

Zweifel am Alter des Kosmos?

Neuer Galaxientyp? Möglicherweise wurde mit dem Hubble Weltraumteleskop und dem australischen Radioteleskop CSIRO ein völlig *neuer Galaxientyp* entdeckt, der sich durch eine rund hundertfach höhere Sternentstehungsaktivität auszeichnet. Galaxien dieses Typs sollen im Bereich des sichtbaren Lichts ausnahmslos dunkel, im Bereich der Radiowellen jedoch sehr hell sein.

Die Entfernung dieser Galaxien wird auf fünf bis elf Milliarden Lichtjahre geschätzt. Damit wären sie im Extremfall (bei maximaler Entfernung) überraschend kurz nach dem postulierten Urknallereignis entstanden.

Größte Struktur im Kosmos. Neben diesen sehr frühen Galaxien sorgte die Entdeckung der bislang *größten Struktur im Kosmos* für Aufsehen: Eine Gruppe amerikanischer Astronomen der National Optical Astronomy Observatories in Greenbelt, Maryland, glaubt, auf eine 600 Millionen Lichtjahre große Anhäufung von Quasaren und Galaxien gestoßen zu sein, die sich in rund 6,5 Milliarden Lichtjahren Entfernung von uns befinden soll. Von der Erde aus gesehen liegt der ungeheuer große Galaxienhaufen etwas südlich vom Zentrum des Sternbilds Löwe und erstreckt sich am Firmament über zwei bis fünf Winkelgrad, das entspricht aus irdischer Perspektive einer Fläche von rund 40 Mal der Größe des Vollmondes. Noch weiter entfernte, aber selbst mit größeren Teleskopen unsichtbare Galaxien könnten zudem zu diesem gewaltigen Komplex von Galaxienverbänden gehören. Eine solche Anhäufung wirkt für die Astronomen im Rahmen des Urknallmodells jedoch Probleme auf, denn die Struktur ist eigentlich zu groß, um allein unter dem Einfluß der Schwerkraft in der „kurzen“ Zeit von rund 12 Milliarden Jahren seit dem Urknall entstanden zu sein. Diese Beobachtungen stellen die Theorie der Galaxienentstehung damit auf eine harte Probe. „Das beobachtete Licht dieser Galaxiengruppe“, so erklärt der beobachtende Astronom Gerard WILLINGER vom 4-Meter-Teleskop des Inter-American Observatory in Cerro Tololo, Chile, „hat so einen ungeheuer langen Weg zurücklegen müssen, daß es von den Galaxien vor der Entstehung der Erde ausgesendet wurde – wir sehen die Galaxiengruppe zu einem Zeitpunkt, als unser Universum erst ein Drittel des heutigen Alters hatte, etwa 4,5 Milliarden Jahre nach dem Urknall.“

Normalerweise befinden sich in einer Himmelsregion dieser Größe nur zwei bis drei Quasare und vier Galaxien. WILLINGER und sein Team beobachteten dagegen 18 Quasare und 11 Galaxien – ein gewaltiger Massenüberschuß!

Lokale Gruppe. Unsere Galaxie ist Mitglied von mindestens 30 Galaxien, der sogenannten Lokalen Gruppe, die sich mehr als drei Millionen Lichtjahre weit im Raum ausdehnt (vgl. Abb. 1). Über die Hälfte sind mit 6 000 Lichtjahren Durchmesser kleine oder Zwerggalaxien. Deren Sterne bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit voneinander weg, was durch die gemessene Radialgeschwindigkeit gezeigt werden kann, die bis zu 10–12 km/sec betragen kann.

Astronomen haben schnell realisiert, daß sich diese Sterne nicht schon seit Milliarden von Jahren mit dieser Geschwindigkeit bewegen können, denn sonst müßten sich die Zwerggalaxien schon längst aufgelöst haben, weshalb sich dieses Phänomen nicht ohne weiteres in Urknallvorstellungen einreihen läßt. Bei dieser Eigenbewegung ihrer Sterne sollten sich die Zwerggalaxien bereits nach 100 Millionen Jahren aufgelöst haben. Deshalb bleibt die Frage: Wie ist es möglich, daß die Zwerggalaxien noch immer Sterne mit hoher Radialgeschwindigkeit beherbergen? Die Antwort, die üblicherweise gegeben wird, ist „Dunkle Materie“, welche die Objekte zusammen halten soll. „But for a tiny galaxy like Draco, it (the speedy star problem) is enormous. To hold on to such speedy stars, dim Draco must have a large mass and enormous quantity of dark matter“ (CROSWELL 1995).

Nun hat in den letzten Jahren die Astrometrie-Sonde Hipparcos wesentliche Beiträge geliefert, um in unserer kosmischen Nachbarschaft von etwa 400 Lichtjahren Aussagen über Dunkle Materie zu machen (PERRYMAN 1999): „This sample provides the first reliable, homogenous tracer of mass and stellar motions in our part of the galaxy. It indicates that the total mass in the solar neighbourhood amounts to 0.076 ± 0.015 solar mass per cubic

Abb. 1: Der Andromeda-Nebel, eines der ca. 30 Mitglieder der Lokalen Gruppe.



parsec, roughly twice the amount from stars alone and well below all previous determinations – though compatible with all observations of interstellar gas and dust. This result leaves no room for significant dark matter in the Milky Way's disk. A nearly spherical halo of dark matter extending to the galaxy's outer reaches is still needed, however, to explain the high speeds at which the Milky Way's outlying parts rotate.“

Wenn daraus auch kein junges Alter für den

Kosmos ableitbar ist, für eine junge Lokale Gruppe sprechen diese Ergebnisse.

Norbert Pailer

Literatur

- CROSWELL K (1995) *The Alchemy of the Heavens*, Anchor Books, p. 206
PERRYMAN M (1999) *Hipparcos: The Stars in Three Dimensions*. Sky & Telescope 97(6), 44.

Unbeständige molekulare Uhren

Nachdem es möglich geworden war, Aminosäureabfolgen von Proteinen oder Nucleotidsequenzen von DNA zu ermitteln und die Abfolgen homologer Proteine bzw. DNA verschiedener Arten miteinander zu vergleichen, lag der Gedanke nahe, daraus eine molekulare „Evolutionssuhr“ zu „konstruieren“. Je länger zwei Arten auf getrennten Wegen gegangen sind, desto größere Unterschiede in den Sequenzen sind zu erwarten. Kann aus paläontologischen und geologischen Daten der Zeitpunkt der Trennung der Linien beider Arten abgeschätzt werden, so ergibt sich aus den Sequenzunterschieden eine „Ganggeschwindigkeit“ der molekularen Uhr für das betreffende Protein bzw. Gen. Die so bestimmte molekulare Uhr kann dann eingesetzt werden, um den (ungefähren) Trennungszeitpunkt anderer Arten anzugeben, für die es keine fossile Dokumentation gibt.

Voraussetzung für eine brauchbare molekulare Uhr ist allerdings, daß Aminosäure- bzw. Nucleotidaustausche über längere makroevolutionäre Zeiträume hinweg in konstanten Raten erfolgen. Eine theoretische Fundierung der Hypothese der molekularen Uhr lieferte Motoo KIMURA (1987) mit der „Neutralen Theorie der molekularen Evolution“, wonach Mutationen, die zu den Änderungen der Protein- bzw. DNA-Sequenzen führen, meistens selektiv neutral sind und zufällig (unabhängig von u. U. stark schwankenden Selektionsbedingungen) fixiert werden.

AYALA (1999) ging anhand einiger jüngerer Publikationen der Frage nach, ob sich das Konzept

einer molekularen Uhr bewährt. Er listete zunächst fünf Faktoren auf, durch die ein Einfluß auf die Ganggeschwindigkeit vermutet wurde:

1. Generationsdauer. Je kürzer die Generationsdauer ist, desto schneller können Mutationen fixiert werden, was zu einer höheren Ganggeschwindigkeit führt.
2. Populationsgröße. Je größer eine Population ist, desto langsamer sollte die Uhr gehen, wenn nicht alle Mutationen den gleichen Effekt haben. In großen Populationen werden nämlich mehr Mutationen durch Selektion beseitigt, da Selektion einen größeren Bereich von Mutationseffekten erfassen kann (OHTA 1992).
3. Artspezifische Unterschiede in der Genauigkeit der DNA-Replikation.
4. Änderungen in der Funktion eines Proteins im Laufe der Zeit (z. B. nach einer Genduplikation). (Ein grundlegender Funktionswechsel ist allerdings hypothetisch und wird evolutionstheoretisch nur indirekt erschlossen.)
5. Natürliche Selektion. Ändern sich die Selektionsbedingungen häufig und deutlich, sind mehr Fixierungen von Mutationen zu erwarten als bei lange anhaltenden gleichen Auslesebedingungen.

AYALA präsentiert anhand einer Reihe von Beispielen erhebliche Unterschiede in den Ganggeschwindigkeiten (bzw. den Raten der Ersetzung von Aminosäuren bzw. Nucleotiden; ein Beispiel zeigt Tab. 1; die Unterschiede reichen bis zu einem Faktor 5) und diskutiert, ob die o. g. fünf Ursachen für diese Unterschiede in Frage kommen. Er verneint dies in allen Fällen. Beachtenswert ist zudem, daß die Unterschiede bei SOD und GPDH (Tab. 1) deutlich gegenläufig sind. Weitere von AYALA diskutierte Beispiele sind duplizierte Albumin- und Globin-Gene und verschiedene *Drosophila*-Gene. In allen Fällen sind sprunghafte und nicht vorher-sagbare Unterschiede der Evolutionsraten festzustellen, ohne daß eine Ursache dafür ermittelt werden könnte. Einzig unkalkulierbare Änderungen

Tab. 1: Unterschiedliche Raten der Protein-Evolution. Superoxid-Dismutase (SOD) ist ein Enzym, das freie Sauerstoff-Radikale entgiftet; Glycerol-3-Phosphat-Dehydrogenase (GPDH) spielt eine Rolle im tierischen Stoffwechsel. Mit „Trennung“ ist der evolutionstheoretisch ermittelte Zeitpunkt der Trennung der letzten gemeinsamen Vorfahren der verglichenen Arten gemeint (in Millionen Jahren). Die Rate wird bestimmt als Aminosäure-austausch pro Site (Position) und pro Jahr $\times 10^{-10}$ (und nach Korrektur von Mehrfachersetzungen).

Verglichene Arten	Trennung	SOD	GPDH
Zwischen <i>Drosophila</i> -Gruppen	45 ± 10	16,6	0,9
Zwischen Subgenera v. <i>Drosophila</i>	55 ± 10	16,2	1,1
Zwischen Gattungen v. <i>Drosophila</i>	60 ± 10	17,8	2,7
Zwischen Säugetieren	70 ± 15	17,2	5,3
Zwischen Fruchtfliegen-Familien	100 ± 20	15,9	4,7
Zwischen Tierstämmen	650 ± 100	5,3	4,2
Zwischen Vielzellern	1100 ± 200	3,3	4,0