

O Universo no meu bolso

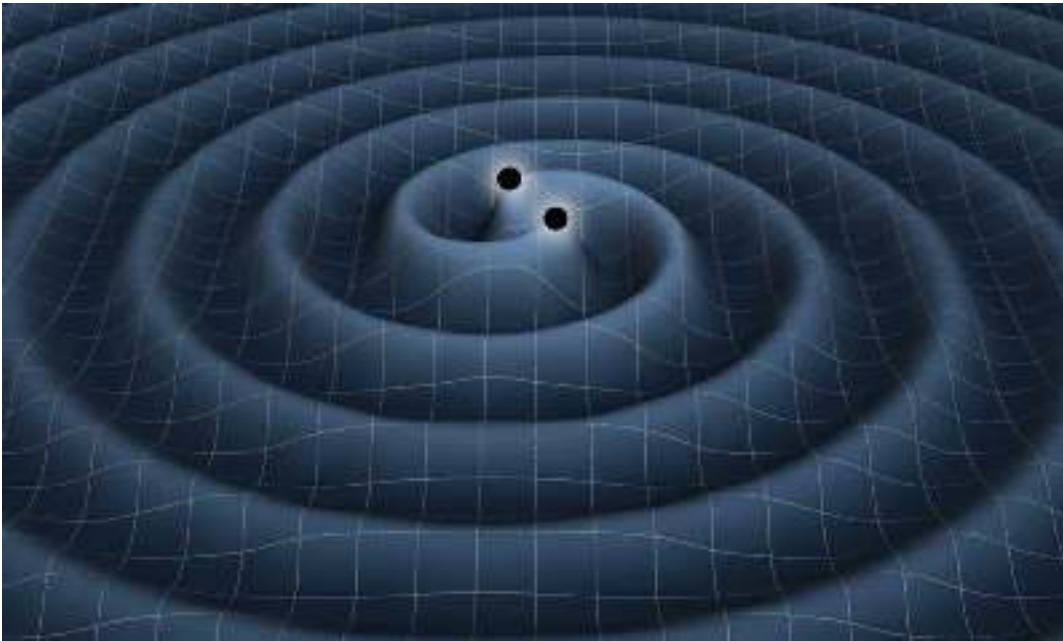


Ondas gravitacionais



Laura Bernard e
Alexandre Le Tiec
Observatório de Paris

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.



[Crédito: NASA]

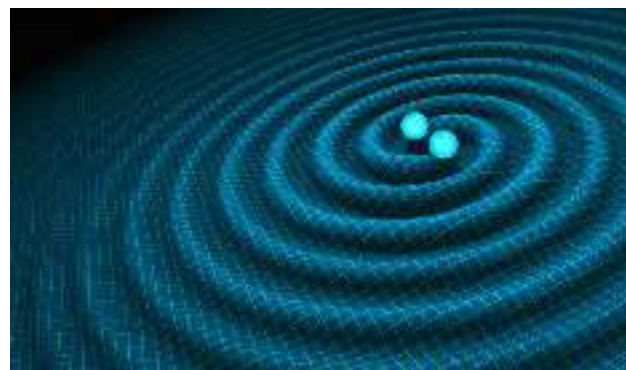
O que elas são?

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.



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

Representação
artística de um
par de estrelas
anãs brancas
[Crédito: ESO].



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



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

Fontes locais

As principais fontes de ondas gravitacionais são estrelas massivas e compactas (veja o TUIMP No. 9), como buracos negros, estrelas de nêutrons e anãs brancas, individualmente ou em pares. As seguintes fontes localizadas podem ser distinguidas:

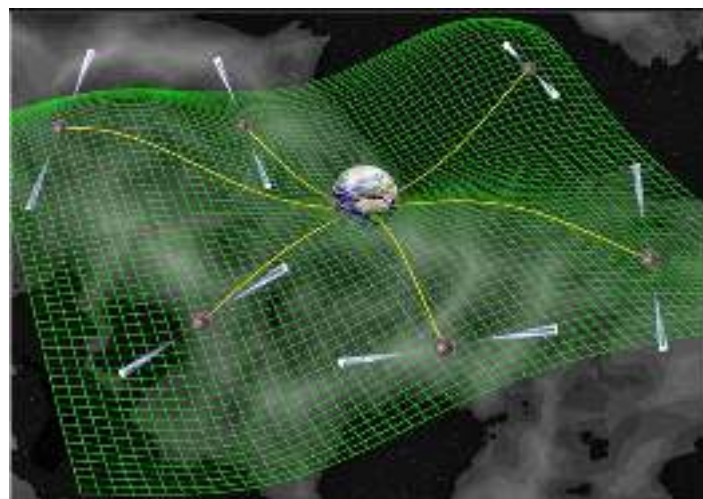
- **Sistemas binários de objetos compactos**, como buracos negros em espiral e em fusão ou estrelas de nêutrons, tanto galácticos quanto extragalácticos;
- **Estrelas anãs brancas binárias** na Via Láctea;
- **Estrelas de nêutrons isoladas**, ligeiramente assimétricas e em rotação na vizinhança galáctica;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

Fontes difusas

Quando as ondas gravitacionais geradas por um número muito grande de fontes localizadas são sobrepostas, elas não podem mais ser distinguidas umas das outras. O resultado é um **fundo astrofísico estocástico**.

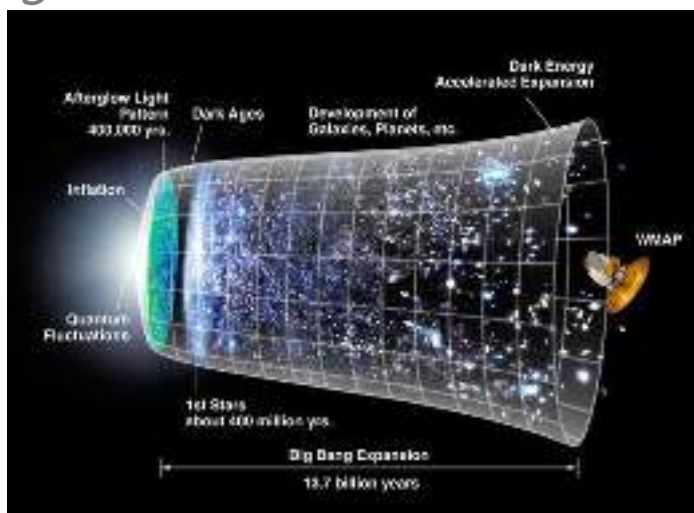
Além disso, vários fenômenos físicos mais especulativos produzidos logo após o Big Bang (veja o TUIMP nº 12) podem gerar um **fundo cosmológico estocástico**. Esses fenômenos incluem:

- **Cordas cósmicas** resultantes de uma súbita mudança de estado na energia e no conteúdo material do Universo primordial;
- **Buracos negros primordiais**, que acredita-se que foram formados como resultado de grandes flutuações na densidade de energia do Universo primitivo;
- **Inflação**, um período de rápida expansão cósmica que ocorreu uma fração de segundo após o Big Bang.



[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.



O detector Virgo
em Cascina,
próximo a Pisa
(Itália).



O detector LIGO
em Livingston
(Louisiana, EUA).

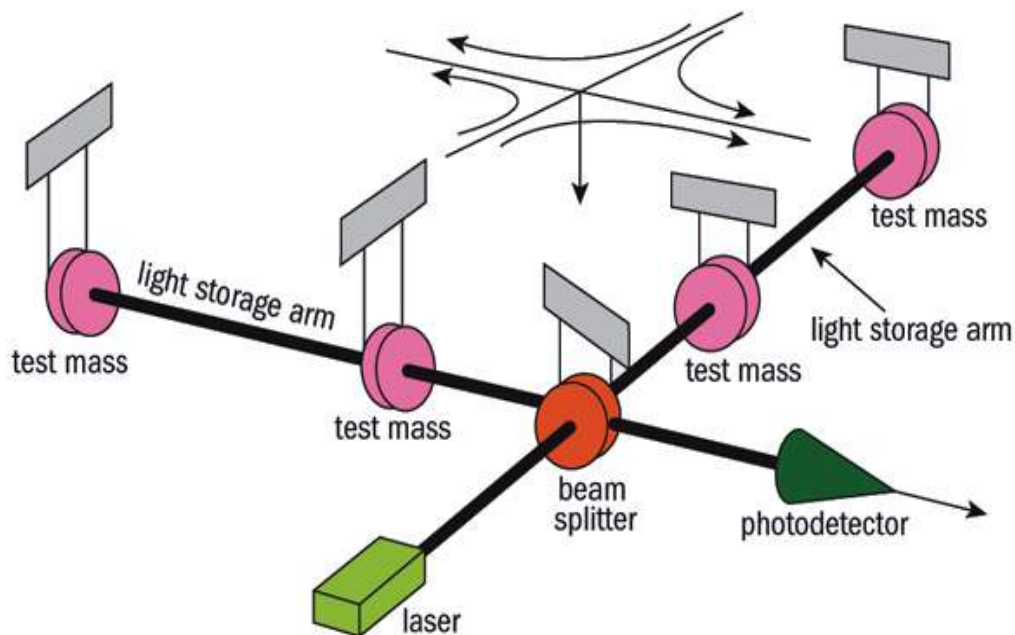


Diagrama operacional de um interferômetro detector de ondas gravitacionais.

Detectors 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.

[illegible]

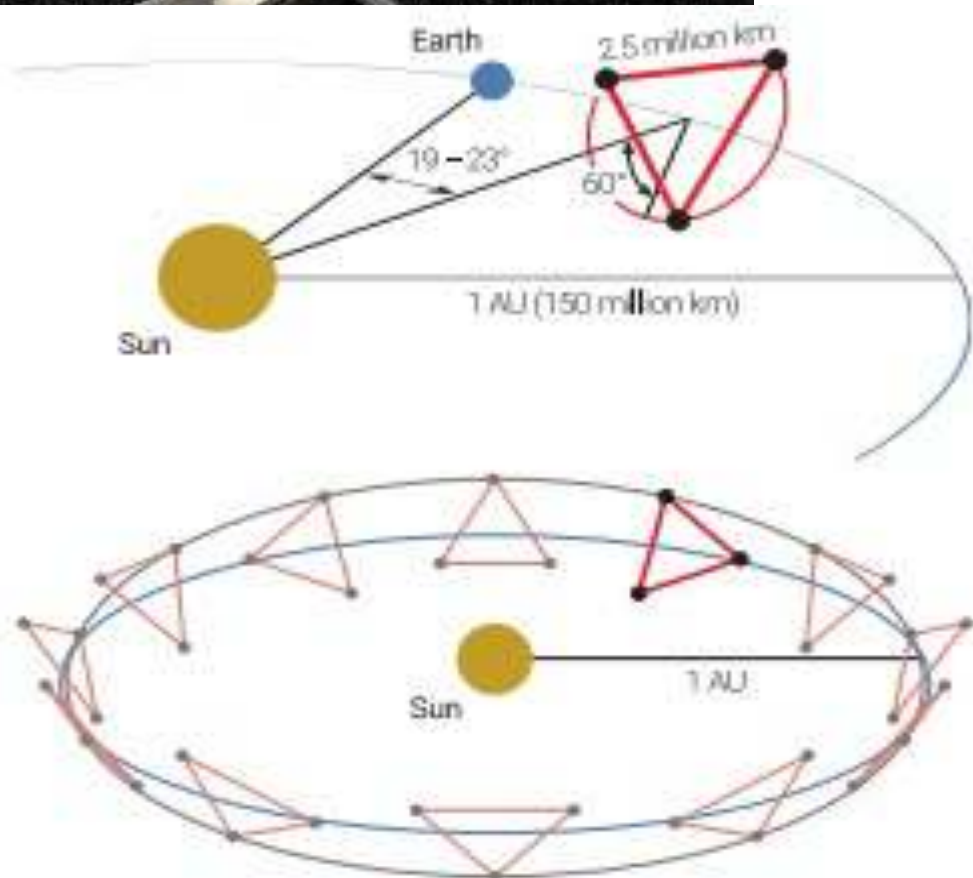
Quatro detectores estão em operação:

- 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.



[Crédito:
Marco Kraan / Nikhef]

Imagem do futuro telescópio europeu, o detector Einstein.



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

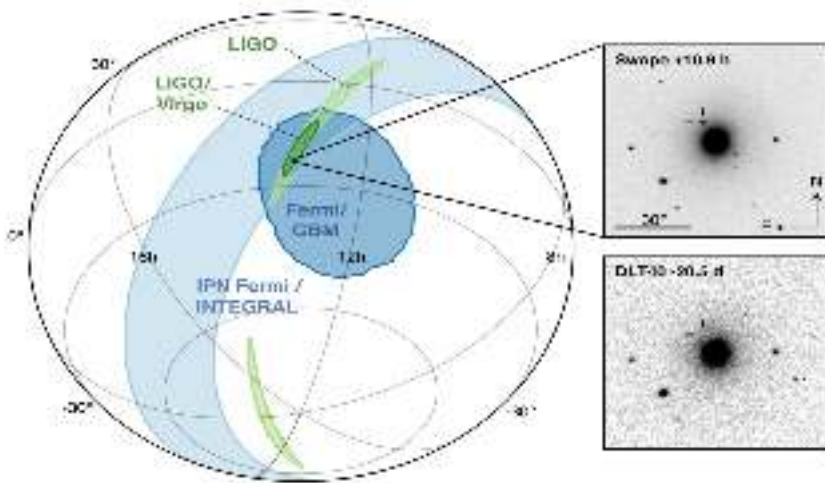
Futuros detectores de ondas gravitacionais

Seguindo 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.

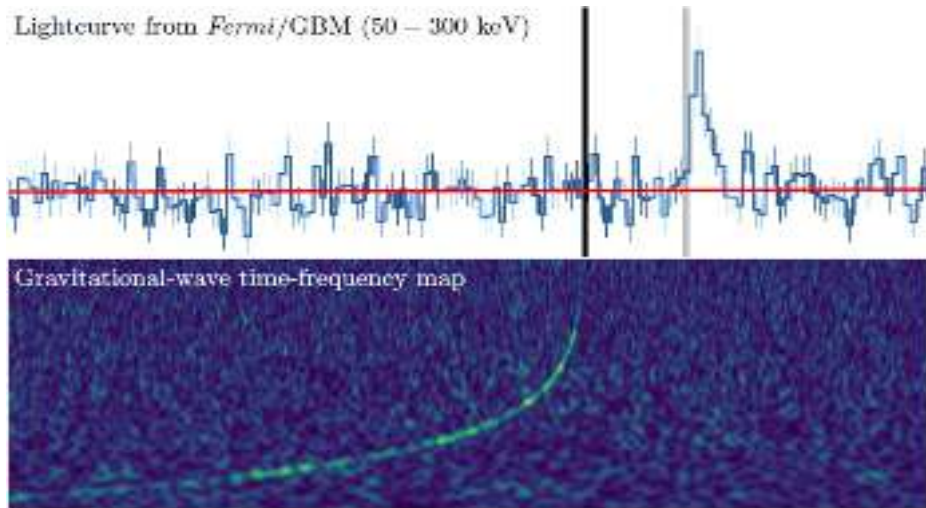
A Agência Espacial Europeia está desenvolvendo o **LISA**, um detector de ondas gravitacionais no espaço, para eliminar distúrbios terrestres, como o ruído sísmico. Ele será composto por três satélites separados por vários milhões de quilômetros, o que permitirá observar fontes particularmente massivas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

Astronomia multimessageira

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** nº 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 **multimessageira**, 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].



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



A nebulosa
planetária
IC 418

Crédito: HST



Impressão
artística de
uma supernova

Quiz

Qual destes
objetos não emite
ondas
gravitacionais?



A Nebulosa do
Caranguejo, um
remanescente
de supernova.

Crédito: HST

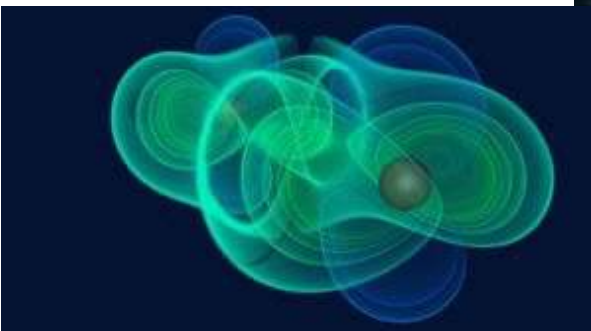
Todos esses objetos
são (ou foram)
fontes de ondas
gravitacionais, com
exceção da nebulosa
planetária.

Visão artística
de uma estrela
de nêutrons

Representação de
um sistema binário
de buracos negros

MPI para Física Gravitacional /
Instituto de Física Teórica,
Frankfurt / Instituto Zuse, Berlim

Resposta no verso



O Universo no meu bolso Nº 18

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

Nº 1

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].



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

Tradução: Maria Eduarda Ramos
TUIMP Creative Commons

