



II CONGRESSO BRASILEIRO ON-LINE DE
PESQUISA E INOVAÇÃO EM EDUCAÇÃO

A IMPORTÂNCIA DAS ESTRELAS DE NÊUTRONS PARA A ASTROFÍSICA: UMA CARACTERIZAÇÃO GERAL DESTES OBJETOS

ÉRIKA CAMPOS SALDANHA GRANJA; THÁCYLA OLIVEIRA SOUZA; JOHANA
LIMA GOMES; DAIANE FABRÍCIO DOS SANTOS; ÍCARO Jael MENDONÇA
MOURA

RESUMO

As estrelas possuem um ciclo de vida cuja duração muda conforme a sua massa, e de acordo com a quantidade de combustível para a fusão nuclear disponível em seu interior. Quando acontece a chamada morte estelar, o que acontece depende desta massa. Assim, estrelas massivas, que possuem mais de dez vezes a massa solar, podem gerar corpos celestes mais densos, como por exemplo as Estrelas de Nêutrons (EN). Neste trabalho, objetivou-se apresentar as principais características das ENs e a importância do seu estudo para a astrofísica e outras áreas da ciência, visto que alguns de seus aspectos podem auxiliar em descobertas no ramo do comportamento de partículas em situações extremas de temperatura ou pressão. Desta forma, o interior de uma Estrela de Nêutrons apresenta características que não são observadas em nenhum outro corpo celeste, sendo isso uma das principais vantagens a observação de eventos onde a física e os modelos conhecidos são testados em situações extremas, visto a alta pressão e densidade no interior das ENs, eventos os quais não poderiam ser testados em laboratórios na Terra.

Palavras-chave: Astrofísica. Estrelas de Nêutrons. Estrelas compactas.

1 INTRODUÇÃO

Uma das formas de estudar o comportamento das leis físicas em situações extremas é a observação do núcleo de objetos super densos, como as Estrelas de Nêutrons (EN) (FRANZON, 2012). Tais objetos são fruto do colapso de estrelas com 10 a 25 massas solares, após supernova. A primeira observação de uma EN foi em 1967 num experimento proposto por Antony Hewish – rádio astrônomo britânico ganhador do Prêmio Nobel. Jocelyn Bell Burnell, doutoranda da Universidade De Cambridge, aclarou uma série de pulsos num intervalo específico de 1,33728 segundos oriundos da constelação de Vulpecula (PINHEIRO, 2017). Assim, tais objetos podem ser observados como pulsares e poderão ser fontes isoladas ou binárias em determinados sistemas em estudos (FRANZON, 2012).

A descoberta do nêutron em 1932 pelo inglês James Chadwick levou a várias propostas de objetos celestes compostos por essas partículas. Lev Landau, físico e matemático soviético, elaborou o termo “esfera de nêutrons”, o qual seria uma ideia precursora das ENs.

A ideia inicial da formação de uma Estrela de nêutrons era que tal objeto seria formado em explosões supernovas, em cujo núcleo ultrapassa o limite de Chandrasekhar e implode (JACOBSEN, 2007). Esse limite foi teorizado em 1931 por S. Chandrasekhar, físico e astrônomo indiano, que determinou a massa limite superior que uma anã branca pode atingir. Esta massa máxima é de aproximadamente 1,4 massas solares (PINOCHET, 2021). Contudo, não é verdadeira a afirmação que as massas das estrelas de nêutrons sejam atreladas

ao “limite de Chandrasekhar”, visto que elas surgem de protoestrelas com massa superiores (HORVATH, 2020).

A importância do estudo das ENs e de seu surgimento, além de suas diversas características que foram apresentadas neste trabalho, é que estes objetos fornecem um laboratório para testar a física de diversos campos em condições extremas. Um exemplo de aplicação prática é a correção de massa (da ordem de 50%) devido a correções relativísticas. Além disso, o núcleo das ENs apresenta densidades tão altas que podem servir para analisar o comportamento da matéria em condições extremas de pressão e temperatura, sendo assim de grande utilidade para a física de partículas (FRANZON, 2012).

Portanto, o presente trabalho buscou apresentar as principais características das ENs, principalmente o funcionamento de seu núcleo e caracterizar a sua importância para a física em geral.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho de pesquisa bibliográfica com caráter exploratório, foram analisados artigos de revistas científicas e trabalhos acadêmicos relacionados ao tema das Estrelas de Nêutrons. No processo de busca, foram utilizadas as palavras-chave: 'Estrelas de Nêutrons', 'Ciclo de Vida Estelar' e 'Estrelas Compactas'. Os estudos selecionados abordam as características internas das Estrelas de Nêutrons em comparação com outros objetos resultantes do colapso estelar, como anãs brancas e buracos negros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

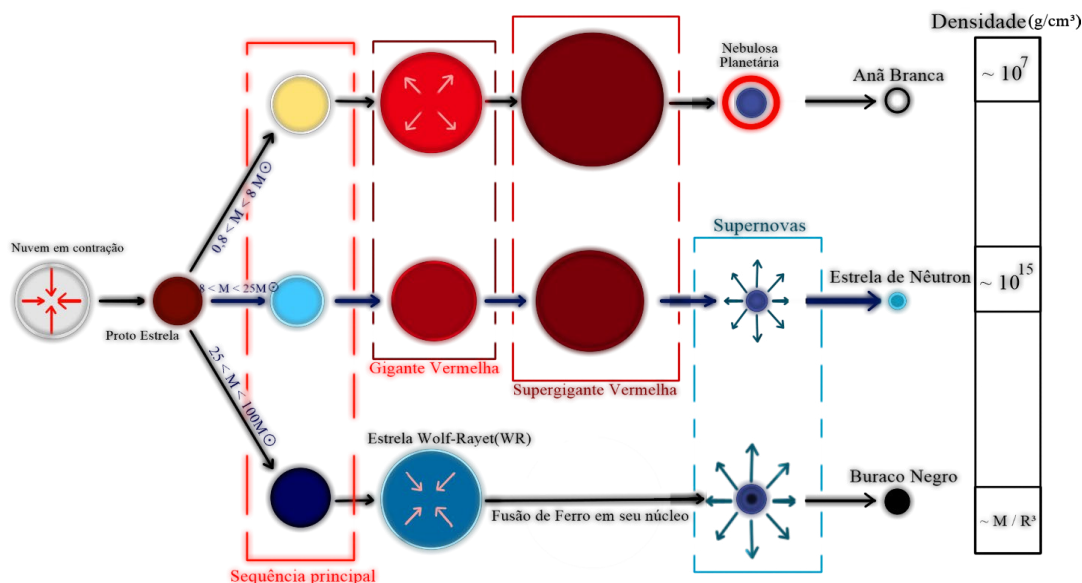
3.1 Surgimento das Estrelas de Nêutrons

Para o melhor entendimento das propriedades das ENs, além do estudo do núcleo e de suas camadas com diferentes densidades, é necessário o conhecimento da evolução estelar até o processo de criação de uma Estrela de Nêutrons. O diagrama contido na Figura 1 apresenta um esquema da formação de uma estrela a partir de uma instabilidade gravitacional ocorrida em aglomerados de poeira interestelar (OLIVEIRA, 2019). À medida que esta instabilidade condensa em uma massa no centro, ocorre a formação de um disco de acreção, isto é, uma estrutura formada por material difuso orbitando ao redor de um corpo central, resultando numa protoestrela. Quando a temperatura do núcleo desta protoestrela é suficiente para o começo de suas reações nucleares (8 milhões de graus Kelvin), inicia-se a fase estelar na sequência principal (PINHEIRO, 2017).

Em geral, a massa inicial da protoestrela determina o objeto final da sua evolução. Assim, no diagrama 1, o caminho de evolução estelar de uma EN está demarcado pelas setas azuis, sendo a sua massa inicial de 8 a 25 massas solares. No decorrer do seu processo de evolução, o Hidrogênio é transformado em Hélio até elementos mais pesados como o Ferro. Quando esse combustível é esgotado, a estrela colapsa podendo se transformar em uma anã branca, estrela de nêutrons ou um buraco negro (OLIVEIRA, 2019).

No caso de uma Estrela de Nêutrons, após supernova, uma parte da massa original, que não foi espalhada para o meio espacial pelo gradiente de pressão, gera uma atração gravitacional que supera a pressão de Fermi. Assim, é promovida a captura dos prótons dos átomos para a formação de nêutrons e neutrinos (FRANZON, 2012).

Figura 1: Etapas de evolução estelar de acordo com sua massa e comparação de densidade, onde, em azul, está o caminho das etapas de evolução estelar até uma EN



Fonte: Própria autora

3.2 Características de uma EN

Apesar do nome “Estrelas de Nêutrons” indicar que as únicas partículas presentes no interior desses objetos sejam os nêutrons, há outras subpartículas, tais como bárions, mésons e léptons. Tais partículas como bárions fazem parte da categoria de subpartícula dos hádrons (partículas elementares que interagem por força forte) (JACOBSEN, 2007). Visto a alta densidade destas partículas no interior das ENs, o cálculo do comportamento delas é difícil, porém modelos sugerem que a pressão forma um “mar superfluido” nas suas camadas. A alta densidade de uma Estrela de Nêutrons tem semelhança com a das anãs brancas, pois estes objetos apresentam uma relação inversa de massa e raio, isto é: quanto maior a massa, menor o seu raio (PINHEIRO, 2017).

Para o estudo de sua estrutura, indicado pela Figura 2, pode-se identificar camadas como atmosfera, crosta exterior, crosta interior, núcleo exterior e núcleo interior, cada uma com suas próprias propriedades, e a densidade aumenta conforme a profundidade (OLIVEIRA, 2019).

3.2.1 Atmosfera

A atmosfera numa EN varia em espessura de acordo com a temperatura da estrela. Em estrelas quentes, pode chegar a 10 cm e, em estrelas frias, alguns milímetros. A densidade nesta região fica em torno de 10^7 kg/m^3 .

3.2.2 Crosta exterior

Nesta camada, é possível encontrar núcleos atômicos ionizados com elétrons livres, visto a densidade na ordem de $3 \times 10 \text{ kg/m}^3$. Nesta densidade, há a formação de um gás de 7 neutrons livres.

3.2.3 Crosta interior

Por volta de $4 \times 10 \text{ kg/m}^3$ de densidade, a proximidade com o núcleo da estrela 14

resulta numa maior ionização e temperatura, sendo composta principalmente por elétrons e nêutrons livres.

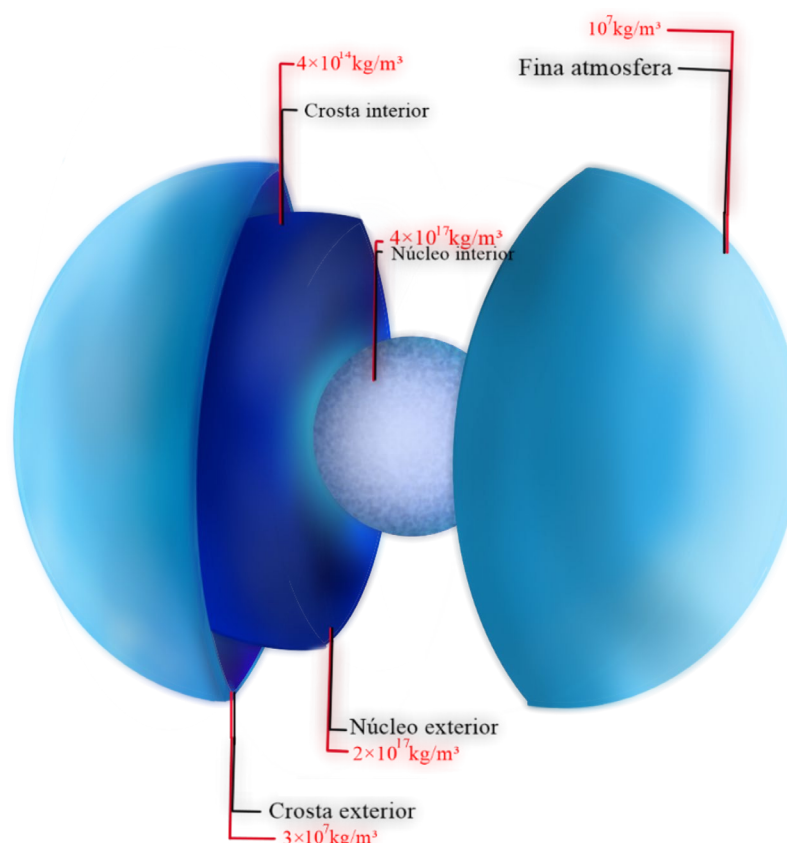
3.2.4 Núcleo exterior

No núcleo exterior, a alta densidade de $2 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$, comprime os átomos ao ponto que se transformam num mar superfluido nuclear. Há também a formação de prótons degenerados, os quais não obedecem a proporcionalidade de temperatura e densidade, e geram um supercondutor. Com isto, quando há uma alta rotação, ocorre a geração de um campo magnético que é expulso das camadas internas pelo supercondutor, gerando a detecção através de pulsares.

3.2.5 O núcleo interior

Nas camadas mais internas desses objetos, visto a alta densidade (chegando até por volta de $4 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$), há maiores dificuldades de determinar os seus efeitos na matéria, como antes citada, porém a altas densidades podem surgir condensados píons ou káons, (OLIVEIRA, 2019) além das partículas que compõem o octeto bariônico fundamental. À medida que a densidade aumenta, a energia de Fermi, isto é a energia do nível ocupado mais energético em um sistema quântico fermiônico, pode exceder a massa dos bárions mais massivos do núcleo. Toda conversão da matéria para estas partículas torna-o um estado preferencial para o núcleo interior de uma EN (JACOBSEN, 2007).

Figura 2: Representação artística do nome (em preto) e densidade (em vermelho) de cada camada.



Fonte: Própria autora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Estrelas de Nêutrons são objetos de estudo essenciais para o entendimento de diversos campos da física ao extremo, tais como a física de partículas, relatividade, eletromagnetismo e outros campos. Este trabalho, fundamentado em uma pesquisa bibliográfica, delineou várias características fundamentais das Estrelas de Nêutrons, concentrando-se especialmente na exploração de como sua marcante densidade e pressão tem sido objeto de estudo minucioso por parte da comunidade astrofísica.

Os resultados advindos desta pesquisa revelam um aumento significativo na densidade das Estrelas de Nêutrons à medida que se aproxima do núcleo interno. Assim, diversos modelos, como os propostos por Rafael Ban Jacobsen [2007] e Klemilton Murilo Veloso Oliveira [2019], sustentam a hipótese da existência de um superfluido. Nesse contexto, a caracterização desse superfluido oferece percepções valiosas, indicando uma via promissora para compreender o comportamento da matéria em condições extremas.

REFERÊNCIAS

PINHEIRO, Joel Anderson Ferreira. Estudo sobre estrelas de nêutrons anisotrópicas. 2017.
FRANZON, Bruno Cezar de Souza. Gluons em estrelas de nêutrons. 2012. Tese de
Doutorado. Universidade de São Paulo.

HORVATH, J. E. A massa máxima das estrelas de nêutrons: uma abordagem didática. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, p. e20200240, 2020.

JACOBSEN, Rafael Bán. Plasma de quarks e gluons no interior de estrelas de nêutrons. 2007.

PINOCHET, Jorge. El limite de Chandrasekhar para principiantes/Chandrasekhar limit for beginners. arXiv preprint arXiv:2106.08933, 2021.

OLIVEIRA, Klemilton Murilo Veloso. Um estudo sobre a evolução térmica das estrelas de nêutrons. 2019. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2019.