

## Materie extrem – der Neutronenstern

Die Masse von bisher entdeckten Neutronensternen ist kleiner als die theoretische Maximalmasse von etwa drei Sonnenmassen. Der Crab-Pulsar im Supernovaüberrest der Supernova SN 1054, die im Jahr 1054 von der Erde aus beobachtet wurde, hat eine Masse von 1,4 Sonnenmassen. Er zeigt eine Rotationsperiode von  $T = 30$  ms.

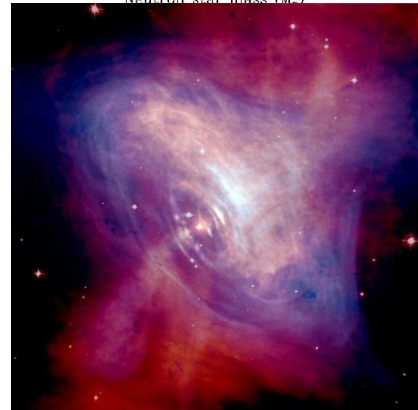
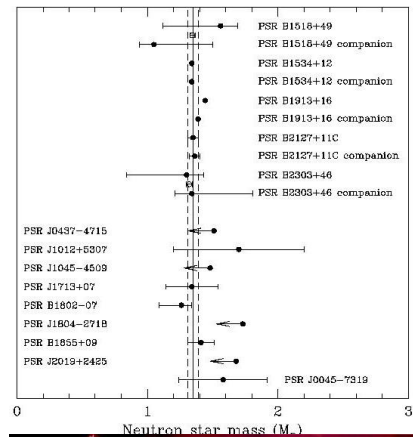
a) Radiusmessungen von Neutronensternen sind schwer. Wenn in einem Doppelsternsystem (LMXB – Low Mass X-Ray Binary) Materie von einem Partner auf den Neutronenstern fällt, können dort kurzfristige, heftige thermonukleare Fusionen des eingefallenen Materials stattfinden. Aus der beobachteten thermischen Strahlung kann mit Hilfe des Stefan-Boltzmann Gesetzes auf den Radius geschlossen werden. Beim Crab-Pulsar war bisher keine genaue Radiusmessung möglich. Man geht von einem Radius von 10 km aus.

Berechne aus dem Radius und der Masse des Crab-Pulsars folgende Größen:

	Crab Pulsar
Masse	$1,4 M_{\odot}$
Radius	10 km
Mittlere Dichte	
Mittlere Teilchendichte (Neutronen)	
Gravitationsbeschleunigung	
Fluchtgeschwindigkeit	
Zeitdilatation auf der Oberfläche	

b) Nach den Gesetzen der Elektrodynamik muss das Produkt aus Sternquerschnitt und magnetischer Flussdichte auch bei einem Kollaps konstant bleiben. Berechne mit dieser Aussage das Magnetfeld eines typischen Neutronensterns, der (unrealistischerweise) die Sonne als Vorläuferstern mit einem durchschnittlichen Magnetfeld von 0,1 mT hatte.

c) Der Pulsar XTEJ1739-285 besitzt eine Periode von 0,891 ms. Gib eine Abschätzung der Mindestdichte dieses Neutronensterns an. Gehe davon aus, dass ein Nukleon auf der Oberfläche des Neutronensterns, das an der Rotation teilnimmt, von der Gravitation des Neutronensterns auf seiner (Rotations-) Kreisbahn gehalten wird (Abituraufgabe 1998).



## Aktivität 2 – Lösung

a) Crab-Pulsar:

Mittlere Dichte mit  $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ :

$$\bar{\rho} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = 6,65 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Mittlere Teilchendichte mit  $m_N = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$$n = \frac{\bar{\rho}}{m_N} = 3,98 \cdot 10^{44} \text{ m}^{-3}$$

Gravitationsbeschleunigung:

$$g = G \frac{M}{R^2} = 1,86 \cdot 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Fluchtgeschwindigkeit oder 2. kosmische Geschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR} = 1,93 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,64c$$

Zeitdilatation:

$$\Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 R}} = 0,77 \cdot \Delta t$$

Vergeht auf dem Crab-Pulsar eine Minute, vergehen bei uns 1min 18s

b) Magnetfeld:

$$B_I R_I^2 = B_{II} R_{II}^2 \rightarrow B_{II} = \frac{B_I R_I^2}{R_{II}^2} = \frac{1 \cdot 10^{-4} \text{ T} \cdot (6,96 \cdot 10^8 \text{ m})^2}{(1,0 \cdot 10^4 \text{ m})^2} = 0,5 \text{ MT}$$

c) Mindestdichte:

$$m_{Nuc} \frac{v^2}{R} = G \frac{m_{Nuc} \cdot M}{R^2}$$
$$v^2 = G \frac{M}{R}$$

Mit  $v = \frac{2\pi R}{T}$  und  $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \bar{\rho}$

$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = G \frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \bar{\rho}}{R} \rightarrow \bar{\rho} = \frac{3\pi}{GT^2} = 1,78 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$