

O Universo no meu bolso



Supernovas:
essas estrelas que explodem



Robert Mochkovitch

Paris

Instituto de Astrofísica



O remanescente da supernova de 1054: a Nebulosa do Caranguejo. Descoberta por Charles Messier em 1758, é o número 1 em seu catálogo de nebulosas e galáxias.



Difficillima vero huius stellae a fixis aliquibus in hac Cassiopeiae constellatione, requisito instrumento, et oculorum minorum capax, aliquoties observari. In uno autem eam distare ab ea, quae est in pectore, Schedae appellata B, 7. partibus et 55. minutis: a superiori vero

Supernovas históricas

Supernovas são estrelas explodindo. Quando uma estrela explode como uma supernova, ela se torna tão brilhante que, mesmo de sua grande distância, pode se tornar visível a olho nu. Isso aconteceu seis vezes durante o último milênio, em 1006, 1054, 1181, 1572, 1604 e 1987.

A supernova de 1054 na constelação de Touro ficou visível à luz do dia por dois anos! Hoje podemos usar telescópios para observar os restos dessa explosão, a famosa Nebulosa do Caranguejo (veja tuimp 10).

Durante o Renascimento, duas supernovas foram descobertas, em 1572 e 1604, pelos astrônomos Tycho Brahé e Johannes Kepler.

Foi somente em 1987 que uma supernova visível a olho nu apareceu novamente (imagem da capa). Esta explodiu na Grande Nuvem de Magalhães, uma pequena galáxia satélite da Via Láctea, enquanto as cinco primeiras ocorreram na Via Láctea.



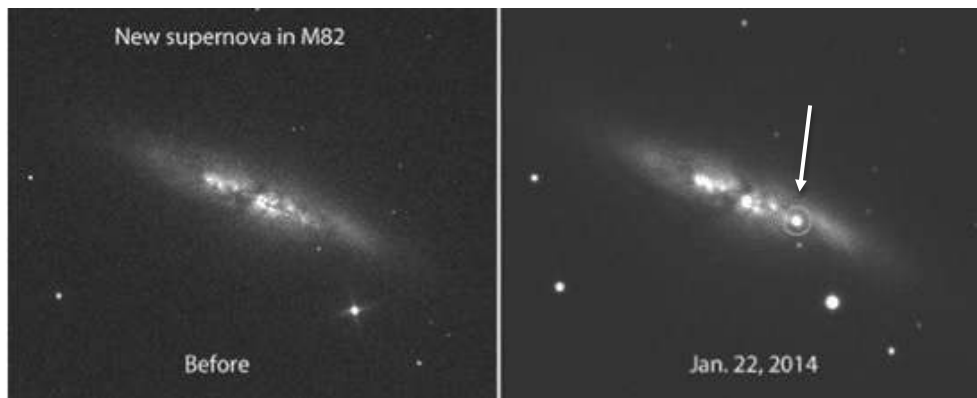
O telescópio Mount Wilson foi comissionado em 1917. Na época, era o maior telescópio do mundo, com seu espelho de 2,5 m de diâmetro.



Fritz Zwicky



Walter Baade



Uma supernova que apareceu na galáxia M82.

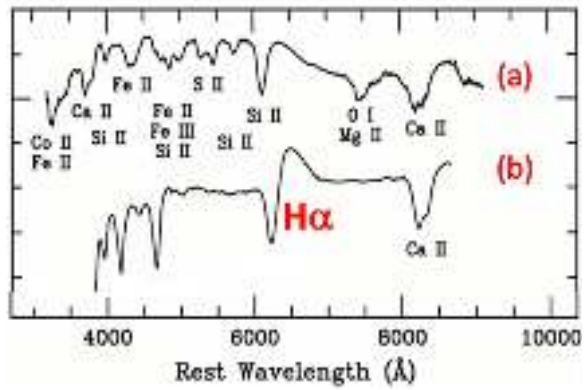
Novas e supernovas

Em 1885, uma 'nova estrela' ou '**nova**' foi encontrada na nebulosa de Andrômeda. Estava logo abaixo do limite de visibilidade a olho nu.

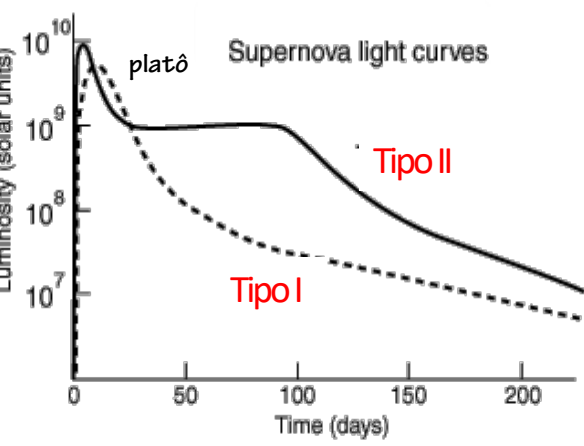
De meados da década de 1920 em diante, ficou gradualmente claro que algumas 'nebulosas' são, na verdade, galáxias, externas à nossa Via Láctea (veja [tuimp 15](#)). A **nebulosa** de Andrômeda tornou-se, portanto, a **galáxia** de Andrômeda, localizada a mais de dois milhões de anos-luz de distância. Como resultado, a luminosidade da nova de 1885 foi reavaliada para ser quase um bilhão de vezes a do Sol! Os astrônomos Fritz Zwicky e Walter Baade então cunharam o termo '**supernova**' para descrever esses objetos extraordinários. Usando o telescópio Mount Wilson, eles prontamente observaram várias outras supernovas. Hoje, centenas de supernovas são descobertas a cada ano, algumas a distâncias superiores a um bilhão de anos-luz!

Espectros:

(a) Tipo I: nenhuma linha de hidrogênio; mas linhas de silício, ferro, magnésio e cálcio estão presentes.



(b) Tipo II: linhas de hidrogênio (em particular a linha $H\alpha$, em torno de $6500 \text{ \AA}$) e linhas de cálcio estão presentes.



Figuras adaptadas de Chaisson e McMillan.

Curvas de luz

(luminosidade em função do tempo):

Tipo I: muito semelhantes de um evento para outro (o que é muito útil para medir distâncias no Universo e estudar sua expansão).

Tipo II: grande diversidade de comportamento com o tempo (o platô nem sempre está presente).

Dois tipos de supernovas

Usando a **espectroscopia**, dois tipos principais de supernovas são distinguidos:

• **Supernovas do Tipo I (SN I)** cujos espectros não mostram nenhuma linha de hidrogênio. Isso é impressionante porque o hidrogênio é o elemento mais abundante no Universo. As principais linhas presentes são as de silício, cálcio, oxigênio, ferro.

• **Supernovas do Tipo II (SN II)** cujos espectros são dominados por linhas de hidrogênio.

As **curvas de luz** dos dois tipos também são diferentes:

• **SN Is** são caracterizadas por uma grande uniformidade de suas curvas de luz, que são muito semelhantes de um evento para outro.

• **SN IIs** mostram grande diversidade em suas curvas de luz, muitas vezes com um platô de brilho, seguindo um declínio inicial.



Quais estrelas explodem?

Uma primeira indicação sobre a natureza das estrelas que explodem como supernovas vem do tipo de galáxias em que são encontradas.

As SN IIs são sempre vistas em galáxias que estão formando estrelas (galáxias espirais ou irregulares), mas nunca em galáxias onde a formação de estrelas terminou há bilhões de anos (galáxias elípticas). Isso leva à ideia de que as SN IIs correspondem à explosão de estrelas **massivas**, cujo tempo de vida é de apenas alguns milhões de anos.

As SN Is, por outro lado, são observadas em todos os tipos de galáxias, incluindo as elípticas. Isso sugere que elas surgem de estrelas de **baixa massa**, que podem explodir bilhões de anos depois de terem sido formadas.

Os mecanismos de explosão dos dois tipos de supernovas são muito diferentes. Eles são muito complexos e estão sendo ativamente estudados.

Duas supernovas do **tipo I**: à esquerda em uma galáxia elíptica; à direita na galáxia espiral M101.



Duas supernovas do **tipo II** em galáxias espirais próximas: à esquerda na galáxia Cães de Caça M51; à direita, novamente em M101.

Em M101, a supernova do tipo I foi observada em 2011 e a supernova do tipo II em 2023.

Como as SN IIs explodem?

Durante sua vida, uma estrela com mais de dez vezes a massa do Sol realiza uma série de fusões nucleares, formando elementos cada vez mais pesados. Assim, quando explode, consiste em um núcleo de ferro, cercado por camadas de silício, oxigênio, carbono e hélio, todos imersos em um grande envelope de hidrogênio.

O núcleo de ferro é tão denso que obedece a leis físicas particulares. Ele não pode exceder uma massa crítica, próxima de 1,4 vezes a massa do Sol. No entanto, sua massa aumenta porque a combustão do silício em sua periferia produz ferro. Quando excede a massa crítica, torna-se instável e entra em colapso até atingir uma densidade de 100 milhões de toneladas por cm^3 ! A matéria então se recusa a comprimir ainda mais e o núcleo ricocheteia sobre si mesmo, dando origem a uma onda de choque que faz a estrela explodir. O núcleo profundo e ultradenso então se torna uma estrela de nêutrons ou um buraco negro, dependendo da massa restante.

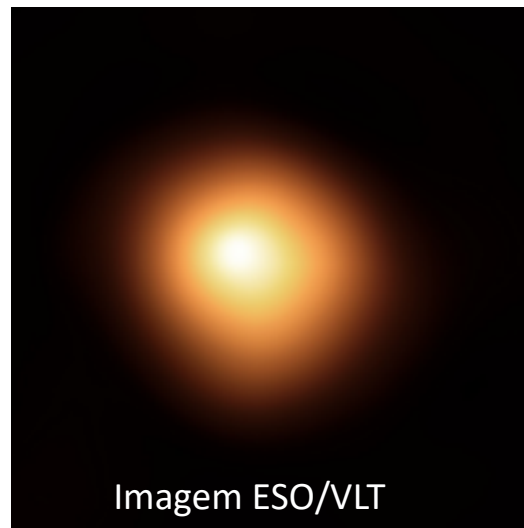
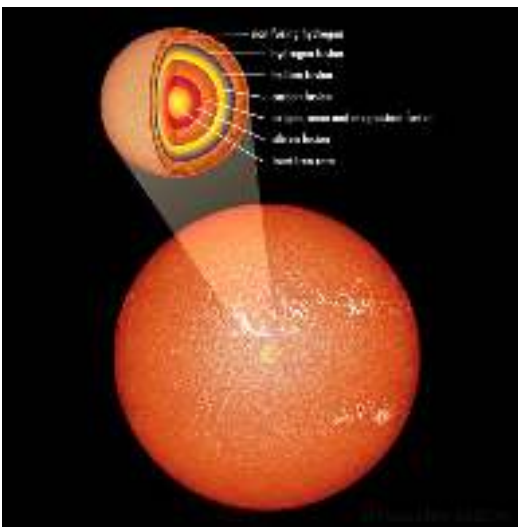


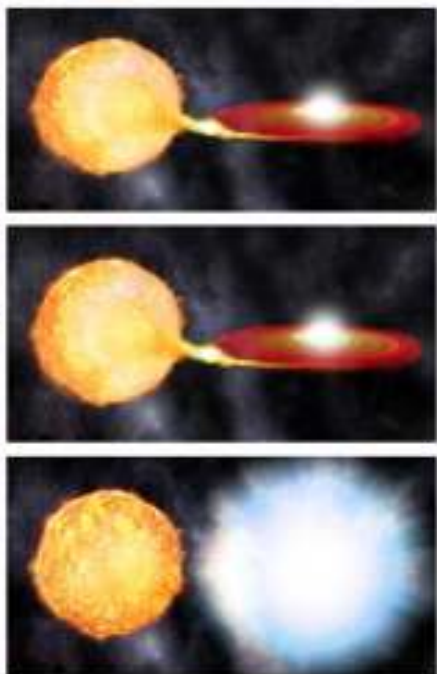
Imagem ESO/VLT

Esquerda: diagrama de uma estrela supergigante vermelha prestes a explodir. **Atenção!** As escalas não são respeitadas: se representarmos o núcleo de ferro por uma cabeça de alfinete, as camadas até o hélio estariam contidas em uma esfera de um metro de diâmetro, enquanto o envelope de hidrogênio teria um raio superior a cem metros!

Credit: Pablo Carlos Budass

Direita: imagem de Betelgeuse (uma supergigante vermelha) obtida com o instrumento SPHERE instalado no telescópio europeu VLT (8,20 m de diâmetro). Com uma massa de 10 a 20 vezes a do Sol e um raio quase mil vezes maior, Betelgeuse entrou em seus últimos milhões de anos de vida, mas uma data precisa para sua explosão é difícil de prever.

Dois cenários que levam à explosão de uma supernova do tipo I:



Credit:
NASA/CXC/M.Weiss

Uma anã branca acumula matéria de uma estrela companheira. A transferência de massa ocorre através de um 'disco de acreção'. A explosão ocorre quando a anã branca se aproxima da massa crítica de 1,4 massas solares. Então explode como uma supernova.

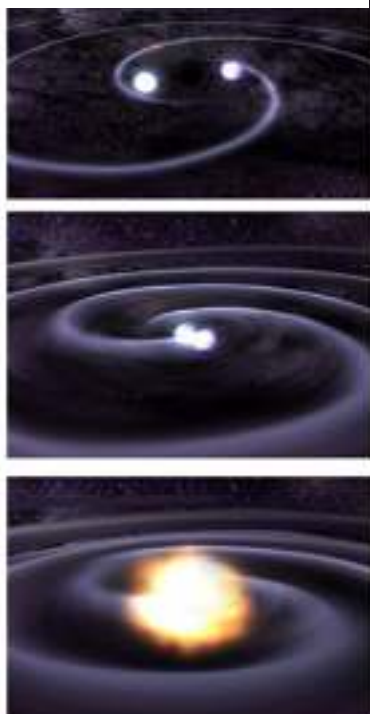
Duas anãs brancas em um sistema binário se aproximam gradualmente até colidirem, o que causa a explosão.

Credit: GSFC/D.Berry

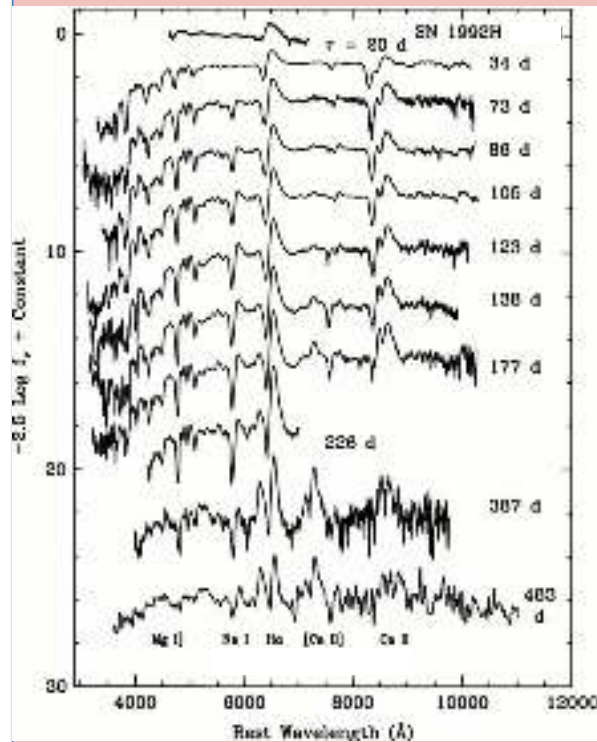
Como as SN Is explodem?

O mecanismo da SNI é completamente diferente do da SN II, embora a massa crítica de 1,4 massas solares novamente desempenhe um papel importante. A estrela que explode é uma 'anã branca', o resíduo da evolução de uma estrela de algumas massas solares. É feita de carbono e oxigênio e é 'degenerada', como o núcleo de ferro de estrelas massivas, mas sua massa é inferior a 1,4 massas solares.

No entanto, em um sistema binário, a massa da anã branca pode aumentar por 'acréscimo' de uma companheira ou por coalescência com outra anã branca. Ela então se contrai e aquece. Novas reações nucleares podem, assim, começar em seu centro e inflamar a estrela inteira. Uma frente de fusão se propaga para fora e transforma carbono e oxigênio primeiro em níquel, cobalto e ferro, depois em silício e magnésio. A anã branca é destruída e sua matéria dispersa.



QUIZ



1) Aqui está uma série de espectros da supernova 1992H em diferentes momentos após o máximo brilho.

Era do tipo I ou do tipo II?

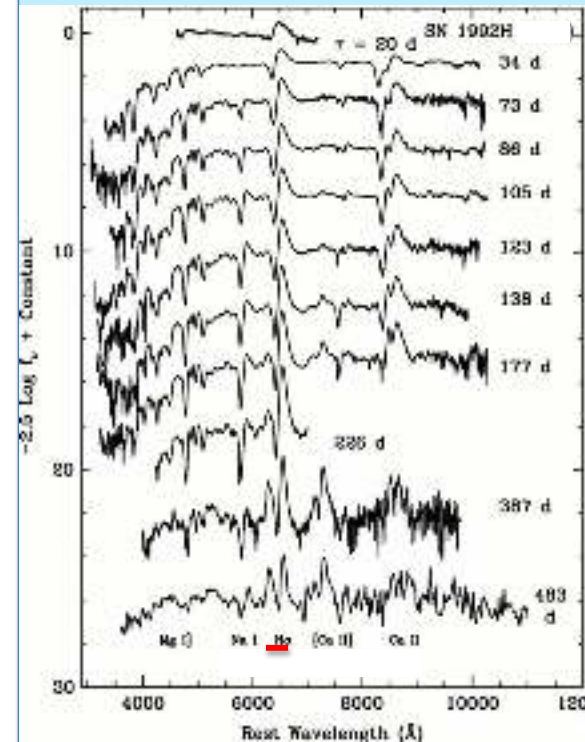


2) Aqui estão três supernovas observadas simultaneamente (em janeiro de 2022) na mesma galáxia espiral!

Houve realmente três explosões tão próximas no tempo?

3) Quando ocorrerá a próxima supernova visível a olho nu em nossa galáxia, a Via Láctea?

RESPOSTAS



1) Notamos a presença da linha H α do hidrogênio; portanto, é uma supernova do tipo II

2) NÃO! Uma galáxia é um objeto muito grande! Dependendo de sua posição na galáxia, a distância

entre nós e essas supernovas pode diferir em vários milhares de anos-luz. A diferença no tempo de viagem foi compensada aqui pela diferença entre os tempos de explosão, o que é uma coincidência notável.

3) Nós não sabemos! Em 1, 10, 100 ou 300 anos (ou talvez hoje à noite?). Estamos esperando por isso desde 1604... (A supernova de 1987 explodiu na Grande Nuvem de Magalhães).

O Universo no meu bolso No 44

Este livrinho foi escrito em 2025 por Robert Mochkovitch do Instituto de Astrofísica de Paris (IAP) e revisado por Grażyna Stasińska do Observatório de Paris e Stan Kurtz (IRyA, Morelia, México).

Imagem da capa: À esquerda, a Supernova 1987A logo após sua explosão em fevereiro de 1987 na Grande Nuvem de Magalhães e, à direita, uma foto da mesma área tirada antes da explosão.

Crédito: David Malin / Observatório Astronômico Australiano



Para saber mais sobre esta série e os temas abordados neste livrinho, visite <http://www.tuimp.org>

Tradução: Fábio Herpich
TUIMP Creative Commons

