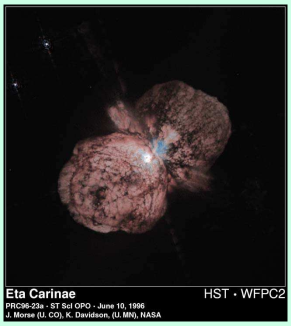
Spätphasen der Sternentwicklung

Institut für Astronomie und Astrophysik, Abteilung Astronomie

Arbeitsgruppe Sternatmosphären (Leiter: K. Werner)

J.L. Deetjen, S. Dreizler, S. Köper, S. Miksa, T. Nagel, T. Rauch, S. Schuh

Im Laufe ihres Lebens verlieren Sterne einen Großteil ihrer Masse durch einen Sternwind, der durch Strahlungsdruck angetrieben wird. Diese Abbildung zeigt einen der massereichsten Sterne unserer Galaxis, Eta Carinae, der ein extremes Beispiel für solche Massenverluste darstellt:



Generell gilt: Je massereicher ein Stern zu Beginn seines Lebens, desto massereicher auch sein Überrest am Ende. Diese Endmasse ist entscheidend für die Natur der verbleibenden „Sternleiche“:

Anfangsmasse (in Sonnenmassen)	Endmasse	Endstadium
<10	<1.4	Weißer Zwerg
10–50	1.4–2	Neutronenstern
>50	>2	Schwarzes Loch

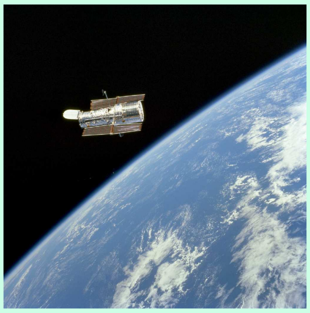
Ein Weißer Zwerg mit mehr als 1.4 Sonnenmassen (Chandrasekhar-Grenzmasse) kann nicht existieren. Der durch das entartete Elektronengas erzeugte Druck reicht nicht aus, um den Stern gegen einen Gravitationskollaps zu einem Neutronenstern zu stabilisieren. Analog dazu gibt es auch keine Neutronensterne oberhalb etwa zwei Sonnenmassen (Oppenheimer-Volkoff-Grenzmasse), da in diesem Fall der Druck des entarteten Neutronengases den Stern nicht mehr vor dem Kollaps zu einem Schwarzen Loch bewahren kann.

Die Arbeitsgruppe Sternatmosphären erforscht diese Sternüberreste sowie unmittelbare Vorläuferobjekte, um deren Struktur und Entwicklung zu studieren. Als Informationsquelle dient das elektromagnetische Spektrum. Stärke und Form der Spektrallinien von Atomen lassen erstaunlich detaillierte Erkenntnisse ableiten, wie Temperatur- und Druckschichtungen in der Atmosphäre, chemische Zusammensetzung, sowie Masse, Radius und Leuchtkraft des Sterns. Hierfür werden Modellatmosphären mit dem Computer berechnet und deren synthetische Spektren mit denen der Sterne verglichen.

Solche Computersimulationen sind sehr aufwendig. In vielen Fällen reichen Workstations oder PCs aus, häufig muß aber auch auf die Rechenleistung von Supercomputern zurückgegriffen werden. Dabei werden Gleichungen für den Strahlungstransport in einem heißen Plasma gelöst. Das Problem ist sehr verwickelt, da die intensive Strahlung den Zustand des Plasmas soweit dominiert, daß die Gesetze der klassischen Thermodynamik ihre Gültigkeit verlieren.

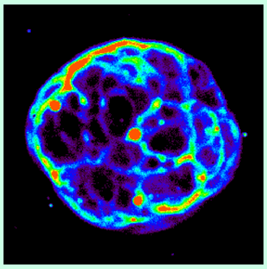
Da die meisten Sterne in ihrem Endstadium sehr lichtschwach sind, müssen deren Spektren mit den größten Teleskopen der Erde aufgenommen werden. Diese Beobachtungen werden regelmäßig von Mitgliedern unserer Arbeitsgruppe durchgeführt, z.B. am europäischen „Very Large Telescope“ in Chile:

Viele dieser Sterne sind so heiß, daß alle Atome hochionisiert sind. Absorptionslinien sind dann nur im UV-Spektralbereich zu sehen. Die Spektroskopie müssen wir dann aufgrund der Undurchlässigkeit der Erdatmosphäre im UV mit Weltraumteleskopen durchführen, z.B. mit dem Hubble Space Telescope:



Weiße Zwerge sind das Endstadium von 95% aller Sterne, so auch für unsere eigene Sonne (zum Glück aber erst in etwa 5 Milliarden Jahren). In ihnen sind die Kernprozesse nach der fast vollständigen Fusion von Wasserstoff und Helium zu Kohlenstoff und Sauerstoff zum Erliegen gekommen. Ihre Oberfläche kühlt im Laufe von einigen Milliarden Jahren von weit über 100 000 K auf unter 5000 K ab. Sie sind etwa so groß wie unsere Erde.

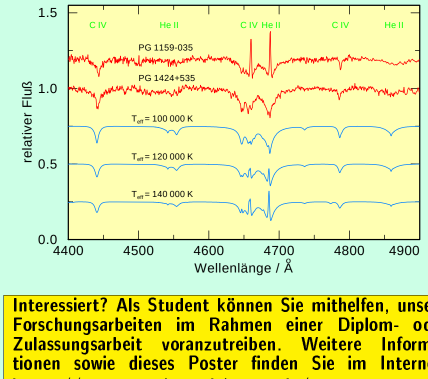
Zu Beginn ihrer Abkühlung sind die Weißen Zwerge umgeben von einem Planetarischen Nebel. Es handelt sich hier um Materie, die der Zentralstern ca. 10 000 Jahre vorher, als Roter Riese, in Form eines Sternwindes verloren hat und nun aufgrund seiner hohen Temperatur zum Leuchten anregt. Die Abbildung zeigt einen spektakulären Nebel mit seinem extrem heißen Zentralstern:



Der Planetarische Nebel Abell 43
[O III] (λ 5007 Å) Schmalbandfilteraufnahme
(Feld: 2’×2’, Norden ist oben, Osten ist links)
Dänisches 1.54m-Teleskop, DFOSC, Juli 1998, ESO, La Silla, Chile

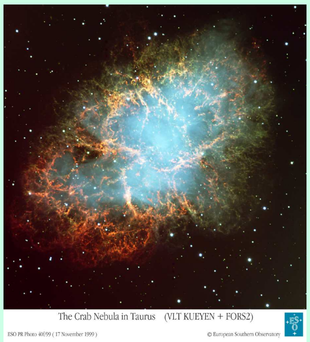
© 1998 Thomas Rauch, Tübingen

Die Spektralanalyse der Weißen Zwerge und der unmittelbaren Vorläufersterne im Zentralstern-Stadium liefert Aufschluß über die Prozesse im Inneren der Sterne am Ende ihrer Entwicklung, z.B. Erzeugung schwerer Elemente, Mischungsprozesse, Gravitationsdiffusion. Wir zeigen hier den Vergleich von zwei beobachteten (rot) und drei berechneten Spektren für Sterne unterschiedlicher Temperatur:



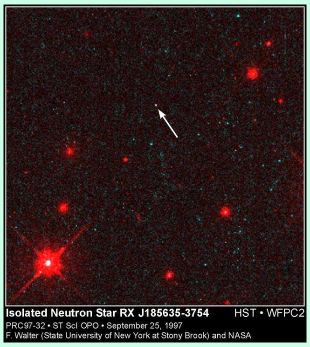
Interessiert? Als Student können Sie mithelfen, unsere Forschungsarbeiten im Rahmen einer Diplom- oder Zulassungsarbeit voranzutreiben. Weitere Informationen sowie dieses Poster finden Sie im Internet:
`http://astro.uni-tuebingen.de/`
`Telefon: (07071) 29-78601 (K. Werner)`

Neutronensterne sind kollabierte Kerne von entwickelten massereichen Sternen. Der Kollaps ist der Auslöser einer Supernova-Explosion, wobei der größte Teil der Sternmaterie fortgeschleudert und als Nebel sichtbar wird. Der Krebsnebel ist z.B. infolge einer Supernova im Jahre 1054 entstanden:



Im Zentrum des Nebels befindet sich der Neutronenstern, ein sehr schnell rotierender Pulsar (P=0.033 sec) mit nur etwa 10 km Radius. Der Stern kühlt sehr schnell ab, von ursprünglich etwa einer Mrd. K auf rund 100 000 K nach einer Mio. Jahren. Indem man Neutronensterne unterschiedlichen Alters beobachtet, kann man die Abkühlgeschwindigkeit bestimmen, die wiederum empfindlich von den Eigenschaften der Materie im Sterninneren abhängt. Dies erlaubt es indirekt, Materie bei extrem hohen (im Labor nicht erreichbaren) Dichten zu studieren und somit Kernphysik anhand kosmischer Objekte zu betreiben.

Während junge Neutronensterne leicht anhand ihrer Pulsareigenschaften gefunden werden können, sind alte Objekte nur schwer zu identifizieren. Sie sind extrem leuchtschwach und von „normalen“ Sternen nur durch ihre starke Röntgenstrahlung zu unterscheiden. Diese optische Abbildung zeigt einen der wenigen bekannten isolierten, alten Neutronensterne; er wurde von einem Röntgensatelliten entdeckt:



Die Temperaturbestimmung solcher Sterne ist eines unserer Hauptziele und geschieht wiederum mit spektroskopischen Methoden. Auch hierfür werden Modellatmosphären konstruiert. Die Abbildung zeigt den nach innen gerichteten Temperaturanstieg in Neutronenstern-Atmosphären, die entweder aus H, He oder Fe bestehen. Die gesamte Atmosphäre hat aufgrund des starken Gravitationsfeldes (100 milliardenfaches Erdfeld) eine Höhe von nur wenigen cm!