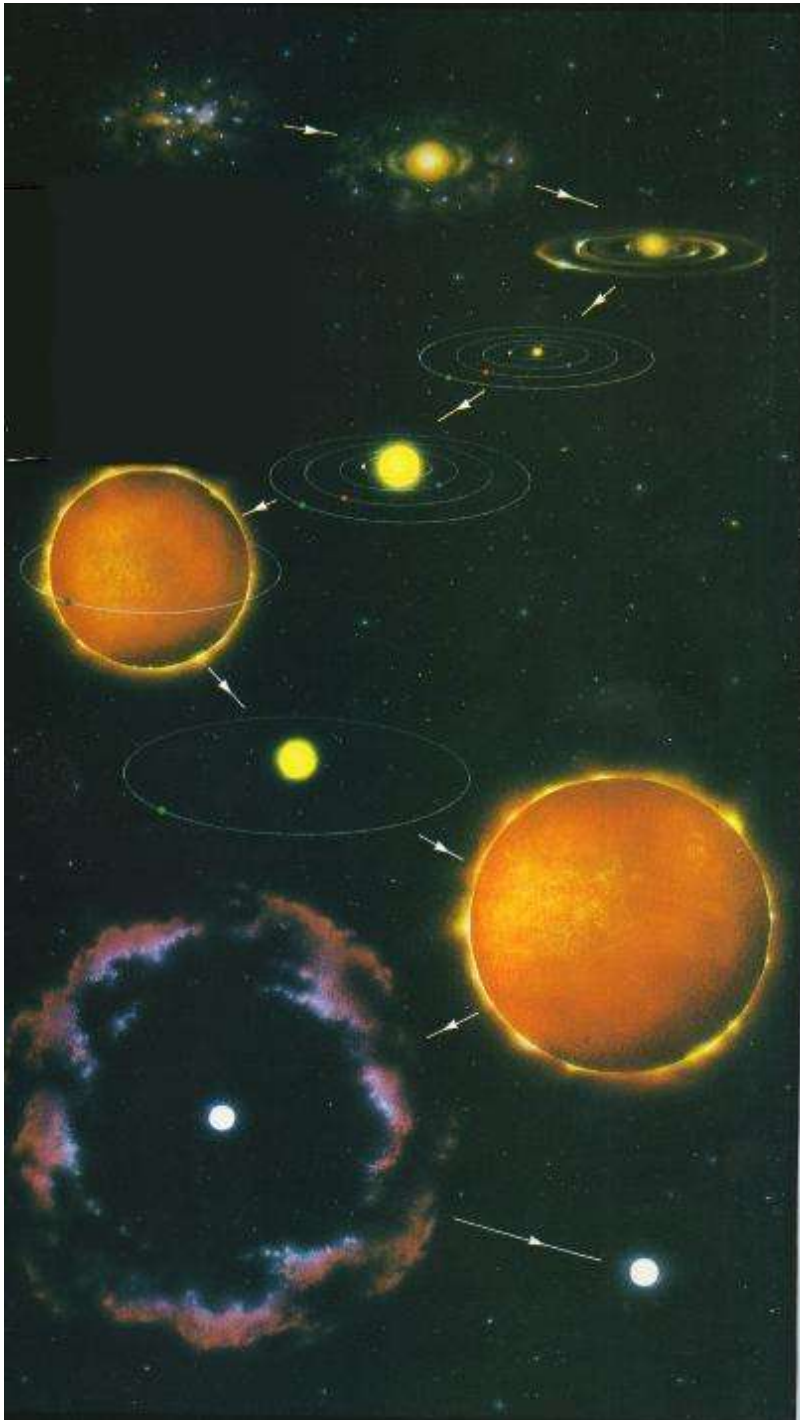


Der Lebensweg der Sterne



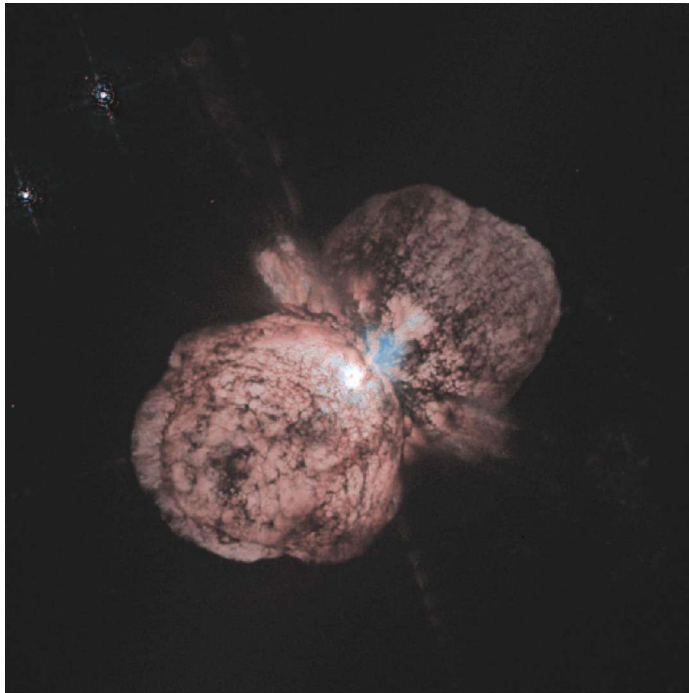
„Wahrscheinlich durch die Überreste einer nahen Supernova konnte sich die Sonne samt Planeten bilden. Nach einem Milliarden Jahre langen Leben bläht sie sich – nachdem der Wasserstoff verbraucht ist – mehrmals auf. Sie stößt dann endgültig ihre Hülle ab und endet als Weißer Zwerg.“

Ein Ende als Supernova ist unserer Sonne nicht beschieden, da sie nicht genügend Masse besitzt, um so zu enden, ein Stern dagegen, der die Masse der Sonne um mindestens um das 1,4-Fache übertrifft wird als gigantische Supernova vergehen.

So ein Stern endet dann nicht als Weißer Zwerg, sondern als Neutronenstern oder sogar als Schwarzes Loch.

(Schematische Darstellung des Lebensweges der Sterne)

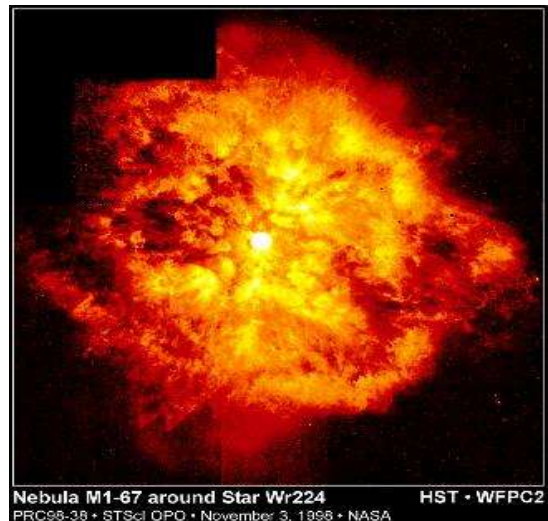
Die Supernova



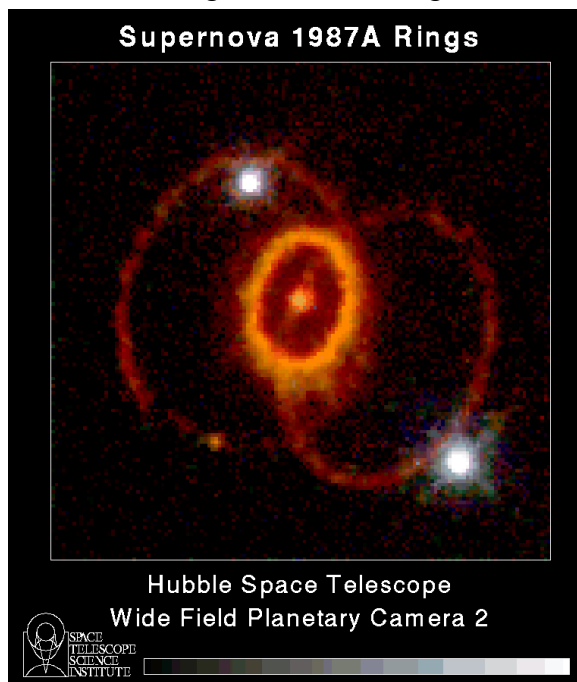
(Eta-Carinae)

Nach der Supernova – einer der gigantischen Naturereignisse des Universums - wo innerhalb eines Augenzwinkerns mehr Energie frei wird, als der Stern sein ganzes Leben lang produziert hat, strebt seine Hülle, die er abgesprengt hat, mit 98% der Lichtgeschwindigkeit ($c=299792\text{km/s}$) vom „Tatort“ fort. Zurück bleibt nur ein winziger Rest, der 10-20km groß ist; Er ist alles, was von einem ehemals großen Stern übrig bleibt.

Bevor ein Stern, der die Größe besitzt, der es ihm ermöglicht eine Supernova zu werden, kommt es bei ihm vor dem Ereignis, zu einer Phase erhöhter Aktivität, in der er einen Großteil seiner Hülle von sich schleudert – besonders aktive Sterne werden Wolf-Rayet-Sterne genannt, sie sind wenn man will „Dauersupernovae“:



Nebula M1-67 around Star Wr224 HST • WFPC2
PRC98-38 • STScI OPO • November 3, 1998 • NASA



Supernova 1987A Rings

Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2

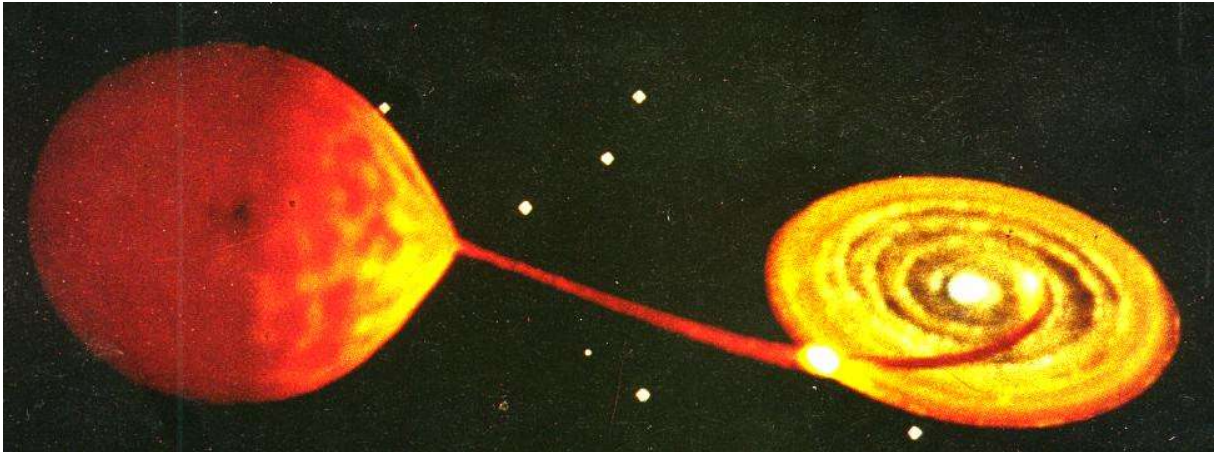


Dieser kleine Rest aber ist es, der so interessant ist, er ist je nach Masse des Sterns entweder ein Neutronenstern oder sogar ein Schwarzes Loch.

Bildung von Neutronensternen

Um aus einem Stern ein Neutronenstern werden zu lassen gibt es viele Möglichkeiten:

- Der Stern ist von Haus aus 1,4-3,2-Fach so Massiv wie unsere Sonne. Die hierbei entstehende Supernova wird als Typ II bezeichnet.
- Es kreist ein Weißer Zwerg, in einem Doppelsternensystem, um einem Partner, der sich gerade im Roten-Riesen Stadium befindet. Der Weiße Zwerg fängt dann kontinuierlich einen Teil der Materie des Partners ab, und vergrößert somit seine eigene Masse, bis sie das 1,4-Fache der Solmasse übersteigt. Der Druck im Inneren ist dann durch die zusätzliche Masse so groß, dass es hier ebenfalls zu einer Supernova kommt. Dieser Supernovaeyp wird als Typ I bezeichnet.

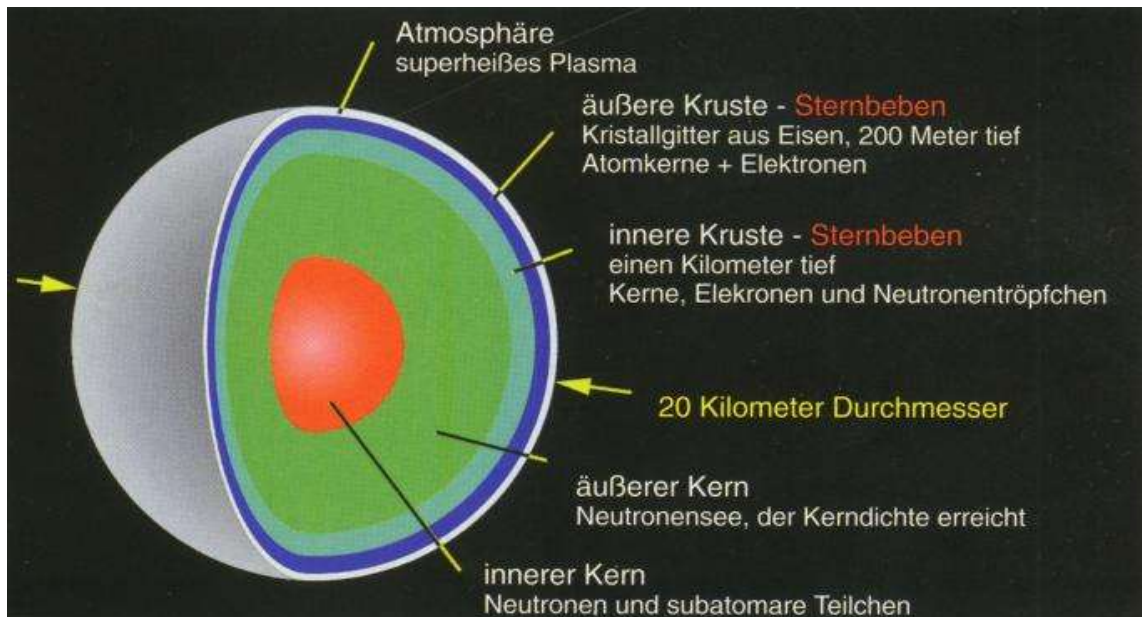


(Weißer Zwerg kreist um einen Partnerstern im Roten Riesen Stadium)

- In ganz seltenen Fällen kommt es sogar vor, daß zwei Weiße Zwerge, in einem Doppelsternensystem, die Lauf der Zeit durch aussenden von Gravitationswellen ihren Bewegungsimpuls verlieren, in einer Spirale aufeinander zustürzen und miteinander verschmelzen. Dann kann ebenfalls die Masse des resultierenden Sterns das 1,4-Fache der Sonnenmasse übersteigen, die Gravitationskräfte werden im Inneren dann so stark, daß es erst zu einer Supernova kommt, und danach der Nukleus zu einem Neutronenstern kollabiert.

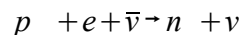
Aufbau von Neutronensternen

1. Materieller Aufbau:



2. Die entartete Materie:

Im inneren des Überrestes ist der Gravitationsdruck so groß, daß das Paulische Ausschließungsprinzip verletzt werden kann, d. h. die Elektronen werden durch den immensen Druck aus den Hüllen in den Kern gedrückt, was dann geschieht, ist eigentlich als inverser Beta-Zerfall zu sehen: die Elektronen werden in die Protonen gedrückt, die Reaktionsgleichung lautet:



Das bedeutet, aus einem Proton, einem Elektron und einem Anti-Elektronenneutrino wird ein Neutron und ein Elektronenneutrino.

3. Physikalische Grundlagen und Zahlen:

Die Materie im Neutronenstern ist so kompakt, das ein Kubikzentimeter Materie aus dem Inneren eines Neutronensterns mehrere Mio. Tonnen wiegt. Ein Neutronenstern hat in der Regel einen Durchmesser von 20km. Die Masse der Neutronensterne variiert von dem 1,4-Fache der Sonnenmasse (dies ist die untere Grenze, bei der Neutronensterne entstehen können) und dem 3,2-Fachen der Sonnenmasse (dies ist die obere Grenze, was darüber liegt wird zum Schwarzen Loch).

Die Schwerebeschleunigung, die auf einen Körper, auf der Oberfläche eines Neutronensterns der 1,4-Fachen Masse der Sonne lastet beträgt:

$$M = 1,4 * M_{\text{SOL}} = 2,7847 \cdot 10^{30} \text{kg} ; r = 10 \text{km}$$

$$g(r) = \frac{GM}{r^2}$$

$$g_n(10 \text{ km}) = \frac{6,6873 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot 2,7847 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{(10 \cdot 10^3 \text{ m})^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^2} = 1,8622 \cdot 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

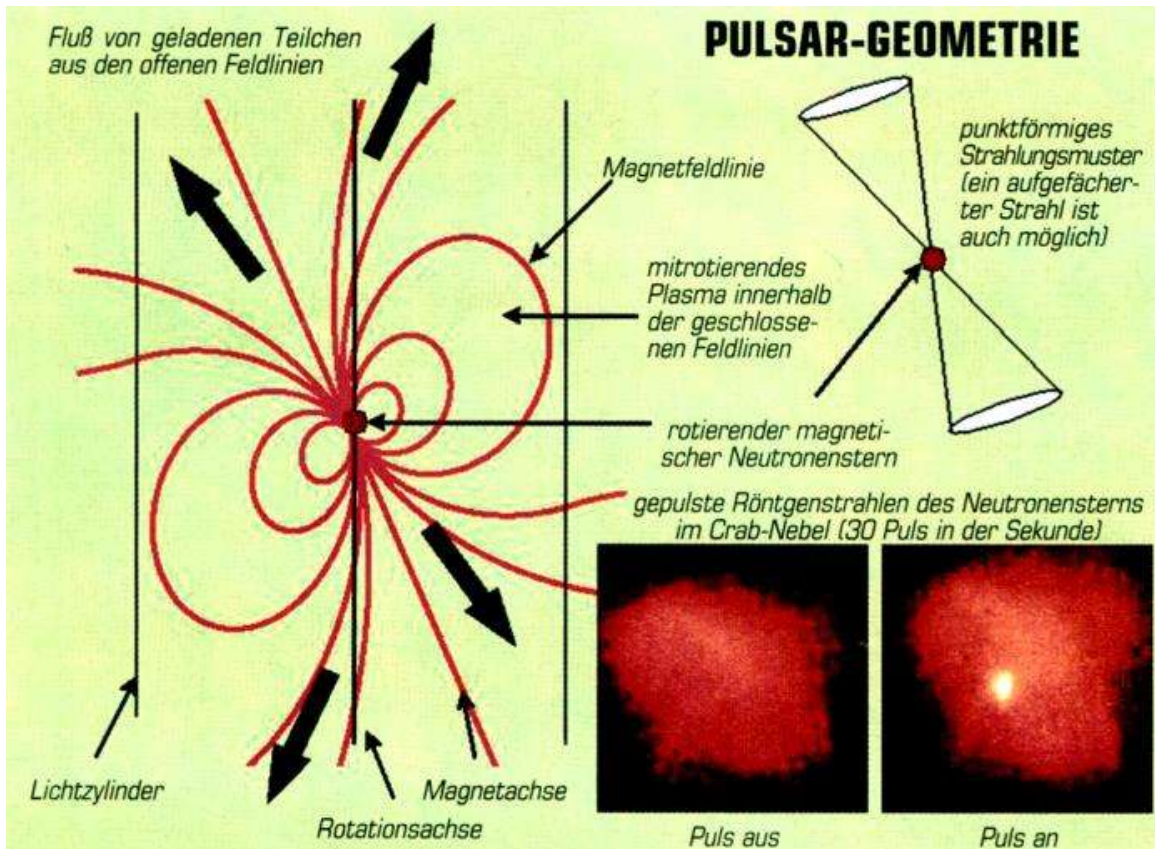
Im Vergleich, die Schwerebeschleunigung der Erde beträgt $9,81 \text{ms}^{-2}$. Der Neutronenstern hat also die 190 Milliardenfache Schwerkraft wie die der Erde, hauptsächlich ist dieser Umstand darauf zurückzuführen, daß die 1,4-Fache Masse der Sonne auf eine Kugel von einem Durchmesser von 20km zusammengepreßt wurde.

Ein Neutronenstern hat einen sehr großen Drehimpuls, der verbunden mit dem kleinen Durchmesser zu immensen Umdrehungsgeschwindigkeiten führt, von einigen Nanosekunden bis zu vielen Sekunden (Sehr alte Pulsare oder Magnetare).

Das Magnetfeld des Sterns wurde bei seinem Kollaps ebenfalls komprimiert, so daß ein Neutronenstern über ein gigantisches Magnetfeld verfügt, daß bis zu mehreren Milliarden mal so stark sein kann wie das der Erde ($50 \mu\text{T}$).

Dieses Magnetfeld ist es, das an den Polen geladene Teilchen bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit beschleunigt, diese Teilchen geben einen Teil ihrer kinetischen Energie als Strahlung in Bewegungsrichtung ab. Diese Strahlung kann dann auf der Erde gemessen werden (falls der Lichtkegel die Erde streift), da die Achse des Magnetfeldes meist nicht mit der Rotationsachse identisch ist, die Pulsperiode ist mit der Umdrehungsgeschwindigkeit identisch.

Die Oberflächentemperatur beträgt meist 10 – 100 Mio. Kelvin nimmt aber im Lauf der Zeit durch Abstrahlung von Infrarotstrahlung aber langsam ab.



Zusammenfassung:

Masse eines Neutronensterns:	1,4-3,2 * Masse _{SOL}
Mittlere Dichte:	3 Millionen kg/cm ³
Durchmesser:	20-40km
Schwerebeschleunigung:	190-430 Milliarden * g _{ERDE}
Umdrehungsgeschwindigkeit:	Nanosekunden – Sekunden
Magnetfeld:	5-500 Mio. Tesla
Oberflächentemperatur:	10-100 Mio. Kelvin
Zusammensetzung:	Neutronenflüssigkeit, Schwere Atome, Quarks

Erscheinungsformen von Neutronensternen

Man unterscheidet z. Z. zwei Arten von Neutronensternen:

1. Die klassischen Pulsare:

Diese Art von Neutronensternen ist die erste, die entdeckt wurden, sie machen sich bemerkbar durch ein periodisch wiederkehrendes Radiosignal. Durch diesen Umstand kam es dazu, dass diese Objekte bei ihrer Entdeckung erst für „kleine grüne Männchen“ gehalten wurden, die Signale die ein Neutronenstern aussendet sind so periodisch, daß mit ihrer Hilfe sogar die Atomuhren geeicht werden.

2. Magnetare:

Diese Neutronensterne haben ein noch stärkeres Magnetfeld als die „normalen“ Pulsare, um bis zu hundert mal so stark. Ihr Magnetfeld ist so stark, daß wenn sich die Magnetfeldachse verschiebt, gigantische „Sternenbeben“ den Neutronenstern erschüttern, dabei wird ein Teil der Oberflächenmaterie ins Weltall geschleudert. Dreht sich der nun Neutronenstern weiter, so wird diese Materie durch das Magnetfeld gezogen, da diese Materie aus elektrisch geladenen Teilchen besteht, werden diese immens beschleunigt, die durch die Beschleunigung aufgenommene Energie wird dann als hochenergetische Gammastrahlung wieder abgegeben. Ein solches Ereignis nennt man dann einen Gamma-ray Burst (dt. Gammastrahlen Ausbruch). Der Magnetar gibt aber auch so kontinuierlich eine schwache Gammastrahlung ab, die durch Interaktion des Magnetfeldes mit dem umgebenden interstellaren Gas entsteht.