

Neutronensterne

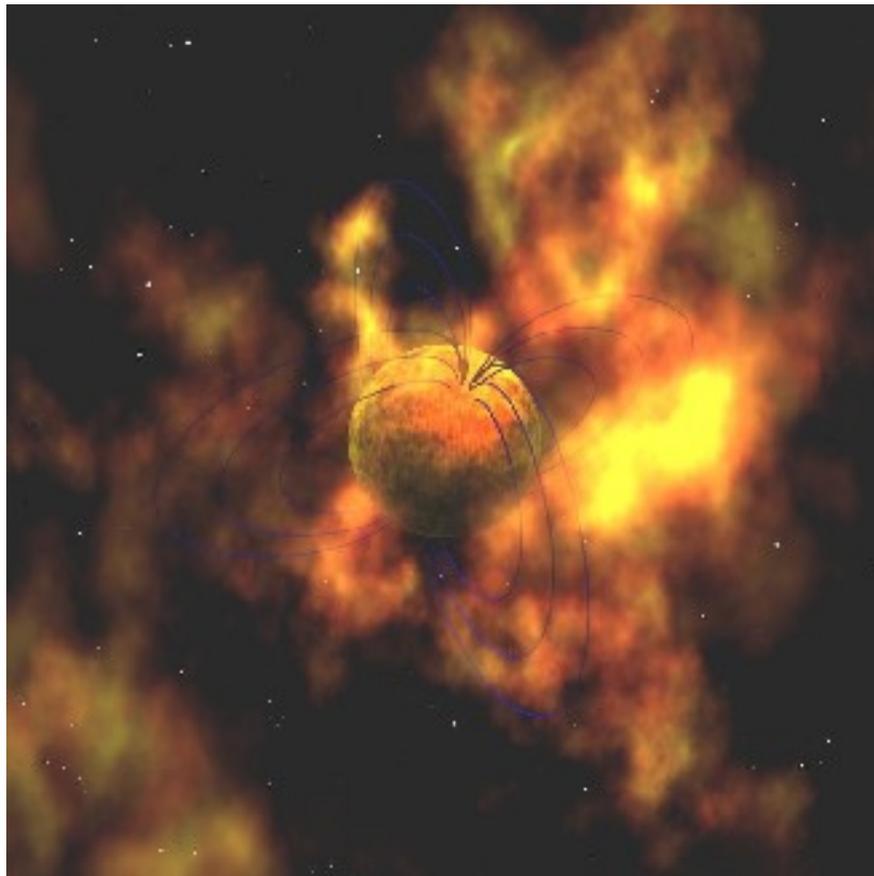
Belegarbeit von

Steven Kirchner

2006

Inhaltsverzeichnis

1. Was ist ein Neutronenstern?
2. Die Entstehung eines Neutronensterns
3. Die Eigenschaften eines Neutronensterns
4. Das Magnetfeld von Neutronensternen
- 4.1. Pulsare
5. Die Stabilität eines Neutronensterns durch das Pauli-Prinzip
6. Die innere Struktur eines Neutronensterns



1. Was ist ein Neutronenstern?

Ein Neutronenstern ist ein Stern dessen Durchmesser normalerweise ungefähr 20 km beträgt. Trotz dieses geringen Durchmessers hat ein Neutronenstern eine Masse wie die eines üblichen Sterns. Ein Neutronenstern stellt in einer bestimmten Gewichtsklasse das Endstadium eines Sterns dar. Er besteht aus einer besonderen Materieform aus Neutronen. Er hat eine extreme Dichte von 10^{12} kg/cm³ im Zentrum und es kann sogar noch mehr betragen. Ein Teil dieser besonderen Materie in Größe von einem Stecknadelkopf hat eine Masse von 1.000.000 Tonnen. Dies kann man ungefähr mit einem Wasserwürfel, welcher eine Kantenlänge von 100 m besitzt, vergleichen. Einen Neutronenstern könnte man auch einen gigantischen Atomkern nennen, welcher von einem extrem hohen Gravitationsdruck stabilisiert wird. Es muss aber nicht unbedingt sein das der Kern dieses Sterns aus einer Neutronenmaterie besteht. Der Kern könnte auch aus einem Quark-Gluon-Plasma bestehen. So etwas nennt man dann einen Quarkstern. Aber nicht nur in Hinsicht auf die Dichte ist ein Neutronenstern das extremste Objekt im Kosmos. Auch in Hinsicht auf die Temperatur, das Magnetfeld und auch auf andere physikalische Größen. 1967 wurden die ersten Neutronensterne von A. Hewish und J. Bell entdeckt. Diese Neutronensterne traten als Pulsare in Erscheinung.

2. Die Entstehung eines Neutronensterns

Ein Neutronenstern entsteht am Rande einer Supernova. Eine Supernova kann zum Beispiel bei dem Kollaps des Zentralbereiches stattfinden, wobei die Masse des Sterns zwischen 1,4 und etwa 3 Sonnenmassen betragen muss. Liegt die Masse über 3 Sonnenmassen, dann entsteht ein Schwarzes Loch und liegt sie unter 1,4 Sonnenmassen so findet überhaupt keine Supernova-Explosion statt, sondern es entwickelt sich ein Weißer Zwerg. Wenn am Ende seiner Entwicklung die Fusionsprozesse im Inneren eines Sternes zum Erliegen kommen, so findet der Kollaps statt. Nach der Fusion von Wasser- zu Heliumkernen entstehen bei massenreichen Sternen weitere Reihe von schweren Stoffen, wozu auch Eisen gehört. Wenn sich genug Eisen im Kern des Sternes angereichert hat, so kann keine Fusion mehr stattfinden. Aus der Fusion von Eisen kann der Stern keine weitere Energie beziehen. Dadurch sinkt der Strahlungsdruck. Dieser Strahlungsdruck wirkt normalerweise der Gravitation entgegen und stabilisiert den Stern. Da dieser Strahlungsdruck sinkt kollabiert der Stern und der Kern des Sternes wird sehr stark zusammen gepresst. Dabei entstehen extrem starke Kräfte, welche dafür sorgen, dass die Elektronen in die Kerne der Atome gedrückt werden. Danach verbinden sich die Protonen und Elektronen zu Neutronen. Nach diesem Prozess schrumpft der Stern weiter zusammen, aber die Neutronen bauen einen „Entartungsdruck“ auf, welcher die weitere Kontraktion des Sternes verhindert. Bei diesem Prozess geht sehr viel potentielle Energie verloren. Der Kern verursacht zusätzlich einen starken Neutronenschauer. Es kommt zu einem so genannten „Hüllenbrand“. Dieser Hüllenbrand schleudert die übrigen Außenhüllen durch eine Explosion weg. Diese

ganzen Prozesse laufen zunächst erst im Kern ab. Erst nach einigen Tagen wird diese Supernova von Außen sichtbar.



3. Die Eigenschaften eines Neutronensterns

Das Gravitationsfeld von einem Neutronenstern ist an der Oberfläche etwa $2 \cdot 10^{12}$ mal stärker als das von der Erde. Am Anfang beträgt die Temperatur im Kern 100 Milliarden Kelvin, aber nach einem Jahr beträgt sie durch die Strahlung von Neutrinos nur noch 1 Milliarden Kelvin. Um einen Neutronenstern zu verlassen müsste man einem Objekt eine Fluchtgeschwindigkeit von etwa $1/3$ Lichtgeschwindigkeit erteilen.

4. Das Magnetfeld von Neutronensternen

Das Magnetfeld von Neutronensternen ist sehr stark. Es ist so stark das Atome im Einflussbereich der Magnetfelder eine längliche Zigarrenform annehmen würden. Zwischen Zentrum und Äquator stellt sich aufgrund der Rotation eine Hallspannung der Größenordnung 10^{18} V ein. Dies entspricht etwa einer elektrischen Feldstärke von einigen Volt pro Atomdurchmesser.

4.1. Pulsare

Wenn die Achse des Magnetfeldes gegen die Rotationsachse geneigt ist, so wird eine periodische Radiowelle mit einer typischen Leistung im Bereich des 10^5 fachen der gesamten Strahlungsleistung der Sonne abgestrahlt. Solche Strahlungen sind in der Astronomie unter dem Namen Pulsare oder Radiopulsare bekannt. Zu diesem Prozess wird Rotationsenergie benötigt. Diese Energie wird in wenigen Millionen Jahren aufgezehrt.



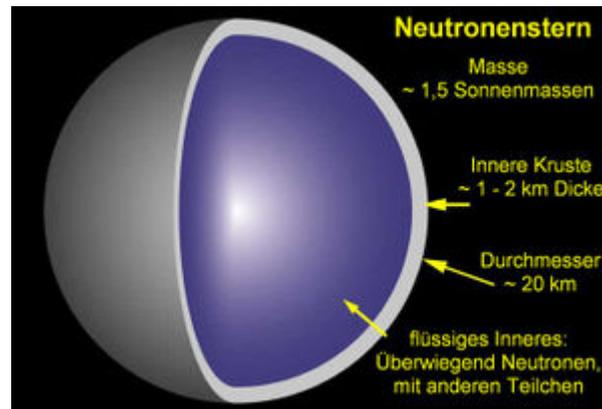
5. Die Stabilität eines Neutronensterns durch das Pauli-Prinzip

Ein reiner Neutronenstern wird durch die Folgen des Pauli-Prinzips stabilisiert. Es können sich danach maximal 2 Neutronen des Sterns im selben energetischen Zustand befinden. Als Folge der Quantenmechanik bilden die möglichen Energiezustände eine Leiter, deren Sprossenabstand bei Verringerung des Sternvolumens wächst. Da diese Zustände ab dem unteren Ende der Leiter alle besetzt sind, muss bei einer Kompression den Neutronen am oberen Ende der Leiter Energie hinzu geführt werden. Dieses Phänomen führt zu einem Gegendruck, der dem Gravitationsdruck standhalten kann. Es ist wirklich bemerkenswert, dass der Durchmesser des Neutronensterns unmittelbar mit der Neutronenmasse zusammen hängt.

6. Die innere Struktur eines Neutronensterns

Der Oberflächendruck beträgt 0. Da freie Neutronen in dieser Umgebung instabil sind gibt es dort nur Eisenatomkerne und Elektronen. Diese Bestandteile bilden ein Kristallgitter. Es aber die höchsten Stellen der Oberfläche durch die enorme Schwerkraft nur einige Millimeter hoch. Würde der Neutronenstern eine Atmosphäre aus heißem Plasma besitzen, so würde diese nur einige Zentimeter dick sein. So ein Kristallgitter setzt sich in der Tiefe von 10 Meter fort. Ab dieser Tiefe herrscht ein so enormer Druck, dass die Neutronen Bestand haben. Es beginnt dort die so genannte „innere Kruste“. Am Anschluss an diese Kruste besteht der Stern Neutronen, die mit einem geringen Anteil von Protonen und Elektronen im dynamischen Gleichgewicht stehen. Wenn die Temperaturen hinreichend niedrig sind, verhalten sich die Neutronen dort superflüssig und die Protonen supraleitfähig. Was für eine Materie

am Ende dieser Zone liegt weiß keiner so genau, aber es könnte sich dort Quark-Gluon-Plasma befinden, wobei der Neutronenstern dann ein Quarkstern wäre.



Quelle: [Enzyklopädie: Neutronenstern. DB Sonderband: Wikipedia Frühjahr 2005, S. 317720 bis 317731]