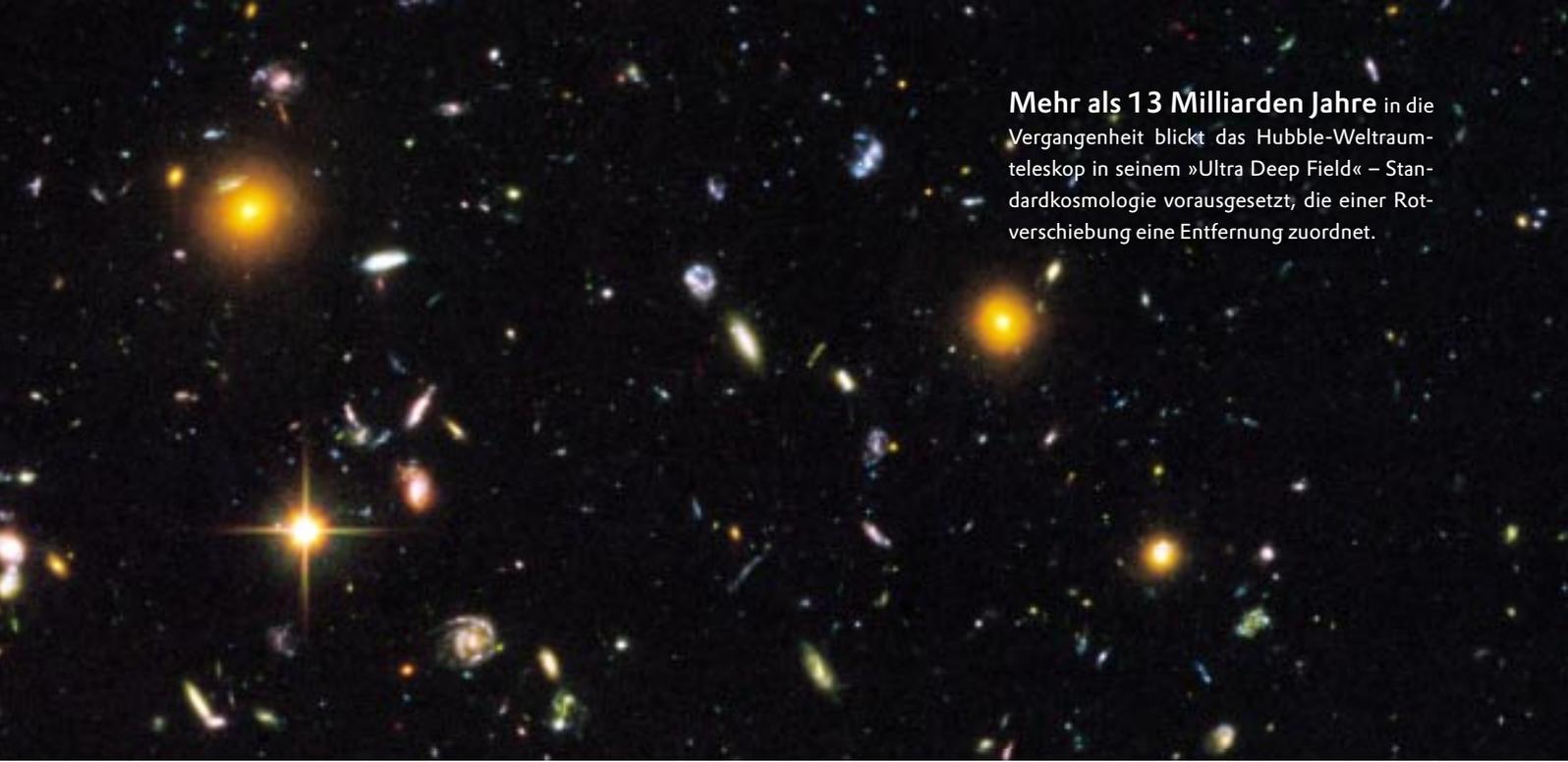


Urknall oder nicht Urknall?

Gab es den »Big Bang« und die anschließende Inflation? Einige Wissenschaftler zweifeln und suchen nach alternativen Theorien zum kosmologischen Standardmodell.

>> Jürgen Brück



Mehr als 13 Milliarden Jahre in die Vergangenheit blickt das Hubble-Weltraumteleskop in seinem »Ultra Deep Field« – Standardkosmologie vorausgesetzt, die einer Rotverschiebung eine Entfernung zuordnet.

Am 22. Mai 2004 erschien im Wissenschaftsmagazin »New Scientist« ein offener Brief an die Forschergemeinde. Angeführt von Halton Arp (Foto S. 22) brachten hier Wissenschaftler der Öffentlichkeit insbesondere zwei Anliegen zu Gehör: Zum einen halten sie das kosmologische Standardmodell nicht für eine befriedigende Erklärung für die Entstehung und die Frühzeit des Kosmos und zum anderen fühlen sie sich von den Befürwortern des Urknallmodells geringschätzig behandelt. Sie, die »Abweichler«, seien in der öffentlichen Wahrnehmung so gut wie nicht präsent, somit weitgehend von der Vergabe der Forschungsmittel ausgeschlossen und könnten deshalb ihre Theorien nicht in gebührendem Maße ausarbeiten.

Die inflationäre Phase des frühen Universums wurde im Leitartikel der letzten Ausgabe beschrieben (AH 1-2/2006, S. 24). Lassen die Beobachtungen auch andere Deutungen zu? Sind die Ansichten von Arp und seinen Kollegen so brisant, dass ihre Konkurrenz alles daransetzt, um eine Diskussion zu verhindern – oder handelt es sich hierbei nur um Hirngespinnste?

Die Theorie des ewig Gleichen

Eine frühe Konkurrentin des Urknallmodells war die Steady-State-Theorie, die Ende der 1940er Jahre unter anderem von Fred Hoyle entwickelt wurde (AH 12/2005, S. 54). Auch hier expandiert das Universum, doch seine Dichte ändert sich nicht. Um das zu gewährleisten, ist es nö-

tig, dass sich ständig neue Materie bildet. Einen Anfang – wie den Urknall – oder ein Ende des Universums sieht dieses Modell indes nicht vor, daher der Name. Wir haben es nach Hoyle also nicht nur mit einem räumlich, sondern auch mit einem zeitlich homogenen und isotropen Universum zu tun. Eine gewisse Eleganz kann man der Theorie nicht absprechen, daher erscheint es wenig verwunderlich, dass sie sich zunächst großer Beliebtheit erfreute. Allerdings zeigte sie in zwei Punkten deutliche Schwächen: Sie konnte weder für die Hintergrundstrahlung noch für die Häufigkeit der leichten Elemente im Universum eine befriedigende Erklärung liefern. Und so hieß es – für einige Wissenschaftler durchaus schweren Herzens – Abschied zu nehmen von der >



> Vision eines ewigen und unveränderlichen Universums. 1967 schrieb der Physiker Dennis Scianna: »Ich muss hinzufügen, dass für mich der Verlust der Steady-State-Theorie Anlass zu großer Trauer war. Die Steady-State-Theorie hatte einen Schwung und eine Schönheit, die der Architekt des Universums aus einem unerklärlichen Grund übersehen zu haben scheint. Das Universum ist tatsächlich ein Flickwerk, aber ich glaube, wir müssen das Beste daraus machen.«

Das Unbehagen, eine »schöne« Theorie einfach fallen lassen zu müssen, ließ Fred Hoyle jahrzehntelang nicht los und er stellte schließlich 1993 zusammen mit seinem Kollegen Geoffrey Burbidge und dem theoretischen Physiker Jayant Narlikar die Quasi-Steady-State Cosmology (QSSC) vor. Die Grundlage ihrer Überlegung stellt dabei die fehlende Skaleninvarianz der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) dar. Denn sie behandelt den Urknall – mathematisch gesprochen – als Singularität. Raum und Zeit sind hier vollkommen anders als heutzutage.

Also versuchten die Wissenschaftler, Einsteins Theorie so weit zu verallgemeinern, bis sie das Postulat der Skaleninvarianz erfüllte, sodass man gedanklich beliebige Sprünge durch Raum und Zeit machen kann und am Ziel ein Univer-

sum vorfindet, das genauso beschaffen ist wie hier und heute.

Um das zu erreichen, wählten sie das Mach'sche Prinzip als Grundlage. Es besagt, dass die Trägheit einer Masse durch die Wechselwirkung aller Massen im Weltall bewirkt wird und nicht – wie in der Newton'schen Physik – eine untrennbare Eigenschaft jedes einzelnen Körpers darstellt. Dieser Ansatz erwies sich als erfolgreich: Im Rahmen der QSSC stellt die Allgemeine Relativitätstheorie lediglich den Spezialfall für moderate und schwache Gravitationsfelder dar.

Ein weiteres Kernstück der Theorie ist das C-Feld. Überall dort, wo dieses Feld ausreichend stark ist, kann Materie gebildet werden. Dies ist vor allem in der Nähe sehr massereicher Körper der Fall. Nun ist das C-Feld so beschaffen, dass die Erschaffung von Materie explosionsartig in winzigen Urknallen vonstatten geht. Diese »Mini-Bangs« sind auch für die Expansion des gesamten Universums verantwortlich. Allerdings läuft die Expansion in Schüben ab. In Zeiten, da keine oder kaum neue Materie gebildet wird, zieht sich das Universum wieder ein wenig zusammen. In gewisser Weise oszilliert das Universum also. Diese Schwingung wird von einer langsamen exponentiellen Ausdehnung überlagert.

Sehen wir uns noch ein wenig näher an, was passiert, wenn Masse »hergestellt« wird. Bei diesem Vorgang entstehen zunächst »Planck-Teilchen«. Sie sind extrem kurzlebig und zerfallen in viele weitere Partikel. Da diese sich noch sehr nahe beieinander befinden, ist die Temperatur in ihrer Umgebung sehr hoch und es kommt zu Fusionsreaktionen, ähnlich denen, die die Standardtheorie für die Zeit kurz nach dem Urknall annimmt. So können sich also auch hier leichte Elemente bilden. Für zwei weitere zentrale Indizien für das Standardmodell, den Mikrowellenhintergrund und die kosmologische Rotverschiebung, hat die QSSC ebenfalls Erklärungen. Haben wir es hier also mit einer echten Alternative zum Urknallmodell zu tun?

Rätselhafte Rotverschiebung – Arpsche Objekte

Schauen wir zunächst auf die Rotverschiebung, die vom Standardmodell so schön einleuchtend durch die Expansion des Universums erklärt wird. Auf einige Beobachtungen zur Rotverschiebung benachbarter Objekte stützt sich die Kritik, die der Astronom Halton Arp, derzeit freier Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für Astrophysik in Garching, dem Standardmodell entgegenbringt. Diese »anomale« Rotverschiebung findet sich bei Galaxien und Quasaren (oder Galaxienpaaren), die scheinbar durch Filamente miteinander verbunden sind, aber dennoch deutlich unterschiedliche Rotverschiebungen aufweisen. Ein auch von Arp immer wieder gern angeführtes Beispiel für dieses Phänomen sind die Galaxie NGC4319 und der Quasar Markarian 205 (Foto rechts). Beide Objekte scheinen miteinander verbunden zu sein, dennoch weist die Galaxie eine Rotverschiebung von 0,005 auf, wohingegen der Wert des Quasars bei 0,07 liegt.



MIT FRDL. GEN. VON CHANDRA WICKRAMASINGHE, AUS: A JOURNEY WITH FRED HOYLE, 2005

Verfechter der alternativen Theorien Der gebürtige Ceylonese Chandra Wickramasinghe und der Engländer Sir Fred Hoyle (oben), der Amerikaner Halton Arp (Mitte) und der in der Schweiz geborene US-Astronom Fritz Zwicky (rechts)



MIT FRDL. GEN. VON HALTON ARP



FRITZ ZWICKY STIFTUNG, GLARUS, SCHWEIZ

Dreh- und Angelpunkt der Argumentation sind Galaxien-Quasar-Paare wie hier NGC 4319 und Markarian 205 (rechts oben im Bild).

Wie lässt sich dieser Effekt erklären? Während die Mehrheit der Wissenschaftler schlicht und ergreifend davon ausgeht, dass die beiden Objekte nicht miteinander verbunden sind, wertet Arp seine Beobachtungen als Beweis für die Fehlerhaftigkeit des Standardmodells. Für ihn stellt die Rotverschiebung eine Erscheinung dar, die ausschließlich durch die Objekte selbst zu Stande kommt; das Universum aber sei statisch. Matthias Bartelmann von der Kosmologieforschungsgruppe am Institut für Theoretische Astrophysik der Universität Heidelberg hält nicht viel von derartigen Erklärungen: »Wir wissen, dass Objekte hoher Rotverschiebung weiter entfernt sind als Objekte niedriger Rotverschiebung, denn Letztere erscheinen vor Erstere projiziert und nicht umgekehrt. Das wird in den Absorptionsspektren von Quasaren wohl am deutlichsten. Schon das, wofür man keinerlei kosmologische Annahmen braucht, steht im Widerspruch zu Halton Arps These, weshalb ich meine, dass sie unbegründet ist.«

Die verschiedenen Werte für die Rotverschiebung erklären sich nach dem Modell von Arp und Narlikar so: Im Universum entsteht immer wieder neue Materie in Form von Mini-Bangs. Im Moment ihres Entstehens verfügt die Materie aber über keine Masse. Erst im Lauf der Zeit nimmt ihre Masse zu, die Objekte fangen an, der Gravitation zu unterliegen. Dass wir im Milchstraßensystem nichts davon merken, liegt daran, dass alle Materie der Galaxis zum gleichen Zeitpunkt entstanden ist – daher gilt bei uns auch die Allgemeine Relativitätstheorie. Ist nun die Masse eines Elements weit weg im Universum geringer als bei uns, benötigt man weniger Energie, um Elektronen seiner Hülle anzuregen, und die Absorptionslinien der fernen Galaxie wirken rotverschoben.

Materie entsteht – laut Arp – stets innerhalb großer Galaxien. Da ihre Masse kurz nach der »Geburt« noch sehr gering ist, bewegt sie sich annähernd mit Lichtgeschwindigkeit und tritt irgendwann aus der »Muttergalaxie« aus. In diesem Stadium erscheint sie noch stark rotver-

schoben und wir nehmen sie als Quasar wahr. Mit der Zeit nimmt nun die Masse zu, die Rotverschiebung schwächt sich ab und sie erscheint letztlich als ganz gewöhnliches – wenn auch immer noch schwach rotverschobenes – Sternsystem.

Bartelmann beurteilt Arps aktuelle Rolle in der Kosmologie so: »Halton Arp spielt seit Langem die Rolle eines Advocatus Diaboli, und es ist sehr nützlich für die Kosmologie, immer wieder dazu gezwungen zu werden, sich ihrer Grundlagen zu versichern. Insofern halte ich seine Bemühungen durchaus für hilfreich, weil sie die Begriffe und Konzepte der Kosmologie schärfen helfen.«

Kann Licht müde werden?

Die Kritik der Standardmodellgegner entzündet sich oft an der Rotverschiebung. Mehrfach wurden von ihrer Seite Versuche unternommen, alternative Erklärungen für dieses Phänomen zu finden. Fritz Zwicky (rechtes Foto auf der linken Seite), ein Kollege Edwin Hubbles, brachte Ende der 1920er Jahre die »Lichtermüdung« als Erklärung für die Rotverschiebung ins Gespräch, ein Gedanke, der auch heutzutage immer wieder auftaucht. Ihm liegt die Überlegung zu Grunde, dass Lichtquanten auf ihrem langen Weg doch auch Energie verlieren könnten, etwa dadurch, dass sie an in-

tergalaktischen Staubpartikeln gestreut werden.

Auch Fred Hoyle und Jayant Narlikar stellten eine Hypothese auf. Sie gehen in ihrem Modell nicht von einem expandierenden Universum aus, sondern nehmen exakt das Gegenteil an: ein schrumpfendes Weltall. In diesem Modell ändert sich nicht die Größe des Universums, aber alle atomaren Größen werden kleiner. So scheinen sich die Galaxien, indem sie schrumpfen, voneinander zu entfernen, obwohl der Abstand zwischen ihnen eigentlich gleich bleibt. Da die Atome früher größer waren, ist auch die Wellenlänge der von fernen Galaxien abgegebenen Strahlung und somit ihre Rotverschiebung größer.

Um eine alternative Erklärung für die kosmische Drei-Kelvin-Hintergrundstrahlung geht es Fred Hoyle und Chandra Wickramasinghe (großes Foto linke Seite) mit ihrer Eisennadeltheorie. Ihren Berechnungen zufolge »entspricht die Energiedichte der Hintergrundstrahlung in etwa der Energiedichte des Sternlichts der Milchstraße sowie der Energiedichte aus der Umwandlung von Wasserstoff in Helium in Sternen und ebenfalls der Energiedichte der kosmischen Strahlung«, wie sie 1989 in einem Artikel in »Bild der Wissenschaft« erläuterten. Daraus schlossen die beiden Wissenschaft-

NASA / ESA / STSCI



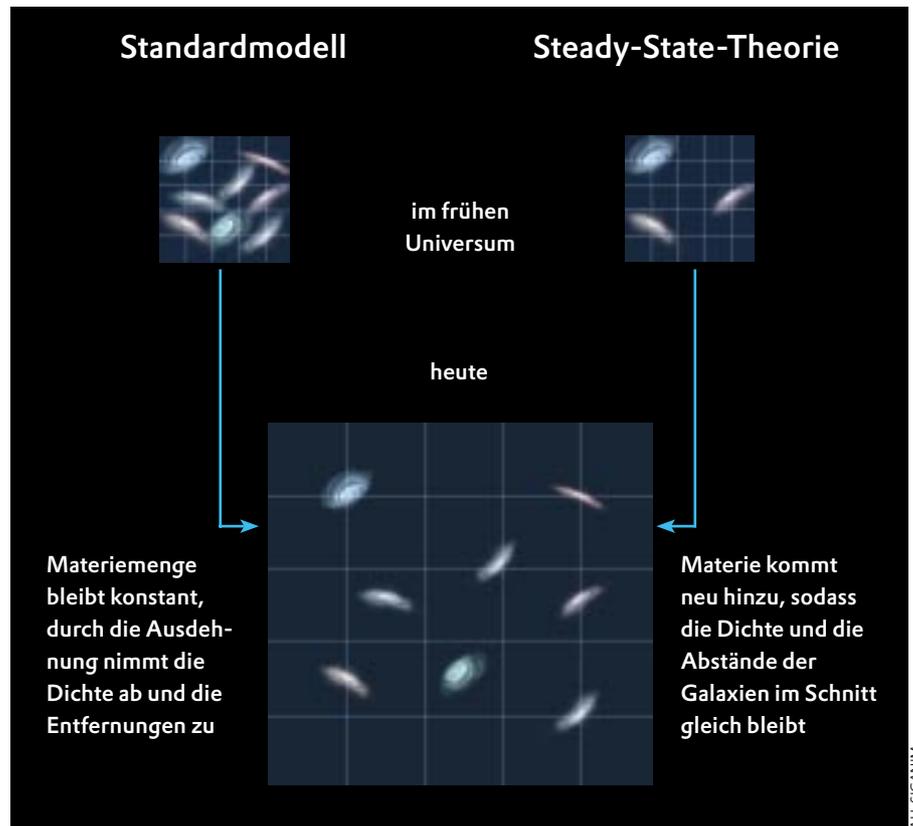
Ein Big Bang oder viele Mini-Bangs? Beim Standardmodell (links) verteilt sich die im Urknall entstandene Materie, bei der Quasi-Steady-State-Theorie wird ständig neue Materie gebildet.

> ler, dass die Hintergrundstrahlung in kosmologisch junger Zeit aus der Strahlung entstanden ist, die bei der Kernfusion in Sternen erzeugt wurde. Um so die gemessene Strahlung zu erhalten, sind aber noch spezielle Teilchen notwendig, die sozusagen als Antennen fungieren. Hoyle und Wickramasinghe (AH 6/2005, S. 54) meinen nun, dass diese in Form von Eisennadeln mit einem Durchmesser von der Größe eines Atomkerns und einer Länge von bis zu einem Millimeter existieren, und kommen zu dem Schluss: »Die bei der Umwandlung von Wasserstoff in Helium in Sternen freigesetzte Energie könnte zuerst von den winzigen Staubteilchen in den Galaxien in Infrarotstrahlung und später von den Eisennadeln in Wärmestrahlung größerer Wellenlänge umgewandelt worden sein.«

Bartelmann hingegen ist davon überzeugt, dass Hoyle seine Idee selbst nicht ganz ernst gemeint haben kann: »Sie war ein Versuch, die offensichtliche thermische Strahlung im Universum alternativ zu erklären, ist aber erheblich künstlicher als die Urknalltheorie, weil sie die Existenz von genügend viel Eisen, günstige Bedingungen nicht nur für die Entstehung von Eisennadeln, sondern auch für deren richtige Länge und deren weitestgehende Gleichförmigkeit im Universum verlangen muss. Darüber hinaus sind Eisennadeln natürlich sehr empfindlich für großräumige Magnetfelder, würden sich deswegen ausrichten und damit der abgegebenen Strahlung ein Polarisationsmuster aufprägen, das mit dem beobachteten Mikrowellenhintergrund nichts zu tun hat.«

Jenseits der Relativitätstheorie

Das Standardmodell lässt zweifelsohne viele Fragen offen, wie Teil 1 (AH 1-2/2006, S. 24) unserer Reihe bereits aufgezeigt hat. Dies betrifft besonders die zu Grunde liegende Physik im frühen Universum. »Solche Situationen sind nicht ganz unbekannt in der Physik, wo oft Quantenaspekte für eine vollständige Beschreibung in Betracht gezogen wer-



den müssen«, erklärt Martin Bojowald, der am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik gearbeitet hat und jetzt Assistenzprofessor für Physik an der Pennsylvania State University ist. »Auch in der Kosmologie muss man deshalb Raum und Zeit selbst durch eine Theorie der Quantengravitation beschreiben, und das ist der Ansatzpunkt der ›Schleifen-Quantenkosmologie‹.« Sollte es den Urknall gegeben haben, müsste sich das Universum dabei in einem Zustand befunden haben, der durch die Allgemeine Relativitätstheorie nicht beschrieben werden kann. In dem kleinen Kosmos würde sich die Gravitation anders verhalten und wirkt unter Umständen auch abstoßend.

Bojowald erklärt: »Zunächst verhindert die Abstoßung den totalen Zusammensturz in eine Singularität, wie sie die Allgemeine Relativitätstheorie vorhersagen würde. Außerdem kann die Abstoßung, die ja abgeschwächt auch bei größeren Abständen noch wirksam ist, zu einer Beschleunigung der Ausdehnung führen und damit das Phänomen der Inflation erklären.«

Die Theorie ist noch nicht ausgereift, aber sie erweist sich schon jetzt als mögliches Fundament des Standardmodells, mit dem auch die Erklärung der Entstehung des Universums gelingen könnte.

Und vielleicht sogar der Zeit vor dem Urknall.

Gab es ihn wirklich? Die meisten Astronomen, Physiker und Kosmologen werden die Frage bejahen. Dies trotz der Vielzahl an »Anti-Urknall-Theorien«, von denen wir die fundiertesten hier skizziert haben. Im Internet schwirren natürlich noch viele weitere herum, die meisten lassen jedoch jegliche Seriosität und wissenschaftlichen Gehalt vermissen. Aber auch in den Reihen der Modelle »echter« Forscher scheint das Standardmodell bis jetzt die brauchbarste Grundlage zur Beschreibung des Kosmos zu sein. Nichtsdestotrotz kann ein Dialog zwischen Befürwortern und Gegnern des Urknalls dazu beitragen, das Verständnis für das Universum zu verbessern. <<

Jürgen Brück ist freier Journalist in Bonn und spezialisiert auf Themen der Physik, Kosmologie und Nanotechnologie.

Der dritte Teil wird sich in einer der nächsten Ausgaben mit Einsteins »größter Eselei« beschäftigen, der Kosmologischen Konstanten.

Weblinks

<http://cosmologystatement.org> • www.haltonarp.com • <http://msb.ita.uni-heidelberg.de>