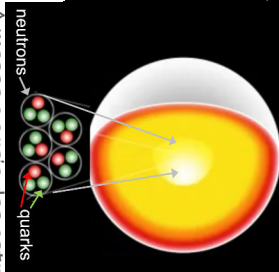


A figura abaixo mostra a relação entre a massa e o raio da estrela de nêutrons PSR J0740+6620 como os obtidos a partir de observações. A zona mais leve corresponde aos valores mais prováveis: 2,08 massas solares e 12,35 km (Miller et al. 2021).

A massa e o raio das estrelas de nêutrons podem ser estimados a partir de observações de pulsares em sistemas binários.



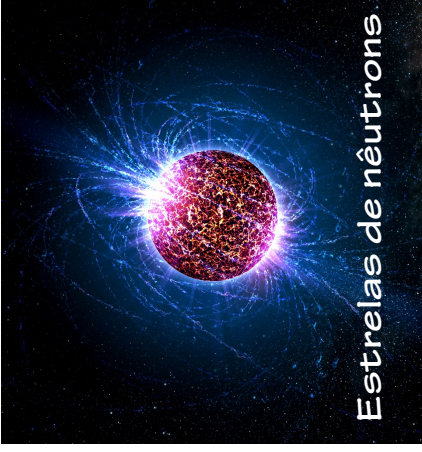
As propriedades da matéria densa estão codificadas na equação de estado que pode ser determinada pelo estudo da relação massa-raio das estrelas de nêutrons. (Figura após CXC/M. Weiss).

A Equação de Estado

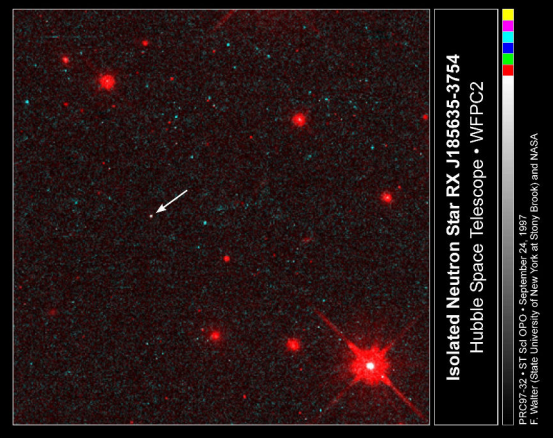
Apenas a camada mais externa de uma estrela de nêutrons (cerca de 0,01% da massa) pode ser estudada com experimentos em núcleos atômicos na Terra. A maioria dos núcleos da crosta e do núcleo só pode ser investigada teoricamente.

Nas estrelas de nêutrons, a pressão precisa crescer rapidamente com a densidade para sustentar a massa da estrela. A partir dessa condição, os físicos teóricos estimam a relação entre densidade e pressão — a chamada Equação de Estado. Com ela, é possível derivar a relação massa-raio e confrontá-la com observações. Por meio de aproximações sucessivas, os cientistas podem determinar a Equação de Estado real da matéria densa, revelando as propriedades do estado mais extremo da matéria conhecido.

O Universo no meu bolso



Paweł Haensel
Leszek J. Zdunik
Michał Bejger
CAMK, Polónia



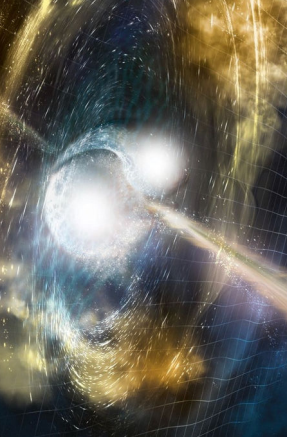
Isolated Neutron Star RX J185635-3754
Hubble Space Telescope - WFPC2
PR397-32, S1 S2 OPO - September 24, 1997
P. Miller (State University of New York at Stony Brook) and NASA

Esta imagem mostra como aparece uma estrela de nêutrons próxima quando vista da Terra, na luz visível.

Ondas gravitacionais e explosões de raios gama

As estrelas de nêutrons também podem ser fontes de ondas gravitacionais - distorções do espaço-tempo que viajam à velocidade da luz (veja o TUI MP 18). Em 17 de agosto de 2017, ondas emitidas por duas estrelas de nêutrons em colisão foram registradas pelos detectores de ondas gravitacionais LIGO e Virgo. Além disso, a luz intensa emitida durante a colisão foi observada por vários telescópios.

Os cientistas conseguiram determinar as massas das duas estrelas e mostrar que esse tipo de evento pode ser a origem de poderosas explosões curtas de raios gama.



Representação artística de duas estrelas de nêutrons em fusão. Os feixes estreitos são as explosões de raios gama. Também são mostradas nuvens rodopiantes de material ejetado das estrelas em fusão. Essas nuvens emitem luz visível, bem como em outros comprimentos de onda.

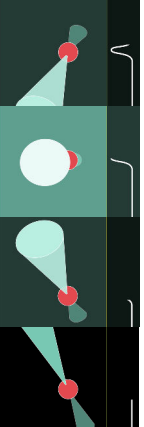
Créditos:
Imagens: National Science Foundation/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet

Como elas podem ser observadas?

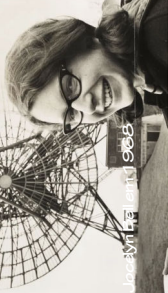
Estima-se que existam cerca de um bilhão de estrelas de nêutrons na Via Láctea, embora apenas cerca de 3.000 tenham sido observadas diretamente.

A maioria emite feixes de rádio gerados por seus campos magnéticos extremamente intensos — até 10¹⁵ vezes mais fortes que o da Terra. À medida que a estrela gira, o feixe atravessa nossa linha de visão, produzindo pulsos regulares.

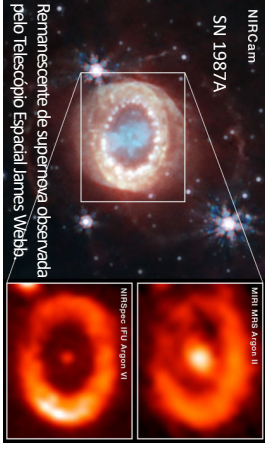
Logo após sua descoberta, esses objetos, chamados pulsares, foram explicados por esse efeito de "farol". Somente as estrelas de nêutrons, antes apenas teóricas, apresentavam as propriedades capazes de justificar tais observações.



A maioria das estrelas de nêutrons conhecidas são pulsares de rádio que giram em torno de seus próprios eixos. O feixe de luz que elas emitem é detectado por antenas de rádio quando ele é direcionado para a Terra.



Jocelyn Bell, aluna de Antony Hewish em Cambridge (Inglaterra), descobriu esses objetos em 1967. Essa descoberta foi inicialmente entendida como consequência de pulsações de estrelas compactas. Em 1974, o Prêmio Nobel foi concedido a Hewish por essa descoberta.



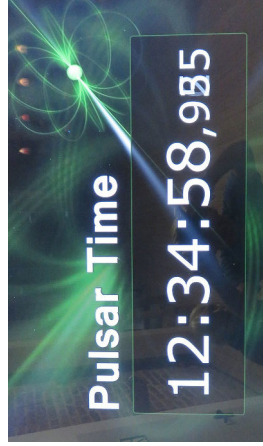
Imagens de remanescentes de supernova com uma estrela de nêutrons no centro (vermelho – dados no óptico obtidos pelo Hubble azul – imagens de raios X obtidos pelo Chandra).

A Nebulosa do Caranguejo com um de supernova com uma estrela de nêutrons no centro. A Nebulosa do Caranguejo tem um tamanho de cerca de cem trilhões de quilômetros. A estrela de nêutrons tem um diâmetro de apenas 20 km.

Respostas: a c a b

1. As estrelas de nêutrons são:
 - a. núcleos colapsados de estrelas massivas
 - b. um tipo de buraco negro
 - c. remanescentes de galáxias
2. Qual é a massa típica de uma estrela de nêutrons?
 - a. entre 8 e 2,5 massas solares
 - b. mais de 100 milhões de massas solares
 - c. entre 1 e 2 massas solares
3. Estrelas de nêutrons são observadas
 - a. em todos os comprimentos de onda eletromagnéticos
 - b. somente em raios X e luz visível
 - c. somente em raios gama
 - d. somente no rádio
4. A temperatura da superfície das estrelas de nêutrons é tipicamente
 - a. superior a 100 milhões de graus
 - b. alguns milhões de graus
 - c. semelhante à temperatura do Sol

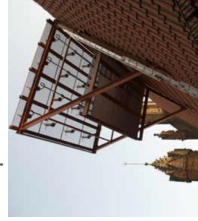
Quiz



Esta é a tela do primeiro relógio pulsar do mundo, que foi instalado Museu do Relógio da Torre em Gdańsk, Polônia, em 2011.

Esse relógio exclusivo usa os impulsos dos pulsares como base para manter o tempo.

Ele consiste em um radiotelescópio com 16 antenas que recebem sinais de seis pulsares.



Tradução: Maria Eduarda Ramos
TUIMP Creative Commons



Para saber mais sobre essa série e sobre os tópicos apresentados neste livrinho, acesse <http://www.tuimp.org>



Imagem da capa: Visão artística de uma

estrela de nêutrons. Crédito: Casey

Reed, Penn State University.

Para

estrela de nêutrons. Crédito: Casey

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

Reed, Penn State University.

O que são estrelas de nêutrons?

Uma estrela de nêutrons é o remanescente do colapso de uma estrela massiva, cuja massa inicial situa-se entre cerca de 8 e 25 vezes a do Sol. No fim de sua vida, a estrela explode como supernova, e o núcleo restante colapsa sob sua própria gravidade, atingindo densidades superiores às dos núcleos atômicos.

Esses objetos são os segundos

mais densos conhecidos, logo após os buracos negros. Uma estrela de nêutrons possui um raio de cerca

de 10 km e uma massa entre 1 e 2 massas solares. Em comparação, um buraco negro de 1 massa solar teria raio de apenas 3 km.

Consideradas apenas teóricas por muito tempo, as estrelas de nêutrons foram descobertas em

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

1967.

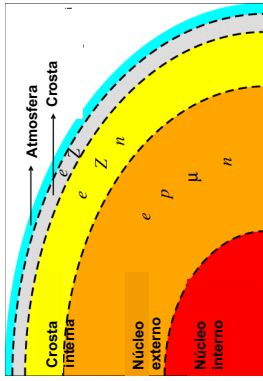
1967.

1967.

1967.

1967.

1967.



A estrutura de uma estrela de nêutrons com 1,4 massas solares, adaptada de Jorge Piñarewicz. Ele é composta por:

- Atmosfera gasosa, com poucos centímetros de espessura;
- "Oceano" líquido, com cerca de 10 m de profundidade;
- Crosta sólida, de aproximadamente 1 km, dividida em crosta externa (núcleos cristalinos imersos em gás de elétrons) e crosta interna (cristal nuclear imerso em gás de elétrons e nêutrons);
- Núcleo líquido, cuja camada externa (cerca de 7 km) contém nêutrons, prótons, elétrons e múons. O núcleo interno, com cerca de 4 km de raio, permanece um mistério e pode conter partículas exóticas.