

Acelerador cósmico

Buraco negro gigante fora da Via Láctea é a primeira fonte confirmada de neutrinos de alta energia

Dois estudos publicados em julho na revista científica *Science* apresentaram evidências sólidas da primeira fonte documentada de neutrinos de alta energia e, por conseguinte, também de raios cósmicos de alta energia, as partículas mais potentes do Universo, vindas de fora da Via Láctea. Trata-se de um tipo específico de galáxia elíptica gigante, com um buraco negro ativo em seu centro, denominado blazar TXS 0506+056, que se situa na constelação de Órion, a mesma das famosas estrelas Três Marias, e dista cerca de 4 bilhões de anos-luz da Terra. A conclusão é fruto de evidências acumuladas por pesquisadores de 17 equipes internacionais, que começaram a colaborar intensamente logo após a detecção de uma única partícula energética, um neutrino, no dia 22 de setembro de 2017.

A medição original que desencadeou o esforço conjunto foi feita pelo Observatório de Neutrinos IceCube, uma rede de 5.160 detectores instalados sob 1 bilhão de toneladas de gelo, construída próxima ao polo Sul, na Antártida. Mais fáceis de detectar, os neutrinos de alta energia são considerados marcadores da origem dos raios cósmicos. Os mesmos objetos celestes que produzem esses neutrinos



deverem ser os responsáveis por disparar os raios cósmicos. Portanto, os estudos indicam que uma das fontes dessas partículas altamente energéticas deve ser os buracos negros gigantes no centro de galáxias ativas a bilhões de anos-luz de distância da Via Láctea.

Anunciada no dia 12 de julho, a descoberta dos neutrinos de alta energia foi celebrada como mais um exemplo da chamada astronomia multimensageiro, em que os pesquisadores aliam observações de radiação eletromagnética de várias energias com a detecção de outras partículas e ondas emitidas pelos corpos celestes. Durante a conferência para a imprensa, uma das coordenadoras do IceCube, a física Olga Botner, da Universidade de Upsalla, na Suécia, lembrou que, no ano passado, a combinação de observações de radiação eletromagnética e de ondas gravitacionais permitiu identificar o choque explosivo de duas estrelas de nêutrons e estudar em detalhes as consequências desse tipo de colisão, fonte de elementos químicos pesados do Universo, como o ouro (*ver Pesquisa Fapesp n° 261*). “Ainda não detectamos neutrinos em conexão com ondas gravitacionais”, disse Olga. “Mas acreditamos que essa é uma descoberta que ocorrerá em breve”, afirmou.

As informações obtidas até agora corroboram a hipótese de que os buracos negros funcionariam como potentes aceleradores cósmicos de partículas, que atingiriam energias de milhões a bilhões de vezes superiores às produzidas nos maiores equipamentos já construídos pela ciência. Descobertos em 1912 pelo físico austríaco Victor Hess, os raios cósmicos são partículas eletricamente carregadas vindas do espaço com velocidades próximas à da luz. Podem ser elétrons (partículas de carga elétrica negativa), prótons (de carga elétrica positiva) ou núcleos atômicos, conjuntos de prótons e nêutrons. A maioria dos raios cósmicos de mais baixa energia são criados e acelerados em explosões estelares na Via Láctea. Já os mais energéticos devem ser prótons ou núcleos atômicos vindos de lugares muito distantes, fora de nossa galáxia. O principal desafio de determinar sua origem é que, por serem partículas eletricamente carregadas, não viajam em linha reta: sua trajetória é desviada ao atravessarem campos magnéticos dentro e fora das galáxias.

Uma maneira de contornar esse problema é observar neutrinos de alta energia, o objetivo principal do IceCube, que opera desde 2003 na Antártida, com apoio financeiro da National Science

Foundation e de outras instituições de fomento à pesquisa nos Estados Unidos e em mais 10 países. Os neutrinos têm uma massa ínfima, carga elétrica nula e, portanto, quase não interagem com a matéria. Essas características permitem que viajem pelo espaço em linha reta, atravessando quase tudo o que encontram pelo caminho sem serem perturbados, razão por que são chamados de partículas fantasmas. Em 2013, um estudo da colaboração internacional do IceCube concluiu que alguns dos neutrinos de alta energia observados na Terra deviam vir de fora da galáxia e eram produzidos pelos mesmos fenômenos que geram os raios cósmicos. Assim, traçar a origem desses neutrinos extragalácticos levaria também à origem dos raios cósmicos de alta energia.

Em setembro de 2017, os detectores do IceCube registraram um sinal indicando a passagem de um único neutrino com energia de 290 teraelétrons-volts (TeV), 40 vezes a dos prótons acelerados no Large Hadron Collider (LHC), o maior acelerador de partículas do mundo, instalado na fronteira da Suíça com a França. Ao refazer o percurso do neutrino nos detectores do IceCube, os pesquisadores verificaram que sua origem seria um ponto do céu na constelação de Órion.

Imediatamente após a detecção, a equipe do IceCube divulgou um alerta pedindo que a comunidade astronômica mundial apontasse seus telescópios naquela região. Segundos antes do alerta do IceCube, entretanto, a coordenação que opera o telescópio de grande área (LAT) do satélite Fermi, da Nasa, já havia enviado um outro alerta, avisando que, na mesma região do céu indicada pelo IceCube, uma fonte de raios gama, uma forma de luz (radiação eletromagnética) extremamente energética, havia aumentado em quase cinco vezes o seu brilho.

“Quando o IceCube deu o alerta, a comunidade de observatórios de raios gama já estava pronta”, conta Ulisses Almeida, pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro. Almeida colabora com a equipe que controla o telescópio Magic, nas Ilhas Canárias, observatório de raios gama que contribuiu para um dos estudos publicados na *Science*. “Era uma fonte de raios gama cujo brilho varia muito, monitorada rotineiramente há anos pela equipe do Fermi-LAT.”

Após os alertas do IceCube e do Fermi, 17 observatórios ao redor do mundo

Os neutrinos e os raios cósmicos de alta energia devem ser emitidos pelos mesmos tipos de objetos celestes, como o blazar da constelação de Órion

acompanharam as variações de brilho da fonte de raios gama, conhecida pela sigla TXS 0506+056. As observações confirmaram que a fonte TXS 0506+056 emite radiação em todas as faixas de energia do espectro eletromagnético, das mais baixas (ondas de rádio) até as mais altas (raios X e gama). Combinando os dados dessas observações, os astrofísicos concluíram que a fonte de toda a radiação observada é o jato de uma galáxia com núcleo ativo a 4 bilhões de anos-luz de distância da Terra.

JATOS NA DIREÇÃO DA TERRA

Uma galáxia com núcleo ativo pode abrigar em seu centro um buraco negro de massa muito elevada (equivalente à de bilhões de sóis), que consome constantemente matéria na forma de gás incandescente e eletricamente carregada. Esse gás gira e se acumula em um disco em torno do buraco negro. “Dois jatos opostos e perpendiculares ao disco são criados por campos magnéticos que canalizam e aceleram uma porção do gás para fora da galáxia”, explica Almeida. “Esses jatos são mais extensos e brilhantes que a própria galáxia. E no caso do blazar TXS 0506+056, o jato está apontado diretamente para a Terra.” Os astrônomos chamam de blazares os núcleos galácticos ativos com jatos direcionados para o planeta. Essa característica permite que tanto a radiação eletromagnética quanto os neutrinos produzidos ao longo do jato cheguem ao planeta depois de viajar bilhões de anos em linha reta.

Duas coincidências permitiram aos pesquisadores conectar a origem do neutrino ao blazar: a detecção da partícula ocorreu simultaneamente ao aumento de brilho do TXS 0506+056 e tanto o neutrino quanto a radiação vieram da mesma região do espaço. Segundo Almeida, essa identificação da origem dos neutrinos de alta energia muda a compreensão sobre a composição dos jatos do blazar. “Como os neutrinos só podem ser produzidos por prótons e núcleos atômicos acelerados a velocidades próximas à da luz, o jato deve ser composto não apenas de elétrons, como a maioria dos pesquisadores costuma assumir, mas também dessas partículas”, explica Almeida. “Portanto o jato seria um acelerador de raios cósmicos.”

Seria essa coincidência mero fruto do acaso? Para diminuir o risco de estarem



Ilustração de um blazar, galáxia com um buraco negro que emite neutrinos e raios gama na direção da Terra



Quando um neutrino interage com o gelo antártico, são produzidas partículas secundárias que deixam um traço de luz azul ao percorrerem o detector do IceCube, como mostra a ilustração

se iludindo, os pesquisadores analisaram dados coletados durante 10 anos pelo IceCube em busca de mais detecções de neutrinos de alta energia vindos da região do blazar TXS 0506+056. De setembro de 2014 a março de 2015, uma dúzia de neutrinos, possivelmente oriundos daquele mesmo ponto no céu, atravessaram os detectores ocultos no gelo da Antártida, mas deixaram um traço mais difuso.

Em paralelo, o astrofísico Bruno Arsioli, especialista na identificação de blazares nos dados do telescópio Fermi-LAT que atualmente faz estágio de pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), colaborou com uma equipe da Universidade Técnica de Munique, na Alemanha, na procura por outros blazares ativos naquela localização no mesmo período. “Concluimos que o TXS 0506+056 esteve ativo e foi a fonte predominante do ponto de vista energético, produzindo os raios gama mais

extremos observados pelo Fermi-LAT naquela região do céu entre 2014 e 2015”, conta Arsioli. “Estudos anteriores já haviam tentado relacionar os neutrinos de alta energia aos blazares, mas sempre analisando um único evento de coincidência entre a detecção de um neutrino e o aumento do brilho desse tipo de galáxia. Essa é a primeira vez que duas observações relevantes de neutrinos são relacionadas com um mesmo blazar.”

PIERRE AUGER

Os raios cósmicos mais energéticos já observados, com energia superior a milhões de TeV, são o foco de outro experimento internacional, o Observatório Pierre Auger, instalado desde 2004 na província de Mendoza, oeste da Argentina. Por serem ainda mais energéticos, esses raios cósmicos seriam menos afetados pelos campos magnéticos que encontrassem pelo caminho e, portanto, fariam uma viagem quase em linha reta de sua fonte de origem até a Terra. Os pesquisadores chegaram a vislumbrar uma correspondência entre a posição no céu de alguns núcleos ativos de galáxia e a direção de alguns raios cósmicos detectados pelo Pierre Auger até 2007. Os dados das observações subsequentes, porém, não confirmaram a correspon-

dência. Uma análise de todos os seus dados acumulados até 2017 confirmou que os raios cósmicos ultraenergéticos vêm de fora da Via Láctea (*ver* Pesquisa FAPESP *edição on-line*).

“O blazar TXS 0506+056 está dentro do campo de visão de nosso observatório”, diz a física Carola Chinellato, da Unicamp, líder do grupo brasileiro que participa do Pierre Auger. Ela explica que, além de raios cósmicos, o Pierre Auger consegue detectar neutrinos, mas somente com energias superiores a 100 mil TeV, mais altas do que as registradas pelo IceCube. “Já estudamos esse blazar como parte da análise de fontes pontuais que está em curso e não encontramos nenhum candidato a neutrino vindo daquela direção”, afirma a física. ■ **Igor Zolnerkevic**

Artigos científicos

The IceCube Collaboration *et al.* Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A. **Science**. On-line. 12 jul. 2018. IceCube Collaboration. Neutrino emission from the direction of the blazar TXS 0506+056 prior to the IceCube-170922A alert. **Science**. On-line. 12 jul. 2018. BERNARDINI, E. *et al.* The blazar TXS 0506+056 associated with a high-energy neutrino: Insights into extragalactic jets and cosmic ray acceleration. **The Astrophysical Journal Letters**. No prelo.

Os demais artigos mencionados estão listados na versão on-line desta reportagem.