priester Georges Lemaître (1894 – 1966) gab als erster eine Erklärung der Galaxienflucht: Nicht die Galaxien bewegen sich sondern **der Raum selbst dehnt sich aus**.

Als Modellvorstellung kann ein Luftballon dienen, der aufgeblasen wird.

Von jeder Galaxie aus scheinen sich die anderen zu entfernen und das Universum hat damit keinen Mittelpunkt.



Die Ausdehnung des Raums ist ein Beleg für die zeitliche Entwicklung des Universums und sie legt nahe, dass sich das Universum vor ca. 13,7 Milliarden Jahren spontan aus einem Zustand mit winzigem Volumen und extrem hoher Temperatur und Dichte entwickelt hat (**Urknalltheorie**).

Die ersten 3 Minuten

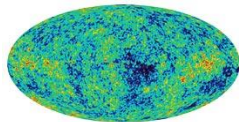
Infolge der Abkühlung gehen aus einer Reihe komplexer Vorgänge Elektronen, Protonen, Neutronen, Neutrinos und Photonen hervor.

3 Minuten bis  $10^5$  Jahre

He-Kerne (und sehr wenige Li-Kerne) entstehen, wobei sich schließlich ein Anteil von 77% H-Kernen (Protonen) und 23% He-Kernen ergibt.

Etwa  $10^5$  a bis  $10^9$  a

Nach etwa 380 000 Jahren ist die Temperatur auf ca. 3000K abgesunken und es bilden sich aus H- und He-Kernen zusammen mit den Elektronen neutrale Atome. Damit wird das Universum „durchsichtig“, denn die Photonen werden nicht mehr durch ständige Ionisations- und Streuprozesse an der Ausbreitung gehindert.



WMAP-Aufnahme der Hintergrundstrahlung

Diese Strahlung sehen wir heute wegen der Expansion des Alls extrem rotverschoben als so genannte 3 K – Hintergrundstrahlung. Kleinste Temperaturunterschiede von etwa  $10^{-5}$ K zeigen, dass sich Galaxien bilden konnten.

Ab etwa  $10^9$  a

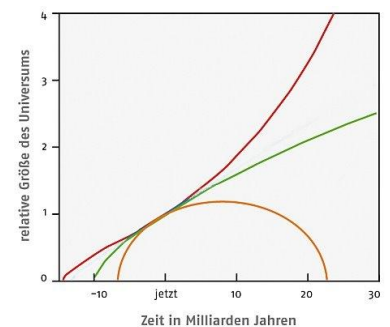
Sterne und Galaxienbausteine entstehen. Nach etwa 8 Milliarden Jahren entstehen erste Galaxienhaufen, nach 9 Milliarden Jahren entsteht unser Sonnensystem.

### Das Alter T und die Ausdehnung r des Universums

Wenn sich das Universum völlig gleichmäßig ausgedehnt hat, dann kann man aus  $H_0 = 72 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  das Alter des Universums berechnen zu

$$T = \frac{r}{v} = \frac{r}{r \cdot H_0} = \frac{1}{H_0} = \frac{\text{s} \cdot 10^6 \text{ pc}}{72 \text{ km}} \approx 14 \cdot 10^9 \text{ a}$$

**Neueste Messungen an fernen Supernovae zeigen allerdings, dass sich die Expansionsgeschwindigkeit des Universums zunächst verringert, nach etwa 7 Milliarden Jahren aber wieder beschleunigt hat (rote Kurve im Diagramm). Die gegenwärtige Zunahme der Expansionsgeschwindigkeit kann man erklären, wenn man eine so genannte dunkle Energie annimmt. Diese dunkle Energie lässt sich mit der allgemeinen Relativitätstheorie erklären. Unser Universum besteht dann zu 72% aus dunkler Energie, zu 24% aus dunkler Materie und zu nur 4% aus gewöhnlicher Materie (0,5% leuchtend, 3,5% nicht leuchtend). Noch wissen wir nicht, woraus dunkle Materie bzw. dunkle Energie bestehen!**



geschlossenes Universum  
euklidisches (flaches) Universum  
offenes Universum

Für die Entdeckung der Zunahme der Expansionsgeschwindigkeit wurde der Nobelpreis Physik 2011 vergeben.