

Das Alter des Universums

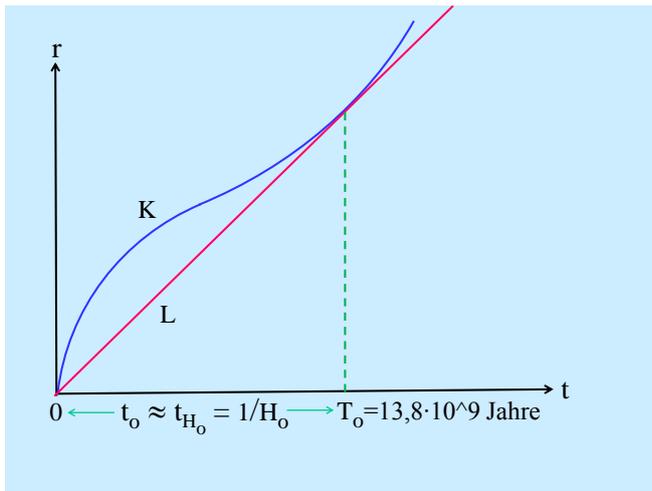
Die Frage nach dem Alter des Universums kam vor etwa 90 Jahren auf, als EDWIN HUBBLE die kosmische Rotverschiebung entdeckte. Er fand nämlich heraus, dass alle Galaxien im Mittel eine mit wachsender Entfernung größer werdende spektrale Rotverschiebung zeigen. Diese zunächst nicht ganz korrekt als Doppler-Effekt aufgefasste Erscheinung wurde dahingehend interpretiert, dass die Galaxien einer allgemeinen Fluchtbewegung von uns fort unterliegen (siehe Beitrag: *Rotverschiebung und Hubble-Gesetz*). Diese Erkenntnis, dass das Universum als Ganzes expandiert, also dynamisch und nicht, wie bis dahin angenommen, statisch ist, hatte zur Folge, dass alles irgendwann einmal an einem Punkt Null begonnen haben musste. Diesen Punkt nennen wir heute Urknall. Die Frage ist nun: Wie lange ist es her, dass der Urknall stattgefunden hat, also wie alt ist das Universum heute?

Eine erste Antwort darauf fand man im *Hubble-Gesetz*, das einen Zusammenhang zwischen der allgemeinen Fluchtgeschwindigkeit v und der Entfernung D der Galaxien von uns herstellt. Dieses Gesetz lautet in erster Näherung: $v = H_0 \cdot D$. Darin ist H_0 die sogenannte *Hubble-Konstante* (siehe diesbezüglichen Beitrag). Sie beschreibt die Expansionsrate des Weltalls zum heutigen Zeitpunkt. Wenn wir annehmen, dass die Expansion des Universums von Anfang an bis heute völlig gleichförmig verlaufen wäre, - was allerdings keineswegs der Fall ist -, so hätten wir eine erste obere Grenze des Weltalters. Sie würde $t_0 = 1/H_0$ (Hubble-Zeit) betragen.

Um H_0 zu bestimmen ist es erforderlich, den Verlauf der **Rotverschiebung** möglichst vieler Sterne / Galaxien in Abhängigkeit von deren Entfernung von uns zu messen und in dem sogenannten Hubble-Diagramm aufzutragen. Messungen des Weltraumteleskops "Planck" der ESA ergaben den heute wohl genauesten Wert für die Hubble-Konstante: $H_0 \approx (67,74 \pm 0,46) \text{ [km/(s}\cdot\text{Mpc)]}$. Allerdings steht dieser Wert im Widerspruch zu dem, im kosmischen Nahbereich von einem Team um Adam Riess ermittelten Wert von $H_0 \approx (74,3 \pm 2,1) \text{ [km/(s}\cdot\text{Mpc)]}$.

Um nun das wahre Alter des Universums abschätzen zu können, muss man die Entwicklung des Weltalls über dessen gesamte Existenz wenigstens im Groben ermitteln. Dies ist ein sehr schwieriges Unterfangen, das nur durch bestimmte Modellvorstellungen des Verlaufs der universellen Expansion möglich ist. Es gibt heute verschiedene theoretische Modelle der Entwicklung des Weltalls vom Urknall an. Das derzeit von den Astrophysikern favorisierte Modell ist das sogenannte *Konkordanz-Modell*. Es besagt, dass das Universum mit einem heißen Urknall vor etwa **13,8 Milliarden** Jahren begann, und sich heute auf ca. 2,7 Kelvin abgekühlt hat. Es besteht aus rund 5% **baryonischer Materie**, 25% **dunkler Materie** und 70% **dunkler Energie**. Die o. g. Diskrepanz der ermittelten H_0 -Werte hat inzwischen zu Überlegungen geführt, ob das Standardmodell der Kosmologie (Konkordanz-Modell) noch uneingeschränkt Gültigkeit haben kann.

Wie kommt nun die Aussage des Konkordanz-Modells über das Alter des Weltalls von 13,8 Mrd. Jahren zustande? Mitte der 1990-er Jahre hat man eine äußerst merkwürdige Beobachtung gemacht, dass nämlich weit entfernte, als Standardkerzen angesehene IA-Supernovae (siehe Beitrag "Chandrasekhar-Grenze") lichtschwächer erscheinen als es dem Entfernungsgesetz nach hätte sein sollen. Daraus schlossen die Astrophysiker, dass sich das Universum schon seit geraumer Zeit schneller ausdehnt als nach den klassischen, älteren Modellen angenommen. Es müsste demnach nicht mehr nur durch die Gravitation abgebremst, sondern seit ein paar Milliarden Jahren sogar beschleunigt expandieren (siehe Skizze). Als Erklärung wurde die sogenannte Dunkle Energie postuliert, die das Weltall nun beschleunigt auseinander treibt. In der Skizze ist der Verlauf des Ausdehnung – Zeit-Diagramms dargestellt, wie es sich qualitativ aus dem Konkordanz-Modell ergibt.



Skizze:
Zeitlicher Verlauf der Expansion des Universums nach dem Konkordanz-Modell (blau) im Vergleich zum Milne-Modell (rot).

r = relative Ausdehnung des Universums, t = Zeit, T_0 = heutiger Zeitpunkt, 0 = Urknall, H_0 = Hubble-Konstante, t_{H_0} = Hubble-Zeit, K = Konkordanz-Modell (qualitativ), L = Milne-Modell (leeres Universum).

Damit wissen wir jetzt eigentlich ziemlich genau, wie alt das Universum ist, wenn wir das bisher weitgehend anerkannte Konkordanz-Modell akzeptieren. Da der Wert von 13,8 Mrd. Jahren auch durch andere modellunabhängige Bestimmungsmethoden im Wesentlichen bestätigt wird, ist dieses Alter ziemlich vertrauenswürdig. Allerdings gibt es doch mindestens einen Punkt, der in uns ein gewisses Unbehagen wecken sollte. Das ist die Tatsache, dass wir, wenn wir auf die Skizze schauen, in einer Zeit leben, in der das reale Weltalter recht genau mit dem **Hubble-Alter** übereinstimmt, also mit dem Alter des vollkommen leeren Universums. Da das Weltall aber erwiesenermaßen nicht leer ist, kann diese Übereinstimmung dann nur ein recht unwahrscheinlicher Zufall sein. Daraus könnte sich auch hier die Frage ergeben: Stimmt vielleicht doch etwas nicht mit dem Standardmodell?

P. S.