

Perda de massa em estrelas

Roberto Ortiz

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP

Talvez seja um fato pouco conhecido pelos leigos em Astronomia em geral, mas todas as estrelas perdem massa. Isso quer dizer que, depois que uma estrela é formada pela acreção de matéria interestelar, sua massa diminui lentamente até o final de sua evolução. Neste ponto, você pode se perguntar? Que importância tem isso? A resposta virá ao longo desse artigo e, conforme veremos, a perda de massa das estrelas tem profundas implicações na evolução do Universo e até mesmo no surgimento e evolução da vida. Para compreender esse assunto, vamos fazer antes uma breve digressão sobre a evolução estelar, considerando um amplo intervalo de massas.

Estrelas evoluem!

Não vou abordar em detalhe aqui o nascimento de uma estrela. O leitor mais interessado nesta fase da evolução estelar dispõe de inúmeras fontes de consulta (Arany-Prado 2006, Friaça 2000). Por ora, o que precisamos saber sobre o nascimento de uma estrela é que elas são formadas em regiões mais densas de imensos aglomerados de gás, chamados de *nuvens moleculares*. As regiões de mais alta densidade podem colapsar sob o efeito da gravidade e formar estrelas. Modelos teóricos indicam que a passagem de uma onda mecânica através de uma nuvem molecular pode favorecer a formação de regiões de maior densidade no gás e portanto favorecer a formação estelar.

Durante cerca de 90% de seu tempo de vida, uma estrela irá queimar Hidrogênio pacificamente em seu núcleo. Nesse período, a estrela não aumenta nem diminui de tamanho. O motor da estrela isto é, sua usina de energia, está localizada em seu núcleo, onde ocorrem as reações nucleares. Podemos dizer que há uma explosão contínua gerando energia, semelhante ao *motor a explosão* de um automóvel. Neste ponto você poderia se perguntar: Por que então uma estrela como o Sol não explode? O motivo é que a auto-gravidade da estrela faz com que todas as suas partes permaneçam ligadas. Há um delicado balanço entre a pressão ocasionada pela energia gerada em seu interior e o peso das camadas internas. Já na sua *atmosfera*, aquela camada visível para o observador, os átomos estão mais livres e eventualmente podem vencer a força gravitacional e escapar da estrela. Este fenômeno é chamado de *perda de massa*. Apenas para se ter uma idéia, a gravidade na atmosfera do Sol é de cerca de 300 m/s² e sua velocidade de escape é pouco superior a 600 km/s. Átomos com velocidade superior a esse limite podem escapar do Sol.

Há diversos modelos físicos propostos que quantificam a taxa de perda de massa de uma estrela. Não é somente a energia cinética dos átomos que os impulsiona para fora da estrela. A pressão ocasionada pelo fluxo de radiação emitido pela estrela também fornece momento linear extra que colabora para intensificar a perda de massa. Portanto, quanto mais luminosa for a estrela mais

facilmente ela perderá massa. Além disso, se seu raio for maior a gravidade superficial será menor e a perda de massa será favorecida. Por outro lado, a gravidade superficial aumenta com a massa da estrela, dificultando a perda de massa. Considerando todos esses fatores, Reimers (1975) propôs a seguinte relação empírica para a perda de massa de uma estrela de luminosidade L , raio R e massa M :

$$dM/dt = 4 \times 10^{-13} (L/L_0) (R/R_0) (M/M_0)^{-1}$$

onde dM/dt é dado em unidades de massa solar/ano (M_0/ano). É fácil ver que o Sol perde massa à taxa de $4 \times 10^{-13} M_0/\text{ano}$. Como estima-se que ele vá queimar Hidrogênio em seu núcleo por cerca de 10^{10} anos, vê-se que a perda de massa do Sol nessa fase irá causar um decréscimo de apenas 0.4% de sua massa. Portanto podemos concluir que a perda de massa do Sol durante a presente fase evolutiva não é muito importante.

Gigantes e supergigantes vermelhas:

Quando esgota-se o Hidrogênio disponível no núcleo da estrela, a geração de energia passa a ocorrer em uma camada em torno do núcleo. Nessa fase, o núcleo rico em Hélio não possui temperatura suficientemente alta para transformar o Hélio em Carbono, mas à medida que sua massa é incrementada com o Hélio gerado pela queima do Hidrogênio na camada mais externa, sua temperatura aumentará até que a queima do Hélio (gerando Carbono) seja possível. Uma estrela como o Sol transformar-se-á numa *gigante vermelha* quando a geração de energia da estrela passar para uma camada externa ao núcleo. Nessa fase evolutiva, seu raio será aumentado dezenas de vezes e sua luminosidade poderá atingir 6000 vezes o valor atual. Porém, se a massa inicial de uma estrela for maior que $9 M_0$, ela transformar-se-á numa supergigante vermelha, ainda maior e luminosa.

Analisando a fórmula de Reimers, é fácil ver como a taxa de perda de massa aumenta tremendamente à medida que a estrela se transforma numa gigante ou supergigante. Como uma estrela gigante vermelha, o Sol atingirá $L = 6000 L_0$ e $R = 3 \times 10^{13}$ cm, o que implica que quando ele atingir sua máxima luminosidade a taxa de perda de massa poderá atingir $dM/dt = 1 \times 10^{-6} M_0/\text{ano}$. Como o Sol irá gastar cerca de 10^6 anos nessa fase, é fácil ver que uma parte significativa de sua massa será lançada ao espaço antes dele se transformar numa anã-branca com apenas cerca de 10^4 km de diâmetro, aproximadamente do tamanho da Terra.

E se não houvesse perda de massa?

Se as estrelas não perdessem massa durante sua evolução a temperatura em seu interior atingiria valores muito maiores, em razão da maior pressão exercida pelas camadas exteriores. Temperaturas mais altas permitem a ocorrência de reações nucleares envolvendo núcleos mais pesados que o carbono e o oxigênio, por exemplo, e um grande número delas seria capaz de gerar núcleos de Ferro no interior das estrelas (Burbidge et al. 1957). Quando isso acontece as camadas mais internas da estrela *despencam* sobre as camadas mais internas. O resultado é a explosão da estrela como uma *supernova*

tipo II. Geralmente somente estrelas com massa inicial maior que $9 M_{\odot}$ terminam sua vida com a explosão tipo *supernova*, mas com a ausência da perda de massa até mesmo estrelas de massa bem mais modesta ($2 \sim 3 M_{\odot}$) poderiam ter o mesmo destino.

Podemos concluir portanto, que se não houvesse perda de massa durante a evolução de uma estrela, haveria explosões de supernovas com frequência muito maior do que a observada atualmente. Esse fato tem consequências muito importantes. Para começar, um evento como a explosão de uma supernova gera uma quantidade de elementos químicos pesados que seriam difíceis de se fabricar numa estrela de massa menor. Consequentemente, o Universo teria uma quantidade muito maior desses elementos químicos, tais como o Titânio, Cromo, Ferro e Níquel. Além disso, supernovas explodindo com maior frequência inundariam o meio interestelar com ondas de choque que favoreceriam enormemente a formação de novas estrelas, à medida que essa onda atravessasse nuvens de gás próximas do colapso. Portanto é provável que outra consequência da ausência da perda de massa seria o aumento da taxa de formação estelar (número de estrelas formadas por ano na Galáxia). Há também efeitos que afetariam diretamente a existência de vida no Universo. Com o aumento da taxa de explosões de supernovas, haveria também uma quantidade muito maior de fótons energéticos no meio interestelar, principalmente raios-X e gamma. Portanto poderia haver uma ameaça real à vida se considerarmos que esses fótons letais poderiam bombardear um planeta habitado ou com condições para que a vida se desenvolvesse. A vida no Universo provavelmente seria de caráter mais efêmero e provavelmente os seres vivos teriam menos chances de evoluir em seres mais complexos como os humanos, por exemplo.

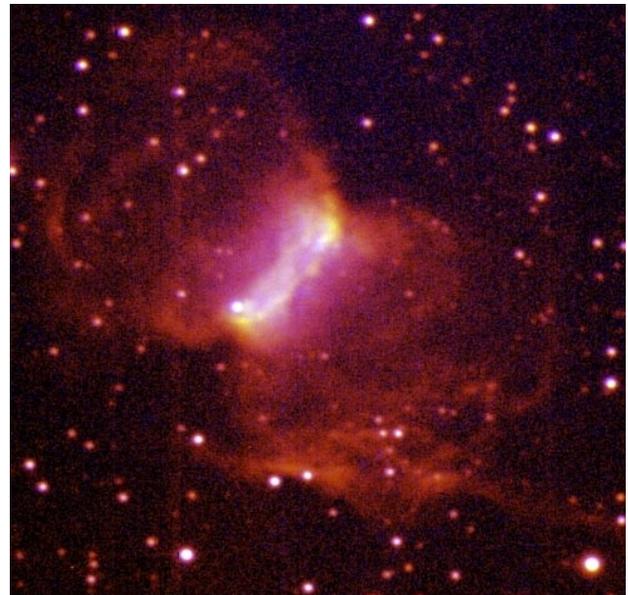
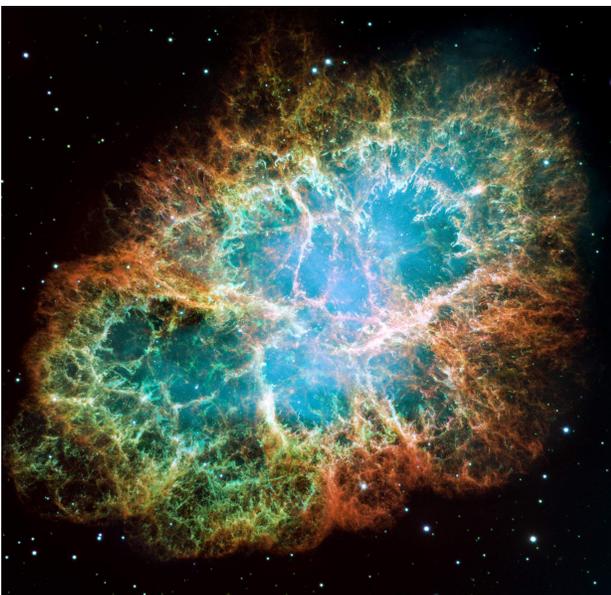


Figura 1:

Dois episódios de ejeção de matéria estelar. À esquerda, remanescente de uma explosão de supernova observada no ano 1054 d.C. na constelação de Taurus; À direita, nebulosa planetária Sh1-89, na constelação de Cygnus.

Referências:

Arany-Prado, L.I., 2006, *À luz das estrelas*, DP&A editora, 1a. edição

Burbidge, E.M., Burbidge, Fowler & Hoyle, 1957, *Rev. Modern Physics*, 29, 547

Friça, A.C.S. (org.), 2000, *Astronomia, uma visão geral*, EDUSP, 1a. edição

Reimers, D., 1975, *Mém. Soc. Roy. Sci. Liège*, 6e Ser. 9, pp.369