Die Entstehung der Strukturen im Universum

2. Vortrag im Bayerischen Fernsehen

Gerhard Börner

Max-Planck-Institut für Astrophysik

Karl-Schwarzschild-Str. 1, 85748 Garching

Das heiße Gemisch aus Strahlung und Materie in der Nähe des Urknalls war nahezu strukturlos. Durch die rasche Ausdehnung und Abkühlung der Urmaterie konnten im Laufe der Zeit komplexere Strukturen entstehen. Einige Sekunden nach dem Urknall begann die Bildung der Atomkerne von Deuterium, Helium und Lithium, die nach etwa drei Minuten abgeschlossen war. Die theoretische Vorhersage, daß dann die Elemente Helium und Wasserstoff etwa im Verhältnis eins zu dreizehn vorhanden sind, stimmt mit den heutigen astronomischen Beobachtungen überein. Etwa 300 000 Jahre nach dem Urknall war die Temperatur der Strahlung auf 4500 Grad abgesunken. Strahlung und Materie entkoppelten, die ersten Atome entstanden, und die Materie konnte, der Schwerkraft folgend, sich zu dichteren Objekten zusammenklumpen. Auf diese Weise entstanden aus anfänglich kleinen Schwankungen der Massenverteilung schließlich Galaxien und Sterne. In vielen Details ist die Galaxienbildung noch nicht verstanden. Dies ist ein aktuelles Forschungsgebiet der Kosmologie, an dem auch an meinem Institut, dem Max–Planck–Institut für Astrophysik, intensiv gearbeitet wird.

Ein Grundproblem besteht darin, daß die ursprünglichen Irregularitäten sehr klein sind. Das Strahlungsfeld weist Abweichungen von der Gleichförmigkeit von etwa einem hunderttausendstel auf. Schwankungen der Materiedichte von gleicher Größenordnung zur Zeit der Entkopplung genügen aber nicht, um zu den jetzt beobachteten Strukturen zu führen. Die Kosmologen haben Modelle entwickelt, in denen das Universum erfüllt ist von einer etwas rätselhaften Dunklen Materie, die bei weitem überwiegt – bis zum zehn- oder sogar hundertfachen der normalen Materie – und die Entwicklung der Strukturen bestimmt. Woraus besteht diese dunkle Materie? Das ist noch unklar, obwohl es viele theoretische Kandidaten – Neutralinos, Axionen, Neutrinos – gibt. Allerdings gibt es bis jetzt noch keinen experimentellen Nachweis. Das Konzept der Dunklen Materie hilft bei der Erklärung der Galaxienbildung, hat aber die bemerkenswerte Konsequenz, daß die normale Materie, aus der wir bestehen, nur ein kleiner Bruchteil der im wesentlichen unbekannten kosmischen Materie ist.

In den ersten Vorstufen von Galaxien, die sich formten, als das Universum etwa siebenmal kleiner und 300 mal dichter war als heute, entstanden auch die ersten Sterne. Im Inneren dieser massereichen Sterne wurden die schweren Elemente – Kohlenstoff, Sauerstoff, Eisen, etc. – gebraut. Jedes Kohlenstoff-und Sauerstoffatom in unserem Körper entstand im Inneren eines Sterns, wurde nach dessen Explosion in den interstellaren Raum geschleudert, um schließlich bei der Entstehung des Sonnensystems auf der Erde zu enden. Sterne einer zweiten Generation, bei deren Entstehung schon die schweren Elemente zur Verfügung standen, und die nachfolgende Bildung von Planetensystemen sind also eine Folge von Entwicklungsprozessen, die im frühen Universum begonnen haben.

Die riesige Zeitspanne von einigen Milliarden Jahren ist notwendig, damit die schwache Gravitationskraft genügend große Massen gegen den alles auseinanderreißenden Urschwung der kosmischen Explosion konzentrieren kann. Der gleichmäßige Energiestrom eines Sterns wie unsere Sonne, die feste Oberfläche eines Planeten mit ihrer Konzentration schwerer Elemente, schaffen schließlich die Voraussetzungen für die Entstehung komplexer biologischer Strukturen.

Es ist bedenkenswert, daß eine lange Entwicklungszeit nötig ist, um Leben von unserer Art hervorzubringen. Bedenkenswert ist auch, daß dieses Leben nicht entstehen könnte, wenn die Kräfte zwischen den Kernteilchen ein wenig anders wären, als sie tatsächlich sind. Das sogenannte "anthropische Prinzip" ist eine Überlegung, die auf eine Reihe solcher Feinabstimmungen hinweist, die das Universum zu einer gastlichen Stätte für Leben und Intelligenz machen. Bedenkenswert ist aber auch, daß die Zeitspanne für intelligentes Leben begrenzt ist: In weiteren fünf Milliarden Jahren wird sich die Sonne zu einem "Roten Riesen" aufblähen und die Biosphäre der Erde vernichten. Fünf Milliarden Jahre sind natürlich eine lange Zeit der Entwicklung für intelligente Wesen, die wohl bis dahin Auswege finden werden, um die simplen astronomischen Vorgänge zu beinflussen, oder ihnen auszuweichen.