

Wir und das Weltall : Teil 1

Autor(en): **Stenflo, J.O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **48 (1990)**

Heft 241

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898900>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Wir und das Weltall – Teil 1

J. O. STENFLO

1. Der kosmische Baum

Die Wissenschaftler lassen sich bei der Aufstellung neuer Theorien von Schönheitsgefühlen inspirieren, obwohl das Erfolgskriterium der Theorien die Übereinstimmung mit der Erfahrungswelt ist. Wegleitend sind oft mehr oder weniger unbewusste innere Leitbilder oder Archetypen. Das Verständnis komplizierter Zustände wird erleichtert, wenn man die Erfahrungswelt auf wohlbekannte Leitbilder «projiziert». Im folgenden werden wir diese Methode verwenden, um die wesentlichen Züge des heutigen astronomischen Weltbildes zu beschreiben.

Anschauliche Bilder werden für die Kommunikation von sowohl wissenschaftlichen als auch religiösen Erkenntnissen gebraucht, obwohl jede solche Erkenntnisvermittlung unvollständig ist. Zum Beispiel beschreibt man manchmal Zen-Meditation als eine Suche nach den eigenen Wurzeln, um das Zentrum zu finden, wo alle Gegensätze sich vereinigen in eine harmonische Einheit, wo das «Licht» ist. Die ausgesprochenen Parallelen, die wir in der folgenden Beschreibung des wissenschaftlichen Weltbildes finden, sollen wir nicht als Bestätigung einer gewissen Mythologie oder Religion verstehen. Parallelen entstehen, weil die wissenschaftliche Beschreibung sich von gemeinsamen inneren Leitbildern inspirieren lässt. Im folgenden kommt z.B. die Inspiration von einem wohlbekannten Leitbild verschiedener Mythologien, dem Lebensbaum.

Wir stellen uns zuerst vor, dass wir in einer 2-dimensionalen Welt leben, der horizontalen Schnittebene durch einen Baum mit vielen Zweigen, und dass wir die dritte Dimension nicht wahrnehmen können, obwohl die Welt mit dem Baum in drei Dimensionen existiert. Der Baum als Einheit ist für unsere Sinne verborgen, wir können nur die vielen diskreten, von einander weit getrennten Schnittpunkte der Zweige in unserer Ebene wahrnehmen. Wir erleben die Welt als eine Vielfalt individueller Objekte, obwohl diese Vielfalt jenseits unserer Wahrnehmungswelt eine Einheit bildet. In der höheren Dimension wird also der scheinbare Gegensatz Eins - Viele überwunden.

Unsere wirkliche Wahrnehmungswelt ist nicht flach sondern 3-dimensional. Zudem ist die makroskopische Welt der Physik 4-dimensional (wir werden hier die noch höheren abstrakten Dimensionen des Mikrokosmos der Teilchenphysik nicht behandeln), die sogenannte Raumzeit von Einstein. Die 4-dimensionale Welt ist für unsere Sinne nicht erfassbar, wir können nur 3-dimensionale Schnitte erleben, die wir «jetzt» nennen. Diese «Jetzt-Schnitte» verschieben sich in einer Progression von der Vergangenheit in die Zukunft. In der physikalischen Beschreibung existieren aber die Vergangenheit und Zukunft wie auf einer Landkarte, und wir befinden uns auf einer Reise längs der Zeitachse.

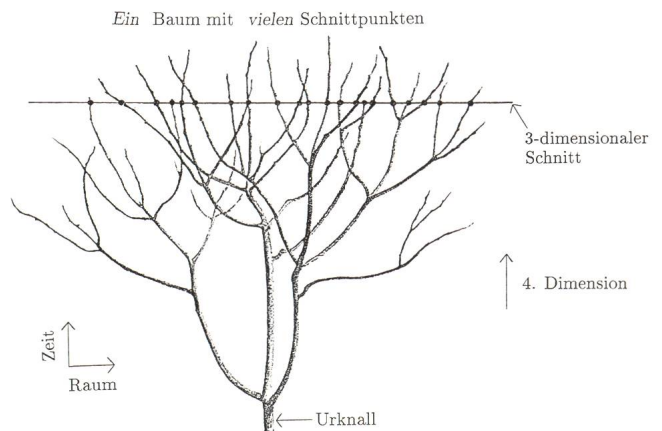
Wir können jetzt das Weltall als einen 4-dimensionalen kosmischen Baum wie in Abb. 1 beschreiben (obwohl jede nicht-mathematische Beschreibung selbstverständlich sehr unvollständig ist. Wegen der endlichen Lichtgeschwindigkeit sind z.B. die «Jetzt-Schnitte» eigentlich nicht flach wie in Abb. 1, sondern konisch. Wir befassen uns aber hier nicht mit dieser Komplikation, weil sie für die nachfolgende Diskussion unwesentlich ist.). Die Wurzeln des Baumes befinden sich im Urknall, einem Zustand des Universums vor etwa 20

Milliarden (20×10^9) Jahren, jenseits der Gegensätze wie Makro-Mikro, Strahlung-Materie, Teilchen-Wechselwirkungen (Kräfte), oder sogar Raumzeit-Materie. Aus diesem extrem kompakten, symmetrischen Zustand gefüllt vom blendenden Licht (nach einer Sekunde war die Temperatur des Strahlungsfeldes auf 10 Milliarden Grad gesunken) hat sich das Weltall explosionsartig ausgedehnt, wobei die Strahlung sich abkühlte und Materie aus der Strahlungsenergie «auskondensierte».

Die Urknallstrahlung ist jetzt auf eine Temperatur von 3 Grad über dem absoluten Nullpunkt gesunken, was bedeutet, dass die Strahlung im Radiogebiet, hauptsächlich als Mikrowellenstrahlung, erscheint. Diese sogenannte Hintergrundstrahlung, die von allen Himmelsrichtungen kommt, wurde 1964 entdeckt, und ist einer der wichtigsten empirischen Beweise, dass ein Urknall tatsächlich stattgefunden hat. Der erste Hinweis, dass das heutige Universum aus einem Urknall stammt, kam in den 20er Jahren mit der Entdeckung der globalen Expansion des Weltalls. Theoretisch folgt diese kosmische Expansion auf eine natürliche Art und Weise aus Einsteins Gravitationstheorie (die allgemeine Relativitätstheorie), aus welcher auch die Existenz einer Urknallsingularität folgt. Ein anderer empirischer «Beweis» des Urknalls ist die beobachtete Häufigkeit von Helium im Universum, die einen natürlichen Ursprung in den ersten Minuten des Urknalls hat (siehe unten), ohne bekannte alternative Erklärungsmöglichkeiten.

Das Studium der Physik des Urknalls ist heutzutage ein «heisses» Forschungsgebiet, wo wir eine Konvergenz zwischen Teilchenphysik, der Physik des Kleinen, und Kosmologie, der Physik des Grossen, erleben. Unser Verständnis der inneren Struktur der Materie ist mit unserem Verständnis der kosmischen Ganzheit eng verbunden. Es wird immer deutlicher, dass der heutige Zustand des Universums als Resultat von Prozessen in der ersten Sekunde des Urknalls verstanden

Abb. 1. 4-dimensionaler "Baum" mit einem 3-dimensionalen, "horizontalen" Schnitt. Obwohl der Baum eine Einheit ist, erscheint er im 3-dimensionalen Schnittraum als eine Vielfalt getrennter Objekte. Mit der Zeit als der vierten Dimension und den Wurzeln des Baumes im Urknall wird der kosmische Baum des astronomischen Weltbildes beschrieben.



werden kann. Oft spricht man von der «Geburtssekunde» des Universums, aber dieser Sprachgebrauch ist etwas irreführend, weil der Begriff «Geburt» hier nicht definierbar ist und deshalb nicht verwendet werden sollte.

Lasst uns nun die erste Urknallsekunde etwas näher «unter die Lupe» nehmen. Es kann vielleicht als merkwürdig erscheinen, dass wir einer Sekunde von den etwa 20 Milliarden Jahren seit dem Urknall solche Aufmerksamkeit schenken. Dies hat damit zu tun, dass wir gewöhnt sind, uns die Zeitskala linear vorzustellen. Für die Betrachtung der Vorgänge im frühen Universum ist aber eine lineare Zeitskala nicht zweckmässig. Wenn wir in die Vergangenheit zurückgehen und uns dem Urknall annähern ist nämlich der Zustand des Universums von immer schnelleren physikalischen Prozessen charakterisiert. Dies hat damit zu tun, dass die Temperatur steigt, was höhere Energiezustände der Strahlung und Materie bedeutet. Höhere Energien entsprechen höheren Schwingungsfrequenzen. Wenn wir die schwingenden Systeme als physikalische «Uhren» betrachten, sehen wir, dass die vorhandenen Uhren immer schneller gehen, wenn wir uns dem Urknall nähern. Der singuläre «Anfangspunkt» ist nicht erreichbar, weil da die Temperatur gegen Unendlichkeit geht, d.h., die «Uhren» würden dort unendlich schnell laufen (auf Versuche den singulären Punkt mittels «Quantenkosmologie» zu überwinden, werden wir hier nicht eingehen). In jedem linearen Zeitintervall kommen immer mehr Uhrenintervalle vor, d.h., es «passiert» immer mehr, je näher wir der Urknallsingularität kommen.

Aus solchen Überlegungen finden wir, dass es für die Beschreibung der Evolution des Weltalls zweckmässiger ist eine logarithmische statt lineare Zeitskala zu verwenden. Längs einer logarithmischen Zeitachse verschwindet der «Anfangspunkt» unendlich weit weg (weil $\log 0 = -\infty$), d.h., aus einer Endlichkeit ist eine Unendlichkeit gemacht worden. Wie Abb. 2 zeigt, treten jetzt die verschiedenen Epochen in der ersten Urknallsekunde in den Vordergrund, und die Evolution nach den ersten Minuten erscheint eher wie ein «Schwanz» der vorherigen Entwicklung. Die Tendenz die Epoche der Sterne, in welcher wir leben, als bedeutender als die anderen Epochen hervorzuheben, nennt man manchmal «Zeitchauvinismus», eine anthropozentrische Betrachtungsweise, die etwas an das geozentrische Weltbild des Mittelalters erinnert.

Die Energien, die wir mit den grössten Teilchenbeschleunigern auf der Erde (z. B. bei CERN in Genf) erreichen können, entsprechen einem Zustand des Universums etwa 10^{-9} Sekunden nach dem Urknall. (10^{-9} bedeutet 1 dividiert durch eine Eins von 9 Nullen gefolgt, d.h. 1 über 1000 Millionen.) Zu diesem Zeitpunkt wurde die Symmetrie zwischen der schwachen Kernkraft (die für Radioaktivität verantwortlich ist) und der elektromagnetischen Kraft gebrochen. Bei höheren Energien sind sie in eine Kraft oder Wechselwirkung vereinheitlicht, wenn aber die Temperatur durch die Ausdehnung des Weltalls sinkt, werden sie sich von einander «ausfrieren» oder trennen, wir bekommen eine Verzweigung unseres «kosmischen Baumes». Auf noch frühere Zustände des Universums können wir praktisch nur durch theoretische Überlegungen schliessen, durch eine Art Extrapolation unserer heutigen Theorien. Die dadurch gemachten Aussagen über sehr frühe Zeiten (z.B. 10^{-36} Sekunden) kann man aber empirisch in gewissem Masse indirekt prüfen, weil die damaligen Verhältnisse Konsequenzen für die Eigenschaften der Materie bei niedrigeren Energien und späteren Zeitpunkten haben.

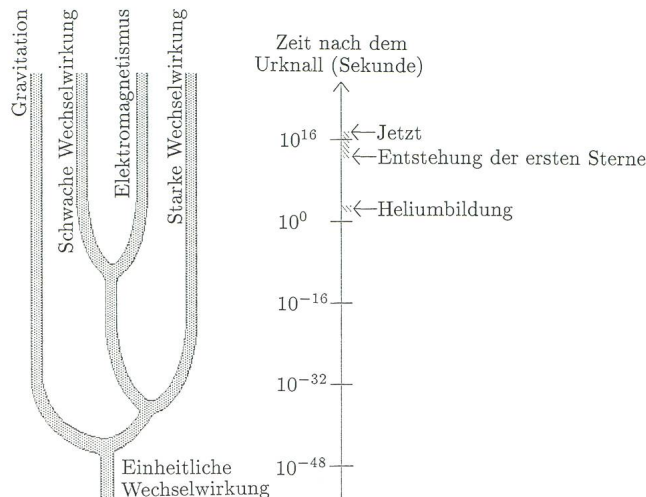


Abb. 2. Schematische Darstellung der wichtigsten Verzweigungen des kosmischen Baumes, mit logarithmischer Zeitskala. Der «Anfang» verschwindet dann unendlich tief nach unten, und unsere Ära der Sterne erscheint als recht bescheiden neben den anderen Epochen. Unterhalb der ersten Verzweigung bei 10^{-43} Sekunden sind heutige Raum- und Zeitbegriffe nicht mehr gültig. Die Weiterführung der Zeitskala nach unten ist deshalb nur eine Extrapolation ohne definierten physikalischen Inhalt.

Die theoretische «Extrapolation» ist bis zu 10^{-43} Sekunden nach dem Urknall noch einigermaßen sinnvoll, aber nicht weiter. Noch früher sind alle Wechselwirkungen in der Natur in eine symmetrische «Urkraft» vereinheitlicht. Bei der extrem hohen Energiedichte führen die Quantenfluktuationen des Energiefeldes durch ihre Gravitationswirkung zu so grossen Fluktuationen der lokalen Krümmungen der Raumzeit, dass die Geometrie der Raumzeit völlig unbestimmt wird. Die Raumzeit löst sich wie in einen «Schaum» auf, und damit verschwindet auch die Gültigkeit der kontinuierlichen Vorstellungen von Raum und Zeit, die allen bisherigen physikalischen Theorien oder unserem Sprachgebrauch zugrunde liegen.

Unser kosmischer Baum, in der logarithmischen Darstellung mit unendlich tiefen Wurzeln, hat bei 10^{-43} Sekunden die erste «bekannte» Verzweigung, wobei die Urkraftsymmetrie gebrochen wird, und die Gravitation sich vom anderen Teil entkoppelt und ganz andere Eigenschaften erhält. Dabei beginnt auch die Aufspaltung zwischen Makro und Mikro, zwischen Gross und Klein. Der Grund für die unterschiedlichen Dimensionen der Sterne und Atome liegt nämlich im Unterschied zwischen der Gravitation (welche die Sterne zusammenhält) und dem Elektromagnetismus (der die Atome zusammenhält).

Die nächste Verzweigung kommt nach 10^{-36} Sekunden, wenn die starke Kernkraft sich vom übrigen Teil entkoppelt. Bei diesem Symmetriebruch soll auch die Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie entstanden sein, mit der Folge, dass unser heutiges Weltall praktisch nur aus Materie besteht (die Assymmetrie ist zwar winzig, etwa $1:10^{10}$, aber die Materie und Antimaterie haben sich gegenseitig vernichtet, und die heutige Welt besteht praktisch nur aus dem winzigen unsymmetrischen Teil).

Die nachfolgende Verzweigung, bei 10^{-9} Sekunden, haben wir schon behandelt. Etwas später, nach den ersten Minuten, ist die Temperatur so weit gesunken, dass die Synthese der chemischen Elemente beginnen kann, ohne dass die neu gebildeten Elemente sofort durch die energiereichen Teilchen (Photonen) des Strahlungsfeldes zerstört werden. Diese Ära der kosmischen Alchemie behandeln wir im folgenden Abschnitt.

2. Die Kinder der Sterne

In der ersten Sekunde werden Protonen und Neutronen, die Bestandteile der Atomkerne, direkt aus dem Strahlungsfeld erzeugt. Diese sind die Bausteine für die spätere Synthese der chemischen Elemente.

Elementsynthese erfordert eine Verschmelzung zweier Atomkerne, wenn sie miteinander zusammenstossen. Der erste Schritt ist die Bildung von Deuteriumkernen (schwerer Wasserstoff), deren Atomkerne aus einem Proton und einem Neutron bestehen. Kernverschmelzung durch Neutron-Proton-Stöße ist dabei ein effizienter Prozess, weil die ungeladenen Neutronen keine elektrische abstossende Kraft (Potentialbarriere) der Protonen fühlen und deshalb in sie eindringen können. Weil aber die freien Neutronen instabil sind, mit einer mittleren Lebensdauer von 15 Minuten, stehen sie nicht so lange zur Verfügung. Zudem verringert sich die Dichte und damit die Stossfrequenz rasant wegen der schnellen Expansion des Universums. Deshalb gibt es für Elementsynthese im Urknall wenig Zeit.

In den ersten drei Minuten werden die gebildeten Deuteriumkerne sofort von den energiereichen Photonen des Strahlungsfeldes in ihre Bestandteile aufgebrochen. Erst nach etwa 3 Minuten und 45 Sekunden ist die Temperatur des Strahlungsfeldes so weit gesunken, dass die Deuteriumkerne nicht mehr zerstört werden, und deshalb eine Fortsetzung der Elementsynthese möglich ist. Die freien Neutronen werden dabei praktisch unmittelbar für den Aufbau der stabilen Heliumkerne (mit zwei Protonen und zwei Neutronen im Kern) verbraucht. Ein weiterer Aufbau ist, mit Ausnahme von etwas Lithium und Beryllium, deswegen nicht möglich, weil Atomkerne mit 5 oder 8 Nukleonen (Kernteilchen) sehr instabil sind, und diese Hürden nicht durch Neutroneneinfang überwunden werden können.

Weil praktisch sämtliche freien Neutronen für die Heliumsynthese aufgebraucht werden, wird die resultierende Heliumhäufigkeit (relativ zum Wasserstoff) vom Verhältnis der Anzahl freier Neutronen zur Anzahl Protonen am Anfang der Heliumsynthese (nach etwa 3 Minuten und 45 Sekunden) bestimmt. Dieses Verhältnis folgt aus der Temperatur bei diesem Zeitpunkt (welche aus der heutigen beobachteten Temperatur der Hintergrundstrahlung von 3 Grad über dem absoluten Nullpunkt folgt) sowie aus der Zerfallsrate der freien Neutronen. Die so erhaltene Heliumhäufigkeit stimmt mit der heute in den Sternen mit spektroskopischen Methoden tatsächlich beobachteten Häufigkeit gut überein. Etwa 23% der Masse der Sterne besteht aus Helium. Die langsame Elementsynthese in den Sternen kann diesen grossen Heliumanteil nicht erklären, aber er folgt in einer natürlichen Art und Weise als Resultat der Prozesse in den ersten Minuten des Urknalls.

Die Synthese der Elemente schwerer als Wasserstoff, Helium, Lithium und Beryllium ist aber im Urknall nicht möglich (wegen der oben erwähnten instabilen Atomkerne). Die einzige andere Möglichkeit ist durch Fusionsprozesse in

den Zentren von Sternen. Wir werden uns deshalb im folgenden mit dem Leben der Sterne befassen.

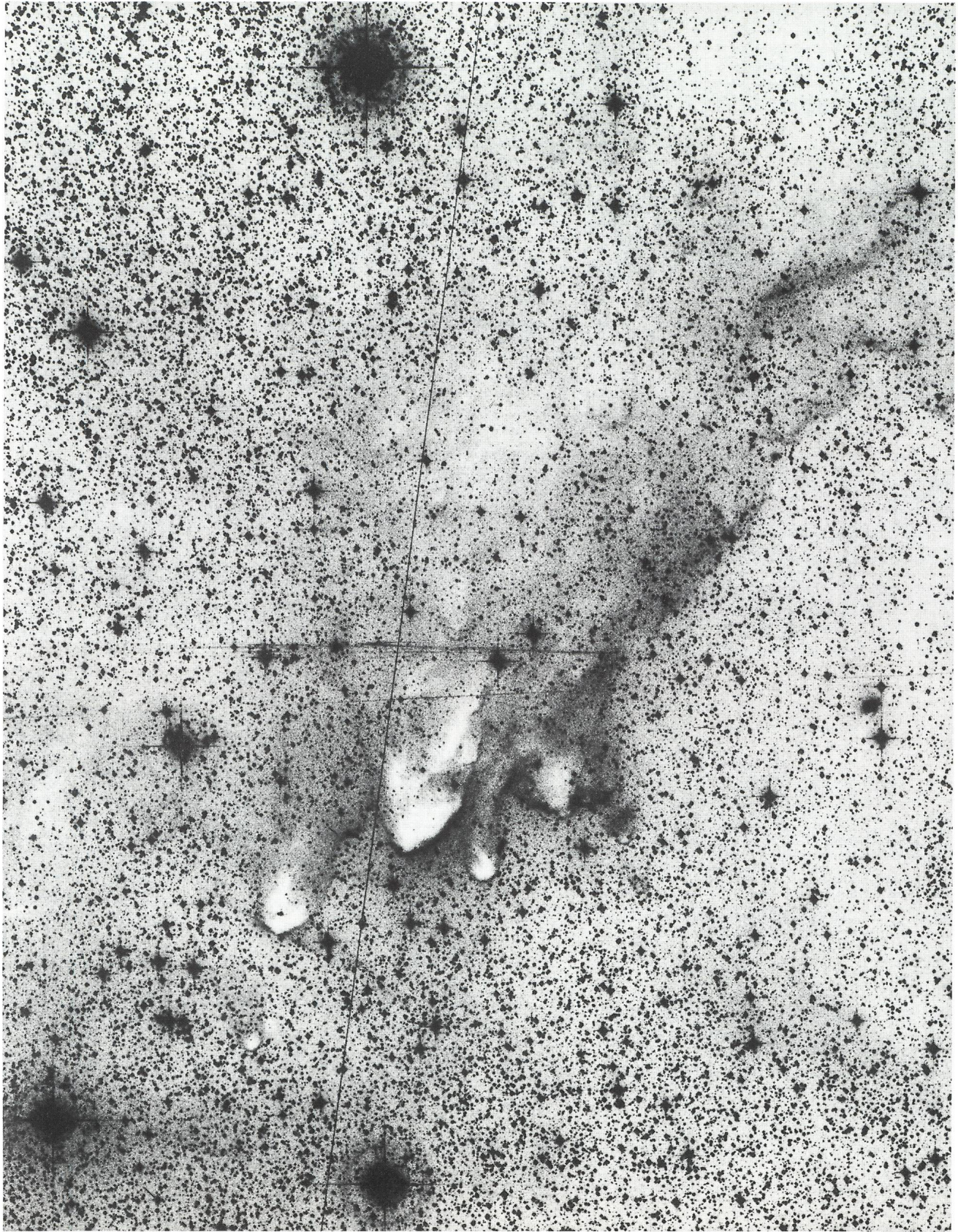
Als Resultat einer Gravitationsinstabilität in Gas- und Staubwolken im Weltraum werden die Sterne geboren. Die Schwerkraft versucht Wolkenteile zu komprimieren, aber der Gasdruck setzt sich zur Wehr dagegen. In diesem ständigen Kampf zwischen Druck und Gravitation gewinnt die Gravitation in dichteren und kühleren Teilen des Nebels. Dabei wird eine Instabilität ausgelöst, und die Materie fällt, beschleunigt von der Gravitation, gegen den gemeinsamen Schwerpunkt des sich komprimierenden Wolkenteils. Die Hälfte der durch den Kollaps freigesetzten potentiellen Energie (Gravitationsenergie) wird in Wärme umgewandelt. Die Temperatur und Dichte des Protosterns steigen dabei, und damit auch der Gasdruck, bis sich wieder ein Gleichgewichtszustand zwischen Druck und Gravitation eingestellt hat. Wegen dem Energieverlust durch Ausstrahlung schrumpft aber der Protostern weiter, mit der Folge, dass die Temperatur immer höher wird durch die anhaltende Freigabe potentieller Energie. Schliesslich wird die Temperatur im Zentrum des Protosterns so hoch, dass thermonukleare Kernfusion gezündet wird. Diese neue Energiequelle produziert gleich viel Energie wie ausgestrahlt wird, und weil der Brennstoffvorrat lange ausreicht (für sonnenähnliche Sterne etwa 10 Milliarden Jahre), hört die Kontraktion auf, und die stabile Hauptphase des Lebens eines Sterns, die Phase des Wasserstoffbrennens, fängt an. Ein Stern ist geboren.

Mit unseren Teleskopen können wir beobachten, wie Sterne geboren werden, und wie sie sterben. Abb. 3 zeigt als Beispiel den sog. Gum-Nebel, in welchem der Geburtsprozess vieler Sterne heute stattfindet. Das Vorstadium der Sternbildung sind die dunklen, kompakten Wolkenteile, die man Globulen nennt.

Man stellt sich vor, dass Planetensysteme im Zusammenhang mit der Geburt eines Sterns entstehen. Wenn der Protostern schrumpft, dreht er sich immer schneller (wie eine Eiskunstläuferin, die ihre Arme zum Körper zurückzieht). Durch die Zentrifugalkraft bildet sich dann in der Äquatorbene eine rotierende Gas- und Staubscheibe. Die Planeten können sich aus dieser Scheibe auskondensieren, wenn sie sich abkühlt.

Das jetzige Alter der Sonne ist 4.6 Milliarden Jahre, und der Vorrat an Wasserstoff wird noch fast 10 Milliarden Jahre ausreichen. So eine stabile Phase mit einigermaßen konstanten Temperaturbedingungen ist für die langsame Evolution des biologischen Lebens auf unserem Planeten erforderlich gewesen. Auch ist das Alter der Sonne nicht klein im Verhältnis zum Alter des Universums (etwa 20 Milliarden Jahre). Die Lebensdauer eines Sterns hängt aber sehr stark von der Sternmasse ab. Zwar haben Sterne mit grösseren Massen einen grösseren Brennstoffvorrat, aber sie verbrennen ihn auch viel schneller (sie verlieren Energie viel schneller durch ihre viel höhere Leuchtkraft). Je grösser die Masse, je kürzer die Lebensdauer. Zum Beispiel ist die Lebensdauer eines Sterns mit 10 Sonnenmassen etwa 100 Mal kürzer als die der Sonne.

Abb. 3. Negativbild des sogenannten Gum-Nebels. Die kompakten, dunklen Wolken (die in der Negativdarstellung hell erscheinen) befinden sich im Vorstadium der Sternbildung und sind von jungen, neugebildeten Sternen umgeben. (Aufnahme: European Southern Observatory.)



Durch Fusion von Wasserstoff wird Helium unter Freigabe von Energie gebildet. Dadurch erhält der Stern einen zentralen Teil von Helium, umgeben von einer Wasserstoffhülle, in welcher die Temperatur für thermonukleare Fusion nicht genügend hoch ist. Wenn der Wasserstoff im zentralen Teil verbraucht ist, schrumpft der Heliumkern, wobei die Temperatur so steigt, dass Wasserstoffbrennen in der Hülle um den Heliumkern beginnen kann. Dadurch entsteht ein Druck auf die Hülle, mit der Folge, dass diese sich gewaltig ausdehnt. Der Stern bläht sich zu einem sogenannten roten Riesenstern auf. Der Sonnenradius würde in dieser Phase grösser als der Erdbahnradius werden, die Sonne würde also die Erde schlucken. Wir haben aber mehrere Milliarden Jahre Zeit uns auf dieses Problem vorzubereiten!

Bei der weiteren Kontraktion steigen die Temperatur und Dichte, bis der nächste Fusionsprozess gezündet werden kann, der sogenannte Trippel-Alpha-Prozess bei einer Temperatur von etwa 100 Millionen Grad. Dabei wird Kohlenstoff aus Helium aufgebaut. Zuerst bildet sich ein Berylliumkern durch Verschmelzung von zwei Heliumkernen (auch Alphateilchen genannt). Dieser Berylliumkern mit Nukleonenzahl 8 ist aber instabil und zerfällt rasch zurück in zwei Heliumkerne. Bei den extrem hohen Dichten im Zentrum der roten Riesensterne gibt es aber eine kleine, doch ausreichende Wahrscheinlichkeit, dass der Berylliumkern, bevor er zerfällt, mit einem Heliumkern zusammenstösst und einen stabilen Kohlenstoffkern bildet. Dieser Prozess konnte im Urknall deswegen nicht stattfinden, weil nach der Heliumbildung die Dichte durch die kosmische Expansion auf viel zu kleine Werte gesunken war. Erst in den Zentren der roten Riesensterne konnte der Kohlenstoff, aus welchem das biologische Leben besteht, gebildet werden.

Wenn das Helium verbraucht ist, schrumpft der zentrale Kohlenstoffkern des Sterns, bis thermonukleares Kohlenstoffbrennen bei Temperaturen von etwa 500 Mio. Grad einsetzen kann. In dieser Art und Weise ist es prinzipiell möglich, immer schwerere Elemente aufzubauen, bis zum Eisen. Die Bedingung ist aber, dass genügend potentielle Energie (Gravitationsenergie) vorhanden ist, die durch Kontraktion in Wärme umgewandelt werden kann, um die erforderlichen Temperaturen zu erreichen. Die potentielle Energie nimmt mit der Masse quadratisch zu. Für die Sonne wird sie nicht ausreichen, um Elemente schwerer als Sauerstoff zu bilden. Bei massiveren Sternen, die sich auch schneller entwickeln, geht der Aufbau bis zum Eisen verhältnismässig rasch.

Weil der Aufbau von Elementen noch schwerer als Eisen keine Energie mehr freisetzt sondern umgekehrt Energie verbraucht, entsteht eine Instabilität, die explosionsartig verläuft. Innett kürzester Zeit erfolgt die Bildung der übrigen schwereren Elemente, bis Uran, während der Stern in einer Supernovaexplosion gewaltsam zerrissen wird. Die Beobachtungen der am 23. Februar 1987 explodierten Supernova SN 1987 A haben die theoretischen Vorstellungen bestätigt, z.B. der beobachtete Neutrinopuls, die Gammastrahlungslinien von Übergängen im Kobaltkern, die Lichtkurve als Folge des radioaktiven Zerfalls von Nickel und Kobalt, und Spektrallinien im infraroten Bereich, die von ungewöhnlich grossen Häufigkeiten von Kobalt, Nickel und Eisen zeugen.

Abb. 4 zeigt den Rest einer Supernova, die vor etwa 12'000 Jahren explodierte. Im Zentrum der sich schnell ausdehnenden Wolke befindet sich der übriggebliebene Rest des explodierten Sterns, jetzt in Form eines sogenannten Neutronensterns, der sich schneller als 10 Mal pro Sekunde um seine

Achse dreht und Radiopulse mit dieser Frequenz aussendet. Die Frequenz ist so stabil, dass solche sog. Pulsare die genauesten Uhren sind, die man im Universum kennt.

Die gewaltsam hinausgeschleuderte Materie wird das verdünnte Medium im Weltraum zwischen den Sternen mit schwereren Elementen anreichern oder «verschmutzen». Diese Materie sammelt sich in Wolken, in welchen neue Sterne geboren werden, von denen einige am Ende ihres Lebens wieder explodieren, usw., in einem ständigen Kreislauf. Spätere Generationen von Sternen werden dabei mit einer höheren Häufigkeit von schwereren Elementen als frühere Generationen geboren. Die Planeten bestehen aus diesen schwereren Elementen. Weil die erste Sternengeneration nur mit Wasserstoff und Helium angefangen hat, konnte sie keine Planeten um sich haben.

Obwohl nur 2% der Sonnenmasse aus Elementen schwerer als Wasserstoff und Helium bestehen, zählt dies als recht viel im Vergleich mit anderen Sternen. Aus dieser «Verunreinigung» wurden die Planeten und das biologische Leben gebildet. Die Tatsache, dass die Sonne nicht zu den ersten Stern-

ASTRO-MATERIALZENTRALE SAG

Selbstbau-Programm SATURN gegen fr. 1.50 in Briefmarken. SPIEGELSCHLEIFGARNITUREN enthalten sämtliche Materialien zum Schleifen eines Parabolspiegels von 15 cm Durchmesser oder grösser. SCHWEIZER QUALITÄTSOPTIK SPECTROS: Spezialvergütete Okulare, Filter, Helioskope, Fangspiegel, Achromate **Okularschlitten**, Okularauszüge, Fangspiegelzellen, Suchervisiere, Hauptspiegelzellen...

Unser Renner: SELBSTBAUFERNROHR SATURN für Fr. 168.- Quarz-Digital-Sternzeituhr ALPHA-PLUS 12/220 Volt.

SAM-Astro-Programm Celestron + Vixen gegen Fr. 2.- in Briefmarken: Attraktive SAM-Rabatte für SAG Mitglieder GRATIS TELESKOPVERSAND! Schweizerische Astronomische Materialzentrale SAM, Fam. Gatti, Postfach 251, **CH-8212 Neuhausen a/Rhf 1**.
Neue Telefonnummer: 053/22 54 16

A VENDRE

Superbe télescope **MEADE 2120 LX3**. Schmidt-Cassegrain. **260 mm d'ouverture** (Traitement MCSO Argent) = "C10"
Excellent état, *entièrement équipé pour l'astrophoto.*

Moteur équat. électron. – Table équat. – Trépied stable.

Moteur déclinais. – Commande 2 axes. – Protège buée.

4 ocul.: Sup. Plossl 26 mm MC, Sup. Plossl 9,8 mm MC.

Nagler 9 mm (82°), Nagler 4,8 mm – 2 Barlows (2x et 2,5x)

12 filtres 48 mm (Coul., UV, Halpha, 2 polar., Deep sky)

9 filtres 32 mm – Miroir diag. – Chercheur avec retic. illum.

Easy Guider Lumicon 80 mm (photo à F/D = 10 ou 5). Retic. guide Mat. photo au foyer F/D = 46 ou 114 – Pièces raccord Olympus.

Materiel pour l'hypersensibilisation au forming gaz.

Prix: Frs 7700.-.

J.-M. Picot

18, rue Mercerie, 1003 Lausanne, Tél: 021/311 03 62.

generationen gehört, sondern viele Generationen von massiven Sternen vor sich hatte, ist deshalb eine Voraussetzung unserer Existenz.

Dieses allgemeine Bild der Evolution der chemischen Elemente ist so stark von verschiedenartigen Beobachtungen bestätigt worden, dass es seit langem von Wissenschaftlern nicht mehr in Frage gestellt wird. Es gehört zu unserem astrophysikalischen Weltbild. Daraus wissen wir, dass der Kohlenstoff in unseren Zellen in früheren Generationen roter Riesensterne «gebacken» wurde. Das Eisen in unserem Blut

hat Supernovaexplosionen erlebt. Jedes Atom in unseren Körpern hat eine grandiose kosmische Geschichte. Unsere Bausteine kommen von den Sternen. Wir sind buchstäblich Kinder der Sterne.

Erste Hälfte des Vortrags vom 8. September 1989, bei der «Cortona-Woche», Perugia, Italien

Copyright: Aktuell Verlag, Bonn.

J. O. STENFLO, Institut für Astronomie ETH-Zentrum
8092 Zürich

Abb. 4. Der Vela Supernova-Überrest. Am Ende ihres Lebens explodieren massive Sterne als Supernovae und bereichern damit das interstellare Medium mit für biologisches Leben notwendigen schweren Elementen. Die Filamentstrukturen im Negativbild haben ihren Ursprung in einer Supernova, die vor etwa 12'000 Jahren explodierte. (Aufnahme: European Southern Observatory.)

