

## SUPERNOVA – A MORTE CATASTRÓFICA DE GRANDES ESTRELAS

*Alaor Chaves*  
*Departamento de Física-UFMG*  
*alaor@fisica.ufmg.br*

### **O que são supernovas**

Supernovas são objetos celestes pontuais com luz extremamente intensa e com duração de apenas alguns meses. Da antiguidade, há poucos registros desses objetos, que desafiavam a compreensão de seus observadores. Na Europa dominada pelo aristotelismo, nenhum astrônomo lhes deu maior atenção. Pois segundo Aristóteles, o céu era imutável, do que se deduzia que tanto cometas como supernovas eram fenômenos atmosféricos. Como mostraremos mais adiante, as supernovas são explosões de estrelas de grande massa que exauriram suas fontes convencionais de energia.

A luminosidade de uma supernova (SN) é gigantesca. Em seu pico, que ocorre poucas semanas após o seu aparecimento, a luminosidade pode atingir valores de dez bilhões de sóis e a SN pode competir em luminosidade com toda a galáxia em que se situa. A Figura 1 mostra a foto da SN 1994D que explodiu nas bordas da galáxia espiral NGC 4526 situada à distância de 108 milhões de anos-luz. Uma supernova expelle até cerca de 90% da sua massa para o espaço, e séculos depois essa massa de gás pode ser vista como uma nebulosa em forma esférica ou de anel. A Figura 2 mostra os gases formados por uma supernova que Kepler notou pela primeira vez dia 17/10/1604. Esta foi a última supernova inquestionavelmente observada na Via Láctea. Ocorreu a 20 mil anos luz de distância e pôde ser vista durante o dia por 3 semanas. Mas exames recentes de restos de SN indicam que em nossa galáxia ocorre em média uma supernova a cada 50 anos, ou seja, a cada 1,5 bilhões de segundos. Como o universo visível tem cerca de mil bilhões de galáxias, a cada segundo nele explodem centenas de SN. Mas mesmo com o atual sistema de monitoramento por meio de poderosos telescópios, a grande maioria delas passa despercebida.



Figura 1 – Supernova SN 1994D que explodiu na borda da galáxia 4526 (constelação de Virgem).  
Crédito: Peter Challis e equipe High-Z. Foto tomada pelo Hubble Space Telescope (HST)

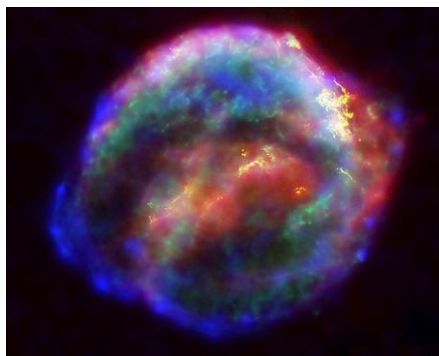


Figura 2 – Remanescentes da SN 1604, observada e registrada por Kepler

### **Classificação das supernovas**

Os primeiros estudos teóricos sobre supernovas foram realizados pelo astrofísico suíço Fritz Zwicky (1898 – 1974) que desde os 27 anos trabalhou no Instituto Tecnológico da Califórnia. Zwicky, que em 1926 cunhou o termo supernova, teorizou que elas eram geradas por explosões de estrelas anãs brancas (ver anãs brancas no artigo Evolução Estelar de Almor Chaves). Junto com seu colega Walter Baade, Zwicky também reconheceu dois tipos de supernovas: Tipo I, cujo espectro de emissão não contém raias de absorção por hidrogênio, e Tipo II, que mostram raias de hidrogênio muito alargadas. É fato reconhecido da sociologia da ciência que a aceitação inicial de idéias realmente pioneiras depende consideravelmente da personalidade dos seus proponentes. Ocorre que Zwicky tinha um caráter singularmente arrogante e áspero. Sobre seus colegas de ofício, dizia que eram idiotas esféricos. Esféricos porque pareciam igualmente idiotas, qualquer que fosse o ângulo de visão. Esse não é definitivamente o tipo que faz sucesso facilmente. Ele fez algumas descobertas de grande importância que só foram levadas a sério décadas mais tarde. Em 1933, descobriu a existência da matéria escura, mas foi ignorado até os anos 1970, quando a matéria escura foi redescoberta independentemente. Vera Rubin (1928 – ), a astrônoma que redescobriu a matéria escura, ganhou com isso o Prêmio Gruber de Cosmologia (U\$ 500 mil), além de várias medalhas prestigiosas. Desconsideração semelhante ocorreu com as descobertas e idéias pioneiras de Swicky sobre SN.



Figura 3 – Fritz Zwicky (1898 – 1974). Astrofísico suíço pioneiro no estudo de supernovas. Por causa do temperamento áspero, muitas descobertas importantes de Zwicky só foram reconhecidas tardiamente.

Os estudos mais recentes exigiram uma classificação mais detalhada das SN. Há 3 classes de supernovas tipo I, que são Tipo Ia, Ib e Ic, e pelo menos 2 classes de SN tipo II, denominadas SN Tipo IIP e IIL. Essa classificação é feita com base no espectro de luz das SN e também na sua curva de luminosidade, ou seja, a maneira como a luminosidade aumenta e, após atingir seu pico, decresce até finalmente tornar-se talvez invisível. Somente as SN tipo Ia são explosões de estrelas anãs brancas. As outras são explosões de estrelas gigantes – com massa maior do que uns 9 sóis – que consomem rapidamente o hidrogênio do seu núcleo, entram em crise energética e explodem sem passar pelo estágio de anãs brancas. Supernovas Tipo Ia podem ser observadas tanto em galáxias elípticas, nas quais há muito não há formação de novas estrelas, quanto nas galáxias espirais. Os outros tipos de supernovas só ocorrem nos braços das galáxias espirais, onde a formação de novas estrelas ainda é freqüente. Isso ocorre porque uma estrela com massa de 10 sóis vive apenas uns 10 milhões de anos antes de explodir como supernova.

### **Por que anãs brancas podem explodir como supernovas**

Como se pode ver no artigo Evolução Estelar (Alaor Chaves), estrelas com massa na faixa aproximada de 1 a 9 sóis, uma vez exaurido o hidrogênio em seus núcleo, passam por um processo no qual se tornam gigantes vermelhas, expelem grande parte da sua massa externa e o núcleo remanescente se transforma em uma anã branca composta principalmente de carbono e oxigênio. Uma anã branca é capaz de se manter estável, evitando seu colapso gravitacional por meio da chamada pressão por degenerescência eletrônica, desde que sua massa seja inferior ao chamado limite de Chandrasekhar, cujo valor é cerca de 1,4 massas solares. Mas uma estrela anã branca pode ganhar massa adicional se for parte de um sistema binário (pelo menos metade das estrelas existentes são binárias) e se a sua companheira também vier a se tornar gigante vermelha. Nesse caso, a anã branca começa a absorver matéria da vizinha agigantada (ver Figura 4) até que finalmente atinja o limite de Chandrasekhar. Ao atingir esse limite, ela se colapsa e seu núcleo atinge temperatura de bilhões de graus, o que inicia um processo explosivo de fusão de carbono e oxigênio. Em questão de segundos a SN emite  $(1-2) \times 10^{44}$  joules de energia, o que em ordem de grandeza equivale ao que o Sol emitirá em toda a sua existência.

Após explodir como supernova, a anã branca se transforma em estrela de nêutrons. Tais estrelas são constituídas quase só de nêutrons, e são excepcionalmente densas. Se têm a massa de um Sol, seu raio será de apenas uns 10 km.

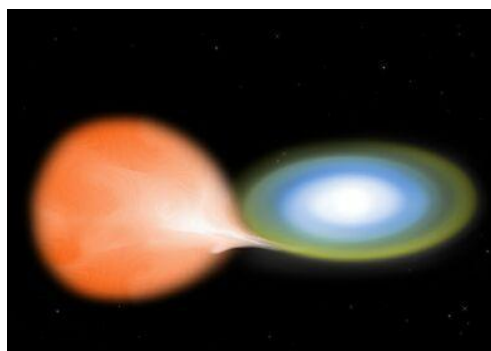


Figura 4 – Em um sistema de estrelas binárias em que uma é anã branca e a é gigante vermelha, a primeira pode sugar massa da segunda. Se a anã branca atingir o limite de Chandrasekhar, explode como supernova Tipo Ia.

## Supernovas Tipo Ia são usadas como velas padrão

Vimos que a energia emitida por supernovas Tipo Ia varia por um fator de apenas 2. O mesmo ocorre com sua luminosidade máxima, que ocorre cerca de 2 semanas após a explosão. Pelo exame do espectro da luz emitida pela supernova e pela curva de decaimento da sua luminosidade, os astrônomos aprenderam a reconhecer as que têm maior ou menor luminosidade. Assim, essas supernovas têm sido utilizadas como velas padrão (fontes de intensidade bem estabelecida). A comparação entre a luminosidade aparente e a luminosidade absoluta presumível tem possibilitado medidas de grandes distâncias astronômicas com incerteza de apenas 7%, o que é muito pouco comparado com os métodos tradicionais. Isso tem levado a importantes avanços em cosmologia observacional. Com o uso de SN Tipo Ia, descobriu-se em 1998 que a expansão do universo se acelera em vez de frear (ver “Energia Escura – Expansão Acelerada do Universo”, Alair Chaves).

## Os outros tipos de supernovas são explosões de estrelas muito massivas

Estrelas com mais de 9 massas solares podem explodir como supernovas sem passar pelo estágio de anãs brancas. Elas têm uma evolução complexa e relativamente rápida. No início, como todas as estrelas, elas geram energia pela fusão de hidrogênio em hélio em seu núcleo. Quando o hidrogênio no núcleo se exaure, cessa a geração de calor, a pressão para fora gerada pelo núcleo diminui e este se contrai sobre a pressão gravitacional da região externa rica em hidrogênio. Essa compressão aquece o núcleo o bastante para que 3 núcleos de hélio sejam fundidos para formar carbono. Na camada adjacente a esse núcleo superaquecido a temperatura se eleva o bastante para que tenha início a fusão do hidrogênio. Mas essa etapa evolutiva também chega a um fim e a estrela sofre nova compressão. No núcleo, elementos mais pesados começam a ser gerados por fusão, na camada adjacente tem início fusão de hélio para gerar carbono e oxigênio, e em uma terceira camada começa a fusão do hidrogênio. As etapas vão se sucedendo até que a estrela adquira uma estrutura tipo cebola como exibida na Figura 5.

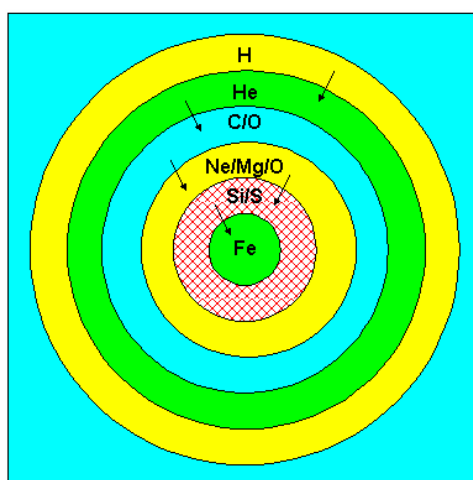


Figura 5 – Estrutura de cebola de uma estrela muito massiva ao final da sua vida na Sequência Principal.

Em dado momento, o calor gerado pelos processos de fusão não é mais capaz de gerar pressão para fora que suporte a compressão gravitacional. O núcleo central, que agora é constituído principalmente de ferro, sofre um colapso com velocidade de até 70.000 km/s. Essa implosão do núcleo é o deflagrador de uma explosão de supernova Tipos II. As partes externas ao núcleo desabam sobre ele, mas rebatem explosivamente. Energia da ordem de  $10^{46}$  joules é emitida na forma de neutrinos e antineutrinos pelo núcleo. Cerca de 1% desses neutrinos antineutrinos é absorvido pelo material que cai sobre o núcleo e a energia absorvida é o deflagrador da explosão. Material é expelido da estrela com velocidades de até 30.000 km/s, no que ela perde cerca de 90% da sua massa. O núcleo remanescente se transforma em uma estrela de nêutrons se a massa da estrela progenitora for menor do que cerca de 20 massas solares. Se for maior do que esse limite estimado, o núcleo se transforma em um buraco negro.

O papel dos neutrinos em retirar 99% da energia gerada na implosão do interior da estrela foi proposto em 1940 pelo físico russo George Gamow (1904 –1968) e pelo físico brasileiro Mário Schenberg (1914 – 1990) e denominado processo Urca, nome curioso que merece uma explicação. Gamow estava em visita no Brasil e passou uma noite no Cassino da Urca, então existente no Rio de Janeiro, na qual perdeu uma boa soma de dinheiro. Schenberg comentou que com a emissão de neutrinos, ao implodir uma estrela perde quantidades enormes de energia tão facilmente como se perde dinheiro nas roletas. Processo Urca, depois de explicado temos de concordar que é realmente é um nome espirituoso.

Simulações em computador mostram que estrelas com massa maior do que 50 massas solares entram em colapso e convertem-se diretamente em buracos negros sem que haja uma explosão tipo supernova.

### **Os elementos pesados da tabela periódica são originários de supernovas**

Não fossem as supernovas, a vida no universo seria impossível porque a química existente seria excessivamente simples. De fato, no Big Bang só foram produzidos hidrogênio, hélio e uma pitadinha de lítio. Todos os outros elementos são sintetizados em estrelas massivas e em algumas delas jogados no espaço em explosões de supernovas. Mesmo em estrelas com massa maior do que 9 massas solares, que dão origem a supernovas Tipos II, os processos de fusão nuclear não são capazes de gerar elementos mais pesados do que o ferro. Isso porque a fusão nuclear do ferro com outros elementos consome energia em vez de gerá-la. Mas na explosão de supernovas, qualquer que seja o seu tipo, as ondas de choque do gás em expansão são capazes de suprir a energia suficiente para a síntese de todos os elementos da Tabela Periódica. Se uma nova estrela se forma em gás enriquecido desses elementos e essa estrela contém um sistema planetário, esses planetas podem apresentar uma química complexa o bastante para que nela se desenvolva a vida. Isso é exatamente o que ocorreu com o nosso Sol e seus planetas. A concentração de elementos pesados no Sol sugere que ele na verdade seja uma estrela de terceira geração. Com isso se quer dizer que ele foi gerado de gás produzido por uma (ou mais de uma) supernova cuja estrela progenitora (ou estrelas progenitoras) foram formadas de restos de supernovas. Eu e você, caro leitor, somos feitos de lixo atômico, somos filhos e netos de uma das maiores calamidades nucleares que se conhece no universo.