

# TÓPICOS DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA

Prof. Alexandre Tort

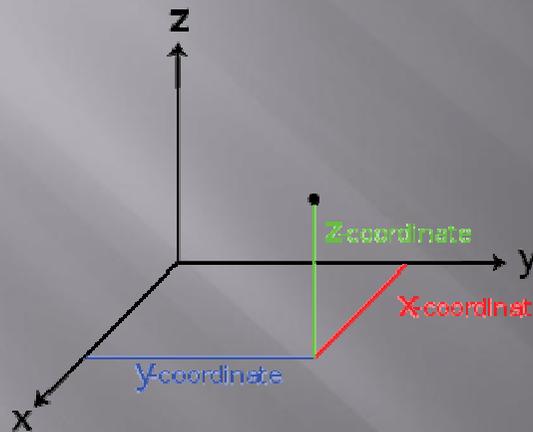
# Ondas Gravitacionais

José Lages da Silva Neto

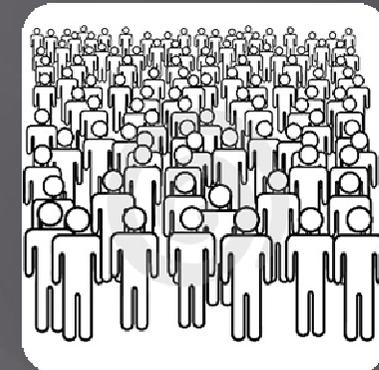
13.07.2010

# MECÂNICA CLÁSSICA

Na mecânica Clássica, usa-se o espaço euclidiano, onde o universo possui três dimensões de espaço. Pra localizar um ponto, portanto, basta informar suas três coordenadas em relação a uma origem



Existe ainda uma dimensão de tempo que é universal, isto é, independe do estado do observador



Até então, esta separação em três dimensões de espaço e uma de tempo era apropriada e dava conta das teoria e fenômenos estudados.

# ESPECIAL

No entanto, em 1905, Einstein propõe a Teoria da Relatividade, onde o tempo e espaço são relativos. Isto é, dependem do estado de repouso ou movimento do observador.



# RELATIVIDADE GERAL

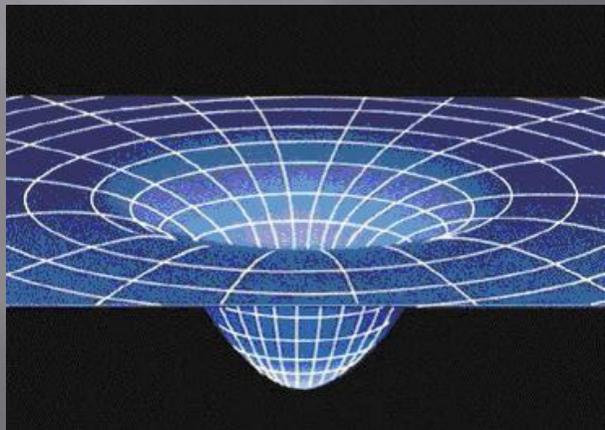
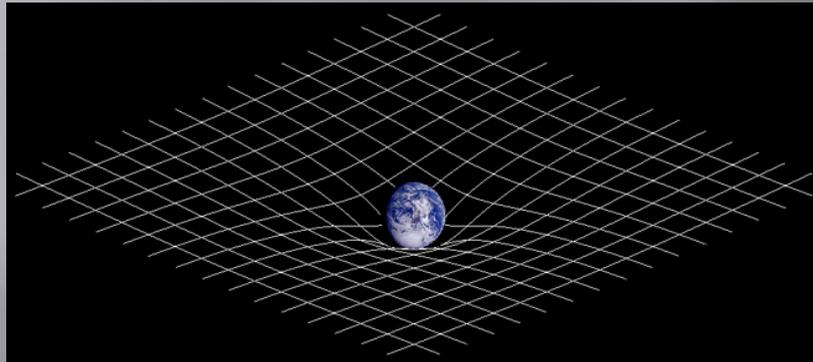
Neste contexto, o tempo não podia mais ser tratado separadamente das três dimensões do espaço. Desta maneira foi criada uma geometria que incluísse o tempo em conjunto com as três dimensões de espaço. É o chamado **espaçotempo**.



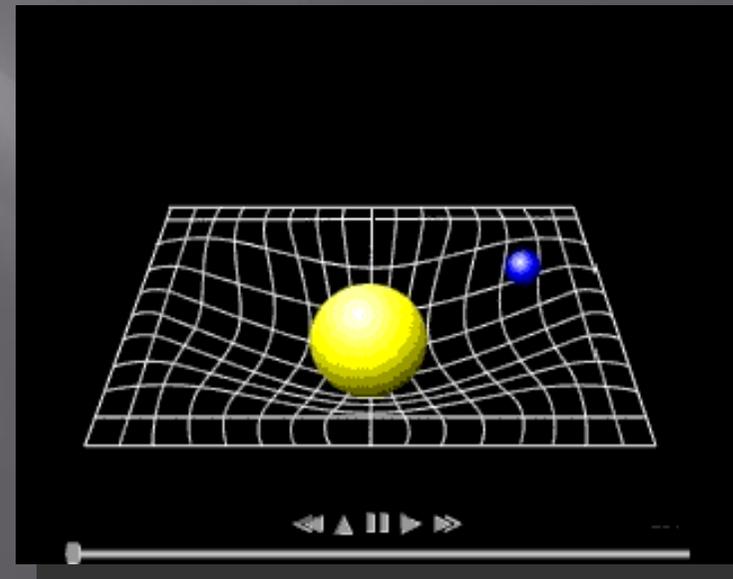
Este espaçotempo é visto como um tecido em que o tempo e espaço estão entrelaçados

# RELATIVIDADE GERAL

A gravidade é representada por um curvatura do espaçotempo.

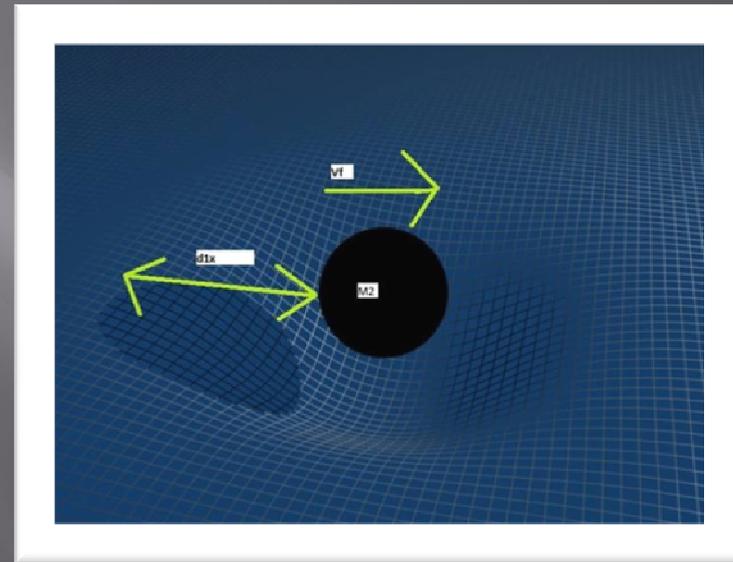
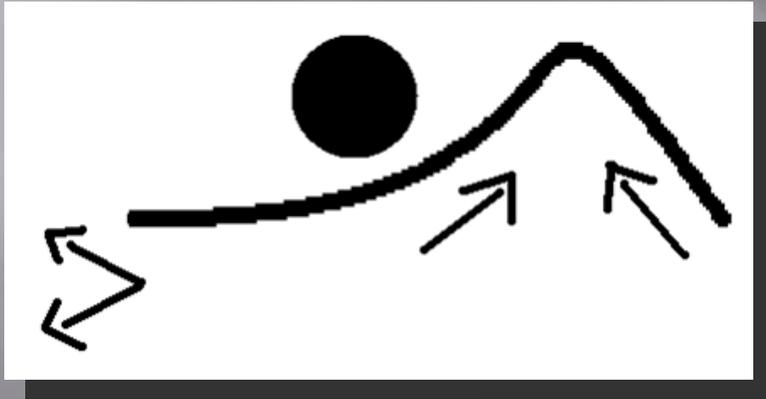


A atração gravitacional é explicada como um movimento neste espaçotempo



# ONDAS GRAVITACIONAIS

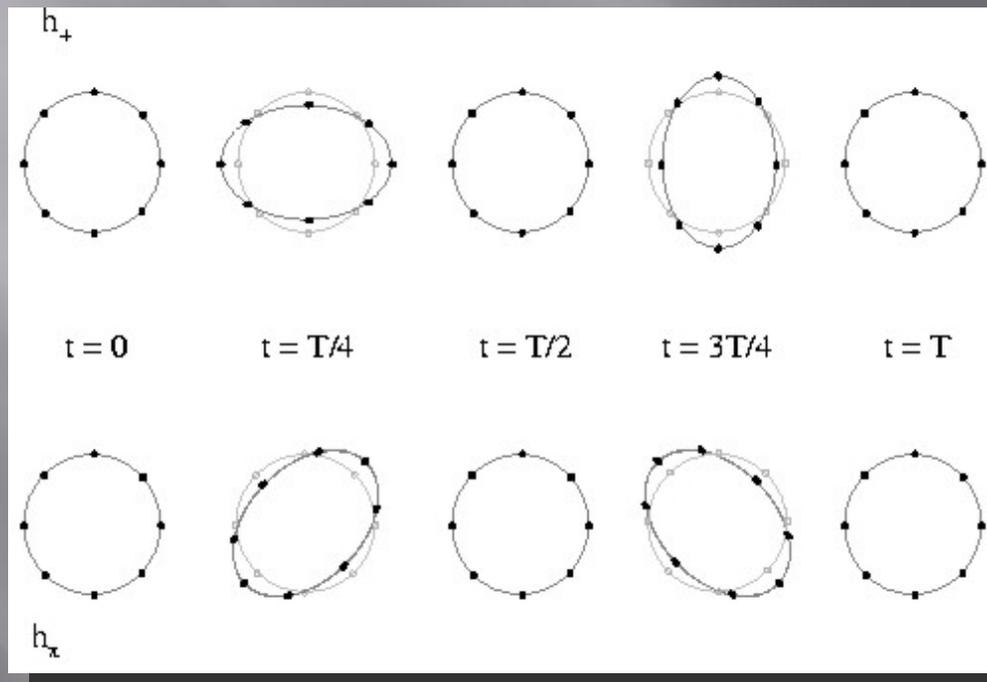
Ondas gravitacionais são distúrbios na curvatura do espaçotempo causadas pela aceleração da matéria.



Propagando-se à velocidade da luz, as ondas gravitacionais não viajam através do espaço tempo. É o próprio "tecido" do espaçotempo que está oscilando.

# Passagem das OG

Conforme a onda gravitacional passa por um observador distante, ele vai perceber o espaçotempo distorcido por efeitos de tensão. As distâncias entre objetos livres vão aumentar e diminuir ritmicamente à medida que a onda passa



Considere partículas inertes num plano. Conforme a onda gravitacional passa, as partículas oscilarão de acordo com a oscilação do espaçotempo

A zona delimitada pelas partículas teste continua o mesmo, e não há nenhum movimento na direção de propagação.

# ANALOGIA COM ONDAS DO MAR

Ondas do mar



Ondas gravitacionais



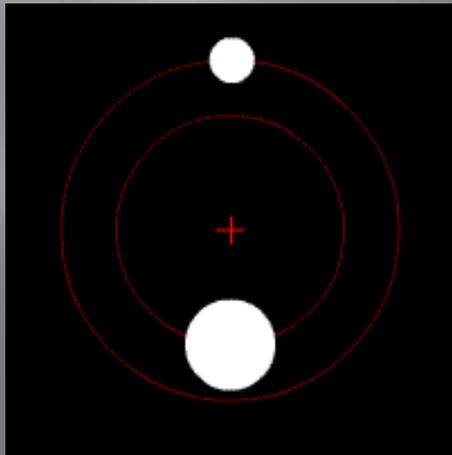
# FONTES DE OG

Em termos gerais, as ondas gravitacionais são irradiados por objetos cujo movimento envolve aceleração, desde que o movimento não seja simétrico (esférica, cilíndrica)

Um exemplo simples é um sistema de dois halteres girando, como dois planetas que orbitam entre si.

Quanto mais pesado o haltere, e quanto mais rápido ele gira, maior magnitude terá a onda gravitacional.

Se imaginarmos um caso extremo em que os dois pesos do haltere são estrelas maciças como as estrelas de nêutrons ou buracos negros que orbitam um ao outro rapidamente, será produzida uma onda gravitacional de intensidade significativa



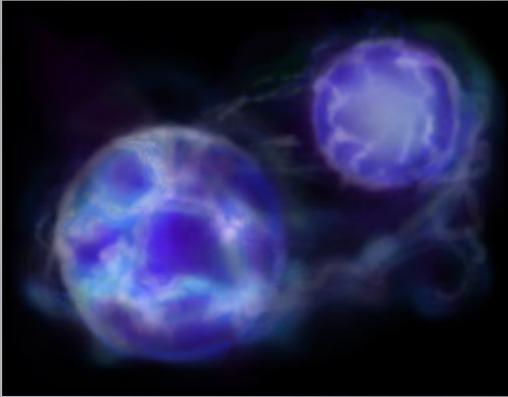
## Outras Fontes:

É bem possível que certos eventos que ocorreram frações de segundos após o Big Bang produziram ondas gravitacionais de fundo, analogamente à radiação cósmica de fundo

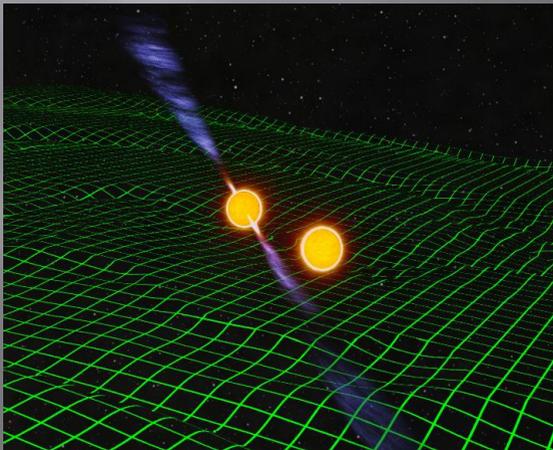
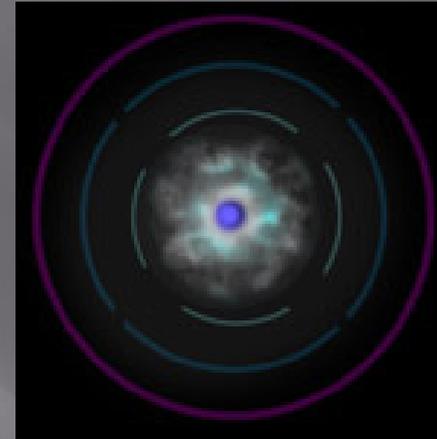
Alguns eventos chamados transições de fase

# FONTES DE OG

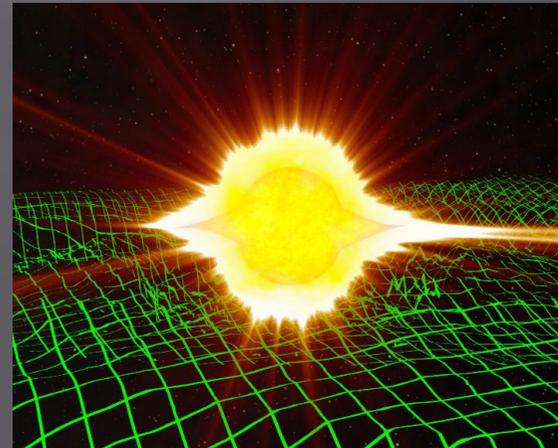
Sistema binário de estrelas de nêutrons



Supernova que cria uma rotação rápida não esférica remanescente

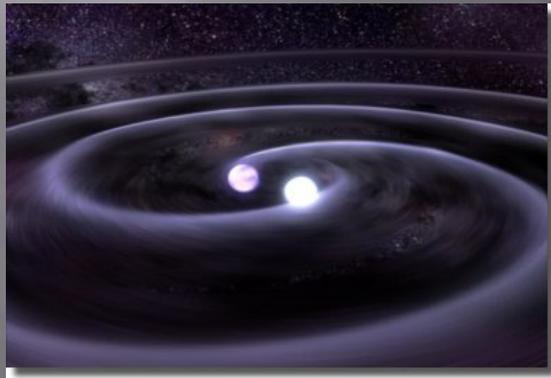


Colisão de pulsares



# O DECAIMENTO ORBITAL

Ondas gravitacionais transportam energia para longe das suas fontes, retirando energia de corpos em órbita. Assim, a distância entre os corpos diminui, e eles rodam mais rapidamente.



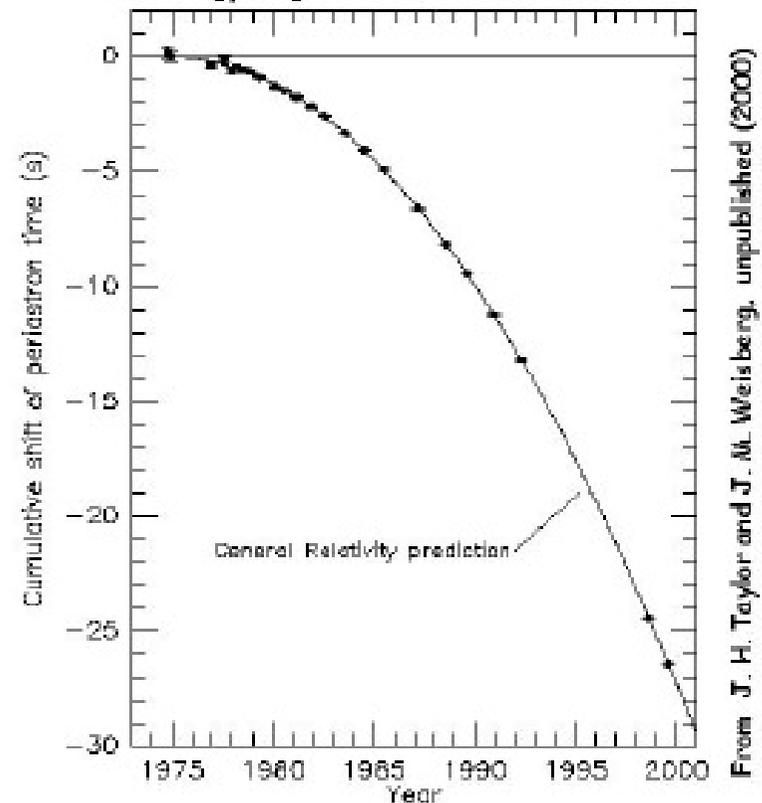
Para o sistema Terra - Sol a perda de energia é de 200 joules por segundo, levando a uma deterioração na órbita de cerca de  $1 \times 10^{-15}$  metros por dia. Nesse ritmo, levaria a Terra a cerca de  $1 \times 10^{13}$  vezes mais do que a idade atual do Universo para a Terra espiralar para o Sol. Porém, a Terra está prevista para ser engolida pelo Sol bem antes, na fase de gigante vermelha de sua vida em alguns bilhões de anos.

# EVIDÊNCIA INDIRETA

Embora as ondas gravitacionais não tenham sido diretamente observadas, há uma evidência indireta de sua existência.

- ▣ A evolução da órbita do pulsar PSR1913+16 mostra que o decaimento de sua órbita está de acordo com a perda de energia devido às ondas gravitacionais.
- ▣ Isto valeu o Nobel de 1993 para Russell Hulse e Joseph Taylor “pelo descobrimento de um novo tipo de pulsar, que abriu novas possibilidades para o estudo da gravitação”.

Comparison between observations of the binary pulsar PSR1913+16, and the prediction of general relativity based on loss of orbital energy via gravitational waves



# DETECTORES OG

A idéia básica de um detector de ondas gravitacionais é medir a alteração de comprimento de objetos devido à sua passagem.

Barra de Webber



Consiste de um pedaço de metal sólido equipado com detectores eletrônicos de vibrações.

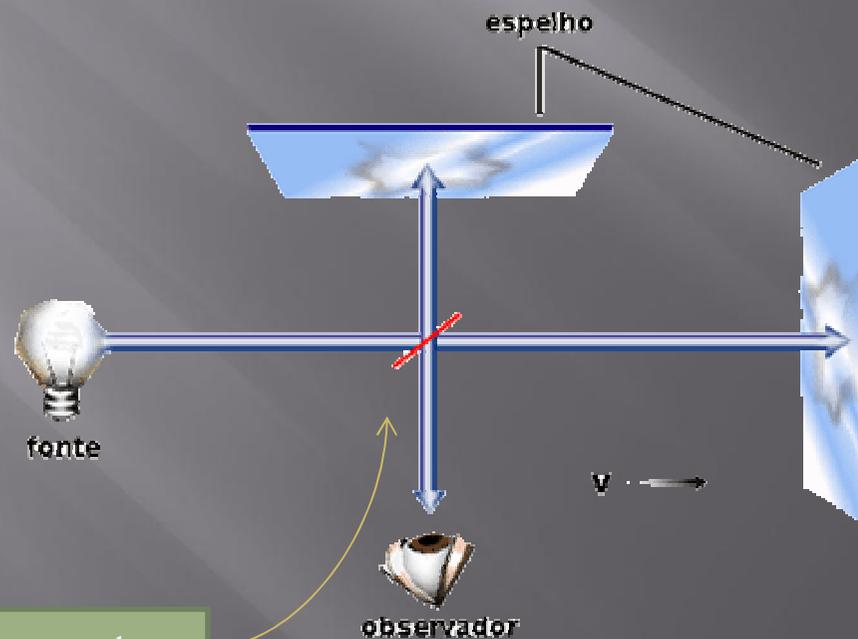
Quando uma onda gravitacional o atravessa, é possível que atinja a barra em sua frequência de ressonância, amplificando a onda.

# DETECTORES OG

Interferômetro:

A luz emitida por uma fonte passa por um espelho semi-transparente. O feixe de luz é dividido em dois: parte atravessa e parte é refletido.

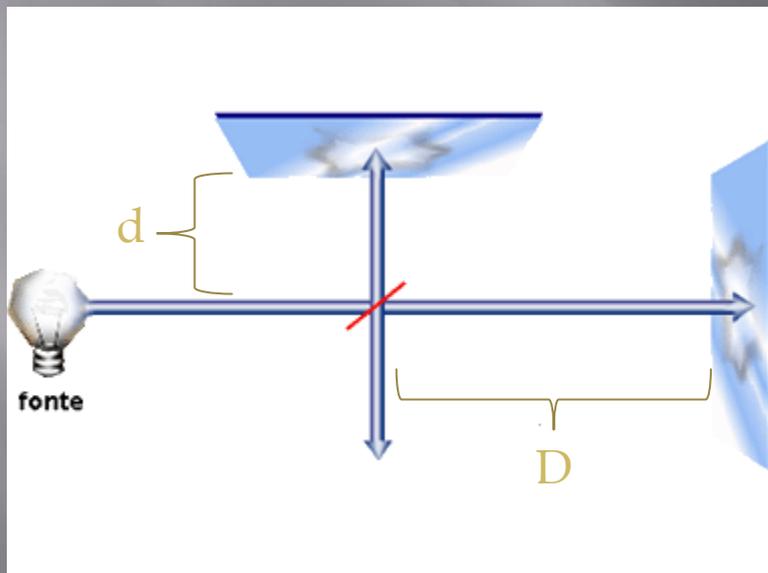
Colocando-se dois espelhos planos nas extremidades, o feixe de luz retorna pelos mesmos caminhos de ida e voltam ao observador.



Espelho semi-transparente

# DETECTORES OG

Quando os dois componentes são recombinaados, existe uma diferença de fase entre eles já que eles percorreram caminhos diferentes, e então eles interferem construtivamente ou destrutivamente dependendo do tamanho da **diferença de caminho**



$D - d =$  Diferença de caminho

Esta diferença de caminho permite cada onda de luz ter mais ou menos ciclos, determinando que tipo de interferência haverá no detector



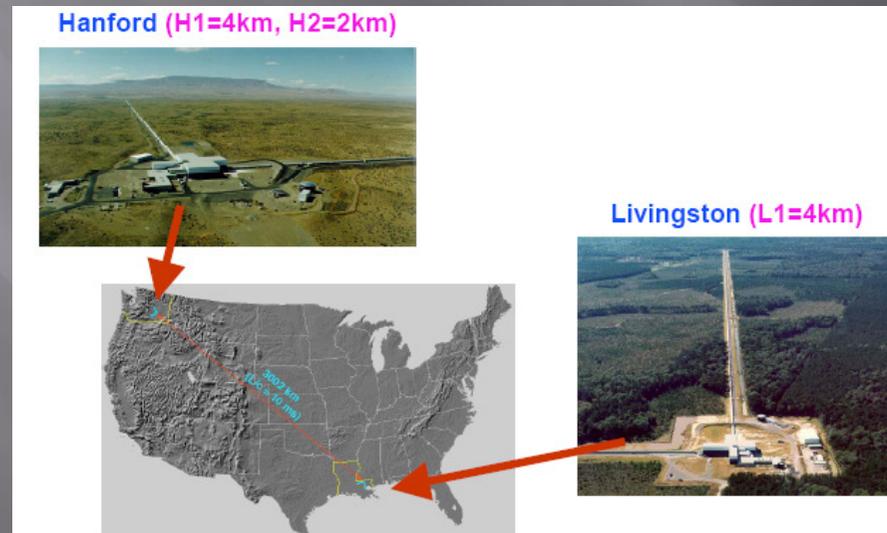
# LIGO

LIGO é uma sigla para **Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory**.

É um grande interferômetro com o objetivo de detectar ondas gravitacionais

Cada braço do interferômetro tem 4 km.

Na verdade, são dois laboratórios idênticos separados por 3000 km. Se os dois detectarem as mesmas vibrações é bem provável que sejam de ondas gravitacionais



# POSSIBILIDADES

A magnitude destas ondas decai com a distância e parece não ser afetada pelo material que atravessa. Desta forma, pode trazer sinais inalterados por vastas regiões do universo;

Podem trazer informações sobre buracos negros, supernovas e estrelas de nêutrons.

Podem fornecer, por meios independentes, estimativas de distâncias cosmológicas.

As ondas gravitacionais poderiam penetrar regiões do espaço que ondas eletromagnéticas não podem.

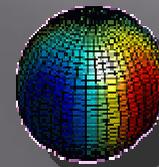
No entanto, a escala é muito pequena. Na verdade medir estas vibrações equivale a medir o tamanho de um átomo da distância Terra- Sol.

# DETETOR BRASILEIRO

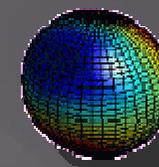
Na Universidade de São Paulo (USP) funciona o detector Mario Schenberg.

É uma esfera de cobre e alumínio, resfriada por hélio líquido até quase o zero absoluto, que absorve ondas gravitacionais com frequência em torno de 3200 Hz.

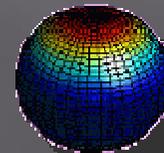
A vantagem do detector esférico é a possibilidade de detecção de ondas em todas as direções, e assim, localizar a direção da fonte emissora — feito impossível para detectores como o LIGO isoladamente.



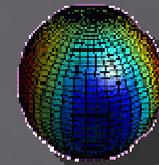
modo 1  
modo 1



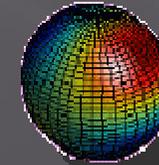
modo 3  
modo 3



modo 5  
modo 5



modo 2  
modo 2



modo 4  
modo 4

**Obrigado!**