



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

Os Grandes Observatórios de Raios-X Estelares [UHURU, Einstein, ROSAT e Chandra] e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 2002.

A segunda parte do PNF de 2002 foi concedida ao físico italiano Riccardo Giacconi (n.1931) por seus trabalhos na detecção dos **raios-X estelares**. Neste verbete, vamos analisar esses trabalhos.

Os primeiros estudos de Giacconi foram realizados em Cremona, Gênova (em um Colégio Militar) e Milão. Quando estava realizando o Curso de Física na *Universidade de Milão* (UM) e logo no primeiro ano, ele participou de um grupo de pesquisas em raios cósmicos que estava estudando a Física das Partículas Elementares, com ênfase no estudo dos múons (μ), lambdas (Λ) e interação de prótons (p); a parte teórica desse grupo era liderada pelo físico italiano Antonio Mura, e a parte experimental, envolvendo **Câmaras de Wilson** (CW) (vide verbete desta série), sob a liderança do físico italiano Carlo Succi (1919-2000). Giacconi obteve seu Doutorado naquela Universidade, defendendo a tese na qual analisou a interação de 80 prótons em chapas de chumbo (Pb) de uma CW do *Laboratório de Testa Grigia*, localizado numa altitude de 3.840 m. Obtido o Doutorado, foi-lhe oferecido um contrato para trabalhar no *Departamento de Física da UM*, onde conheceu o físico italiano Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini (1907-1993). Depois de permanecer em Milão, entre 1944 e 1956, e por indicação de Occhialini, Giacconi foi para os Estados Unidos trabalhar no grupo do físico norte-americano R. W. Thompson, na *Universidade de Indiana*, em Bloomington, que estava construindo uma grande CW para pesquisar **raios cósmicos**, objetivando detectar a $\bar{\Lambda}^0$. É oportuno registrar que, em 1951 (*Physical Review* **83**, p. 175), Thompson, H. O. Cohn e R. S. Flum estudaram o seguinte decaimento: $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$.

Porém, como a CW do grupo de Thompson demorou muito a ser construída (ela levou 10 anos), Giacconi, em 1958, foi para o Laboratório do físico norte-americano George T. Reynolds (1917-2005), da *Universidade de Princeton*, para realizar pesquisas no *Acelerador Princeton-Pennsylvania*. Ele, juntamente com os físicos, o austríaco Fred Hendel e o norte-americano Herbert Gursky (1930-2006) começaram a analisar os vários dados sobre Partículas Elementares, principalmente as partículas θ^0 (hoje: K^0 e denominada káon-zero) e suas antipartículas. Nesse trabalho, Giacconi aprendeu muito sobre cintiladores e intensificadores de imagens, o que lhe valeu um contato com o grupo de pesquisas do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), liderado pelo físico norte-americano Herbert S. Bridge (1919-1995); este começou a trabalhar com o físico ítalo-norte-americano Bruno Benedetti Rossi (1905-1994) em **raios cósmicos**, em 1947 (*Physical Review* **71**, p. 379). Rossi era Chefe do Conselho da *American Science and Engineering* (AS&E), dirigido pelo físico norte-americano Martin Annis, e assessorado pelo também físico norte-americano George Whipple Clark, do MIT.

Em 1959, a Bolsa de Estudos de Giacconi em Princeton expirou e ele, então, tentou trabalhar com Occhialini no *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN), que havia sido criado em 1952. Contudo, como o acelerador desse organismo de pesquisa era muito grande e não lhe oferecia nenhuma perspectiva, Giacconi decidiu aceitar o convite, em setembro de 1959, para trabalhar no AS&E em um grupo de 28 cientistas que iria desenvolver um programa de ciência espacial. Assim, ainda em 1959 (*Journal of Geophysical Research-Space* **65**, p. 773), Giacconi e Rossi usaram o telescópio para analisar as possíveis emissões de **raios-X estelares**. Desse modo, eles descreveram um sistema com uma sensibilidade de 5×10^{-14} ergs/(cm². s) e uma resolução angular de dois minutos (2') de arco.

No AS&E, de 1959 até 1962, Giacconi trabalhou no desenvolvimento de equipamentos que foram lançados no espaço, em foguetes e satélites, bem como em aviões, que foram utilizados em pesquisas espaciais: astronômicas e geofísicas. Em 15 de janeiro de 1960 (*ASE-TN-49*), Giacconi, Clark e Rossi publicaram um artigo no qual apresentaram uma breve revisão sobre os progressos, experimentais e teóricos, da **Astronomia de Raios-X** (AR-X). É interessante destacar que a AR-X, começou em 1951 (*Physical Review* **83**, p. 1025), quando os físicos norte-americanos Herbert Friedman (1916-2000), S. Lichtman e E. T. Byram apresentaram o resultado da primeira observação de **raios-X solares** registrada pelo **foguete V-2** (desenvolvido na Alemanha, a partir de 1936, com 14 m de comprimento e com cerca de 13 toneladas de peso) lançado, em 1949, pelos Estados Unidos, que haviam capturado da Alemanha, em 1945, com o fim da *Segunda Guerra Mundial*, iniciada em 1939.

Novos passos para o desenvolvimento da AR-X foram dados na década de 1960. Com efeito, em 1962 (*Physics Review Letters* **9**, p. 439), Giacconi, Gursky, Rossi e o físico norte-americano Frank R. Paolini anunciaram que haviam descoberto uma intensa fonte discreta de **raios-X estelares** na *Constelação de Escorpião* (*Scorpius*), a hoje conhecida Sco X-1. Essa descoberta decorreu de observações astronômicas realizadas por um foguete espacial (*Aerobee-150*) lançado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em 12 de junho de 1962, sendo Gursky um de seus tripulantes. Logo depois, em 1963 (*Physics Review Letters* **11**, p. 530), Giacconi, Gursky, Paolini e Rossi descobriram uma nova fonte de **raios-X estelares** na *Nebulosa de Caranguejo*. Essa descoberta foi confirmada, em 1964 (*Astronomical Journal* **69**, p. 135), por S. Bowyer, Byram, T. A. Chubb e Friedman. Note-se que, ainda em 1964 (*Progress of Theoretical Physics Japan-Supplement* **30**, p. 204), os físicos japoneses S. Hayakawa e M. Matsuoka propuseram a ideia de que a acreação de matéria seria a origem da energia das fontes de **raios-X estelares**.

Novas observações da Sco X-1 foram registradas, em 1965, por Minoru Oda (1923-2001), Clark, G. P. Garmine, M. Wada, Giacconi, Gursky e J. R. Waters (*Nature* **205**, p. 554), e por Giacconi, Gursky e Waters (*Nature* **207**, p. 572); em 1966, por Gursky, Giacconi, P. Gorenstein, Waters, Oda, Hale Bradt, Carmine e B. V. Sreekantan (*Astrophysical Journal* **146**, p. 310) e por Allan Rex Sandage (1926-2010), P. Osmer, Giacconi, Gorenstein, Gursky, Waters, Bradt, Garmine, Sreekantan, Oda, K. Osawa e J. Jugaku (*Astrophysical Journal* **146**, p. 316); e, em 1967 (*Astronomicheskii Zhurnal* **44**, p. 930; *Astrophysical Journal* **148**, p. L1), o físico russo I. S. Shklovsky propôs que a acreação de matéria era a fonte de energia da Sco X-1.

Como o tempo disponível para a observação de fontes estelares era muito pequeno, cerca de 5 minutos para cada foguete lançado pela NASA, em 25 de setembro de 1963, Giacconi e Gursky, que trabalhavam na AS&E, entregaram à NASA um documento no

qual descreveram um programa completo, constituído de projeto, construção e lançamento de satélites, destinado à pesquisa de **raios-X estelares**. Assim, em 1968, foi lançado o primeiro **telescópio de raios-X**, com uma lente de 1,2 m de diâmetro, e cuja descrição foi publicada, em 1969 (*Space Science Reviews* **9**, p. 3), por Giacconi, W. P. Reidy, Giuseppe S. Vaiana, L. P. Vanspeybroek e T. F. Zehnpfennig. A esse lançamento, seguiu-se o do satélite UHURU *X-Ray Telescopy*, no dia 12 de dezembro de 1970, da plataforma italiana S. Marco, no Quênia, sendo seu veículo o foguete *Scout B*. Observe-se que o nome UHURU, significa liberdade, na língua *swahili*, e o dia de lançamento foi escolhido por ser o dia da independência do Quênia, ocorrida em 1963. Este satélite, orbitando a uma altura de 540 km, de 143 kg de peso, foi o primeiro *Small Astronomy Satellite* (SAS-1), também conhecido como *Explorer 42*, poderia ser usado por horas e mesmo anos, varria cerca de 5^o do céu, com um deslocamento de 1^o por dia, de modo que, em três meses, todo o céu era examinado. As primeiras observações do UHURU foram publicadas, em 1971 (*Astrophysical Journal Letters* **165**, p. L27), por Giacconi, E. M. Kellogg, Gorenstein, Gursky e Harvey Tananbaum.

Ainda em 1971, Robert Michael Hjellming (1938-2000) e C. M. Wade (*Astrophysical Journal* **168**, p. L21) e, independentemente, L. L. E. Braes e G. K. Miley (*Nature* **232**, p. 246), anunciaram que haviam observado a emissão de ondas de rádio da *Cygnus X-1*. Tais observações foram refinadas com o UHURU, por vários grupos de astrônomos (inclusive do MIT, comandado por Saul Rappaport), e publicadas também em 1971: Tananbaum, Kellogg, Gursky, S. Murray, Ethan Schreier e Giacconi (*Astrophysical Journal* **165**, p. L37); Oda, Gorenstein, Gursky, Kellogg, Schreier, Tananbaum e Giacconi (*Astrophysical Journal* **166**, p. L1); S. S. Holt, E. A. Boldt; D. A. Schwartz, P. J. Serlemitsos e R. D. Bleach (*Astrophysical Journal* **166**, p. L65); S. Miyamoto, M. Fugii, M. Matsoka, Jun Nishimura, Oda, Y. Ogawara, S. Ohta e M. Wada (*Astrophysical Journal* **168**, p. L11); Rappaport, W. Zaumen e Rodger Evans Doxsey (1947-2009) (*Astrophysical Journal* **168**, p. L17); e Rappaport, Doxsey e Zaumen (*Astrophysical Journal* **168**, p. L43). Nesses trabalhos, foram anunciados que as oscilações das ondas de rádio da *Constelação Cygnus* (*Cyg X-1*) eram caóticas. Registre-se que, em 1972 (*Astrophysical Journal* **177**, p. L5), Tananbaum, C. Jones, Gursky, Kellogg e Giacconi confirmaram aquelas oscilações.

Ainda com o UHURU, novas constelações e aglomerados de nosso céu foram descobertas como sendo fontes de **raios-X estelares**. Por exemplo, também em 1971, no *Aglomerado de Coma* foi observado uma nova fonte de **raios-X estelares** conforme foi destacado nos trabalhos de Gursky, Kellogg, Murray, C. Leong, Tananbaum e Giacconi (*Astrophysical Journal Letters* **167**, p. L81); de G. A. Welch, e G. N. Sastry (*Astrophysical Journal Letters* **169**, p. L3); de J. Richard Gott III (n.1947) e James E. Gunn (*Astrophysical Journal Letters* **169**, p. L13); de J. F. Meekins, G. Fritz, Chubb, Friedman e R. C. Henry (*Nature* **231**, p. 107); e de P. D. Noerdlinger (*Nature* **232**, p. 393).

O grupo de Giacconi (Schreier, Tananbaum, R. Levinson, Kellogg e Gursky) descobriu, em 1972 (*Astrophysical Journal* **172**, p. L. 79; **174**, p. L143), fontes pulsantes (de período de 1,24 segundos e um período orbital de 1,74 dias) de **raios-X** nas constelações de *Hércules* (Her X-1) e de *Centaurus* (Cen X-3). É interessante destacar que, em 1972, B. L. Webster e P. Murdin (*Nature* **235**, p. 37) e, independentemente, C. Bolton (*Nature* **235**, p. 271) anunciaram a descoberta de um sistema binário (HDE 226.862) na *Cyg X-1*. Essa descoberta indicava a existência de um objeto compacto, com cerca de 30 km de raio, com

massa de seis (6) vezes à do Sol, muito maior do que qualquer estrela de nêutrons (descoberta em 1967: vide verbete nesta série) então conhecida. Portanto, tal objeto seria um provável **buraco negro** (BN), uma vez que, em 1972, C. Rhoades e Remo Ruffini (n.1943) demonstraram que os BN poderiam possuir massa maior do que 3,4 vezes à do Sol [*Physical Review Letters* **32**, p. 324 (1974)]. Ora, como a superfície de um BN não apresenta estruturas particulares, então suas pulsações são caóticas. Destaque-se também que, em 1972 (*Astrophysical Journal* **173**, p. L99), Gursky, A. Solinger, Tananbaum, Kellogg, Murray, A. Cavalieri e Giacconi descobriram **gás intergaláctico** de alta temperatura.

Com o sucesso do UHURU, Giacconi e seu grupo, da AS&E, assinaram um contrato com a NASA para construir, no período de 1970-1973, o *Large Orbiting X-Ray Observatory* (LOX-RO), visando realizar observações de **raios-X extra-solares**. Contudo, dificuldades orçamentárias dessa Agência, devido ao *Projeto Viking*, em 1973, o LOX-RO foi reduzido pela metade e se transformou no *High Energy Astrophysical Observatory - B* (HEAO-B), também conhecido como *Einstein X-Ray Observatory* (EX-RO), agora desenvolvido no *Center of Astrophysics* (CfA), na *Harvard University*, em virtude escolha de Giacconi como Professor Titular (*full professor*) dessa Universidade. É oportuno salientar que, em 1974 (*Proceedings of IAU Symposium* **64**, p. 147), Giacconi apresentou um estudo sobre as observações das **fontes estelares binárias de raios-X**, como, p.e., a Cyg X-1. Ainda, em 1974, Giacconi e Gursky editaram o livro intitulado **X-Ray Astronomy** (Riedel, Dordrecht).

Em 1976, Giacconi e Tananbaum propuseram à NASA a criação do *Advanced X-Ray Astrophysics Facility* (AXAF) para dar sequência ao estudo dos **raios-x estelares**. Logo em 1977, o AXAF começou a funcionar no *Marshall Space Flight Center* (MSFC) e no *Smithsonian Astrophysical Observatory* (SAO). Contudo, dificuldades orçamentárias na NASA fizeram com esse projeto sofresse atrasos. Enquanto isso, a NASA deu prosseguimento ao projeto HEAO-B. Assim, em 12 de agosto de 1977, essa Agência lançou o HEAO-1, com a participação de Doxsey. E, em 13 de novembro de 1978, ela lançou do *John Fitzgerald Kennedy Space Center* (JFKSC) (antigo Cabo Canaveral), na Flórida, o foguete *Atlas Centaur* SLV-3D, conduzindo o satélite HEAO-2/EX-RO, circulando em uma órbita um pouco mais de 500 km de altitude, cuja descrição de seu projeto e construção foi apresentada, em 1979 (*Astrophysical Journal* **230**, p. 540), em um artigo publicado por Giacconi, G. Branduardi, U. Briel, A. Epstein, D. Fabricant, E. Feigelson, W. Forman, Gorenstein, J. Grindlay, Gursky, F. R. Harnden, J. P. Henry, Jones, Kellogg, D. Koch, Murray, Schreier, F. Seward, Tananbaum, K. Topka, L. van Speybroeck, Holt, R. H. Becker, Boldt, Serlemitsos, Clark, C. Canizares, T. Market, R. Novick, D. Helfand e K. Long. Ainda, em 1979 (*Astrophysical Journal Letters* **234**, p. L73), Becker, Holt, B. W. Smith, N. E. White, Boldt, R. F. Mushotsky e Serlemitsos usaram o HEAO-2/EX-RO para estudar o espectro de raios-X, no intervalo 1 – 4 keV, da supernova remanescente observada pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), em 1572. É interessante registrar que, em 1978 (*Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **16**, p. 393), Vaiana e R. Rosner apresentaram o resultado da observação dos **raios-X solares**.

Quando Giacconi deixou a *Harvard University*, em 1981, ele tornou-se, por indicação da astrofísica inglesa Eleanor Margaret Burbidge (n.1922), o primeiro Diretor do *Space Telescope Science Institute* (STScI), da *John Hopkins University*, em Baltimore, Maryland, que havia sido criada naquele ano de 1981, pela *Association of Universities for Research in Astronomy* (AURA), operada pela NASA por intermédio dos *Space Transportation System* (STS), popularmente conhecido como *Space Shuttle* (“Ônibus Espacial”), cuja

proposta inicial era o lançamento de quatro (4) grandes observatórios-telescópios. No STScl, Giacconi iniciou o projeto *Hubble Space Telescope* (HST) [incluindo os programas *Hubble Deep Field* (HDF), *Hubble Deep Field South* (HDFS) e *Ultra Deep Field* (UDF)], escolhendo o físico norte-americano Doxey para chefiar as *Hubble Missions Office*, uma vez que ele havia trabalhado no projeto e lançamento do HEAO-1, em 1977, segundo vimos acima. O primeiro HST foi lançado em 24 de abril de 1990. Em 1993, ele enviou imagens da *Galáxia Andrômeda* que mostraram que seu “coração” tem a forma de um “halteres”, com dois lóbulos, o que indicava que uma pequena galáxia tenha “caído” dentro dela, atraída por um BN existente em seu centro. Note-se que as diversas e notáveis descobertas do HST podem ser vistas em *Google Imagens*. O segundo grande observatório, o *Compton Gamma Ray Laboratory* (CGRL), para observar **raios- γ estelares**, foi lançado em 05 de abril de 1991.

É interessante registrar que o *Max-Planck Institute for Extraterrestrial Research* também participou da pesquisa de **raios-X estelares** construindo o telescópio *Röntgensatellit* (ROSAT), sob a liderança dos astrofísicos alemães Joachim Ernst Trümper (n.1933) e Günther Hasinger (n.1954), lançado em 01 de junho de 1990, do JFKSC, pelo foguete *Delta II*.

Em 1998, a AXAF foi retomada e denominada de *Chandra X-Ray Observatory* (CXRO). Esse terceiro grande observatório-telescópio da NASA foi lançado em 23 de julho de 1999, do JFKSC, pelo foguete *Columbia* STS-93, atingindo uma órbita elíptica de 133.000 km (apogeu) e 16.000 km (perigeu). Registre-se que o nome *Chandra* (que significa *lua* ou *luminoso*, em sânscrito) foi escolhido para homenagear o astrofísico indiano Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995; PNF, 1983). Destaque-se que, logo em 1990, grandes resultados foram obtidos pelo *Chandra*. O primeiro foi a descoberta de um objeto compacto (estrela de nêutron ou BN) no centro da remanescente **supernova Cassiopéia A**, por G. G. Pavlov, V. E. Zavlin, B. Aschenbach, J. Trumper e D. Sanwal (*Astrophysical Journal* **531**, p. L53); e o segundo foi a **imagem de raios-X** da *Nebulosa de Caranguejo*, por Tananbaum e M. C. Weisskopf (*Astronomy Society Pacific Proceedings* **251**, p. 4). O terceiro, em 2001 (*Nature* **413**, p. 45), foi a emissão de **raios-X** do BN supermassivo – *Sagittarius A** - no centro de nossa *Galáxia Via Láctea*, observado por F. K. Baganoff, M. W. Bautz, W. N. Brandt, G. Chartas, E. D. Feigelson, G. P. Garmire, Y. Maeda, M. Morris, G. R. Ricker, L. K. Townsley e F. Walter. Observe-se que o quarto grande observatório-telescópio da NASA, o *Space Infrared Telescope Facility* (SIRTF), depois denominado *Spitzer Space Telescope* (SST), foi lançado em 25 de agosto de 2003, do JFKSC, pelo foguete *Delta II* 7920H ELV. Observe-se ainda que, em 2014, a NASA está programando o lançamento de um novo tipo de observatório-telescópio, o *James Webb Space Telescope* (JWST) destinado a realizar observações estelares na região do infravermelho próximo (*near infrared*).

Depois dessa descrição sobre os grandes observatórios-telescópios enviados pela NASA e de seus principais resultados, voltemos aos trabalhos de Giacconi. Em janeiro de 1993, Giacconi foi convidado para ser o Diretor Geral da *European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere* ou, simplesmente, *European Southern Observatory* (ESO), uma organização intergovernamental, criada no dia 05 de outubro de 1962, com a participação inicial da Alemanha, Bélgica, França, Holanda e Suécia, para observar o céu do hemisfério sul, sendo o Chile escolhido, em 1963, para localizar seus telescópios. Quase no final de seu contrato com a ESO, ocorrido em 1999, Giacconi iniciou um novo programa cooperativo com os Estados Unidos, Canadá e a Ásia Oriental para construir um arranjo (“array”) de antenas milimétricas e submilimétricas no deserto

Atacama, localizado no nordeste do Chile. Assim, foi criado o *Atacama Large Milimeter Array* (ALMA), com seu término previsto para 2013.

Com o lançamento do *Chandra*, Giacconi usou-o para resolver um problema sobre a emissão difusa das fontes de **raios-X estelares**, que permanecia em aberto desde a sua descoberta, em 1962. Assim, em 2002 (*Astrophysical Journal Supplement Series* **139**, p. 369), Giacconi, Andrew Zirm, J. X. Wang, Piero Rosati (n.1963), Mario Nonino, Paolo Tozzi, Roberto Gilli, Vincenzo Mainieri, Günther, Lisa Kewley, Jacqueline Bergeron, Stefano Borgani, Roberto Gilmozzi, Norman Grogan, Anton Koekemoer, Schreier, Wei Zheng e Colin Norman apresentaram um catálogo obtido da exposição de 942.000 segundos exposto no *Chandra Deep Field South* (equipamento destinado a realizar observações profundas do hemisfério sul), usando um avançado espectrômetro de imagens. Ainda em 2002 (*Annual Review of Astronomy and Astrophysics* **40**, p. 539), Rosati, Borgani e C. Norman registraram as observações de **raios-X de aglomerados** (“cluster”) **de galáxias** realizadas pelo ROSAT.

Para maiores informações sobre a **Astronomia de Raios-X** ver o *site* da en.wikipedia.org sobre os grandes observatórios-telescópios (UHURU, *Einstein*, *Chandra*, e ROSAT), do *Space Telescope Science Institute* (HST e JWST), do *European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere* (ESO), do *Spitzer Space Telescope* (SIRTF/SST), dos físicos (Rodger Doxsey, Herbert Gursky, Herbert S. Bridge, George Whipple Clark), e a Autobiografia e a *Nobel Lecture: The Dawn of X-Ray Astronomy* (08 de Dezembro de 2002; *e-Nobel Museum*), de Giacconi.



ANTERIOR

SEGUINTE