

## Lentes gravitacionais de supernovas – Por: Prof. Roberto N. Onody

formar o carbono e assim por diante, até chegar ao Ferro. Aqui o processo cessa, pois a fusão de núcleos de Ferro *absorve* ao invés de *liberar* energia. Neste ponto, o núcleo da estrela extremamente massivo *colapsa* gravitacionalmente.

No colapso, a compressão gravitacional eleva a temperatura do material (fermiônico – nêutrons, neutrinos, prótons e elétrons) para mais de 100 bilhões de Kelvin! Graças à repulsão da força de Fermi, parte do material que ainda colapsa, rebate numa onda de choque poderosa. Devido à enorme produção de neutrinos e nêutrons na onda de choque, formam-se elementos químicos mais pesados do que o Ferro (e até radioativos como o Urânio). A energia cinética da onda de choque é tamanha que supera a velocidade de escape e a estrela explode liberando no espaço enorme quantidade de matéria e radiação. A explosão é a supernova.

Se a massa da estrela progenitora da supernova estiver entre cerca de 8 e 25 massas solares, o corpo celeste remanescente será uma *estrela de nêutrons*. Para massas maiores, o núcleo que colapsa atingirá o limite do raio de Schwarzschild (que depende da massa) e o corpo remanescente será um *buraco negro*.

Se o núcleo da estrela que colapsa contém Hidrogênio, a supernova é chamada de tipo *II*, se não contém Hidrogênio é do tipo *Ib* e, se não contém nem Hidrogênio e nem Hélio, é do tipo *Ic*. E a supernova do tipo *Ia*? Bem, ela está associada a estrelas bem menores – as *anãs brancas*.



**(a)** **(b)**  
**Figura 1 – A pequena anã branca Sirius B ao lado da brilhante Sirius A (imagem feita pelo telescópio Hubble). Ela é a anã branca mais próxima do Sol, está a 8,6 anos luz de distância e sua nebulosa planetária já se dissipou. Nosso Sol se tornará uma anã branca daqui há alguns bilhões de anos. b) A nebulosa da Hélice é a mais próxima da Terra, está a cerca de 700 anos luz. No centro vemos a anã branca. O gás que forma a nebulosa tem um diâmetro de cerca de 3 anos luz. Imagem (com filtros) feita pelo telescópio CFHT (Canada-France-Hawaii telescope)**

Quando uma estrela nasce, é a sua massa que ditará sua evolução e seu destino. Quando a massa inicial da estrela está entre 0,2 e 8 vezes a massa do Sol, ela se tornará uma *anã branca*. Numa primeira etapa, a estrela funde hidrogênio para formar hélio, depois hélio para formar carbono etc. Cada etapa requer uma *temperatura cada vez mais alta* para realizar a fusão. A estrela, então, se expande tornando-se uma gigante vermelha. Dependendo da massa da estrela, chegará um ponto em que ela não conseguirá mais compressão gravitacional suficiente para aumentar a temperatura do seu interior. As reações de fusão cessam, o núcleo colapsa dando origem à *anã branca* e as camadas gasosas externas da estrela são ejetadas formando belíssimas *nebulosas planetárias* (Figura 1). As nebulosas planetárias têm vida curta (em termos astronômicos) e se dissipam em algumas dezenas de milhares de anos.

A composição química da anã branca será dada pelos elementos químicos formados nas últimas etapas de fusão nuclear (em geral, carbono e oxigênio). Anãs brancas tem densidade enorme – da ordem de 1 bilhão de kg/m³, tipicamente, a massa do Sol comprimida ao tamanho da Terra. Nessa densidade, os férmions (prótons, nêutrons e elétrons) presentes na anã branca sentem a força de Pauli (consequência do princípio de exclusão de Pauli) que se opõe à atração gravitacional e estabiliza a anã branca. Porém, se a massa da anã branca for superior a 1,4 massas solares (limite de Chandrasekhar), ela explodirá como uma supernova.

Para que esse limite seja rompido (depois da anã branca ter se formado) é necessário um sistema binário no qual a anã branca se alimenta de matéria de uma estrela companheira. A explosão resultante é uma supernova tipo *Ia* (veja [animação](#)).

Para essa explosão da anã branca, temos uma teoria muito bem conhecida e desenvolvida de como a *magnitude absoluta* (valor da luminosidade de um corpo celeste a uma distância de 10 parsecs ou 32,6 anos-luz) varia com o tempo. Medindo a *magnitude relativa* aqui na Terra, podemos determinar com bastante precisão, a nossa *distância* até a supernova. Hoje, na Astronomia, as supernovas *Ia* representam uma das melhores oportunidades para se *medir grandes distâncias* no nosso universo.

A detecção ou descoberta do brilho das explosões supernovas é feita não só por grandes telescópios de observatórios, mas também por *astrônomos amadores*. É o caso da descoberta da supernova SN 2023ixf. Em maio de 2023, o astrônomo amador Koichi Itagaki observou o aparecimento de um forte brilho (de magnitude 11, não visível a olho nu) num dos braços da galáxia espiral do Cata-Vento, a cerca de 21 milhões de anos-luz da Terra. Era a supernova de número 172 descoberta por Itagaki! Este prolífico e solitário astrônomo amador só é superado pelo norte-americano Tim Puckett que, com ajuda de voluntários do mundo todo, já detectou cerca de 360 supernovas!

Agora que conhecemos melhor as supernovas, é hora de nos debruçarmos sobre os efeitos de *lente gravitacional*. Pela Teoria da Relatividade Geral proposta por A. Einstein em 1915, sabemos que a luz (radiação eletromagnética) ao passar próximo de corpos celestes muito massivos (galáxias, estrelas de nêutrons, buracos negros etc.) não percorre uma linha reta, mas segue, isso sim, a curvatura do espaço-tempo causada por estes corpos celestes. Dessa forma, estes objetos massivos podem funcionar como lentes – as lentes gravitacionais (veja newsletter 4), que magnificam a luminosidade e aumentam a resolução da imagem.

Em 1936, A. Einstein fez os cálculos do ângulo de deflexão para o caso em que tanto a lente quanto o fundo luminoso fossem estrelas da Via Láctea. Concluiu que este ângulo seria *pequeno demais* para ser resolvido com os instrumentos astronômicos (da época). No ano seguinte, **E. Zwicky**, mostrou ser possível medir esse efeito caso a lente e a fonte de luz fossem *extragalácticos*.

Hoje em dia, lentes gravitacionais de galáxias e quasares são bastante comuns. Muito mais raro, porém, é encontrar uma lente gravitacional da explosão de uma supernova posto que é um evento transitório no tempo, raro e requer um perfeito alinhamento da fonte de luz (supernova), da lente (galáxia) e da Terra. E se a supernova for do tipo *Ia*, os cálculos podem ser muito mais precisos.

A primeira observação do efeito lente gravitacional de uma supernova do tipo *Ia*, só foi realizada em 2013. Mas, como os astrônomos levaram 3 anos para reconhecer o evento como uma lente gravitacional, à essa época, a intensidade luminosa da explosão já estava muito baixa e as múltiplas imagens não puderam mais ser resolvidas.

Em 2018, teve início o projeto ZTF (Zwicky Transient Facility) no Observatório Palomar (Califórnia, EUA). Em agosto de 2022, os astrônomos observaram múltiplas imagens da lente gravitacional de uma supernova tipo *Ia* – que foi batizada de SN Zwicky. Dado o alerta, astrônomos do mundo todo correram para analisar exaustivamente o evento, utilizando tanto telescópios terrestres quanto espaciais. O resultado foi publicado na revista *Nature*, de junho de 2023.

O telescópio Keck (Havaí, EUA) conseguiu resolver (separar) as quatro imagens da SN Zwicky no comprimento do infravermelho baixo (Figura 2). O núcleo da galáxia que hospeda a supernova está a uma distância de cerca de 4 bilhões de anos luz da Terra. A galáxia refratora (lente) está mais próxima, aproximadamente, 2,5 bilhões de anos luz da Terra.

Agora, vamos torcer para que daqui há algum tempo surja *uma quinta* imagem da SN Zwicky. Isto permitirá calcular o valor da constante de Hubble, a constante que mede o ritmo de expansão do universo. Isso já aconteceu com a supernova **SN Refsdal**. Detectada em 2014, ela também apresentou, inicialmente, 4 imagens, mas, cerca de 1 ano depois surgiu uma quinta imagem. Medindo o seu redshift, isto é, o aumento do comprimento de onda (efeito Doppler) da luz devido à expansão do universo e comparando com aquelas das 4 imagens anteriores, eles puderam estimar o quanto o universo havia se expandido durante esse 1 ano. Para a constante de Hubble, eles obtiveram o valor de 66,6 km/s por megaparsec. Por enquanto, a discrepância nos valores da constante de Hubble obtidos por diferentes métodos continua um mistério.

Caro leitor:

Já se encontra disponível na página

[Newsletter Ciência em Panorama – Portal IFSC \(usp.br\)](#)

o repositório da newsletter “*Ciência em Panorama*”

Boa leitura!

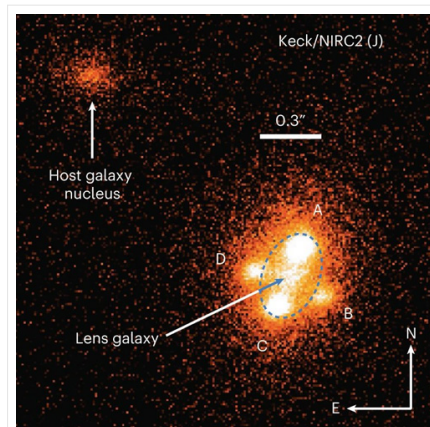
\*Físico, Professor Sênior do IFSC – USP

e-mail: [onody@ifsc.usp.br](mailto:onody@ifsc.usp.br)

Para acessar *tudo* o conteúdo do site “*Notícias de Ciência e Tecnologia*” dirija a câmera do celular para o QR Code abaixo



Se você gostou, compartilhe o artigo nas redes sociais



**Figura 2 – As 4 imagens da SN Zwicky, refratadas pela galáxia lente, estão indicadas pelas letras A,B,C e D. Elas percorreram caminhos diferentes passando por diferentes curvaturas do espaço-tempo. Elas têm também diferentes luminosidades**