

# TOV Gleichung und Neutronensterne



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

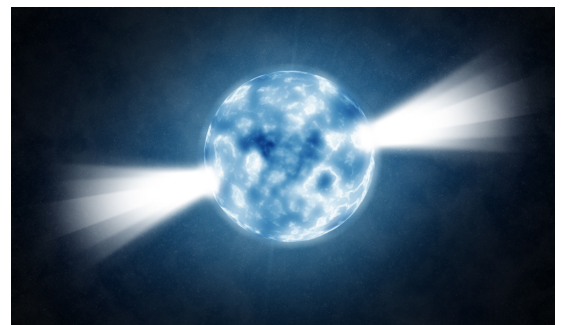
**Abstract zur Präsentation von Oliver Bünting**  
Theorieseminar: Kernstruktur und Nukleare Astrophysik  
23. Juni 2016

## Neutronensterne

Alle Sterne unseres Universums unterliegen im Laufe mehrerer Millionen Jahre einer gewissen Evolution.

Nachdem ein Stern einen hinreichend großen Anteil seiner Materie verbrannt hat kollabiert er und geht so in sein Endstadium über. Abhängig von der pre-kollabierten Sternmasse entsteht ein weißer Zwerg, ein Neutronenstern oder ein schwarzes Loch. Die Tabelle 1 (unter dem Bild rechts) zeigt den Zusammenhang zwischen Masse und Endstadium des Sterns.

Im Rahmen dieses Vortrags werden speziell Neutronensterne betrachtet. Besonders komplex ist hierbei die Entwicklung eines Modells um die Eigenschaften der Neutronensterne vorherzusagen. Hinzu kommt die Schwierigkeit, die Eigenschaften und ganz allgemein die Existenz von Neutronensternen zu detektieren. Einzig Pulsare, schnell rotierende und dabei elektromagnetische Strahlung emittierende Neutronensterne sind aufgrund eben jener Strahlungsemission eindeutig detektierbar. (Die Abbildung rechts illustriert schematisch einen solchen Pulsar).



Masse des Sterns in $M_{\odot}$	Endstadium
1-8	weißer Zwerg
8-30	Neutronenstern
30+	Schwarzes Loch

## Modellierung und TOV Gleichung

Um Neutronensterne beschreiben zu können, müssen zunächst die vorherrschenden Prozesse und existierenden Teilchen betrachtet werden. Ein Neutronenstern wird in vier Untergebiete (äußerer Mantel, innerer Mantel, äußerer Kern und innerer Kern) aufgeteilt, wobei der Druck von außen nach innen immer weiter ansteigt und die existierenden Bestandteile somit maßgeblich bestimmt. So können im äußeren Mantel noch ganze Moleküle existieren, im äußeren Kern jedoch sind die größten existierenden Teilchen lediglich noch Neutronen. Beschrieben werden diese inneren Neutronensterngebiete meist durch eine Fermiflüssigkeit (analog zu einem Fermionengas), welches bei steigendem Druck eine immer größere Entartung erfährt und somit die Energie der einzelnen Teilchen ansteigt.

Dies gilt es für die Modellierung zu beachten, da ab einem gewissen Druck, welcher sich meist ab dem inneren Mantel einstellt, relativistisch gerechnet werden muss.

Für die mathematische Beschreibung eines Neutronensterns bedient man sich einer Equation of State. Diese stellt den Zustand von Materie in Abhängigkeit von Temperatur, Druck, Volumen und der inneren Energie dar. Da allerdings eine fermionische Flüssigkeit angenommen wird, kann die Temperatur auf  $T=0$  gesetzt werden und diese Abhängigkeit vernachlässigt werden.

Wurde eine EoS für ein Neutronenstern bestimmt ist es möglich, durch Einsetzen dieser in die Tolman-Oppenheimer-Volkoff (TOV) Gleichung einen Zusammenhang zwischen Masse und Druck sowie zwischen Radius und Druck zu erhalten. Setzt man diese Gleichungen erneut ineinander ein, erhält man eine M-R Relation, welche direkt mit experimentellen Befunden über Neutronensterne abgeglichen werden kann. Daraus erhält man Aufschluss, ob die angenommene EoS eine angemessene Beschreibung für den experimentell vermessenen Neutronenstern darstellt.

Aufgrund der hochgradig komplexen Prozesse innerhalb eines Neutronensterns ist nämlich die Bestimmung der EoS der schwierigste zu bestimmende Parameter in der Modellierung eines Neutronensterns.