

Das Universum rennt ... [18. Jun.]

Und das Universum dehnt sich noch schneller aus...

Hubble und das Universum

Vor rund 100 Jahren entdeckte der US-amerikanische Astronom Edwin Hubble [1], dass die Fluchtgeschwindigkeit [1] von Galaxien [1] mit zunehmender Entfernung (von der Erde) ansteigt [2]. Diesen Zusammenhang nennt man Hubble-Gesetz [1]. Hubble hat als erster die Grundlage für die Messung der Ausdehnung des Universums gelegt, die als Hinweis für das Urknallmodell [1] (Abb. 1a) gilt.

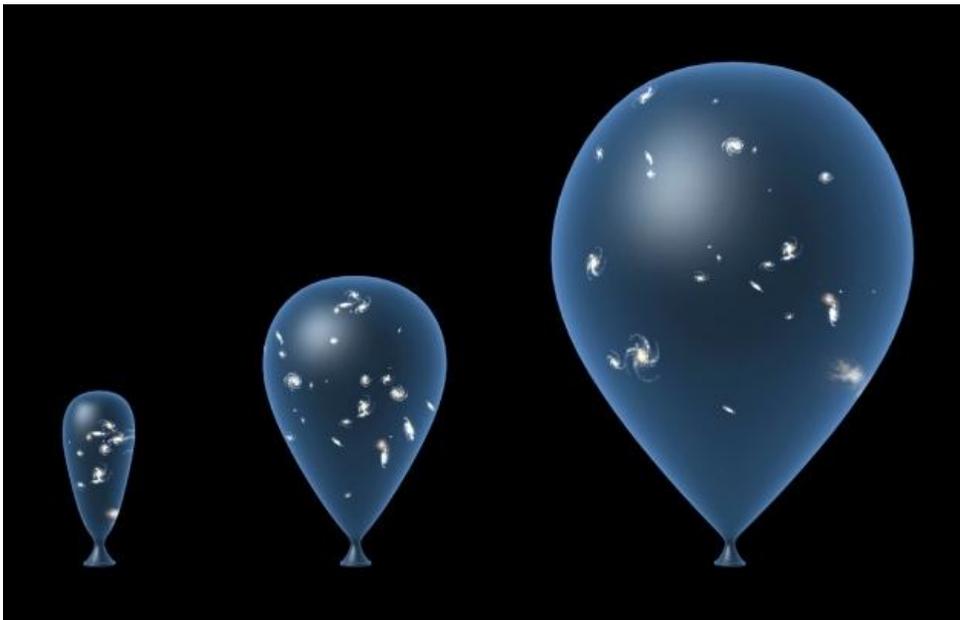


Abb. 1a Schematische Darstellung der Ausdehnung des Universums nach dem Urknall. Mithilfe von Hubbles Beobachtungen der Fluchtgeschwindigkeit von Galaxien schliessen die Forscher, dass sich das Universum seit der Entstehung des Universums ständig ausdehnt.

© NASA

Die Hubble-Konstante

Die Expansionsrate des Universums bezeichnet man als Hubble-Konstante [1]. Sie gibt an wie schnell (Einheit km/s) sich das Universum pro festgelegter Entfernungseinheit (Megaparsec (Mpc) [1]*) ausdehnt. Jedoch handelt es sich bei der Expansionsrate nicht um eine Geschwindigkeit, sondern um eine Zeitskala - beispielsweise den Zeitraum, in dem das Universum seine Grösse verdoppelt oder um ein Prozent expandiert.

Die Hubble-Konstante ist ein kritischer Parameter der Kosmologie [1]. Die Messung der Hubble-Konstanten ist daher eine Schlüsselaufgabe für die Astrophysik [1] und die Kosmologie.

Während der 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts bestimmte man den Wert der Hubble-Konstanten auf 50-100 km/s/Mpc. Das ist ein sehr ungenauer Wert.

Erst mithilfe des Hubble-Teleskops (HST) [1] gelangen die ersten genaueren Messungen der Hubble-Konstanten.

Immer dann, wenn wir annehmen, dass wir das Universum gut verstehen, entdecken die Astronomen etwas Neues, was die bisherige Meinung ändert. Im vorliegenden Fall stellen neue Beobachtungen die Annahme über die Ausdehnung des Universums in Frage, in der Gestalt der Hubble-Konstanten. Dabei ist die Hubble-Konstante nichts Nebensächliches, sondern ein wichtiger Teil von allem im Universum.

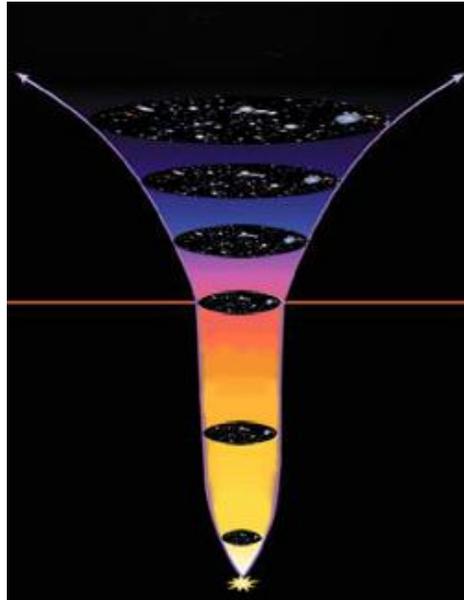
Die beschleunigte Ausdehnung

Vor fast 20 Jahren (1998) entdeckte man mithilfe von Supernovae** [1], dass sich das Universum nicht gleichmäßig, sondern derzeit beschleunigt ausdehnt. Inzwischen nimmt man an, dass sich das Universum seit rund 7 Milliarden Jahren beschleunigt ausdehnt.

Abb. 1b

Schematische Darstellung der beschleunigten Ausdehnung des Universums nach dem Urknall. Seit 1998 wissen wir, dass sich das Universum beschleunigt ausdehnt und vor rund 7 Milliarden Jahren (rote Linie) schneller geworden ist.

© NASA



Bestimmung der Hubble-Konstanten

Die neue Bestimmung der Expansionsrate des Universums mithilfe des Weltraumteleskops Hubble deutet an, dass die Expansion etwa 8 Prozent schneller ist als die bisherigen Messungen (des sich beschleunigt ausdehnenden Universums) zeigten.

Die neuen Ergebnisse könnten eine Schlüsselrolle darstellen, wenn es um das Verständnis des Grossteils des Universums geht: wahrscheinlich besteht das Universum zu rund 95 Prozent aus etwas, das kein Licht abstrahlt, beispielsweise Dunkle Energie [1], Dunkle Materie [1] oder Dunkle Strahlung [1].

Dabei scheint die Dunkle Materie die kosmische Expansion zu verlangsamen, währenddem die Dunkle Energie das Gegenteil bewirkt und die Ausdehnung des Universums beschleunigt.

Wie misst man die Hubble-Konstante?

Die Messung der Expansion des Universums ist schwierig.

(a) Cepheiden

Innerhalb der Milchstraße kann das HST Entfernungen mithilfe sog. Cepheiden [1] messen. Dabei handelt es sich um sog. pulsierende Sterne [1], deren Verhalten relativ gut bekannt ist (Abb. 2). Die Entfernung zu Cepheiden wird mithilfe der sog. Parallaxe [1] gemessen. Dabei handelt es sich um eine einfache geometrische Methode.

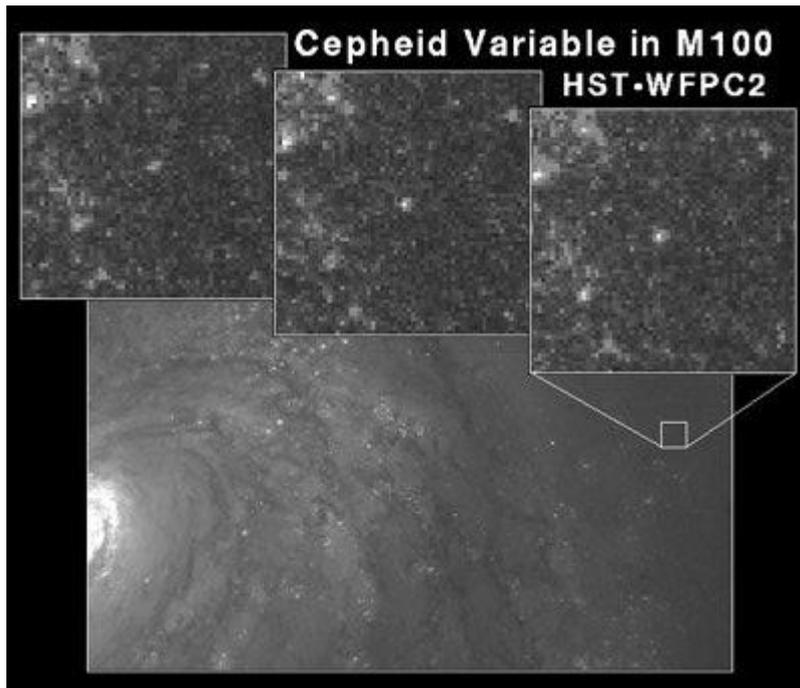


Abb. 2 Messung der Cepheidenhelligkeit und Periode in der Galaxie M100 [1].
 Anhand der periodischen Helligkeitsänderung von Cepheiden kann man die Entfernung dieser Sterne bzw. der entsprechenden Galaxie bestimmen.
 © WFPC2

Kennt man die wahre Helligkeit (sog. absolute Helligkeit [1]) der Cepheiden und vergleicht diese mit ihrer scheinbaren Helligkeit [1] - die wir auf der Erde messen -, kann man die Entfernung des Sterns von der Erde genau messen.

Dabei spielt die Pulsationsrate eine wichtige Rolle. Die Cepheiden werden aus diesem Grund als "kosmischer Entfernungsmaßstab" bezeichnet.

(b) Cepheiden + Supernovae Ia**

Die Entfernung naher Galaxien, die nicht nur Cepheiden enthalten, wird mithilfe sog. Supernovae vom Typ Ia (SNIa) [1] bestimmt (Abb. 3). Diese Klasse Supernovae stellen einen weiteren kosmischen Entfernungsmaßstab dar.



Abb. 3 Beispiel des Auftretens einer entfernten Supernova
 Eine Supernova in einer entfernten Galaxie macht sich durch ihre enorme Helligkeit bemerkbar, mit der sie die gesamte Galaxie oftmals überstrahlt. Innerhalb weniger Tage (von links nach rechts) wird die Supernova schnell heller.

© ESO

Mithilfe von Cepheiden misst man die Entfernung der Supernovae und kann daraus die wahre Helligkeit (absolute Helligkeit) dieser Objekte bestimmen.

(c) Supernovae Ia

In weiter entfernten Galaxien sind Cepheiden nicht mehr beobachtbar. Jedoch sind Supernovae Ia so leuchtstark, dass sie selbst in grossen Entfernungen beobachtet werden können. Die Entfernung dieser Objekte bestimmt man mithilfe des Vergleichs aus scheinbarer und wahrer (absoluter) Helligkeit.

Das Licht entfernter Supernovae ist aufgrund der Ausdehnung des Universums "rotverschoben" [1]. Mithilfe des Vergleichs der gemessenen Entfernung und der Rotverschiebung [1] ergibt sich ein Maß für die Expansionsrate des Universums.

Die ungleiche Ausdehnung des Universums

Die Ausdehnung des Universums kann mithilfe der oben beschriebenen Methoden von bisher 3,3 Prozent auf 2,4 Prozent genau bestimmt werden. Die Herausforderung besteht darin zu erklären, weshalb die Expansionsrate des heutigen nicht mit der des frühen Universums übereinstimmt.

Die Expansionsrate des frühen Universums kann man mithilfe des "Nachglühens des Urknalls" [1] bestimmen. Diese Rate haben mehrere Forschungssatelliten gemessen, beispielsweise die US-amerikanischen Satelliten BOOMERANG [1], WMAP [1] und der europäische Satellit PLANCK [1]. Diese Satelliten erhalten jedoch eine geringere Expansionsrate für das frühe Universum - im Vergleich zum heutigen Wert.

Man kann diese Diskrepanz mit dem Bau einer Brücke erklären, bei dem jeweils ein Teil der Brücke gebaut wird und sich beide Teile nicht in der Mitte treffen. - Auf diese Art und Weise sollten Brücken nicht gebaut werden...

Die neuen Messungen

Die verbesserte Entfernungsmessung entstand durch neue Infrarot-Beobachtungen von 2.400 Cepheiden in 19 Galaxien (Abb. 4) und dem Vergleich mit 300 Supernovae Ia [3]. Damit konnte der Wert der Hubble-Konstanten zu $H_0 = 73.00 \pm 1.75 \text{ km/s/Mpc}$ bestimmt werden [3].

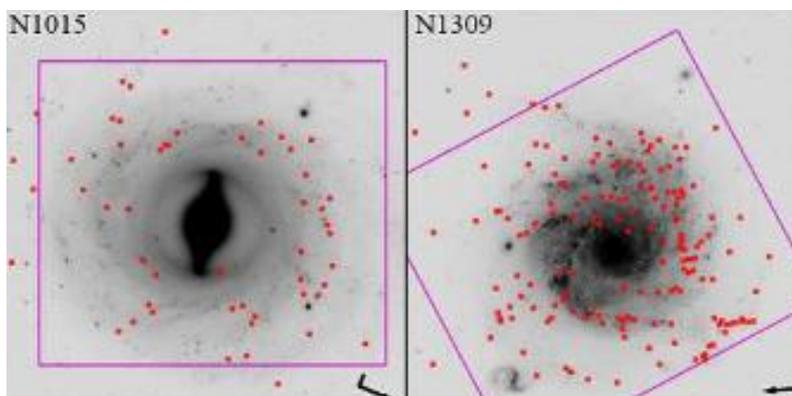


Abb. 3 Cepheiden in den Galaxien NGC 1015 und NGC 1309 [1].
Die neuen Beobachtungen stützen sich auf die Messungen von Cepheiden (rote Punkte) in 19 Galaxien wie beispielsweise NGC 1015 und NGC 1309.
Die Pfeile geben die Nord- (grosser Pfeil) und Ostrichtung an.

Der neue Wert bedeutet, dass sich die Entfernung zwischen kosmischen Objekten in weiteren 9,8 Milliarden Jahren verdoppeln wird.

Der Wert ist höher als der, der mithilfe von Messungen an Neutrinos [1] und den PLANCK-Daten (66.93 ± 0.62 km/s/Mpc) ermittelt hat; andere Daten (u.a. mit WMAP) ergeben einen etwas höheren Wert (69.3 ± 0.7 km/s/Mpc), beide Ergebnisse mit mehr als 5 Prozent Meßunsicherheit. Möglicherweise spielen systematische Unsicherheiten in der Messung der kosmischen Hintergrundstrahlung [1] eine Rolle.

Erklärungsversuche

Die Wissenschaftler versuchen nun herauszufinden, weshalb diese Diskrepanz auftritt. Wenn die Mengen der Dunklen Energie und der Dunklen Materie zu Beginn der Entwicklung des Universums bekannt wären sowie die dazugehörige Physik, könnte man vorhersagen wie schnell sich das Universum gegenwärtig ausdehnen und welchen Wert die Hubble-Konstante besitzen sollte. Die Diskrepanz weist darauf hin, dass wir diese Entwicklung noch nicht vollständig verstehen.

Bisher wird die Dunkle Energie als "Kraft" interpretiert, die die Expansion des Universums steuert. Wird die Dunkle Energie im Laufe der Zeit bzw. der Entwicklung des Universums stärker? Bisher wissen wir nur wenig über die "dunklen Anteile" im Universum. Daher sei es wichtig zu messen wie sie das Universum in kosmischen Zeiträumen verändern, so einer der beteiligten Wissenschaftler.

Falls die Messungen weiterhin eine Diskrepanz zeigen, könnte das ein Hinweis auf die Existenz einer Physik jenseits des sog. Standardmodells [1] hinweisen, beispielsweise auf eine zeitabhängige frühe Dunkle Energie, Physik jenseits der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) [1], weitere (bisher unbekannt) relativistische Teilchen [1] oder eine Krümmung [1] des Universums.

Falls die neue Messung der Hubble-Konstanten und die der Ausdehnung des frühen Universums seitens der PLANCK-Messungen beide korrekt sind, müsse sich das Standardmodell der Kosmologie ändern, so einer der beteiligten Forscher. Denkbar sei, dass die Elementarteilchen der Dunklen Materie andere Eigenschaften besitzen als bisher angenommen; dies würde die Entwicklung des frühen Universums beeinflussen.

Die PLANCK-Forscher bezweifeln, dass ihre Messungen fehlerhaft sind.

Andere Kosmologen bezweifeln, dass die Standardkerzen in grossen Entfernungen zuverlässig sind, wenn es um Präzisionsmessungen geht.

Aussichten

Zukünftige Weltraumteleskope wie das James Webb-Weltraumteleskop [1] oder das bodengebundene europäische ELT (Extremely Large Telescope) [1] könnten dazu beitragen, die Messunsicherheit weiter zu reduzieren und die Diskrepanz der Ausdehnung des Universums verstehen zu lernen.

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

* Megaparsec, Abk. Mpc
1 Mpc = 1 Million parsec (pc); 1 pc = 3,26 Lichtjahre (Lj) [1]

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Hubble, E., PNAS 15 No. 3, 168-173 (1929)

[3]
Riess, A. G., et al., ApJ (May 2016)

[3]
<http://hubblesite.org>
<https://www.spacetelescope.org> (Science Release)
Nature (11 Apr 2016)