

A DETECÇÃO DIRETA DE ONDAS GRAVITACIONAIS PREVISTAS NA TEORIA GERAL DA RELATIVIDADE

Autores: RAFAELA DE KÁSSIA RODRIGUES E SILVA, FLAVIO GABRIEL BARBOSA MENDES, THAÍS MUNIZ MELO

Introdução

A teoria geral da relatividade, publicada pelo célebre físico alemão Albert Einstein em 1916 previa, dentre outros fenômenos astrofísicos, a existência de ondas que se propagavam pelo Universo na velocidade da luz a partir da concentração de massa ou energia - as ondas gravitacionais.

Na época em que publicou a teoria da relatividade, Einstein acreditava que a detecção das ondas gravitacionais não era possível devido às dificuldades tecnológicas dos aparelhos de observação, mas em 2016 o *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (LIGO) divulgou que detectou com êxito as ondas gravitacionais provenientes de um sistema binário de buracos-negros em fusão.

A detecção das ondas gravitacionais foi uma grande descoberta científica da atualidade, o que conferiu o Prêmio Nobel de Física em 2017 aos cientistas envolvidos, pois comprovou o que antes se encontrava apenas como teoria que os cientistas buscavam incessantemente visualizar de modo direto. Consequentemente, essa nova descoberta também abriu margem para o desenvolvimento de uma nova astronomia, a astronomia de ondas gravitacionais (MILLER, 2016).

O presente trabalho visa apresentar de modo didático a previsão das ondas gravitacionais na teoria geral da relatividade e como se realizou a primeira detecção direta desse fenômeno, que também comprovou a existência dos buracos-negros binários de massa estelar em fusão.

Material e métodos

O presente resumo foi elaborado tendo-se como base a literatura disponível acerca das ondas gravitacionais e da teoria geral da relatividade. Dentre a bibliografia selecionada para elaboração deste trabalho, encontra-se artigos que tenham como tema central a teoria geral da relatividade e a detecção direta de ondas gravitacionais e que estão publicados em renomadas revistas científicas.

A partir dos trabalhos selecionados para constituição de referencial teórico, desenvolveu-se a análise dos resultados obtidos nesses artigos, tendo em vista a apresentação daqueles de modo didático e coerente.

Resultados e discussão

A. A Teoria Geral da Relatividade e as ondas gravitacionais

A Teoria Geral da Relatividade, publicada por Einstein em 1916, revolucionou o conceito de gravidade ao apresentar que as consequências da ação gravitacional se devem à curvatura do espaço-tempo, pois ao contrário da teoria de Newton sobre a gravidade, os objetos não são empurrados pelas forças gravitacionais, mas se deslocam devido às curvaturas do espaço-tempo na vizinhança (BARISH, 2002). Essas curvaturas decorrem da concentração de massa (ou energia), que deformam o espaço-tempo e causam mudanças na posição ou na forma dos objetos envolvidos. Como consequência dessas mudanças tem-se, então, uma distorção do espaço-tempo que se propaga na velocidade da luz através do Universo, ou seja, origina as ondas gravitacionais (BARISH, 1999).

A percepção das ondas gravitacionais no âmbito teórico se deu através da análise das equações de campo-fraco linearizado presentes na teoria geral da relatividade, pois estas equações oferecem soluções de onda (ABBOTT et al., 2016). O próprio Albert Einstein, porém, na época da publicação da teoria geral da relatividade, chegou à conclusão de que as ondas gravitacionais provenientes de qualquer fonte imaginável eram tão fracas que, considerando-se a tecnologia da época, não se poderia detectá-las (MILLER, 2016).

B. A detecção das ondas gravitacionais

Em 2016, os cientistas do LIGO *Scientific Collaboration and Virgo Collaboration* anunciaram a detecção das ondas gravitacionais previstas na Teoria Geral da Relatividade em um sistema binário de buracos-negros em fusão. Para observação desse fenômeno, foram usados dois detectores do LIGO (Interferômetro de Laser do Observatório de Onda Gravitacional), que observaram simultaneamente entre setembro e outubro de 2015 sinais de ondas gravitacionais transitórias. Os sinais varrem as frequências de 35 a 250Hz, com uma tensão de pico de onda gravitacional de $1,0 \times 10^{-21}$, o que se encontra de acordo com o previsto pela teoria geral da relatividade para um par de buracos-negros em fusão espiral e para o anel do buraco-negro resultante (ABBOTT et al., 2016).



As observações feitas pelo LIGO, além de marcar a primeira vez em que as ondas gravitacionais foram detectadas diretamente, ainda demonstram a existência dos sistemas binários de buracos-negros de massa estelar em fusão e constam como a primeira vez em que foram observados, (ABBOTT et al., 2016).

Na Fig. 1 pode-se visualizar um esquema representativo de como o LIGO detectou com êxito as ondas gravitacionais em um buraco-negro binário em fusão.

C. Os detectores de ondas gravitacionais do LIGO

Os detectores do LIGO utilizados para detecção das ondas gravitacionais se tratam de uma versão modificada do interferômetro de Michelson, que passou por muitos melhoramentos a fim conferir maior sensibilidade ao medir as ondas gravitacionais. A tensão de onda gravitacional é mensurada como uma diferença no comprimento dos braços ortogonais dos detectores, sendo que cada braço possui dois espelhos atuantes como massas de teste. (ABBOTT et al., 2016)

Considerações finais

A detecção de ondas gravitacionais pelos cientistas do LIGO *Scientific Collaboration and Virgo Collaboration* se mostra uma descoberta científica de grande importância para a Astronomia e Astrofísica, já que comprova a existência de fenômenos previstos desde a teoria da relatividade geral de Albert Einstein, mas que nunca haviam sido visualizados diretamente. Além de comprovar a existência das ondas gravitacionais, as observações do LIGO ainda comprovam a existência dos sistemas binários de buracos-negros massivos estelares, já que esta foi a primeira vez em que se observou tais objetos.

Antes da detecção das ondas gravitacionais, os cientistas contavam com apenas três tipos de mensagens espaciais além do Sistema Solar, sendo estas os neutrinos, os fótons e os raios cósmicos de alta energia, agora tem-se também as ondas gravitacionais, que constituem o único modo de visualização de alguns dos fenômenos mais violentos recorrentes no Universo, como a fusão dos sistemas binários de buracos-negros massivos estelares (MILLER, 2016).

Os resultados obtidos pelo LIGO na detecção das ondas gravitacionais também se mostram encorajadores para o desenvolvimento da tecnologia dos observatórios espaciais, ampliando as pesquisas no âmbito da astronomia de ondas espaciais em laboratório de todo o mundo, além de marcar o nascimento da astronomia de ondas gravitacionais (MILLER, 2016).

Referências bibliográficas

ABBOTT B. P. et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. **Physical Review Letters**, v. 116, n. 6, fev. 2016. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.116.061102>. Acessado em 28 Set. 2017.

BARISH, B. C. **The detection of gravitational waves with LIGO**. 1999. Disponível em: <http://www.dpf99.library.ucla.edu/session14/barish1412.pdf>. Acessado em 28 Set. 2017.

BARISH, B. C. The Science detection of gravitational waves. **Brazilian Journal of Physics**, v. 32, n. 4, dez. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjp/v32n4/a03v32n4.pdf>. Acessado em 29 Set. 2017.

MILLER, M. C. Dawn of a new astronomy. **Nature**, v. 531, fev. 2016. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v531/n7592/full/nature17306.html?foxtrotcallback=true>. Acessado em 29 Set. 2017.

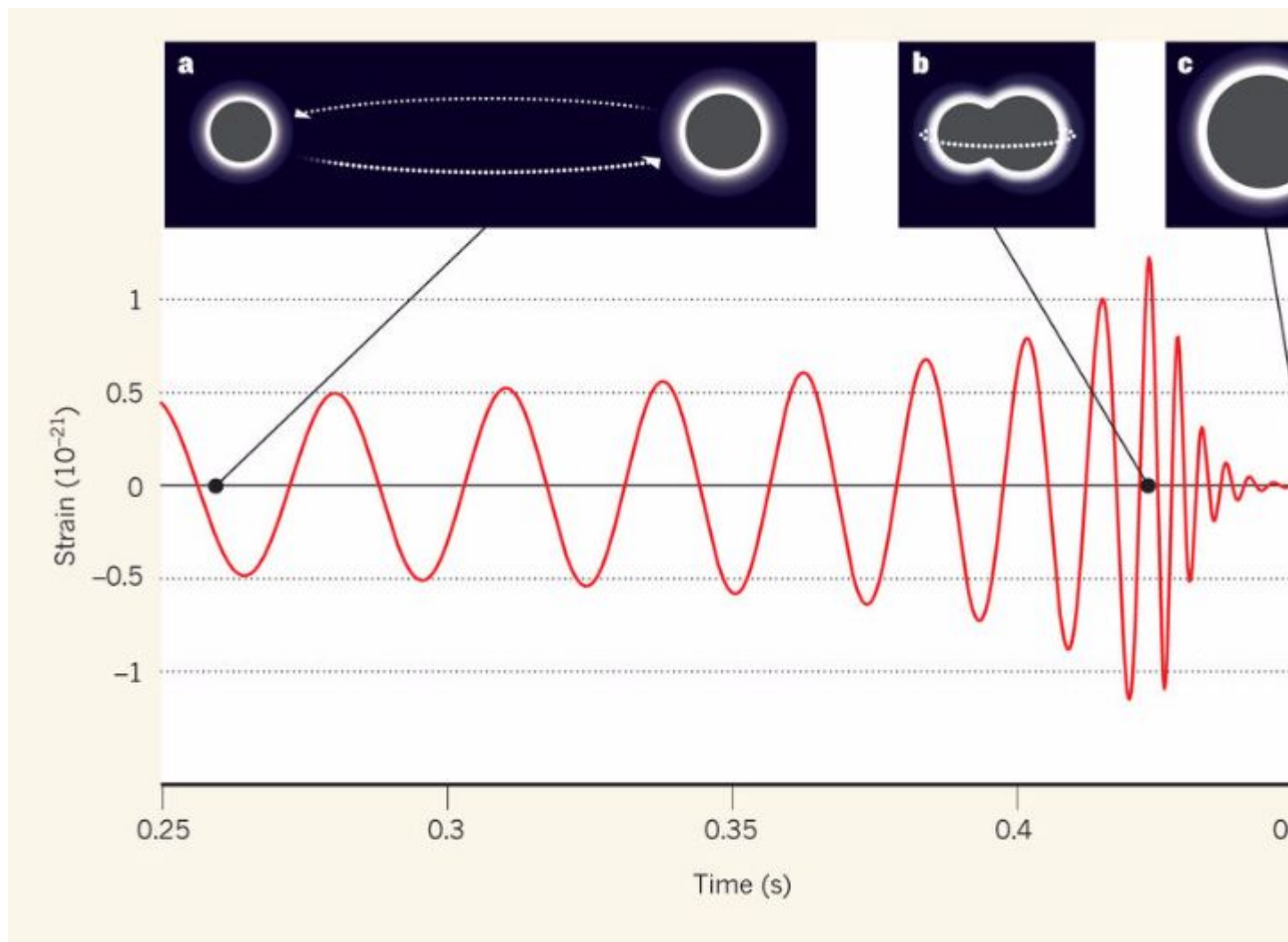


Figura 1. Detecção de ondas gravitacionais em um sistema binário de buracos-negros de massa estelar em fusão. FIG. 1A: Detecção da primeira onda, de cerca de 35Hz, quando os buracos-negros se encontravam em espiral. Fig. 1B: Aumento da frequência de onda observado quando os buracos-negros começaram a se fundir. Fig. 1C: Dissipação da onda conforme os buracos-negros entravam na configuração final. FONTE: Miller, 2016.