

OS DESCENDENTES DAS ESTRELAS (III)

Luiz Augusto L. Silva (*)

Conclusão

Até aqui discutimos algumas características e exemplos de nebulosas SNRs, tendo citado, somente de relance, as "estrelas" propriamente ditas descendentes de uma SN. Agora as consideraremos em mais detalhes.

Em 1968, um grupo de observadores liderados por A. Hewish, informou que havia captado sinais de rádio emitidos com intervalos extremamente regulares. Inicialmente, pensou-se até na possibilidade de sinais partidos de alguma civilização extraterrestre, mas modelos teóricos permitiram relacionar estas "estrelas-relógio" a astros colapsados, de rápida rotação e compostos de nêutrons, emitindo radiação segundo um cone estreito, à semelhança de um farol girante. Logo após a descoberta deste primeiro pulsar, designado CP 1919, seguiram-se localizações de muitos outros. Seus períodos de pulsação, ao que se acredita, iguais ao período de rotação da estrela em torno de seu eixo, variam desde centésimos de segundo (0,033s) para o pulsar NP 0531 (na Nebulosa do Caranguejo) até 4,3 segundos. Estes períodos são bastante regulares, embora a intensidade dos pulsos não o seja. Além disto, crê-se que o período deve variar muito lentamente, de acordo com a idade da estrela de nêutrons associada. Assim, quanto mais longo o período, mais velho será o pulsar. Um conhecimento da proporção em que este período muda permite, pois, partindo-se do valor atual, descobrir-se a idade da estrela de nêutrons correspondente (e consequentemente da SN que lhe deu origem). Em média, um período de 10^7 anos é necessário para que se duplique o valor do período de um pulsar.

Um problema ainda não muito claro é se todas as SNs originam pulsares. Alguns crêem que, pelo menos, a maioria delas o faça, assim sendo quase todas as estrelas de nêutrons estariam relacionadas a pulsares. De qualquer forma, elas são objetos muito interessantes. Acredita-se que possuam diâmetros muito reduzidos. Por exemplo, uma estrela com a massa do Sol poderia ter um diâmetro de somente 14 quilômetros e uma densidade da ordem de $1,4 \times 10^{14} \text{g/cm}^3$. Naturalmente, a velocidade de escape à superfície de um tal astro seria muito elevada, $\approx 2/3$ da velocidade da luz. Estrelas assim seriam inconcebivelmente fracas e, de fato, somente dois pulsares têm sido identificados opticamente: o da nebulosa do Caranguejo e o da nebulosa Gum.

Como o nome já diz, uma estrela neutrônica compõe-se essencialmente de nêutrons. Isto faz com que ela seja extremamente resistente à força de contração gravitacional, e, portanto, estável. No entanto, se esta estrela possuir mais que 3,2 massas solares, não poderá resistir à contração, e esta continuará. A velocidade de escape crescerá tanto, chegando a ponto de igualar a da luz, que é um limite físico intransponível. O valor do raio de uma estrela em que isto acontece denomina-se raio de Schwarzschild. Para uma estrela como o Sol, por exemplo, tal raio é de apenas uns três quilômetros. O que acontecerá então? Evidentemente não haverá meio de na-

da, nem mesmo a luz ou qualquer radiação eletromagnética, escapar à atração deste objeto colapsado: teremos um buraco negro (BN).

Os BNs são possíveis, em teoria. Na verdade, esta foi desenvolvida segundo diferentes modelos, alguns muito simples. Já Laplace, no século XVIII, postulava sua existência, mas foi K Schwarzschild, em 1916, quem propôs um buraco negro simples, cujo único parâmetro seria a massa, carecendo de rotação e carga. Seu modelo, talvez, não deva ser de todo descartado, pois poder-se-ia considerá-lo como um estágio final de desenvolvimento de um BN.

Surgiram, no entanto, modelos mais aprimorados: em 1916-1918 Reissner e Nordström propuseram um BN dotado de massa e carga elétrica ou magnética. Também Kerr, em 1963, propôs um com rotação e massa, porém sem carga. Mais tarde, em 1965, Kerr e Newman apresentaram um modelo mais completo, que incluía massa, movimento de rotação e carga, o que talvez deva corresponder, de forma bem mais satisfatória, à realidade.

Os buracos negros representam, assim, o estágio final onde triunfa a mais fraca das quatro forças que regem o universo: a gravidade. Com efeito, nada pode sair de um buraco negro, mas tudo pode entrar. Eles possuem uma "voracidade" insaciável.

Enquanto teoricamente possíveis, os BN ainda aguardam uma identificação segura na prática. É evidente a dificuldade em localizar algo que não emita radiação (na verdade, postulam alguns, tal pode não ser totalmente o caso). No entanto, há possibilidade de localizá-los quando fazem parte de um sistema binário, por exemplo. Existem numerosos suspeitos, como binárias emissoras de raios-X, onde uma estrela normal pode estar sendo literalmente sugada por uma companheira colapsada muito próxima, num verdadeiro canibalismo estelar. A energia emitida na região espectral dos raios-X desse modo é da ordem de 10^{35} a 10^{38} ergs/s, sendo necessária a transferência de cerca de 10^{-11} a 10^{-8} massas solares por ano, de uma estrela para a outra. Mas a estrela canibal pode não ser somente um buraco negro, mas também uma estrela de nêutrons ou até mesmo uma anã branca (nestes casos, costuma-se usar a expressão binária cataclísmica). Os astrônomos costumam dividir tais binárias em dois tipos: massivas (onde a companheira do objeto compacto é uma supergigante de tipo espectral O ou B, com cerca de 20 massas solares, e tendo o objeto colapsado, $1-2m_{\odot}$), e de pequena massa (estrela principal com 10-20 massas solares, e a estrela colapsada idêntica ao tipo anterior). As flutuações de brilho observadas em ambos os tipos de sistemas são devidas "a mudanças de aspecto com o movimento orbital da estrela companheira, deformada por forças de maré".

Um dos candidatos mais notáveis entre as binárias de raios-X é Cygnus X-1, descoberta em 1962 por R. Giacconi e seus colaboradores. Posteriormente, R. Rappaport, W. Zauden e R. Doxsey, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, conseguiram determinar melhor a sua posição, com um erro de 30 segundos de arco, o que levou a sua associação com uma radiofonte variável descoberta por R. Hjellming e C. Wade. Dita radiofonte, por sua vez, coincidia com uma binária espectroscópica, HD-226868, cujo período é de 5.6 dias e cuja primária é uma su-

pergigante azul de magnitude 9. Os astrônomos foram levados a postular que a secundária invisível deste par era um BN devido a grande energia que é necessária para a emissão de raios-X na proporção observada, e também pelas flutuações muito rápidas observadas, tanto em R-X como em luz visível, sem esquecer-se da massa deste acompanhante obscuro que se pôde inferir. Assim, a supergigante mencionada acima estaria "transferindo" matéria para um disco de acréscimo, ao redor de um BN onde este gás, espiralando, acabaria por ele sendo capturado. Neste processo, grande emissão-X seria gerada, pela própria matéria cadente no disco.

Mas há um ponto importante: esta radiação mais provavelmente se origina a partir do choque do gás com a superfície propriamente dita do objeto colapsado. Sendo assim, este poderia ser uma estrela de nêutrons, não um buraco negro.

Segundo G.M.Stokes e J.J.Michalsky, parece haver somente duas possibilidades: ou a companheira escura é uma estrela de nêutrons ou um buraco negro. Mas, C.T.Bolton deduziu um valor de 6 massas solares para este objeto e, teoricamente se sabe, uma estrela neutrônica com esta massa não conseguiria evitar a continuação da contração gravitacional, se colapsando inexoravelmente. Assim, muitos astrofísicos consideram as evidências a favor da hipótese de um BN muito convincentes, mas o consenso ainda não é geral.

Em um estudo mais recente do espectro de HD 226868 levado a cabo por A.W.Shafter e outros da Universidade da Califórnia, conclui-se que o objeto colapsado não pode ter mais que 2% da intensidade luminosa da primária, pois senão seria detectável. Segundo eles, este "limite de 2% toma a viabilidade de uma (interpretação) alternativa à existência de um buraco negro em Cygnus X-1 muito pequena".

Existem muitas outras fontes de raios-X igualmente suspeitas de associação com um BN, entre as quais pode-se citar Scorpius X-1 e Aquila X-1. No entanto, no primeiro caso, podemos estar lidando com um par de anãs brancas. Já Aquila X-1 é notável, pois parece constituir-se num caso intermediário entre as chamadas fontes constantes (como, por exemplo, as nebulosas SNRs) e as transitórias (que mostram explosões e rajadas súbitas em R-X). A possibilidade de um BN não é, aqui, muito segura, mas não pode ser descartada, segundo P.Charles.

Buracos negros têm, também, sido procurados de outras formas, até mesmo em galáxias, como M-87, em Virgo, também uma fonte de raios-X. Mas, neste caso, se a teoria está correta, trata-se de um super buraco negro, envolvendo milhares de massas solares, e não de algo oriundo do colapso de uma única estrela, pelo que não nos deteremos no assunto.

Também alguns aglomerados globulares têm sido identificados como emissores de raios-X. Nos seus núcleos, acreditam alguns, podem existir gigantescos buracos negros que estariam devorando o âmago destes cúmulos estelares. M-Aurière, do Observatório de Pic-du-Midi, é um dos que têm estudado alguns aglomerados deste tipo, tais como NGC 7078 (M 15), inspecionando detalhadamente suas regiões centrais. Também não nos deteremos neste aspecto. A questão relacionada à existência de bu

racos negros em núcleos de aglomerados e galáxias ainda necessitarão de muitas pesquisas mais.

Finalmente, falemos um pouco sobre "o enigma do século XX": SS-433 (o 433º objeto incluído no Catálogo de estrelas com raias de emissão de Stephenson e Sanduleak). Em 1978, ele foi associado a uma fonte de raios-X e também ondas de rádio, encontrando-se no centro de um possível remanescente de supernova, conhecido por W-50. A análise espectral evidenciou a existência de raias "duplas" isto é, deslocadas tanto para o vermelho quanto para o azul, o que é surpreendente, e originou a hipótese de que esta estranha estrela estaria emitindo dois "jets" de gás, opostos, e com a incrível velocidade de cerca de 80000 kms/s. Posteriormente colocou-se de evidência um período de precessão de 164 dias para o eixo de rotação de tais jatos, bem como que SS-433 era uma binária espectroscópica com um período de somente 13 dias, o que foi confirmado pelas observações fotométricas de A.M.Cherepashchuk. Seja como for, o modelo mais aceito para SS-433 é aquele de um disco de acréscimo explosivo. Assim, há um fluxo de gás da estrela normal do sistema para uma companheira obscura, que deve ser uma estrela de nêutrons ou, postulam outros, possivelmente um buraco negro. O disco de acréscimo torna-se sobrecarregado, expelindo então os jatos, devido a pressões internas. Parece que SS-433 possa ser mesmo um remanescente de SN e, de acordo com a opinião de M. Ryle, existem outros objetos similares a ela. Ele aponta 7 radiofontes com propriedades semelhantes (variabilidade acentuada e radioespectros com distribuição uniforme de energia). A explicação exata, no entanto, ainda deve demorar, necessitando-se de mais observações em diferentes regiões espectrais deste estranho corpo celeste. Aliás, SS-433 já nos demonstra a pronunciada diversificação e estranheza de alguns objetos que são resquícios de antigos sóis, verdadeiros descendentes das estrelas.

CONCLUSÃO

Analizamos, neste trabalho, os diversos tipos de corpos que podem se originar de estrelas agonizantes, desde as pacatas nebulosas planetárias até os austeros e sempre gulosos buracos negros, que podem representar um limite extremo para a vida de uma estrela moribunda pós SN na medida em que, teoricamente, seu limite poderia ser, talvez, um raio nulo e uma densidade infinita, se isto é possível, na prática.

Não podemos deixar de constatar quão extraordinários são os derradeiros acontecimentos da vida de um sol. Alguns, de maneira espetacular, arrebatam-se quase por completo, experimentando profundas alterações em sua natureza, e fulgindo ardentemente como algumas das mais poderosas luminárias no universo. Outros, morrem de modo gentil, soprando belas flores no espaço, verdadeiras mortalhas estelares, as belas nebulosas planetárias, mergulhando depois no obscurantismo.

Tudo isto nos leva a pensar no futuro de nossa própria estrela, o Sol. Ele não contém massa suficiente para tornar-se uma supernova, mas daqui a uns 5 bilhões de anos começará a apresentar sinais de velhice, transformando-se a princípio numa gigante vermelha e, depois, contraindo-se como insigni-

ficante anã branca. É de se perguntar se a humanidade, hoje com seu futuro seriamente ameaçado, ainda estará aqui para assistir a este espetáculo. Se sim, salvo se se deslocar na direção do sistema solar mais exterior, ela encontrará também o seu fim, embora pareça muito mais provável que venha a se suicidar, muito antes disto.

Isto vem demonstrar, mais uma vez, quão insignificantes somos perante o universo, pois até as estrelas, estes astros magnificentes, não duram para sempre...

REFERÊNCIAS

- Aurière, M., 1981, The Messenger, nº 25, p.12;
- Asimov, I., 1980, O Colapso do Universo, Liv.Francisco Alves. Ed., 2ª edição, 155 p., Rio de Janeiro, Brasil;
- Autor ignorado, 1978, Sky and Telescope, Vol.56, p.12;
- Idem, 1980, Sky and Telescope, Vol.60, p.106;
- Idem, 1980, Sky and Telescope, Vol.60, p.483;
- Idem, 1981, Sky and Telescope, Vol.61, p.387;
- Idem, 1981, Sky and Telescope, Vol.62, p.203;
- Idem, 1981, Sky and Telescope, Vol.62, p.419;
- Idem, 1982, Sky and Telescope, Vol.63, p.145;
- Idem, 1982, Sky and Telescope, Vol.63, p.151;
- Cash, W., Charles, P., 1980, Sky and Telescope, Vol.59, p.455;
- Charles, P., 1980, Sky and Telescope, Vol.59, p.188;
- García, J.R., 1975, R Muscae, Ano I, nº 1, p.9;
- Georgelin Y. e Y., Laval, A., Monnet, G., Rosado, M., 1981, The Messenger, nº 26, p.11;
- Gilmore, W.S., Seagquist, E.R., Stocke, J.T., Crane, P.C., 1981, Astronomical Journal, Vol.86, p.864;
- Goody, R.M., Walker, J.C.G., 1975, Atmosferas Planetárias, E.Edgar Bluscher, 139 p., Rio de Janeiro, Brasil;
- Kaler, J.B., 1982, Sky and Telescope, Vol.63, p.129;
- Kippenhahn, R., 1980, 100 Bilhões de Sóis, Ed.Melhoramentos, 264 p., São Paulo, Brasil;
- Kudritzki, R.P., Simon, K.P., Méndez, R.H., The Messenger, nº 26, p.7;
- Kukarkin, B.V., et alii, 1970, General Catalogue of Variable Stars, 3ª edição, 2ª vol., 629p., Academia de Ciências da URSS, Moscou, URSS;
- Kwok, S., 1982, Sky and Telescope, Vol.63, p.449;
- Margon, B., 1979, Mercury, Vol. VIII, p.108;
- Marsden, B.G., 1982, I.A.U.C. nº 3714;
- Motch, Ch., Ilovaisky, S.A., Chevalier, C., 1981, The Messenger, nº 26, p.28;

- Mourão, R.R.F., 1979, Buracos Negros-Universos em Colapso, Ed.Vozes, 123 p., Rio de Janeiro, Brasil;
- Oliveira Fº, K.S., 1982, Pulsações em Anãs Brancas, Tese, University of Texas at Austin, USA;
- Oster, L., 1978, Astronomia Moderna, Editorial Reverté, 539 p., Barcelona, Espanha;
- Overbye, D., 1979, Sky and Telescope, Vol.58, p.510;
- Sagan, C., Shklovskii, I.S., 1981, Vida Inteligente en el Universo, Ed.Reverté, 559 p., Barcelona, Espanha;
- Schorn, R.A., 1981, Sky and Telescope, Vol.62, p.100;
- Shafter, A.W., Harms, R.J., Margon, B., Katz, J.I., 1980, Astrophysical Journal, Vol.240, p.612;
- Stokes, G.M., Michalsky, J.J., 1979, Mercury, Vol.VIII, p.60;
- Sulentic, J.W., Tifft, W.G., 1980, The Revised New General Catalogue of Nonstellar Astronomical Objects, The University of Arizona Press, 384 p., Tucson, USA;
- Tinsley, B.M., 1975, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 87, p.837;
- Trimble, V., 1980, Mercury, Vol. IX, p.8;
- Véron, M. - P., Véron, P., Tarenghi, M., Grosbol, P., 1982, The Messenger, nº 28, p.13;
- Weiler, K.W., 1979, Sky and Telescope, Vol.53, p.414;
- Wesemael, F., Fontaine, G., 1982, Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol.76, p.35;

(*) O autor é o atual Presidente da UBA, União Brasileira de Astronomia, e Coordenador Geral das Comissões da SARG (Sociedade Astronômica Rio-Grandense), sendo responsável pelas Comissões Estelar e de Ocultações.

O SÓCIO ESCREVE

Trabalhos a publicar, dos seguintes associados:

Fernando Augusto de Figueiredo,

Luiz Carlos Morete,

Gustavo Porto de Mello,

Roberto Carlos M.Pires,

Franz Zanow,

Marcos Valério Melo Mataratzis,

Márcio Caio Roberto Buschbaum,

Sérgio Lomonaco Carvalho,

Heleno Amato .