

Mais uma janela para o Universo

Detecção de ondas gravitacionais deverá gerar estudos sobre fenômenos altamente energéticos que emitem pouca ou nenhuma luz

Igor Zolnerkevic

No dia 14 setembro de 2015, os instrumentos do Observatório Interferométrico de Ondas Gravitacionais (Ligo), nos Estados Unidos, registraram pela primeira vez a passagem de ondas gravitacionais pela Terra. A observação comprovou a existência dessas deformações do próprio espaço, que Albert Einstein previu há 100 anos usando a sua Teoria da Relatividade Geral, de 1915. Os pesquisadores esperam a partir de agora aproveitar essas ondas para estudar fenômenos astrofísicos altamente energéticos que emitem pouca ou nenhuma luz, o que os torna quase impossíveis de serem observados, mesmo pelos mais potentes telescópios disponíveis.

“O que vem a seguir é realmente empolgante”, disse o físico David Reitze, diretor executivo do Ligo, no anúncio à imprensa da descoberta histórica.

“Como quando Galileu olhou para o céu com um telescópio pela primeira vez, em 1509, abrimos agora uma nova janela para o Universo.”

Após meses de análises e verificações, a equipe internacional de pesquisadores do Ligo concluiu que a origem das ondas teria sido um violento evento cósmico nunca antes registrado por um observatório astronômico: a colisão e a fusão de dois buracos negros ocorridas a 1,3 bilhão de anos-luz da Terra. De acordo com esses cálculos, publicados em 11 de fevereiro na *Physical Review Letters*, a fusão dos buracos negros teria liberado uma quantidade de energia equivalente à da aniquilação completa de três estrelas com a massa do Sol em menos de 0,2 segundo. O mais surpreendente é que, ao que parece, nada dessa energia foi liberada na forma de luz ou de partículas de matéria. O choque dos buracos negros gerou uma explosão invisível e sua ener-

gia espalhou-se pelo Universo na forma de ondas gravitacionais.

A um só tempo, o registro feito pelo Ligo representa a primeira evidência direta da existência de ondas gravitacionais e de buracos negros. Antes, só haviam sinais indiretos. “É uma confirmação espetacular de nossos cálculos feitos a partir da Teoria da Relatividade Geral”, afirmou o físico italiano Riccardo Sturani, do Instituto Sul-americano de Pesquisa Fundamental do Centro Internacional de Física Teórica (ICTP-SAIFR), que funciona em São Paulo em parceria com o Instituto de Física Teórica da Unesp.

Sturani faz parte da equipe de mais de mil pesquisadores de 15 países que colaboraram no desenvolvimento tecnológico do Ligo e na análise de seus dados. Ele é especialista em calcular as formas das ondas gravitacionais que resultam de colisões violentas entre corpos celestes densos e compactos, que



Buracos negros prestes a colidir emitem ondas gravitacionais, visíveis em cores falsas nesta simulação em computador

têm massas semelhantes à de estrelas gigantes concentradas em volumes com uns poucos quilômetros de diâmetro. Os astrofísicos só conhecem dois tipos de objetos assim: os buracos negros e as estrelas de nêutrons.

Criadas a partir da implosão do núcleo de uma estrela gigante, as estrelas de nêutrons concentram a massa de 1 a 3 sóis em uma esfera de 20 quilômetros de diâmetro. Os astrônomos observam rotineiramente a luz, as ondas de rádio e os raios X emitidos por estrelas de nêutrons, mas ainda não sabem muito sobre o seu interior. “No centro de uma estrela de

nêutrons existem pressões e densidades altíssimas, mais elevadas do que aquelas no interior do núcleo de um átomo”, explica Cecilia Chirenti, física teórica da Universidade Federal do ABC. Ela investiga como a forma das ondas gravitacionais emitidas por estrelas de nêutrons pode variar de acordo com a composição interna desses astros. “Não sabemos como a matéria se comporta nessas condições. Existem muitos modelos e as ondas gravitacionais podem ajudar a verificar qual representa melhor a realidade.”

Desde 1974 os astrônomos observam indiretamente ondas gravitacionais vin-

das de estrelas de nêutrons. Mas essas ondas têm amplitude e frequência baixas demais para serem detectadas pelo Ligo.

Assim como as estrelas de nêutrons, os buracos negros também podem ser criados pela implosão do núcleo de estrelas gigantes, de massa ainda mais elevada. Nesse caso, a implosão provoca o colapso total da matéria, que é transformada em energia gravitacional pura. No lugar do antigo núcleo estelar, surge uma superfície esférica no espaço vazio chamada de horizonte de eventos. Nada, nem mesmo a luz, escapa da força gravitacional dessa superfície – daí a origem do nome, buraco negro.

Assim como os buracos negros, as ondas gravitacionais são algumas das previsões mais famosas da Teoria Relativida-de Geral de Einstein. Ele a formulou em 1915 para explicar a gravitação com base em sua Teoria da Relatividade Restrita, de 1905. Segundo a Relatividade Geral, a gravidade não é uma força de atração que atua instantaneamente entre dois corpos, como havia proposto dois séculos antes o físico e matemático inglês Isaac Newton. A Teoria da Relatividade Restrita proíbe a existência de forças instantâneas, porque, de acordo com ela, nada pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz. Para corrigir esse detalhe da teoria de Newton, Einstein teve de reinterpretar a ideia de gravitação, que deixa de ser vista como uma força e passa a ser entendida como uma deformação na geometria do espaço provocada pela massa dos corpos.

É mais fácil entender o que acontece quando se imagina uma bala de canhão colocada no centro de uma cama elástica. A bala esgarça a trama e afunda. Se alguém jogar uma bola de bilhar tangencialmente à bala de canhão, verá que a bola menor não percorre uma linha reta. Ela passará, a partir de certo ponto, a descrever círculos ao redor da bala, algo semelhante ao que a Terra faz em sua órbita em torno do Sol.

A fonte das deformações no espaço é a presença de uma grande massa como a do Sol ou da Terra. Einstein percebeu que, em certas circunstâncias, um corpo em movimento acelerado também poderia causar deformações passageiras no espaço, que se propagariam na forma de

Sinal de uma colisão cósmica invisível

Ondas gravitacionais geradas em galáxia distante viajaram 1,3 bilhão de anos-luz até chegar à Terra



COLISÃO DE BURACOS NEGROS

Em uma galáxia muito distante e ainda desconhecida, dois buracos negros emitem ondas gravitacionais enquanto espiralam um ao redor do outro até colidirem e se fundirem, formando um novo buraco negro

FONTE: LIGO SCIENTIFIC COLLABORATION

ondas viajando à velocidade da luz. Na prática, essas ondulações seriam percebidas como uma força passageira que deforma os objetos que encontra em seu caminho (*ver infográfico acima*). Einstein notou ainda que, em geral, a deformação (amplitude) dessas ondas seria pequena demais para ser detectada.

A partir dos anos 1960, percebeu-se que talvez fosse possível medir as ondas. Logo ficou claro que a maioria das fontes de ondas gravitacionais estaria a centenas de milhões de anos-luz de dis-

tância. Quando elas chegassem à Terra, estariam tão diluídas que provocariam deslocamentos ínfimos.

Mesmo assim, grupos de pesquisadores em diversos países se aventuraram a construir detectores de ondas gravitacionais. Por ora, o Ligo é o maior e o mais sensível deles. O projeto foi concebido em 1982 e a construção terminou quase 20 anos mais tarde. Em 2010, uma reforma aumentou em três vezes a sua sensibilidade. Ao ser religado em setembro de 2015 os instrumentos detectaram ondas gravitacionais já nos primeiros dias de operação.

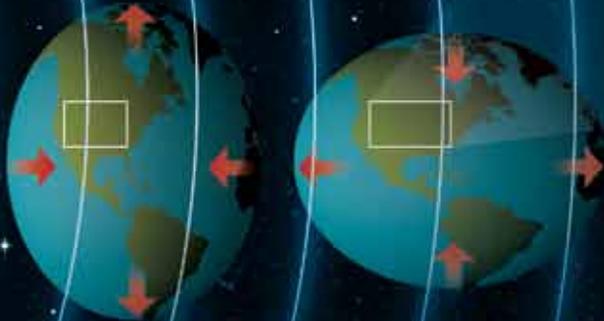
O Ligo possui dois detectores gêmeos, um na cidade de Hanford, no estado de Washington, e o outro a 3 mil quilômetros dali, em Livingston, na Louisiana. Os prédios dos detectores têm a forma de "L", com cada braço medindo 4 quilômetros. Um sistema de lasers e espelhos monitora alterações ínfimas no comprimento de cada braço. Os detectores captam uma quantidade imensa de ruído, como o provocado pelo trânsito de aviões



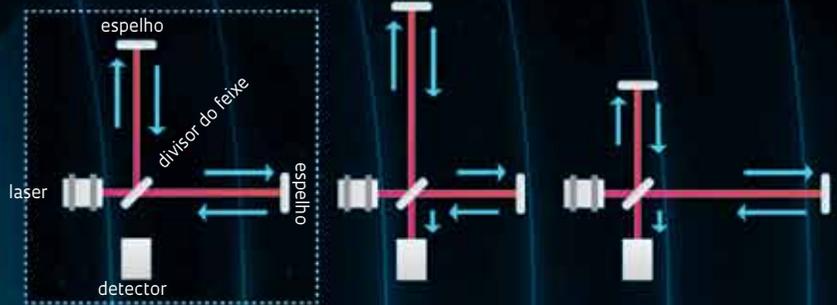
Os braços em forma de "L" de um dos observatórios gêmeos do Ligo, em Hanford, Washington, Estados Unidos

TERRA DISTORCIDA

Ao atravessarem a Terra, as ondas gravitacionais deformam o planeta, ora esticando em uma direção, ora comprimindo em outra



DETECTOR LIGO



O Ligo usa lasers e espelhos para monitorar variações minúsculas no tamanho de seus dois braços perpendiculares

Ondas gravitacionais primeiro esticam um dos braços enquanto encolhem o outro

Em seguida, as ondas fazem o contrário, comprimem o braço que esticaram anteriormente e vice-versa

ONDA DETECTADA

Mudanças na amplitude e na frequência do estica e puxa das ondas revelam detalhes do movimento dos buracos negros



e automóveis ou por ondas sísmicas. Em meio a todas essas interferências, computadores vasculham as variações de tamanho que apenas as ondas gravitacionais seriam capazes de provocar simultaneamente nos detectores gêmeos.

“A busca é feita comparando os dados dos detectores com sinais simulados por computador”, explica o físico César Augusto Costa, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Costa pertence ao grupo brasileiro liderado pelo físico Odylio Aguiar, do Inpe, que integra a colaboração internacional do Ligo. A equipe de Aguiar colabora com a pesquisa para eliminar os ruídos e aperfeiçoar os detectores do Ligo, cuja sensibilidade deve aumentar 10 vezes em relação à inicial nos próximos anos.

ESTRANHO CASAL

O Ligo funcionou de setembro de 2015 a janeiro de 2016, mas só os dados coletados nas duas primeiras semanas foram analisados. De acordo com Sturani, a avaliação completa do que foi observado nos quatro meses de medições deve ser publicada em breve. Outro observatório de ondas gravitacionais, o Virgo, situado na Itália, deve começar a funcionar até o final deste ano. O primeiro sinal registrado pelo Ligo é incomum o suficiente para ocupar por meses os astro-

físicos. Essas ondas foram geradas pela colisão de dois buracos com massas 36 e 29 vezes maior que a massa solar. “Eles têm massa elevada demais para buracos negros formados a partir de um colapso estelar”, diz o astrofísico Rodrigo Nemmen, da Universidade de São Paulo. “Acreditávamos que eventos de colisão entre dois buracos negros dessa massa seriam raros.”

Quando o Ligo detectou as primeiras ondas gravitacionais, os pesquisadores calcularam que a fonte delas estaria em uma faixa do hemisfério sul celeste e, sigilosamente, alertaram observatórios ao redor do mundo para buscar algo estranho no céu. A câmera do projeto Dark Energy Survey (DES), montada em um telescópio em Cerro Tololo, no Chile, vasculhou o céu durante três semanas sem encontrar nenhum sinal de luz emitida.

Naquele momento não estava clara qual era a fonte das ondas detectadas, lembra a física brasileira Marcelle Soares-Santos, do Fermilab, nos Estados Unidos, que coordenou a análise das observações do DES. “Pode haver emissão de luz visível na colisão de um par formado por um buraco negro e uma estrela de nêutrons ou duas estrelas de nêutrons”, ela explica. “Pares de buracos negros são mais raros do que os sistemas com estrelas de nêutrons, por isso no fu-

turo esperamos registrar muitos eventos que o DES e outros projetos poderão observar.” Outro observatório, porém, o telescópio espacial Fermi, da Nasa, registrou um brilho fraco de raios gama 0,4 segundo depois de o Ligo detectar a primeira onda gravitacional. “É possível que essa emissão tenha sido produzida na fusão dos buracos negros, o que seria extremamente inesperado”, diz Nemmen. “Mas, provavelmente, foi apenas uma coincidência temporal e a radiação gama veio de outro lugar.” ■

Projetos

1. Pesquisa em ondas gravitacionais (nº 2013/04538-5); Modalidade Programa Jovens Pesquisadores; Pesquisador responsável Riccardo Sturani (IFT-Unesp); Investimento R\$ 256.541,00.
2. Gravitational wave astronomy – FAPESP-MIT (nº 2014/50727-7); Modalidade Auxílio à Pesquisa – Regular; Pesquisador responsável Riccardo Sturani (IFT-Unesp); Investimento R\$ 29.715,00.
3. Nova física no espaço: ondas gravitacionais (nº 2006/56041-3); Modalidade Projeto Temático; Pesquisador responsável Odylio Denys de Aguiar (Inpe); Investimento R\$ 1.019.874,01.
4. Astrofísica relativística e ondas gravitacionais (nº 2015/20433-4); Modalidade Auxílio à Pesquisa – Regular; Pesquisador responsável Cecilia Chirenti (UFABC); Investimento R\$ 56.109,48.

Artigo científico

ABBOTT, B. P. *et al.* Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Physical Review Letters*. 11 fev. 2016.