



### Neutronensterne und Astro-Seismologie

#### Neutronensterne

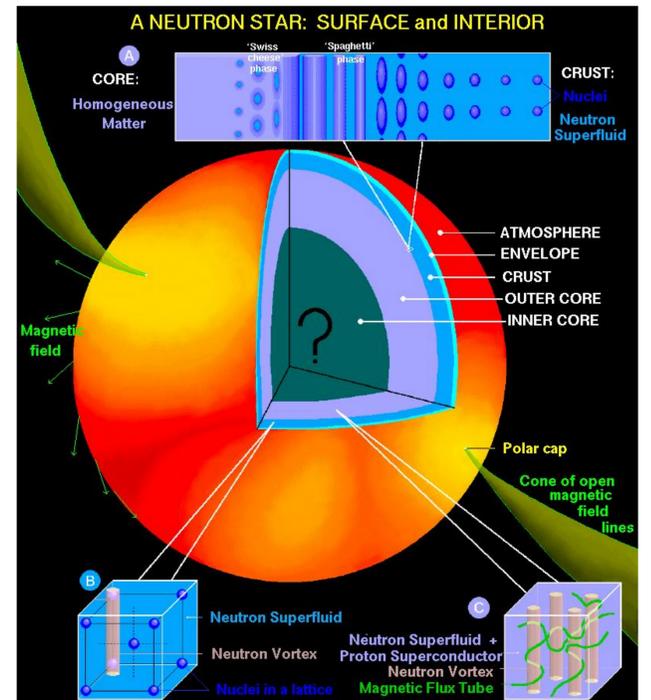
- Entstehen bei Supernovaexplosionen von Sternen.
- Wiegen ungefähr 1.4 mal mehr als die Sonne.
- Radius dabei weniger als 20 km.
- Rotationsraten bis 716 Umdrehungen pro Sekunde beobachtet.
- Besitzen ein starkes Magnetfeld.
- Strahlen häufig gepulste Radiowellen oder Röntgenstrahlen ab ("Pulsare").
- Perioden von Pulsaren sind extrem konstant ("kosmische Uhren").
- Zur Beschreibung benötigt man die Allgemeine Relativitätstheorie.

#### Astro-Seismologie

- Die genauen Eigenschaften von Materie bei sehr hohen Dichten sind nicht bekannt.
- Bei Erde und Sonne hat man aus der Analyse seismischer Schwingungen viel über den inneren Aufbau gelernt.
- Auch für Neutronensterne könnte man Rückschlüsse auf die Zustände im Inneren ziehen.
- Dazu macht man verschiedene Annahmen über das Verhalten der Materie und berechnet die resultierenden Schwingungen mit Hilfe aufwendiger Computersimulationen.

#### Nachweis der Schwingungen

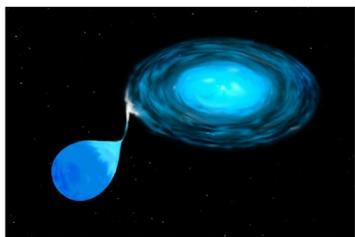
- Schwingungen von Neutronensternen sind normalerweise nicht direkt beobachtbar.
- Abgestrahlte Gravitationswellen sind im Prinzip mit Gravitationswellen-Detektoren nachweisbar.
- Je nach Abstand zur Quelle sind heutige Detektoren möglicherweise nicht sensitiv genug.
- Zum Nachweis muß man schon relativ genau wissen, wonach man sucht.



Vermuteter Aufbau eines Neutronensterns, von außen nach innen: Eine dünne Atmosphäre, eine feste Eisenkruste und ein flüssiger Kern, der hauptsächlich aus Neutronen besteht. Die Eigenschaften der innersten Regionen des Kerns sind noch unklar.

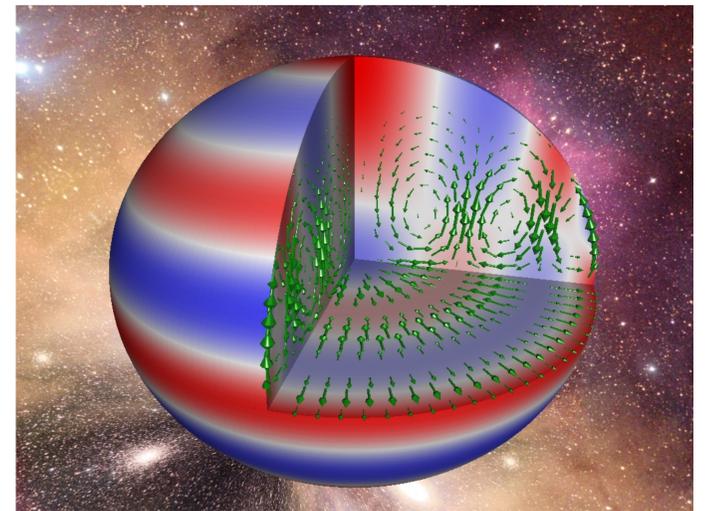
### Woran wir arbeiten

- Berechnung der Schwingungsmuster von Neutronensternen
  - Vereinfachende Annahmen für die Eigenschaften der Materie.
  - Einfluß schneller Rotation kann berücksichtigt werden (ohne Magnetfeld).
  - Alle Rechnungen im Rahmen der Relativitätstheorie.
- Abschätzung der maximal möglichen Schwingungsamplitude und Stärke der resultierenden Gravitationswellen.



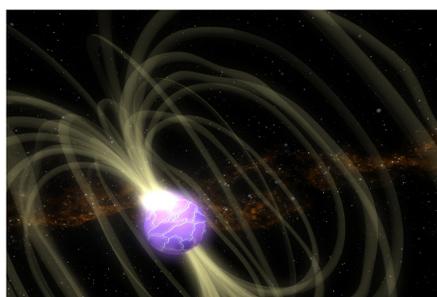
Skizze eines low mass x-ray binary (LMXB): Materie wird von einem normalen Stern auf einen Neutronenstern oder ein schwarzes Loch abgesaugt, dessen Rotationsrate sich dabei ändert.

- Instabilitäten in Form sich aufschaukelnder Schwingungen, verursacht durch die Rotation des Sterns.
- Entwicklung von Neutronensternen in Binärsystem mit Masseaustausch.
- Schwingungen der Oberfläche von Magnetaren (siehe unten).
  - Interaktion mit dem Magnetfeld.
  - Vergleich mit Beobachtungen sogenannter Giant Flares.
- Einfluß von Superfluidität auf Schwingungen.
- Schwingungen schwarzer Löcher.
- Entwicklung von Magnetfeldern in kollabierendem Plasma.



Schwingungsmuster eines schnell rotierenden Neutronensterns. Die Farbe stellt Änderung der Dichte dar, die Pfeile das Strömungsmuster.

### Magnetare



Künstlerische Illustration eines Magnetars. Die diffusen Linien symbolisieren den Verlauf der magnetischen Feldlinien. Am magnetischen Pol bilden sich heiße Flecken. Die Oberfläche ist von einer festen Kruste bedeckt, die aber durch Vorgänge im Inneren aufgebrochen werden kann.

- Magnetare sind Neutronensterne mit besonders starkem Magnetfeld.
- Magnetare haben die größte jemals beobachtete Feldstärke.
- Ihr Magnetfeld ist mit mehr als  $10^{15}$  Gauss etwa 10 000 000 000 000 mal so stark wie ein gewöhnlicher Kühlschrankmagnet.
- Atome ändern in solch starken Feldern ihre Eigenschaften.
- Es wurden energiereiche Ausbrüche harter Röntgenstrahlung ("Giant Flares") beobachtet, die kurzfristig heller als der Vollmond im sichtbaren Licht waren.
- Ein solcher Ausbruch in unserer kosmischen Nachbarschaft würde die Ozonschicht zerstören.
- Giant Flares zeigen Modulation mit verschiedenen Frequenzen.
- Ursache vermutlich Schwingungen von Kruste und Magnetfeld.

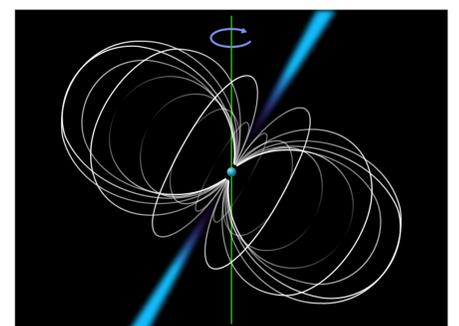


Illustration eines Pulsars: das Magnetfeld eines Neutronensterns fällt nicht mit der Rotationsachse zusammen. Da die meiste Strahlung in Richtung der magnetischen Achse abgestrahlt wird, sieht ein entfernter Beobachter gepulste Strahlung, analog zu einem Leuchtturm.