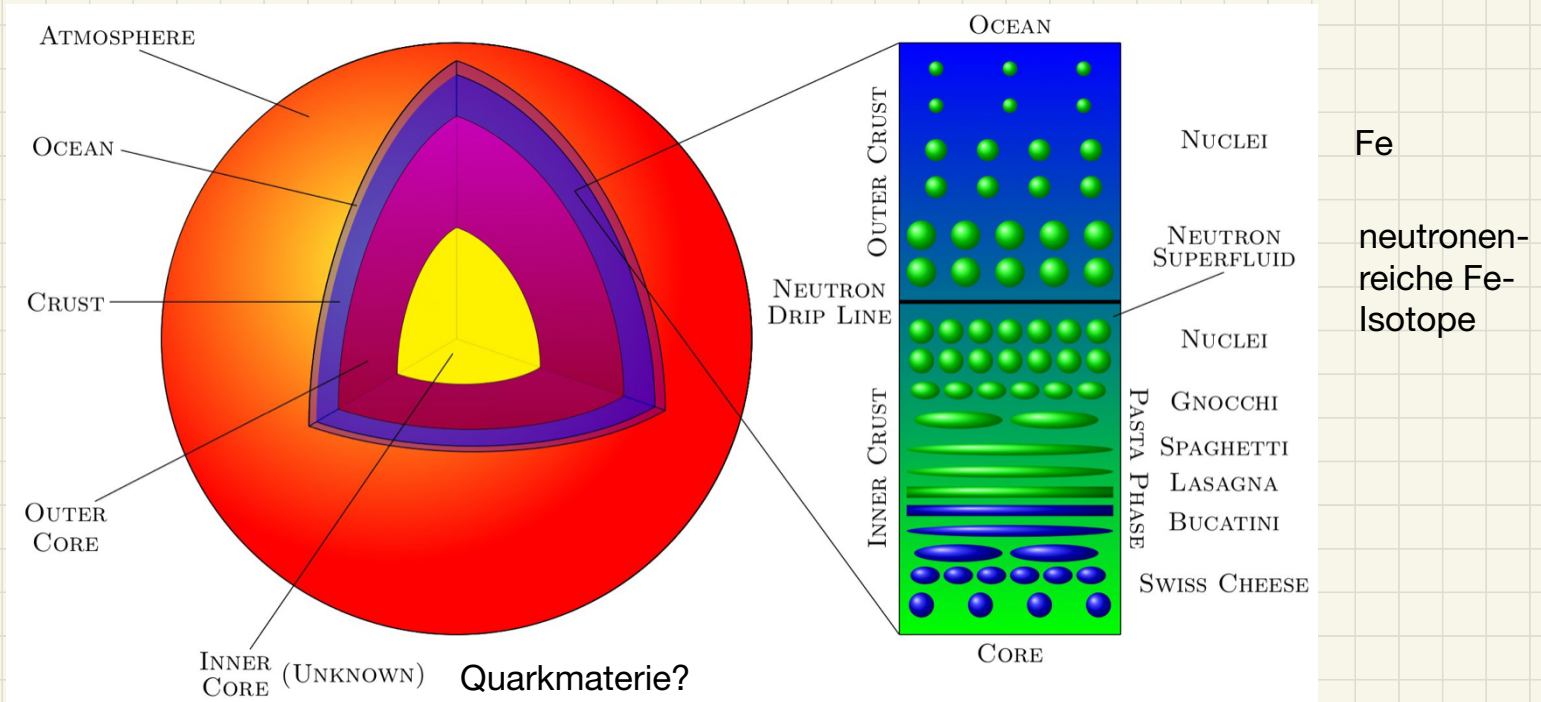


19. Neutronensterne, Pulsare & Quarksterne



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 polytroper 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)

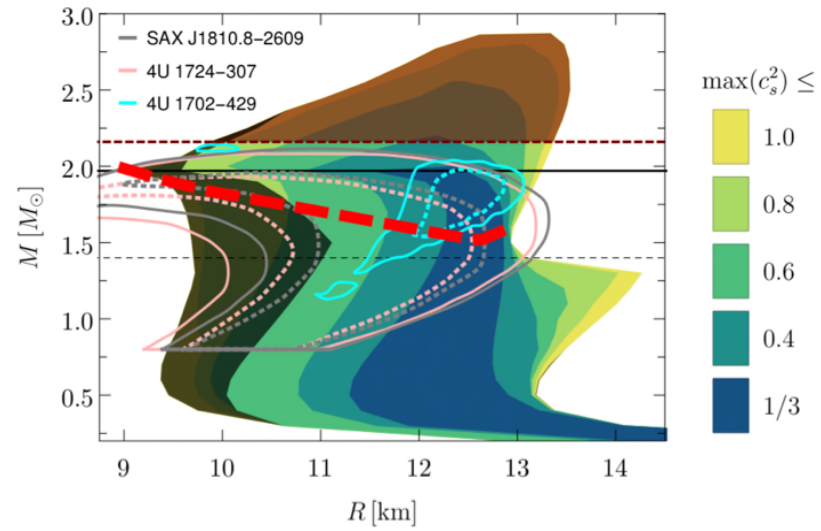
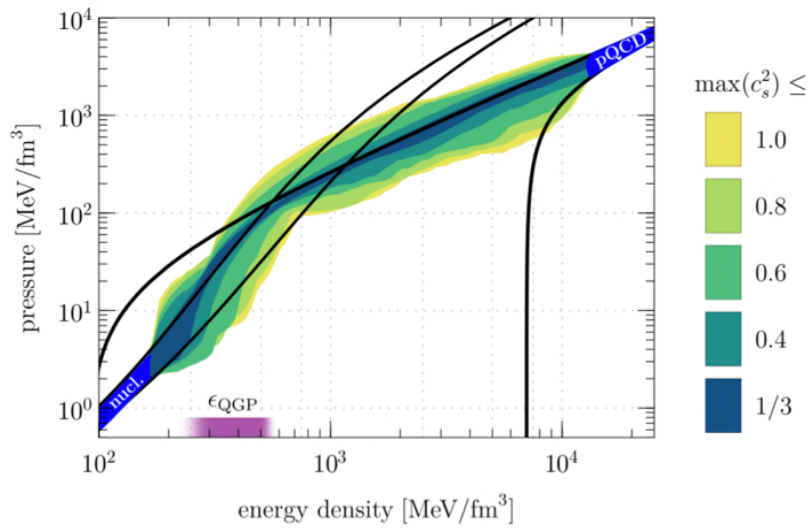
Druck:
$$p = \frac{2}{5} n_N E_F = \frac{2}{5} \frac{\rho}{m_N} \frac{\hbar^2}{2m_N} \left(\frac{3\pi^2 \rho}{m_N} \right)^{2/3}$$
$$= \frac{\hbar^2}{15\pi^2 m_N} \left(\frac{3\pi^2}{m_N} \right)^{5/3} \rho^{5/3} \equiv K_1 \rho^{5/3}$$
 (19.4)

charakteristische Dichte: $\rho_c = m_N n_{N,c} = m_N \frac{p_{F,c}^3}{3\pi^2 \hbar^3} = \frac{m_N (m_N c)^3}{3\pi^2 \hbar^3} \gg \rho_0$ (19.5)

$\Rightarrow K_1 \rho_c^{-1/3} = \frac{3\pi^2}{5} \frac{(\hbar c)^3}{(m_N c^2)^2 m_N^2}$ vgl. Gl. (18.8) (19.6)

$\Rightarrow R = 3.966 \frac{M_P}{m_N} \frac{\hbar c}{m_N c^2} \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{1/6} \approx 10.863 \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{1/6} \ell_{\text{cm}}$ vgl. Gl. (18.9) (19.7)

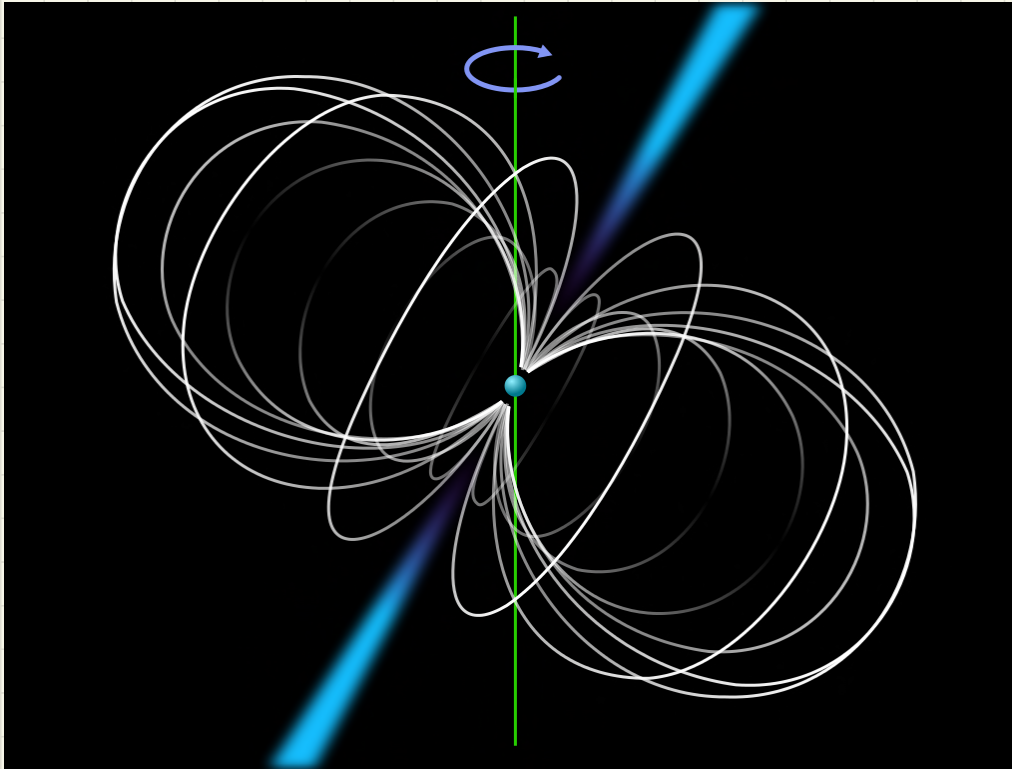
$\Rightarrow M = 2.735 \left(\frac{\rho_0}{\rho_c} \right)^{1/2} M_\odot$ vgl. Gl. (18.11) (19.8)



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

Pulsar: rotierender Neutronenstern

Magnetfeld-Hauptachse fällt nicht mit Drehachse des Neutronensterns zusammen



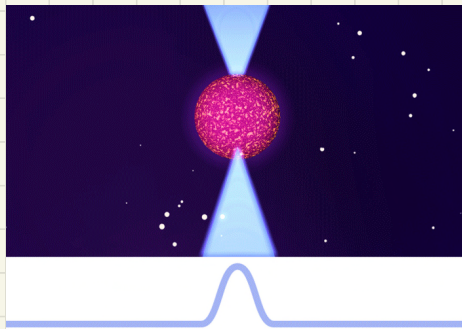
Geladene Teilchen bewegen sich entlang magnetischen Feldlinien, werden zu den magnetischen Polen aufgrund der Gravitation beschleunigt

⇒ 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:

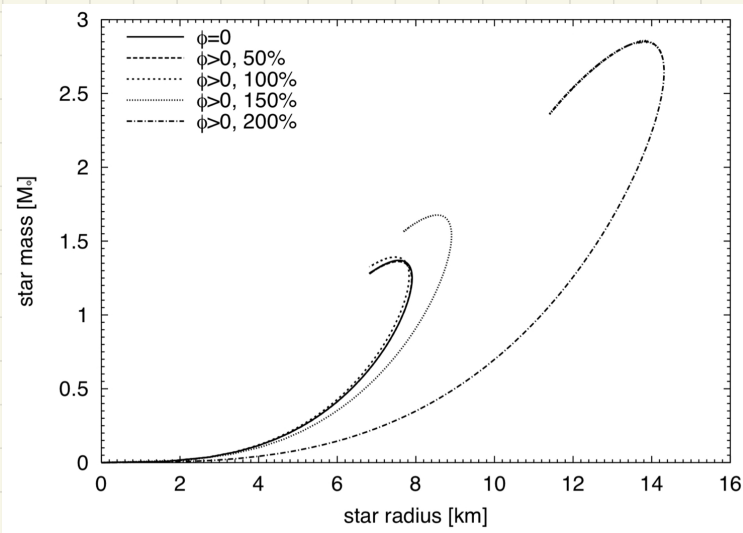
Quarks sind ultrarelativistisch $\Rightarrow p_{ur} = \frac{1}{3} \epsilon_{ur}$ (19.9)

\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