

Estágios Finais da Evolução Estelar

Bruno Henrique Garcia Malvestio







1 introdução

As estrelas possuem um ciclo de vida, ou seja, elas nascem, vivem e morrem. Esse ciclo, ou trajetória, pode ser descrito pelo Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como Diagrama HR, que está sendo mostrado na figura (1).

Apenas para relembrar, as estrelas "nascem"após o colapso de uma nuvem de gás, que a medida que se concentra em uma região vai ficando menor e mais quente, até formar essas esferas autogravitantes, cuja fonte de energia vem da fusão nuclear de elementos como o hidrogênio e o hélio, essas esferas passam a ser chamadas então de Estrelas.

Após isso essas estrelas recém formadas, passam a ser verdadeiros motores de reação nuclear, ou seja, elas consomem seu "combustível"o transformando em energia, através da chamada fusão nuclear. Esse "combustível"das estrelas é basicamente o hidrogênio, que após passar por processos de fusão nuclear acaba virando hélio e o processo continua, dependendo do tamanho da estrela, formando novos elementos. É nesse período que a vida das estrelas se estende por milhões ou bilhões de anos, dependendo do quão rápido a estrela consome seu combustível e isso está ligado a massa inicial de formação dessa estrela.

Ao consumirem todo seu combustível de hidrôgenio, as estrelas entram em processo de morte. Inicialmente elas saem da sequência principal do diagrama HR e ficam maiores e mais frias. Vale ressaltar que nesse processo o núcleo dessas estrelas começa a se contrair, e a estrela fica instável, expulsando seu envelope, ou seja as suas camadas superiores do núcleo. Essa expulsão é conhecida como nebulosas planetárias e supernovas, conforme é mostrado nas figuras (2) (3), respectivamente.

Mas após esse processo de morte, a estrela não some por completo, restam apenas as remanescentes, que podem ser as Anãs Brancas, as Estrelas de Nêutron e os Buracos Negros, e o que vai determinar qual remanescente irá sobrar no final da vida de uma estrela é a sua massa. Para tanto, segue uma regrinha para saber qual será o produto final de um estrela.

- Anã Branca se $M_{estrela}$ < 8 M_{sol}
- Estrela de Nêutrons se 8 M_{sol} $M_{estrela}$ < 20 M_{sol}
- Buraco Negro se $M_{estrela} > 20 M_{sol}$





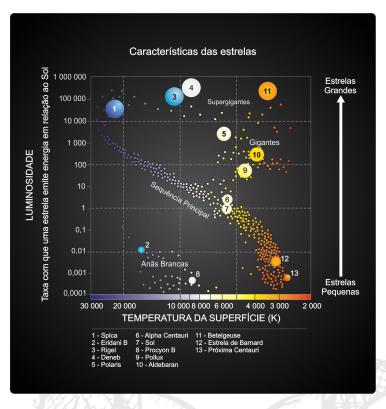


Figura 1: O diagrama HR representa a tragetória da vida de uma estrela. Inicialmente após se formar a estrela entra na chamada sequências principal, onde irá passar 90% da sua vida. Após consumir todo seu combustível a estrela irá entrar em um processo de morte, se tornando uma gigante e depois, dependendo de sua massa, acaba sua vida como uma Anã Branca, ou como uma Estrela de Neutrons ou como um Buraco Negro.



Figura 2: Nebulosa planetária, conhecida como Nebulosa Olho de Gato. É possível notar que bem ao centro está o núcleo da estrela e esse gás em seu entorno são as camadas externas ejetadas da estrela.





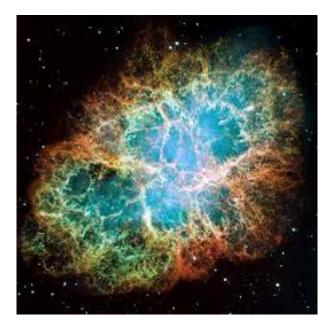


Figura 3: Supernova, conhecida como Nebulosa do Caranguejo. Enquanto estrelas de menor massa expelem suas camadas em nebulosas planetárias, estrelas com maior massa expelem seu material de forma mais violenta e isso é conhecido como supernova.

2 Anãs Brancas

Para iniciar então, iremos estudar primeiro as Anãs Brancas, remanescentes de estrelas com menos de 8 massas solares que morreram.

Como já vimos, a evolução da estrela passa desde seu nascimento, até a sua vida na sequência principal, consumindo seu hidrogênio e chega até a sua morte, quando a mesma já consumiu todo seu combustível de hidrogênio. Após isso as estrelas com menos de 8 massas solares passam por um processo onde seu tamanho aumenta e sua temperatura diminui e isso leva a estrela ao estágio conhecido como Gigantes Vermelhas. Em paralelo a tudo isso, o núcleo da estrela começa a se contrair, fazendo a gigante vermelha começar a ficar instável. Nesse momento toda a camada externa ao núcleo dessa estrela é ejetada para o espaço, restando apenas o núcleo, que agora passa a se chamar de Anã Branca.

As Anãs Brancas, assim como as demais remanescentes, são chamadas de estrelas mortas, pois já não produzem mais energia proveniente da fusão nuclear de elementos. Essas remanescentes, principalmente a Anã Branca, vivem apenas com uma reserva de energia, que vai se esgotando, pois a mesma não consegue mais produzir energia. Entretanto, com essa pouca energia que lhe resta, junto ao seu tamanho que se reduziu a aproximadamente ao tamanho da Terra, torna suficiente que essa remanescente fique muito quente, com temperaturas da ordem de 30 milhões de graus, deixando ela com uma coloração esbranquiçada. Com o tempo, quando as Anãs Brancas consomem seu combustível restante, ela começa a resfriear lentamente e esse processo pode levar cerca de 1 bilhão de anos. Após isso, essa remanescente se torna um objeto sólido, cristalizado e frio, conhecido como Anã Negra.

O nosso Sol, irá seguir esse caminho de evolução e após sua morte, daqui a cerca de 5 bilhões de anos, ele se tornará uma Anã Branca, como mostra o diagrama da figura (4)





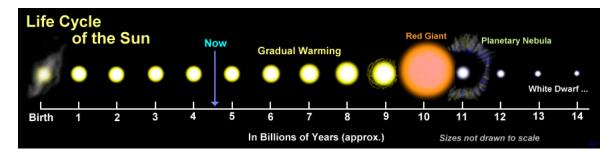


Figura 4: Evolução do Sol. Inicialmente o Sol se formou do colapso de uma nuvem de gás, segue por cerca de 9 bilhões de anos na sequência principal, fazendo a fusão nuclear do hidrogênio, após esse período passa a se transformar em uma Gigante Vermelha e termina com a ejeção do material em uma nebulosa planetária, restando apenas a remanescente Anã Branca.

3 Estrela de Nêutrons

Dando continuidade às possíveis evoluções de estrelas mortas, chegamos as chamadas Estrelas de Nêutrons, objetos celestes remanescentes da morte de estrelas com massas entre 8 e 20 massas solares. As estrelas de nêutrons também podem ser conhecidas como pulsares, mas logo mais iremos ver o porquê desse nome.

Como mostrado anteriormente na seção sobre as anãs brancas, uma estrela quando sai da sequência principal, ou seja ela deixa de produzir energia pela fusão nuclear, começa a contrair o seu núcleo, enquanto o exterior desse núcleo começa a crescer. Esse processo ocorre até chegar um momento em que a estrela colapsa, pois não consegue mais se manter daquela forma, expelindo assim todo aquele conteúdo externo ao núcleo, porém agora de forma mais violenta. Isso é chamado de supernova. A remanescente que sobra é aquele núcleo que se contraiu o suficiente para que prótons e elétrons fossem esmagados juntos, formando assim nêutrons, dai o nome estrela de nêutrons. O tamanho típico de uma estrela de nêutrons é da ordem de alguns quilômetros e isso torna a atração gravitacional desses objetos extremamente forte. As estrelas de nêutrons também são extremamente densas, a final tem muita massa contida em pouco volume e isso faz com que esses objetos, devido a conservação do momento angular, girem muito rápido da ordem de 0,20 vezes a velocidade da luz (300.000 km/s)

Uma das características mais marcantes para as estrelas de neutrons é o seu forte campo magnético e esse campo magnético forte, combinado com a alta rotação da estrela de nêutrons, produz correntes elétrica na superfície dessa estrela, ou seja partículas fracamente ligadas percorrem a superfície desse objeto e seguem o campo magnético da mesma, em direção aos seus pólos norte e sul. Com isso, fortes feixes de energia são emitidos nos polos das estrelas de neutrons e esses feixes podem ser jogados na direção da Terra. É assim que conseguimos identificar as estrelas de neutrons, dai esses objetos passam a ser conhecidos como Pulsares. Um paralelo interessante de fazer é pensar nesses feixes em rotação como se fossem os faróis que sinalizam para os navios no mar. Neste caso, o farol seria a pulsar e o navio seria a Terra. Uma representação dos feixes de energia e do campo magnético de uma estrela de nêutrons pode ser observado na figura (5).





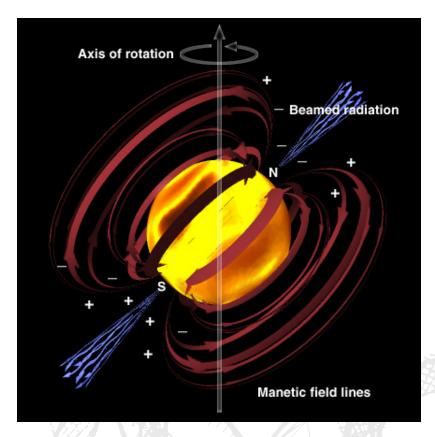


Figura 5: Representação gráfica de como são os feixes de energia expelidos da estrela de nêutrons e como é seu campo magnético. É interessante notar que nem sempre o eixo de rotação da estrela coincide com o eixo de emisão dos jatos de partículas.

4 Buracos Negros

Indo para o ultimo caso de remanescentes da morte de estrelas, chegamos aos Buracos Negros, remanescentes de estrelas cuja massa inicial seja maior que 20 vezes a massa do Sol.

Uma categorização importante de se ressaltar aqui, é que existem basicamente dois tipos de buracos negros, aqueles chamados de buracos negros estelares, com massas da ordem de algumas dezenas de vezes a massa do Sol e os buracos negros supermassivos, aquele presentes nos centros das galáxias que possuem massas da ordem de alguns bilhões de vezes a massa do Sol. Esses buracos negros supermassivos não serão estudados aqui, pois os mesmos não se formam da evolução e morte de estrelas, por isso esses objetos serão tema de outros estudos.

Ao longo desse material foi mostrado como as remanescentes vão diminuindo, como as Anãs Brancas, com tamanhos da ordem do tamanho da Terra, as Estrelas de Nêutrons, da ordem de tamanho de alguns quilômetros e por fim os Buracos Negros, que são ainda menores, mas criam um campo gravitacional tão forte que nada consegue escapar dele, nem mesmo a luz.

Foi mostrado, também, que a densidade dessas remanescentes vai aumentando e no caso dos buracos negros a sua densidade tende ao infinito, com toda sua massa se colapsando em um ponto matemático, chamado de singularidade. Toda essa massa concentrada na singularidade faz com que a força gravitacional do objeto seja muito grande, impedindo que tudo escape dele, até mesmo a luz, por isso o nome Buraco Negro, a final é um objeto que não emite nada. Os buracos negros foram previstos na teoria da relatividade geral de Albert Einstein, mas suas observações diretas eram muito dificeis.





Os buracos negros são basicamente constituídos pela singularidade e pelo horizonde de eventos. Esse horizonte de eventos é a borda do buraco negro. é o limite para que a matéria ou a luz consiga escapar da força gravitacional. Além disso, existe uma equação proposta por Schwarschild, que permite determinar o raio desse buraco negro, tal equação diz que o raio do buraco negro é proporcional a sua massa, conforme a equação (1).

$$R = \frac{2GM}{c^2} \tag{1}$$

Segue uma representação gráfica resumindo esses conceitos na figura (6)

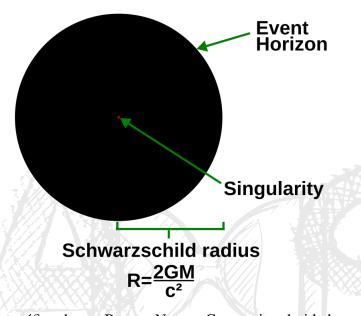


Figura 6: Representação gráfica de um Buraco Negro. Com a singularidade no centro e o horizonte de eventos. Além disso é possível notar o raio de Schwarzschild, que busca estimar o tamanho do buraco negro, com base na sua massa, conforme a equação mostrada.

Como falado anteriormente, a visualização direta desses buracos negros é impossível, a final eles não emitem radiação. Mas é possivel, perceber a presença deles e até mesmo visualizar seu horizonte de eventos. Essa percepção da existencia dos buracos negros, vai desde a influência gravitacional em algum sistema, até a percepção de matéria em torno desse buraco negro. Essa matéria em torno de um buraco negro é chamado de disco de acreção.

Os discos de acreção em torno de buracos negros consiste de gás ionizado ou plasma que são atraídos e ficam em torno do horizonte de eventos, por isso conseguimos vê-los. Ou seja, não é que o buraco negro emite radiação, mas o que está em volta dele que emite. Apesar de se tratar de um buraco negro supermassivo (objeto que não será estudado neste material), é possível ver através de uma foto como funciona esse disco de acreção e o horizonte de eventos (7)





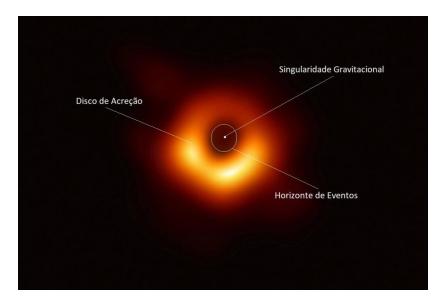


Figura 7: Primeira foto de um buraco negro tirada. Se trata de um buraco negro supermassivo no centro de uma galáxia. A imagem deles é mais fácil de se obter por serem bem maiores do que os buracos negros estelares, mas o princípio de como funciona o disco de acreção é o mesmo. Nessa imagem é possível notar as legendas e verificar a singularidade, que não conseguimos ver, mas está no centro do buraco negro. Há também o horizonte de eventos e, em torno dele, o disco de acreção.

