

S t r e i f l i c h t e r

Supernovaüberreste: Alter um 80% reduziert

Eine Supernova ist eine gewaltige Sternexplosion, bei welcher eine Schockwelle aus stellarem Material (Material von Sternen) in den Weltraum geschleudert wird. Trifft diese Schockwelle auf das interstellare Medium, wird dieses stark erhitzt und emittiert Röntgenstrahlen (d. h. es werden Röntgenstrahlen erzeugt). Dabei bilden sich auch starke Magnetfelder, deren Entstehung jedoch noch nicht in allen Details verstanden ist. Elektronen, die beim Schock beschleunigt werden, senden in diesem Magnetfeld Synchrotronstrahlung aus, die durch das ganze Spektrum von Radiowellen bis Röntgenstrahlung beobachtet werden kann.

Bereits in den 1960er Jahren wurde vermutet, dass die Supernovaüberreste mit der Bezeichnung RCW 86 zur Supernova AD 185 gehören könnten, die chinesische Astronomen im Jahr 185 n. Chr. aufgezeichnet hatten. An diesem Zusammenhang wurden jedoch seit Ende der 1980er Jahre zunehmend Zweifel geäußert. Der Grund dafür war, dass RCW 86 einerseits offenbar zu weit entfernt sei und andererseits viel älter als das historische Alter von AD 185 (z.B. ROSADO et al. 1996). Aufgrund der Expansionsgeschwindigkeit seiner Schockwelle in einer bestimmten Region wurde RCW 86 nämlich auf ein Alter von etwa 10.000 Jahren geschätzt. Dieses Ergebnis wurde nun aufgrund von neuen Untersuchungen durch die beiden Röntgensatelliten Chandra und XMM-Newton in Frage gestellt. Anhand von genaueren Messungen der Synchrotronstrahlung in der nordöstlichen Region von RCW 86 gelangten VINK et al. (2006) zu einer direkten Abschätzung des Magnetfeldes in dieser Region, aus welchem sich dann die Expansionsgeschwindigkeit der Schockwelle gewinnen lässt. Diese wurde nun viel höher gemessen als in früheren Untersuchungen, womit auch das Alter der Supernova-Überreste automatisch geringer wird. Als eine obere Altersgrenze wurde etwa 2200 Jahre angegeben.

Wie kam es zu den unterschiedlichen Geschwindigkeitsabschätzungen? VINK et al. schlagen folgendes Szenario vor: Durch die stellaren Winde des ursprünglichen Sterns wurde vermutlich ein Teil des umliegenden Gases in eine gewisse Richtung gedrückt, womit sich um den Stern eine Art „Blase“ von verdichtetem Gas bildete. Trifft dann die Schockwelle auf diese Blase, wird sie relativ schnell gebremst. Hat diese Blase nun eine irreguläre Form, erhält die Schockfront je nach Ort eine andere Geschwindigkeit. Diese Überlegungen stehen in Übereinstimmung mit dem gemessenen Röntgenspektrum von RCW 86.

Durch sein geringes Alter wird eine Identifizierung von RCW 86 mit AD 185 wieder denkbar. VINK

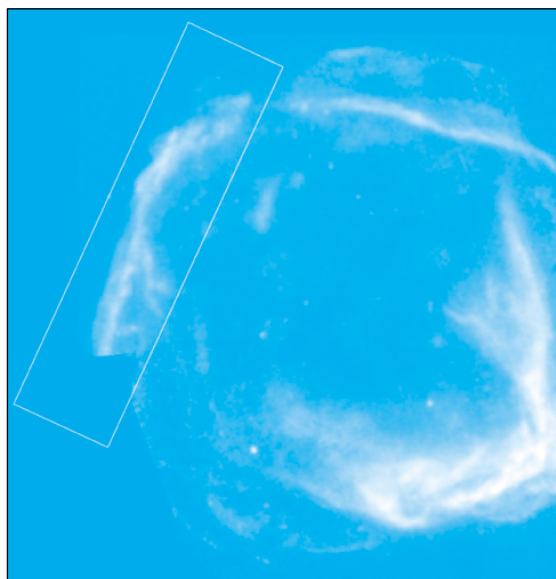


Abb. 1: Aufnahmen der Supernova-Überreste RCW 86 im Röntgenbereich mit den Satelliten XMM-Newton und Chandra. Gut sichtbar ist die expandierende Schale des ehemals explodierten Sterns. (Chandra: NASA/CXC/Univ. of Utrecht/J. VINK et al., XMM-Newton: ESA/Univ. of Utrecht; <http://chandra.harvard.edu/photo/2006/rcw86/>)

drückte sich in einem Interview vorsichtig aus (BRYNER 2006): „Ich denke, es ist sehr interessant, dass wir nun mit einiger Zuversicht, jedoch nicht mit absoluter Sicherheit, sagen können, dass RCW 86 die Überreste von AD 185 sind.“

Bemerkenswert an dieser Geschichte ist, dass es offenbar ohne weiteres möglich ist, das Alter der Überreste einer Supernova von etwa 10.000 auf 2.000 Jahre umzudatieren. Das ist immerhin eine Korrektur von 80%. Damit wird beispielhaft deutlich, wie vorläufig wissenschaftliche Erkenntnisse in der Astrophysik sein können.

[BRYNER J (2006) Astronomers Find Supernova First Spotted 2,000 Years Ago. www.space.com/scienceastronomy/060926_st_ancient_supernova.html; ROSADO M, LE COARER E & MARCELIN M (1996) Kinematics of the galactic supernova remnants RCW 86, MSH 15-56 and MSH 11-61A. *Astronomy & Astrophysics* 315, 243-252; VINK J, BLEEKER J, VAN DER HEYDEN K, BYKOW A, BAMBA A & YAMAZAKI R (2006) The X-ray synchrotron emission of RCW 86 and the implications for its age. *Astrophys. J.* 648, 33-37.] CK

Wie sicher sind Standardkerzen zur Entfernungsmessung im Kosmos? Der Ausreißer: Die Supernova 2003fg

Weil sie so schön weithin sichtbar leuchten werden Supernovae (SN) gerne für Entfernungsmessung im Kosmos verwendet. Mit ihrer Hilfe bestimmt man Entfernungen von Galaxien im Bereich zwischen 10 Millionen und 10 Milliarden Lichtjahren.

Die ermittelten Entfernungen wiederum spielen beim Aufstellen kosmologischer Modelle eine Rolle. Allerdings eignen sich nicht alle Supernovae, sondern nur eine bestimmte Kategorie: die Supernovae Ia gelten als sogenannte kosmologische

„Standardkerzen“, da bei einer solchen Supernova-Explosion im Wesentlichen immer derselbe Vorgang abzulaufen scheint. Ihre Verwendung zur Entfernungsmessung wird als sehr zuverlässig erachtet. Warum und wie das funktioniert, soll im Folgenden zunächst erläutert werden:

Gemäß dem gängigsten Modell zur Entstehung von Supernovae Ia zieht in einem Doppelsternsystem ein Weißer Zwerg Materie von seinem Begleiter ab, wodurch sich seine eigene Masse erhöht. Dieser Anstieg kann aber die sog. Chandrasekhar-Masse von ca. 1,4 Sonnenmassen nicht übersteigen, denn sonst wird der Weiße Zwerg instabil. Durch den erhöhten Druck starten explosive thermonukleare Reaktionen, die den Stern schließlich ohne verbleibenden Rest völlig auseinander sprengen. Diese Explosion ist so hell, dass sie eine ganze Galaxie überstrahlen kann, wobei die maximale Helligkeit der SN Ia erst nach gut zwei Wochen erreicht wird.

Dabei ist die Leuchtkraft einer SN Ia während ihres Intensitätsmaximums physikalisch vorgegeben. Bei der thermonuklearen Explosion entsteht u.a. das Isotop Nickel-56.

Der anschließende Zerfallsprozess dieses Isotops über Cobalt-56 zum stabilen Eisen-56 hält die hinausgeschleuderte Materie heiß und führt schließlich zum Intensitätsmaximum (BRANCH 2006). Die zeitlich unterschiedliche Zusammensetzung sichtbarer Elemente kann über eine sogenannte Lichtkurve verfolgt werden, d.h. das Lichtspektrum wird im Abstand weniger Tage über einen Zeitraum von mehreren Wochen bis Monaten aufgenommen. Anhand dieser Lichtkurve lassen sich Supernovae Ia von anderen Sternexplosionen unterscheiden. Berücksichtigt man noch die mögliche Absorption des Lichts auf dem Weg zu uns aufgrund von interstellarem Staub, kann daher aus der beobachteten scheinbaren Helligkeit einer SN Ia während des Intensitätsmaximums im Vergleich zur Leuchtkraft einer standardisierten SN Ia auf die Entfernung geschlossen werden.

Dieser Zusammenhang ist allerdings mit Fluktuationen behaftet; die Masse des erzeugten Nickel-56 schwankt und damit die maximale Leuchtkraft. Es besteht jedoch zusätzlich eine empirisch festgestellte Relation zwischen der maximalen Leuchtkraft und dem beobachteten Abklingen der Helligkeit des blauen Lichtanteils über die ersten 15 Tage nach dem Helligkeitsmaximum (MAZZALI et al. 2007). Bei leuchtstärkeren SN Ia klingt die Lichtintensität langsamer ab als bei schwächeren (FILIPPENKO 1997). Man verwendet daher die „Breite“ der Lichtkurve zur Kalibrierung der maximalen Leuchtkraft einer SN Ia. Die Brauchbarkeit von SN Ia zur Entfernungsmessung wurde zudem anhand einiger SN überprüft, die in Galaxien auftraten, deren Entfernungen bereits anderweitig bestimmt werden konnten, mit sehr guter Übereinstimmung (siehe z.B. PAILER &

KRABBE 2006 und Literaturangaben darin).

Zwar gab es vereinzelt auch Ausreißer besonders heller (z.B. SN 1991T) oder schwacher (z.B. 1991bg) SN Ia, diese folgten jedoch dem bekannten Zusammenhang zwischen maximaler Leuchtkraft und Lichtkurve (FILIPPENKO 1997), so dass ihre Entfernungen dennoch korrekt bestimmt werden konnten. Kürzlich sorgte dann aber jedoch ein in *Nature* erschienener Artikel (HOWELL et al. 2006) über eine wesentlich zu helle Supernova (SNLS-03D3bb bzw. SN 2003fg) für Irritationen. Zum einen lag ihr Helligkeitsmaximum beim 2,2-fachen einer durchschnittlichen SN. Zum anderen folgte sie *nicht* der üblichen Relation zwischen maximaler Leuchtkraft und Lichtkurve. Aus der Leuchtkraft kann man die Masse des Vorgängersterns abschätzen. Für SN 2003fg ergibt sich dabei eine zweifache (!) Sonnenmasse. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen.

Zum einen ist die Erklärung dieser speziellen Supernova eine Herausforderung für die theoretischen Modelle, da man bisher davon ausging, dass Weiße Zwerge nur bis zur 1,4-fachen Sonnenmasse stabil seien. SN Ia mit einem Vorgängerstern mit Super-Chandrasekhar-Masse kann man sich am ehesten in „jungen“ stellaren Umgebungen vorstellen. Das passt wiederum zum beobachteten Trend, wonach übermäßig helle SN Ia bevorzugt in solchen „jungen“ Umgebungen auftreten.

Zum anderen eignet sich SN 2003fg nicht als Standardkerze, solange die Ursachen für die Abweichung nicht verstanden und ggf. in ein revidiertes Modell für SN Ia integriert werden können. Durch ihre krasse Abweichung fällt sie momentan aber auf und wird einfach aussortiert. Möglicherweise existieren jedoch SN, deren abweichendes Verhalten nicht auffällig genug ist. Was passiert, wenn man sie übersieht? Man setzt möglicherweise ihre absolute Helligkeit über die Relation Leuchtkraft-Lichtkurve als zu niedrig an, was letztlich zu einer zu kleinen Entfernung führen würde (BRANCH 2006). Die Helligkeit nimmt über die Entfernung quadratisch ab. Würde man also zum Beispiel aus dem Helligkeitsverlauf von SN 2003fg auf ihre maximale Helligkeit schließen, erhielte man eine um den Faktor 1,45 (Wurzel aus 2,2) zu geringe Entfernung, d.h. ihre tatsächliche Entfernung ist knapp eineinhalb mal so groß wie die angenommene. Weniger drastische Ausreißer führen zu weniger drastischen Abweichungen. Dennoch könnte daraus ein Effekt für Entfernungsmessungen und somit für kosmologische Modellbildungen resultieren.

SN 2003fg befindet sich in einer Galaxie mit vergleichsweise hoher Rotverschiebung von $z=0,24$. Generell sind übermäßig leuchtstarke SN bevorzugt in jungen stellaren Umgebungen zu erwarten (s.o.). Mit zunehmender Rotverschiebung nimmt der Mittelwert des stellaren Alters ab. Damit geht dann eine Veränderung der durchschnittlichen

Eigenschaften von Supernovae des Typs Ia einher. Weichen diese auch noch wie SN 2003fg vom bekannten Zusammenhang zwischen Lichtkurve und Leuchtkraft ab, so ist eine Kalibrierung nicht mehr möglich (HOWELL et al. 2006). Das könnte insofern zu einem Trend führen, indem man dabei für SN Ia mit hoher Rotverschiebung eine zu kleine Entfernung annimmt

[BRANCH D (2006) Champagne supernova. *Nature* 443, 283-284; FILIPPENKO AV (1997) Optical Spectra of Supernovae. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 35, 309-355; HOWELL DA et al. (2006) The type Ia supernova SNLS-03D3bb from a super-Chandrasekhar-mass white dwarf star. *Nature* 443, 308-311; MAZZALI PA, RÖPKE FK, BENETTI S & HILLEBRANDT W (2007) A Common Explosion Mechanism for Type Ia Supernovae. *Science* 315, 825-827; PAILER N & KRABBE A (2006) Der vermessene Kosmos. Holzgerlingen, S. 39-42.] DT

Zellkernhaltige Zellen älter als gedacht

Bisher vermutete man, dass Zellen mit Zellkern, sogenannte Eukaryoten, im Laufe einer Evolution erst entstanden sind, *nachdem* Cyanobakterien die Atmosphäre mit Sauerstoff angereichert hatten. Dieses Ereignis liegt – nach herkömmlicher Zeitrechnung – 2,3 Milliarden Jahre zurück. Nach der Anreicherung von Sauerstoff in der Atmosphäre soll es anschließend eine globale ca. 100 Millionen Jahre lange extreme Eiszeit gegeben haben (Schneeball-Erde). Erst danach, vor etwa 1,7 Milliarden Jahren, sollen Eukaryoten auf der Weltbühne erschienen sein. Neue Beweise für das Vorhandensein von Eukaryoten *vor* diesen Zeitpunkten fanden sich in winzigen, in Quarz eingeschlossenen Öltropfen. Diese Öltropfen wurden analysiert und BUICK und Mitarbeiter von der Washington Universität in Seattle fanden in Proben, die 2,4 Milliarden Jahre alt sind, Sterole, u.a. auch Cholesterol. Diese Moleküle sind biogenen Ursprungs und werden nahezu ausschließlich von Eukaryoten hergestellt. Diese Befunde haben im Rahmen der Evolutionstheorie mehrere Auswirkungen: Zum einen muss Sauerstoff auf der Erde schon lange *vor* der Oxygenierung der Atmosphäre produziert worden sein. Des Weiteren kann die Erde nicht so extrem abgekühlt sein, wie einige Modelle dies vorschlagen, und Eukaryoten betreten demnach die Bühne des Lebens *zusammen* mit den Archaea, nicht danach. Interessant ist auch noch die folgende Aussage von BUICK: „Bisher dachte man, dass komplexe Kohlenwasserstoffe im Laufe der Zeit abgebaut werden. Die Tatsache, dass sie viele Milliarden Jahre überlebten, zeigt, dass wir auch auf dem Mars nach Leben suchen könnten.“ Was aber, wenn die Erde gar nicht so alt ist und die Biomoleküle nur deshalb intakt gefunden werden? Oder andersherum: Könnte man aus intakten Biomolekülen auf eine junge Erde schließen? Ähnliche Überlegungen gelten auch für DNA und gar lebende Bakterien aus Bernstein.

[HOLZMAN D (2006) Eukaryotes apparently appeared far earlier, about when archaea arose. *Microbe* 1, 355-356] NW

Sind die ältesten Tierfossilien „nur“ Bakterien?

Die Deutung von Fossilien kann mitunter ausgesprochen schwierig sein, insbesondere wenn sie fast mikroskopisch klein sind. So wird durch eine neue Studie die Deutung bedeutsamer früher Tierfossilien aus dem oberen Präkambrium in Frage gestellt: Nach ihrer Entdeckung zunächst als älteste fossile Nachweise von Embryonen von Vielzellern interpretiert (XIAO et al. 1998), entpuppen sich Fossilien der Gattungen *Parapandorina* (Abb. 1) und *Megasphaera* aus der Doushantuo-Formation aus China nun vermutlich als Riesenbakterien (BAILEY et al. 2006). Dies ergab sich durch einen Größen- und Proportions-Vergleich mit *Thiomargarita*, dem größten heute lebenden Bakterium, das in Sedimenten vor der Küste Namibias und im Golf von Mexiko entdeckt wurde. *Thiomargarita* ist etwa so groß wie die Doushantuo-Fossilien, und ist mit einer großen zentralen Vakuole und vielen kleinen Vakuolen ausgefüllt. Bei der Teilung entsteht ein Gebilde, das einem Vierzellstadium eines Vielzellers gleicht. Solche Teilungsstadien täuschen also im fossilen Erscheinungsbild wenigzellige Embryonen vor. Die Tatsache, dass solche Teilungsstadien in großer Zahl in den Doushantuo-Phosphoriten vorkommen, jedoch keine ausgewachsenen Exemplare gefunden wurden, sperrt sich gegen die Deutung der Fossilien als Tierembryonen (DONOGHUE 2006, 155).

Dennoch kann der Fall nicht *ad acta* gelegt werden. Denn auch die Deutung von *Parapandorina* und *Megasphaera* als Riesenbakterien ist nicht in jeder Hinsicht stimmig: Beispielsweise sind von *Thiomargarita* nur maximal 3 Abfolgen einer Zellteilung (8 zusammenhängende Zellen) bekannt, während bei *Parapandorina* Aggregare von über 100 Zellen bekannt sind, was mindestens 7 Teilungsstadien erfordert. Die Klassifikation der Fossilien kann daher nicht als geklärt gelten (DONOGHUE 2006, 156). Es bleibt dabei, was DONOGHUE (2006) einleitend in seinem Kommentar feststellte: „Der Ursprung der Tiere ist fast ein solches

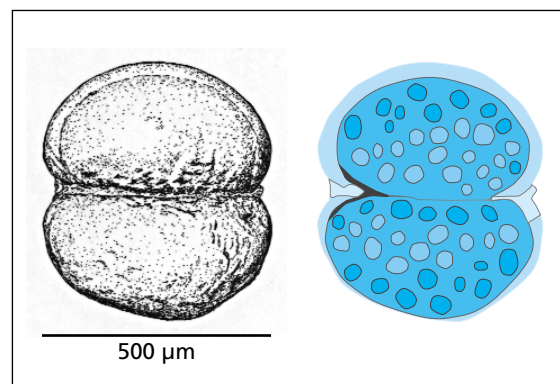


Abb. 1: Zeichnerische und graphische Darstellung von *Parapandorina* aus der Doushantuo-Region Südchinas, nach Fotos aus DONOGHUE (2006), rechts nach einem Foto mit Röntgen-Mikrotomographie, mit zahlreichen Vakuolen. Eine neue Studie deckte einige Ähnlichkeiten mit Riesenbakterien auf.