

A Ciência das Ondas Gravitacionais

Fontes de Ondas Gravitacionais



© NASA

Estrela de nêutrons:

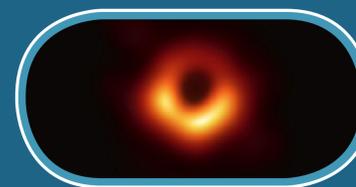
As estrelas de nêutrons são remanescentes de explosões de supernovas, com massas próximas a 1,4 vezes a massa do Sol e raios de cerca de 10 km. Uma estrela de nêutrons típica é cem bilhões de vezes mais densa que a água e gira cerca de 10 vezes por segundo. Qualquer desvio da simetria esférica, mesmo rugas tão pequenas quanto alguns centímetros na superfície da estrela, pode produzir ondas gravitacionais que são emitidas com o dobro da frequência de rotação da estrela. Algumas estrelas de nêutrons emitem luz a partir de suas regiões polares e sua rotação pode irradiar essa luz em direção à Terra em intervalos regulares. Essas estrelas são chamadas de “pulsares” e esperamos que a sua emissão (tanto eletromagnética como gravitacional) seja muito duradoura; durando até milhões de anos.



© ESA

Supernova:

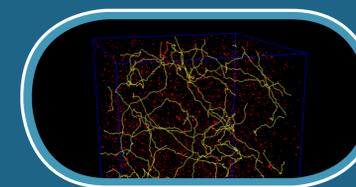
Quando estrelas com massa superior a 8 massas solares esgotam o seu combustível nuclear, tornam-se instáveis e finalmente sofrem um colapso gravitacional extremamente rápido, com uma emissão simultânea e poderosa de neutrinos, que leva embora grande parte da energia da estrela. O colapso produz ondas de choque que arrancam as camadas externas da estrela e as empurram para o espaço sideral a uma velocidade muito alta. Este é um fenômeno muito energético com uma luminosidade 5 bilhões de vezes maior que a do Sol. Novamente, se a explosão não tiver simetria esférica, poderá gerar ondas gravitacionais.



© Event Horizon Telescope

Buracos Negros:

Um buraco negro é um corpo celeste com um campo gravitacional tão intenso que nem mesmo a luz consegue escapar dele. É por isso que esses objetos não emitem luz e parecem totalmente negros. Existem diferentes tipos de buracos negros, como aqueles com massa semelhante a uma estrela, que são o estágio terminal de estrelas massivas e geralmente seguem um estágio de estrela de nêutrons. No seu núcleo, muitas galáxias escondem buracos negros supermassivos com massas que podem atingir milhões ou mesmo bilhões de massas solares. As ondas gravitacionais detectadas pelo LIGO e pelo Virgo revelaram a existência de buracos negros com dezenas de massas solares, cuja existência era anteriormente apenas conjectura.



© Cambridge Cosmology, C.Martins & E. P. Shellar

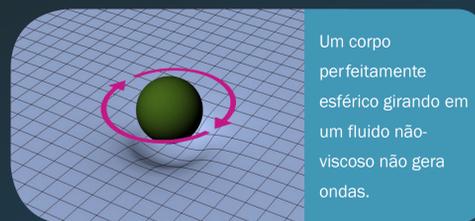
Fontes Exóticas:

A astronomia gravitacional é uma ferramenta poderosa para descobrir fontes exóticas como: estrelas exóticas, onde até os nêutrons se dissolvem em seus quarks, que não estão mais unidos em tripletos, de modo que a estrela se torna uma estranha “sopa de quarks”; cordas cósmicas, que podem ser abertas ou fechadas e que oscilam em defeitos do tipo filamentos na estrutura do espaço-tempo; e nuvens de bósons ultraleves, como os áxions, que podem ser os constituintes básicos da matéria escura, circulando em torno dos buracos negros.

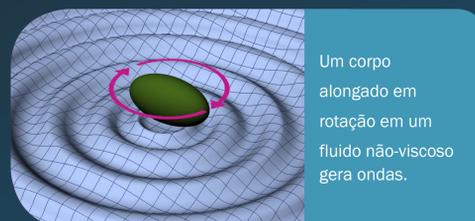
Relatividade Geral e Ondas Gravitacionais

Em 1915, Albert Einstein deu nova vida ao estudo da gravitação com sua teoria da relatividade geral. Nesta teoria, o espaço e o tempo são unificados numa única entidade – “espaço-tempo” – que interage com corpos massivos. Corpos celestes altamente densos e massivos curvam consideravelmente o espaço-tempo. Einstein entendeu que a curvatura resultante produz os efeitos que atribuímos à força da gravidade.

As ondas que se propagam através deste “tecido de espaço-tempo” são chamadas ondas gravitacionais. Elas surgem da dinâmica de grandes distribuições de massa quando essas não possuem simetria esférica ou são deformadas axialmente. Nossos corpos geram ondas gravitacionais à medida que nos movemos, mas são apenas as ondas dos fenômenos astrofísicos que são poderosas o suficiente para serem detectadas por nossos experimentos.

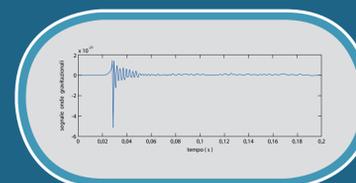


Um corpo perfeitamente esférico girando em um fluido não-viscoso não gera ondas.



Um corpo alongado em rotação em um fluido não-viscoso gera ondas.

Tipos de Sinais Detectáveis



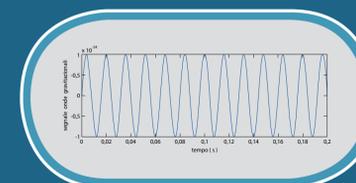
Sinais Transientes:

Algumas fontes astrofísicas produzem explosões de ondas gravitacionais que não duram mais do que alguns segundos. Essas são de dois tipos:

- Coalescência de buracos negros e/ou estrelas de nêutrons: após intermináveis órbitas em espiral, dois corpos compactos e massivos finalmente se fundem em um único objeto que pode ser uma estrela de nêutrons ou um buraco negro. A massa final determina se a explosão das ondas gravitacionais é acompanhada por ondas eletromagnéticas ou não.

A observação de uma dessas explosões produziu a primeira detecção de uma onda gravitacional – chamada GW150914 – que foi emitida pela coalescência de dois buracos negros cerca de 30 vezes mais pesados que o Sol. Outra explosão – associada à onda gravitacional GW170817 – veio da fusão de duas estrelas de nêutrons.

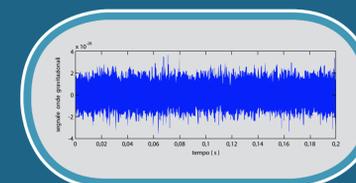
- Bursts de explosões de supernovas, que são emitidas quando estrelas massivas morrem. A detecção de ondas gravitacionais destas explosões será muito importante para testar os diversos modelos teóricos existentes e para esclarecer os mecanismos das explosões de supernovas.



Sinais Periódicos:

Esses sinais estão associados à emissão contínua de ondas gravitacionais de fontes astrofísicas, como estrelas de nêutrons isoladas, ou estrelas de nêutrons em um sistema binário com outra estrela. Uma estrela de nêutrons isolada pode emitir ondas gravitacionais apenas se não for esférica. Estes sinais duram muito mais tempo do que o tempo típico de tomada de dados dos detectores e deles pode-se obter informações preciosas sobre a natureza e dinâmica da fonte.

Os sinais eletromagnéticos emitidos pelos pulsares determinam com precisão a frequência de rotação e podem ser de grande ajuda na busca por ondas gravitacionais.



Fundo estocástico:

- O fundo estocástico astrofísico é o conjunto de sinais produzidos por inúmeras fontes de diferentes naturezas e posições. Abrange uma enorme gama de intensidades e frequências. É uma espécie de cacofonia de sinais que se sobrepõem aleatoriamente.
- O fundo estocástico cosmológico também se deve à superposição de ondas gravitacionais, mas neste caso, as fontes independentes são os processos físicos que ocorreram no início da história do Universo. Este fundo é semelhante ao fundo cósmico de micro-ondas e permeia o Universo até hoje.