

---

---

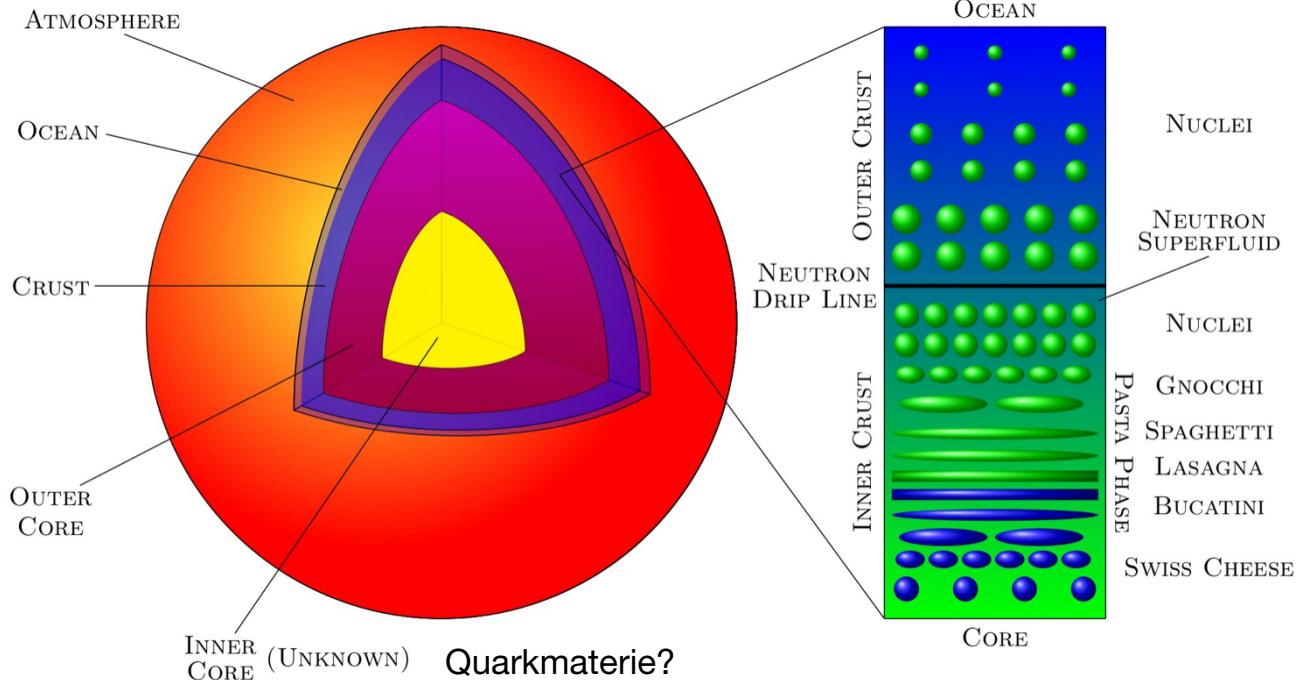
---

---

---



## 19. Neutronensterne, Pulsare & Quarksterne



Quelle: <https://twitter.com/RKLeane/status/1196267948056424448/photo/1>, 25.6.2020

Massendichte- und Druck-Profil von Neutronensternen ergibt sich durch Lösen der TOV-Gleichungen (15.27), (15.28) unter Berücksichtigung der Zustandsgleichung der Materie.

Neutronenstern als Newtonscher Stern mit nicht-relativistischer polytropischer Zustandsgleichung:

Massendichte:  $\rho = n_N m_N$  (19.1)

Fermi-Impuls:  $p_F = \hbar (3\pi^2 n_N)^{1/3} = \hbar \left( \frac{3\pi^2 \rho}{m_N} \right)^{1/3}$  (19.2)

Fermi-Energie:  $E_F = \frac{p_F^2}{2m_N} = \frac{\hbar^2}{2m_N} \left( \frac{3\pi^2 \rho}{m_N} \right)^{2/3}$  (19.3)

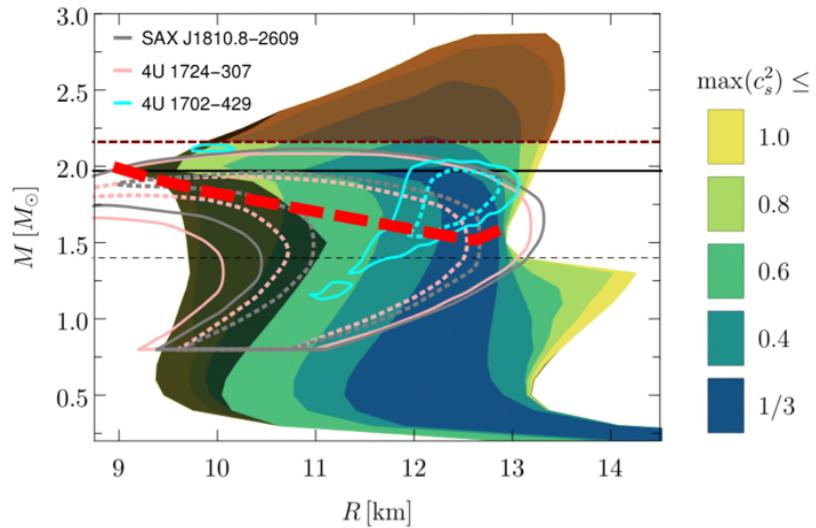
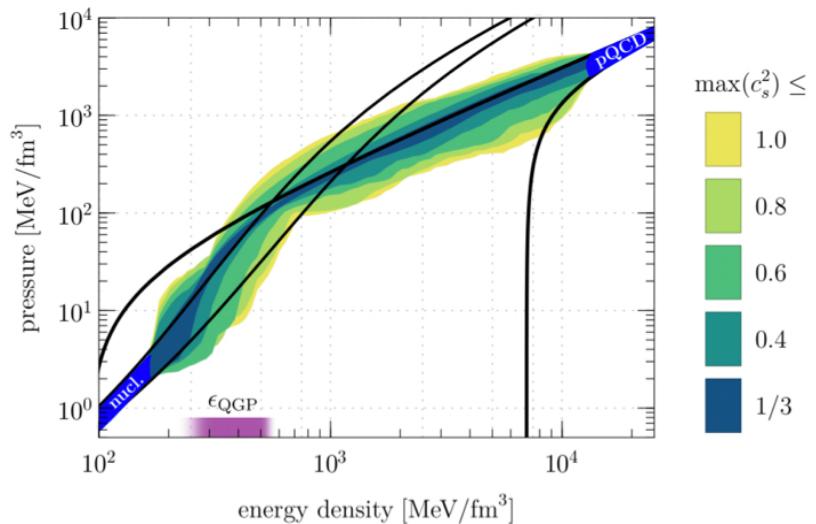
Druck: 
$$\begin{aligned} P &= \frac{2}{5} n_N E_F = \frac{2}{5} \frac{\rho}{m_N} \frac{\hbar^2}{2m_N} \left( \frac{3\pi^2 \rho}{m_N} \right)^{2/3} \\ &= \frac{\hbar^2}{15\pi^2 m_N} \left( \frac{3\pi^2}{m_N} \right)^{5/3} \rho^{5/3} \equiv K_1 \rho^{5/3} \end{aligned}$$
 (19.4)

charakteristische Dichte:  $\rho_C = m_N n_{N,C} = m_N \frac{P_{F,C}^3}{3\pi^2 \hbar^3} = \frac{m_N (m_{NC})^3}{3\pi^2 \hbar^3} \gg \rho_0$  (19.5)

$\Rightarrow K_1 \rho_C^{-1/3} = \frac{3\pi^2}{5} \frac{(\hbar_C)^3}{(m_{NC}^2)^2 m_N^2}$  vgl. Gl. (18.8) (19.6)

$\Rightarrow R = 3.966 \frac{M_P}{m_N} \frac{\hbar_C}{m_{NC}^2} \left( \frac{\rho_C}{\rho_0} \right)^{1/6} \simeq 10.863 \left( \frac{\rho_C}{\rho_0} \right)^{1/6} \text{km}$  vgl. Gl. (18.9) (19.7)

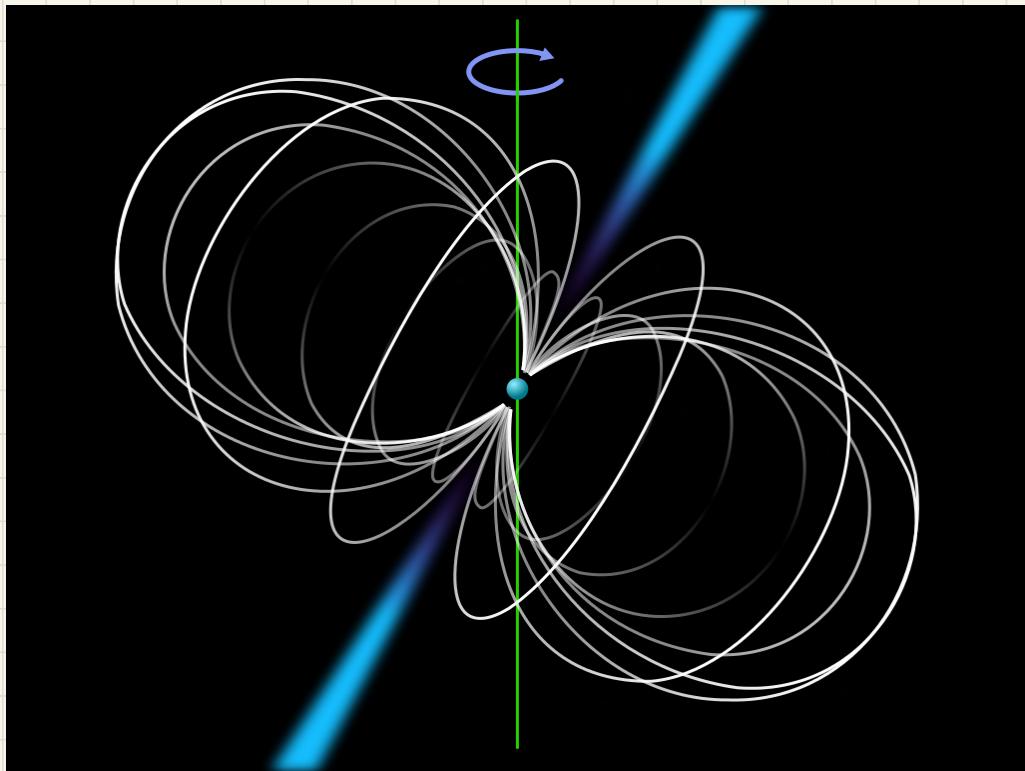
$\Rightarrow M = 2.735 \left( \frac{\rho_0}{\rho_C} \right)^{1/2} M_\odot$  vgl. Gl. (18.11) (19.8)



E. Annala, T. Gorda, A. Kurkela, J. Näyttälä, A. Vuorinen, Mem. Soc. Ast. It. 90 (2019) no. 1-2, 81

## Pulsar: rotierender Neutronenstern

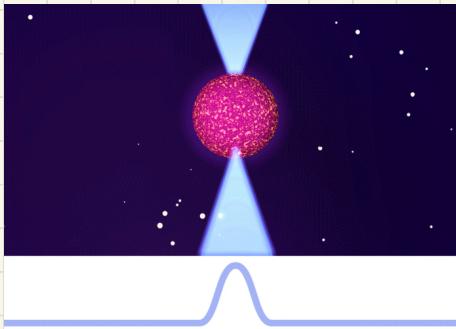
Magnetfeld-Hauptachse fällt nicht mit Drehachse des Neutronensterns zusammen



Geladene Teilchen bewegen sich entlang magnetischen Feldlinien, werden zu den magnetischen Polen aufgrund der Gravitation beschleunigt

- Abbremsung beim Auftreffen auf Oberfläche erzeugt **Bremsstrahlung**
- Abstrahlung in Kegel, der mit Rotationsgeschwindigkeit des Neutronensterns um die Drehachse rotiert
- "Leuchtturm"-Effekt!

Beobachtung auf der Erde: "Leuchtturm"-Strahl überstreicht Erde



Quelle: <https://www.einstein-online.info/pulsare/> , 25.6.2020

Vela Pulsar: <https://www.youtube.com/watch?v=Zw805GEt98M>

Jocelyn Bell, Antony Hewish (1967): PSR B1919+21 (Nobelpreis 1974 für Hewish)

schnellste Rotation: XTE J1739-285       $\nu = 1122 \text{ Hz}$

Veränderungen der Rotationsfrequenz:

- (i) Sternbeben  $\Rightarrow$  Änderung des Trägheitsmoments  $\Rightarrow$  sprunghafte Änderung der Rotationsfrequenz ("glitch")
- (ii) Abstrahlung von elektromagnetischen und Gravitationswellen führt zu **Verlangsamung** der Rotation
- (iii) Akkretion von Materie (z.B. in Doppelsternsystemen) führt zu **Beschleunigung** der Rotation

## Quarkstern:

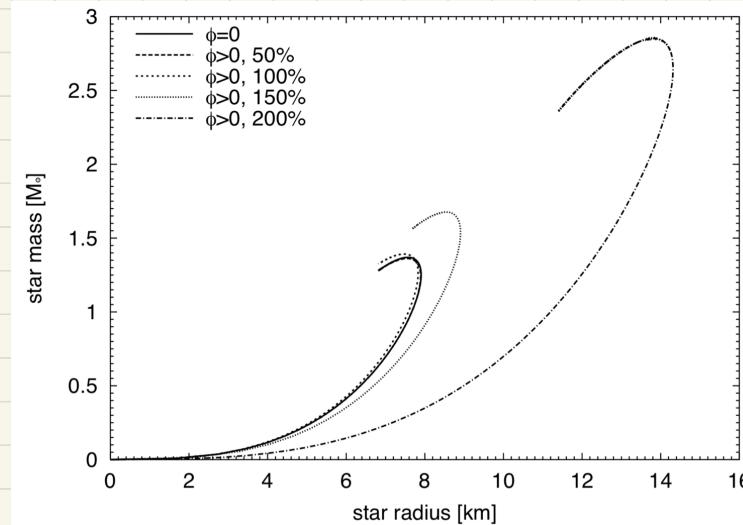
Quarks sind ultrarelativistisch  $\Rightarrow p_{ur} = \frac{1}{3} \epsilon_{ur}$  (19.9)

$\Rightarrow$  TOV-Gl.: keine gebundenen Lösungen!

**Aber:** Quarks sind farbgeladen, "confinement" von Farbladung

$\Rightarrow$  MIT Bag-Modell  $\Rightarrow p = p_{ur} - B, \epsilon = \epsilon_{ur} + B, B$  : MIT Bag-Konstante

$$p = \frac{1}{3} \epsilon_{ur} - B = \frac{1}{3} (\epsilon - B) - B = \frac{1}{3} (\epsilon - 4B) \quad (19.20)$$



S.B. Rüster, DHR,  
Phys. Rev. D 69 (2004) 045011