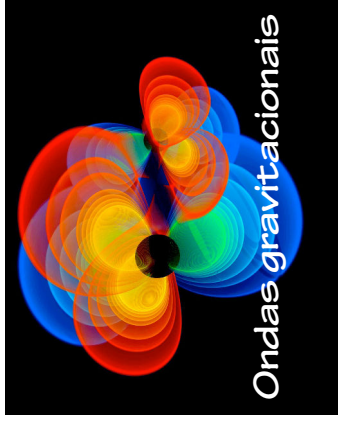
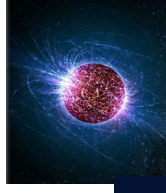


Laura Bernard e
Alexandre Le Tiec
Observatório de Paris



O Universo no meu bolso

Resposta no verso



Qual destes
objetos não emite
ondas
gravitacionais?



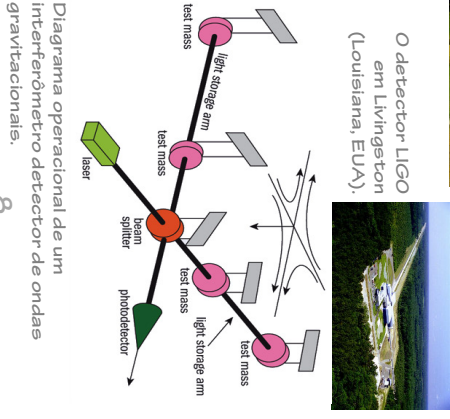
Quiz

Detectores atuais

Os detectores de ondas gravitacionais existentes baseiam-se no princípio da **interferometria óptica**: eles medem pequenas variações no comprimento sobrepondo a luz do laser sobre si mesma.

Eles consistem em dois braços perpendiculares, cada um com cerca de um quilómetro de comprimento, através dos quais a luz viaja. Quando uma onda gravitacional passa por eles, a diferença de comprimento entre os dois braços varia ligeiramente. Essa variação é da ordem de um milésimo do tamanho de um núcleo atómico, ou 0,0000000000000000001 metros.

- Quatro detectores estão em operação:
- Os dois instrumentos **LIGO** nos Estados Unidos (em Livingston e Hanford);
- O observatório Franco-Italiano **Virgo**, próximo a Pisa, na Itália;
- O detector **KAGRA** no Japão.

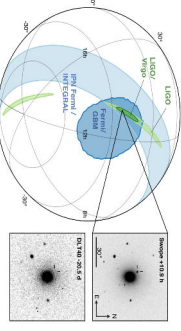


8

13

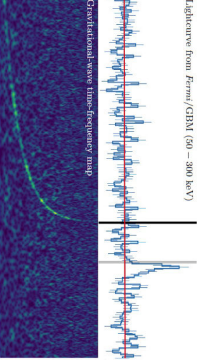
Astronomia multimessenger

Em agosto de 2017, a coalescência de duas estrelas de nêutrons foi observada pela primeira vez. Quase simultaneamente, o **LIGO** e o **Virgo** mediram o sinal de onda gravitacional emitido enquanto os dois corpos compactos giravam em espiral, e o satélite **FERMI** detectou a explosão de raios gama (veja o TUIMP n° 9) resultante de sua fusão. Nos dias seguintes, vários telescópios observaram as várias contrapartidas eletromagnéticas (visível, infravermelho, rádio, etc.) desse evento. Essa observação histórica inaugurou o que é conhecido como astronomia **multimessenger**, com a detecção não apenas de ondas eletromagnéticas, mas também de ondas gravitacionais e partículas de alta energia. Ela levou a várias descobertas, confirmando a propagação de ondas gravitacionais na velocidade da luz, a suspeita da ligação entre explosões curtas de raios gama e a coalescência de estrelas de nêutrons e o mecanismo de síntese do ouro.



O sinal de raios gama observado pelo **FERMI** e a posição da fonte prevista pelo **LIGO-Virgo** (em verde) [Créditos: LIGO-Virgo, **FERMI**].

Laboratório from Fermi/GBM (90–300 keV)

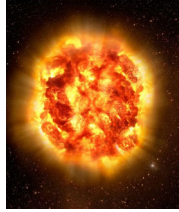


Sinal da fusão de duas estrelas de nêutrons: em cima, raios gama; embaixo, o aumento na frequência da onda gravitacional [Créditos: LIGO-Virgo, **FERMI**].

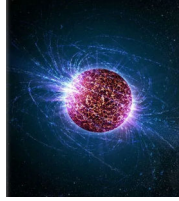
12

4

Visão artística de uma supernova Tipo Ia [Crédito: ESO].



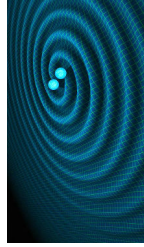
Visão artística de uma estrela de nêutrons isolada [Crédito: NASA].



Representação de um par de estrelas de nêutrons [Crédito: ESO].



Representação de um par de estrelas de nêutrons [Crédito: R. Hurt/Caltech-JPL].



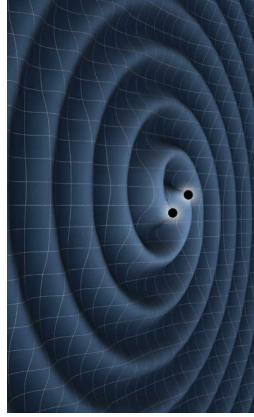
Fontes locais

As principais fontes de ondas gravitacionais são estrelas massivas e compactas (veja o TUIMP N.º 9), como buracos negros, estrelas de nêutrons e anãs brancas, individualmente ou em pares. As seguintes fontes localizadas podem ser distinguidas:

- **Sistemas binários de objetos compactos**, como buracos negros em espiral e em fusão ou estrelas de nêutrons, tanto galácticos quanto extragalácticos;
- **Estrelas anãs brancas binárias** na Via Láctea;
- **Estrelas de nêutrons isoladas**, ligeiramente assimétricas e em rotação na vizinhança galáctica;
- **Explosão de estrelas massivas** (supernovas) na nossa galáxia, levando à formação de estrelas de nêutrons ou buracos negros.

5

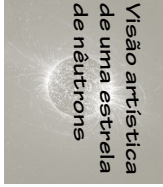
[Crédito: NASA]



Uma representação artística de dois buracos negros orbitando um ao outro sob o efeito de sua atração gravitacional mútua. Seu movimento orbital gera ondas gravitacionais.

Representação de um sistema binário de buracos negros M71 para Física Gravitacional/ Instituto de Física Teórica, Frankfurt/ Instituto Zuse, Berlin

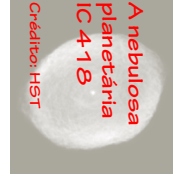
A Nebulosa do Caranguejo, um remanescente de supernova. Crédito: HST



Visão artística de uma estrela de nêutrons

Todos esses objetos são (ou foram) fontes de ondas exceção da nebulosa planetária.

Resposta



Tradução: Maria Eduarda Ramos
TUIMP Creative Commons



Para saber mais sobre essa coleção e os temas acesse <http://www.tuimp.org>

Imagem da capa: Simulação numérica de um par de buracos negros e visualização das ondas gravitacionais geradas quando eles se fundem [Crédito: Michael Koppitz/Instituto Albert Einstein].

O Universo no meu bolso Nº 18

Esse minilivro foi escrito por Laura Bernard e Alexandre Le Tiec, do Observatório de Paris (França).

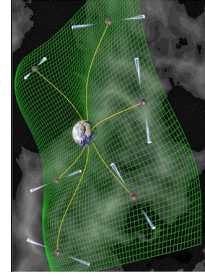
O que elas são?

Ondas gravitacionais são **pequenas vibrações na estrutura do espaço-tempo** que se propagam na velocidade da luz. Elas são ondas transversais, o que significa que o deslocamento no espaço-tempo é perpendicular à direção de propagação.

Elas foram previstas pela **relatividade geral**, a teoria da gravitação formulada por Albert Einstein em 1915.

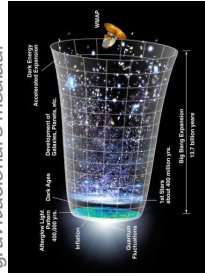
A primeira evidência indireta de sua existência foi a observação por Hulse e Taylor, em 1974, de seu efeito sobre o período orbital de um par de estrelas de nêutrons.

A primeira **deteção instrumental** de uma onda gravitacional ocorreu em 2015 usando os detectores **LIGO**. Essa onda gravitacional veio da coalescência de dois buracos negros com cerca de trinta massas solares cada.



[Crédito: D. J. Champion]

Representação de uma matriz de pulsares. Cada linha de visão de um pulsar atua como um braço do interferômetro no qual a passagem de uma onda gravitacional é medida.



[Crédito: NASA]

Representação da expansão do Universo desde o período de inflação até os dias atuais.

Futuros detectores de ondas gravitacionais

Segundo dos detectores existentes, a União Europeia planeja construir o **Einstein Telescope**, um novo observatório de ondas gravitacionais. Ele terá uma configuração triangular, maior isolamento de vibração, pois será colocado no subsolo, e tecnologia de resfriamento criogênico para os espelhos.

A Agência Espacial Europeia está desenvolvendo o **LISA**, um detector de ondas gravitacionais no espaço, para eliminar distúrbios terrestres, como o ruído sísmico. Ele será composto por três satélites separados por vários milhares de quilômetros, o que permitirá observar fontes particularmente massivas e complementares àquelas vistas da Terra.

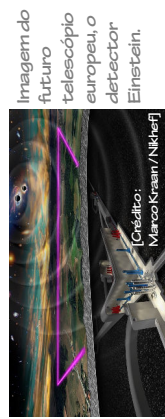
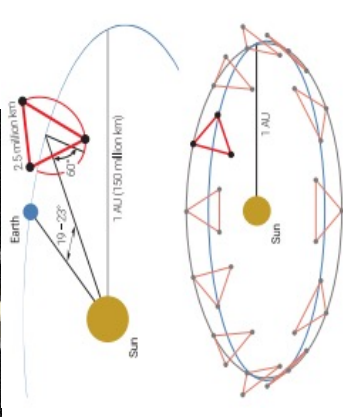


Imagem do futuro telescópio europeu, o detector Einstein.



O futuro detector espacial LISA. Os três satélites em configuração triangular seguem a órbita da Terra.