

Beendigung des Riesenstadiums

Rote Riesen blasen einen erheblichen Teil ihrer Masse als **Sternwind** ins Weltall ab und reichern damit die interstellare Materie mit schwereren Elementen als Helium an. Nach Beendigung der Kernfusionsprozesse läßt der Innendruck stark nach, der Stern schrumpft oder kollabiert, wobei die Materie enorm komprimiert wird. Je nach vorhandener Masse entsteht ein **Weißer Zwerg**, ein **Neutronenstern (Pulsar)** oder ein **Kollapsar (Schwarzes Loch)**.

Weißer Zwerge

Teilweise schleudern die Riesen ihre Hüllen explosionsartig als **Planetarische Nebel** ringförmig weg. Übrig bleibt ein heißer Sternkern, der sich zu einem weißen Zwerg entwickelt. Weiße Zwerge haben etwa ein hundertstel des Sonnendurchmessers, also vergleichbar mit Erdgröße. Sirius bildet ein Doppelsternsystem, wobei Sirius B ein weißer Zwerg mit 10 - 20000 km Durchmesser und 30000 K Oberflächentemperatur ist. Er hat etwa Sonnenmasse und eine Dichte von zwei Tonnen pro Kubikzentimeter. Wegen der hohen Temperaturen und des hohen Drucks im Innern werden die Atomkerne stark zusammengedrückt.

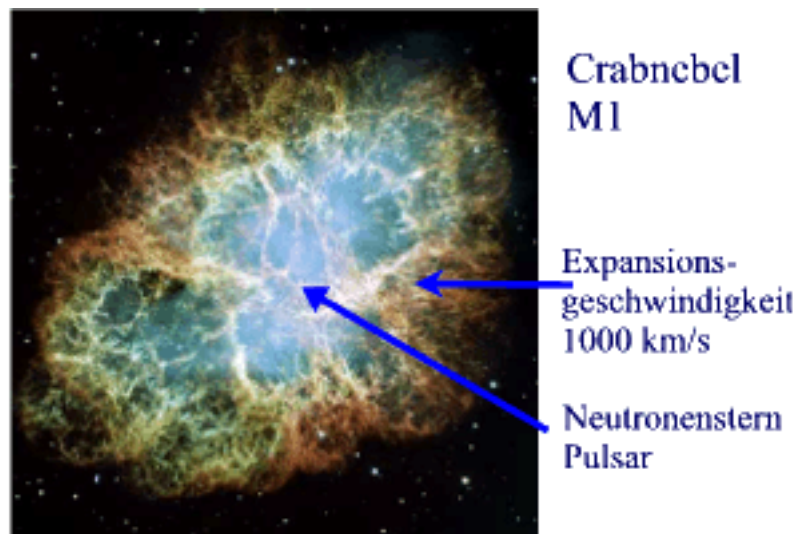
War die Masse des ursprünglichen Sterns nicht größer als 1,44 Sonnenmassen (Chandra-Limit), so kühlt der weiße Zwerg langsam aus. Er wird gelb, orange, rot und endet schließlich als schwarzer Zwerg und wird unsichtbar. Dieser Prozess dauert allerdings 10 Milliarden Jahre.

Bilden der Weiße Zwerg und ein Riese ein Doppelsternsystem, so kann der Weiße Zwerg Materie vom Riesen abziehen. Diese Materie stürzt auf den weißen Zwerg, verdichtet sich, die frei werdende Gravitationsenergie kann eine Kernfusion zünden. Dabei kann nun eine **Supernova SN Typ I** erfolgen, der weiße Zwerg kollabiert.

Neutronensterne und Supernova-Explosionen

Hat ein Hauptreihenstern mehr als fünffache Sonnenmasse, so können in seinem Inneren wegen der starken Kontraktion bei hohen Temperaturen auch schwerere Elemente wie Kohlenstoff und Sauerstoff in weiteren Schalen fusionieren. Dabei entstehen Elemente wie Eisen und Silizium.

Schwerere Elemente können nicht mehr entstehen, weil dazu Energie benötigt wird. Nach Beendigung aller Fusionsprozesse besitzt der Stern trotz Massenverluste noch soviel Masse, dass aufgrund des Drucks die Elektronen in die Atomkerne gedrückt werden und somit Neutronen entstehen. Dabei entstehen aber auch Neutrinos, die sehr schnell viel Energie nach außen abführen. Dem Kern fehlt nun der stabilisierende Strahlungsdruck, er kollabiert. Die nachfallende Hülle des Sterns trifft auf den nur wenige Kilometer dicken **Neutronenstern** und wird von ihm reflektiert. Die aus der Gravitation stammende Energie wird innerhalb kürzester Zeit frei. Es entsteht eine **Supernova-Explosion**, genauer eine **SN Typ II Supernova**, deren Helligkeit bis zu $M = -18$ betragen kann. Das berühmteste Beispiel ist der Krabbennebel M 1.



An dieser Stelle beobachteten die Chinesen am 4. Juli 1054 einen sehr hellen Stern. Heute erkennt man hier einen Nebelfleck, der sich mit rund 1000 km/s ausdehnt. 1987 wurde eine Supernova in der Magellanschen Wolke beobachtet.



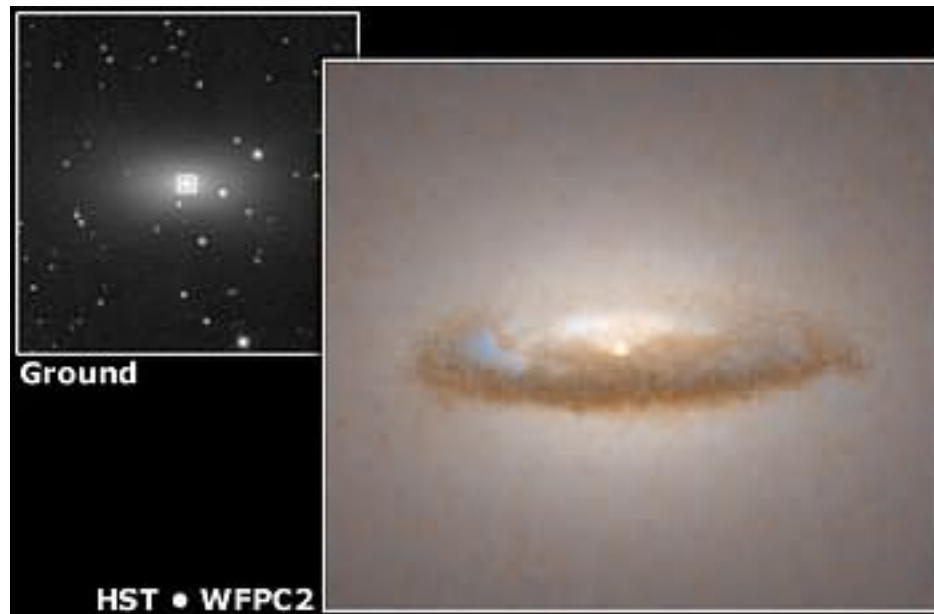
Im Jahr 1968 fand man im Zentrum des Krabbennebels einen Pulsar, der sich 30 mal in der Sekunde dreht und der Überrest des explodierten Sterns ist. Bei Supernovaexplosionen entstehen durch Anlagerung von Neutronen auch schwerere Elemente als Eisen. Diese Reaktionen verlaufen aber endotherm. So sind die meisten schweren Elemente, die wir auf unserer Erde finden, irgendwann in solchen exotischen Prozessen entstanden.

Da der Drehimpuls des ursprünglichen Sterns erhalten bleibt, muss jetzt der Stern sehr schnell rotieren. Auch die Stärke des Magnetfeldes ist jetzt etwa 30 Milliarden mal so stark wie auf der Erde. Die Achse des Magnetfeldes und die Rotationsachse fallen nicht unbedingt zusammen. Elektrische Ladungen, die im Magnetfeld beschleunigt werden, geben elektromagnetische Strahlung ab. Die Abstrahlung erfolgt in zwei engen Kegeln in den Raum. Liegt der Pulsar so im Raum, dass diese Kegel die Erde überstreichen, erhalten wir im Rhythmus der Rotation elektromagnetische Signale.

Kollapsare oder Schwarze Löcher

Nach Robert Oppenheimer und George Volkoff kann der Druck des Neutronengases der Gravitation nicht mehr standhalten, wenn die Masse

eines Neutronensterns 3,2 Sonnenmassen übersteigt. Das Objekt bricht vollständig zusammen, es erleidet den **Gravitationskollaps**. Beim Kollaps steigt die gravitative Oberflächenbeschleunigung so weit an, dass die Entweichgeschwindigkeit gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Photonen können dem Schwerkraftfeld nicht mehr entinnen, das Objekt bleibt unsichtbar. Schwarzschild hat als erster den Radius berechnet, bei dem für eine vorgegebene Masse Licht nicht mehr entweichen kann. Für die Sonne beträgt dieser Radius 3 km, für die Erdmasse 0,9 cm, für Antares mit 10-facher Sonnenmasse 30 km. Die Kollapszeit (Freifallzeit) liegt im Bereich von Tagen.



Schwarze Löcher können indirekt beobachtet werden. Ein Schwarzes Loch kann von einem Begleitstern oder aus der näheren Umgebung Materie abziehen, wobei diese stark beschleunigt wird und daher Röntgenstrahlung abgibt. Bei den Röntgenquellen Cygnus X 1, LMC X 3 und A06200-00 glaubt man, dass eine Komponente jeweils ein Kollapsar ist.

<http://nix.nasa.gov/>

