

AULA Nº 5

**TÓPICOS CONTEMPORÂNEOS DE
FÍSICA**

Ondas gravitacionais: a nova astronomia

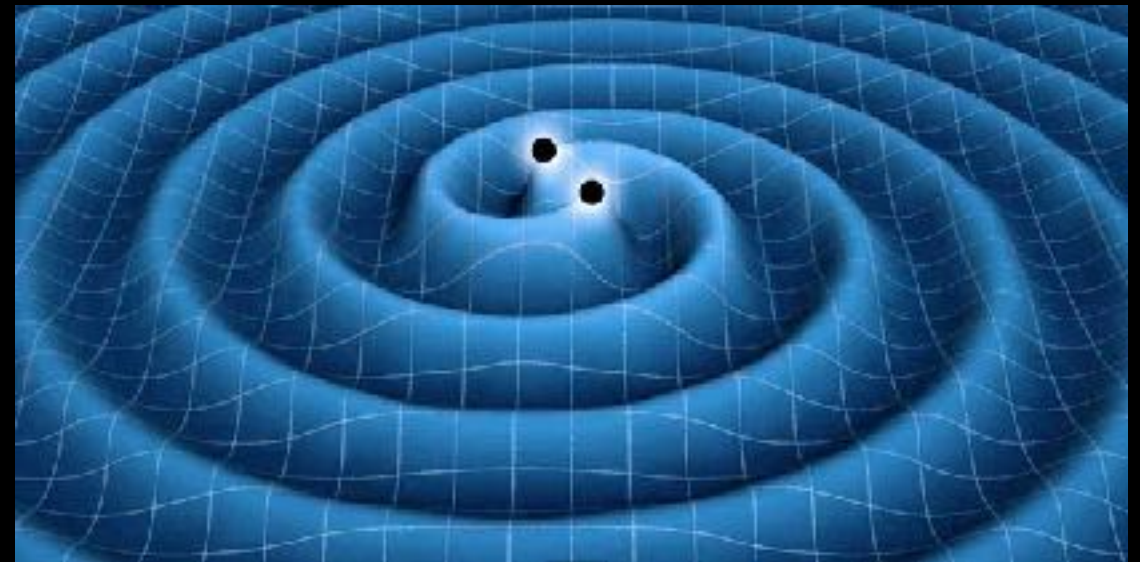
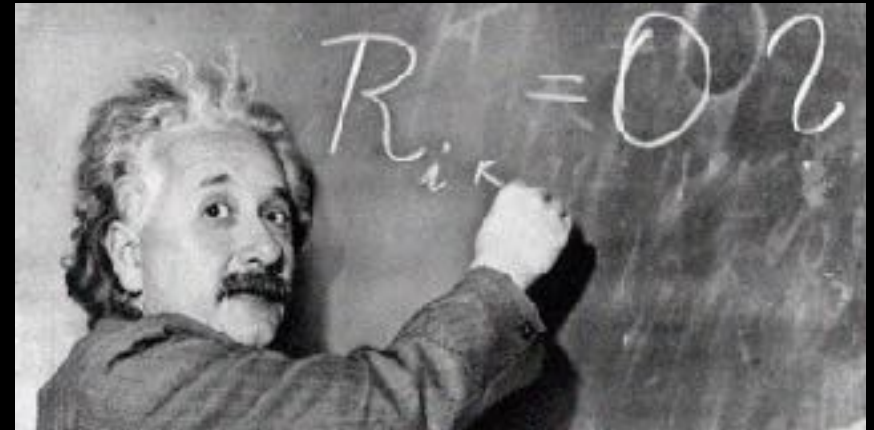
Histórico

1915 Teoria da Relatividade Geral de Einstein

1916 **Previsão teórica** da existência das ondas gravitacionais

1993 Prêmio Nobel de Física pela **detecção indireta** de ondas gravitacionais 

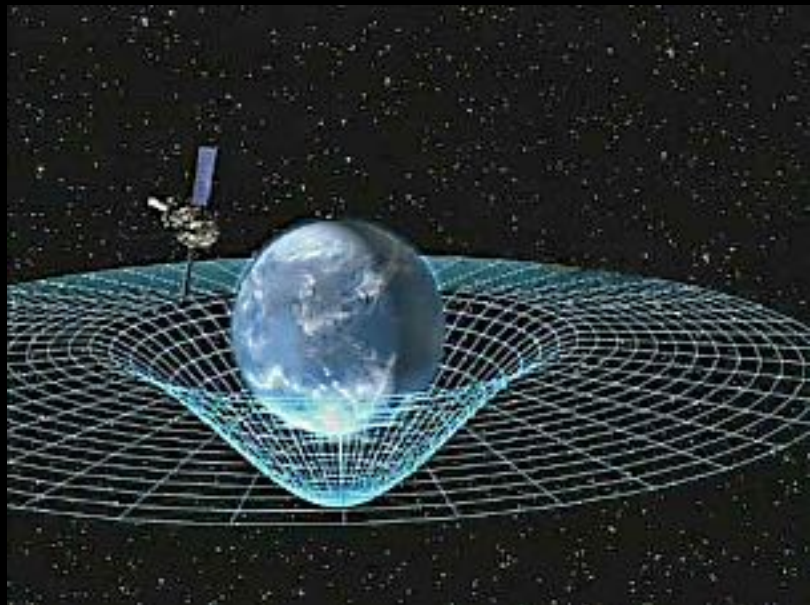
2017 Prêmio Nobel de Física pela primeira **detecção direta** de ondas gravitacionais 



A Teoria da Relatividade Geral

(em 1 slide!)

Revolução conceitual: Espaço + tempo = **espaço-tempo**



O conteúdo de matéria e energia do espaço-tempo determina a sua **geometria** através das eqs. de campo de Einstein:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

Ondas Gravitacionais

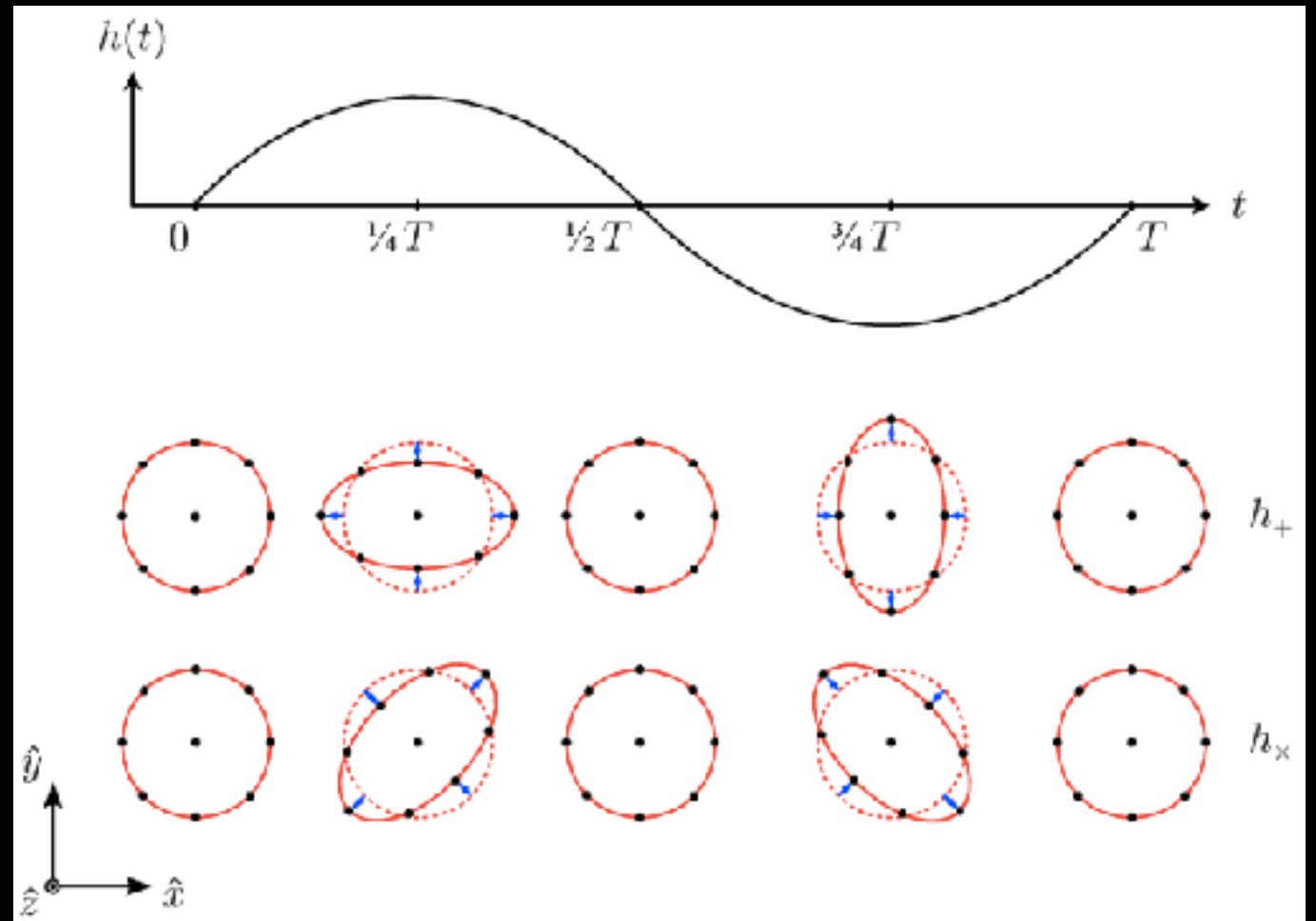
solução de onda das eqs. de campo de Einstein que descreve oscilações do **espaço-tempo**

onda **transversal**


velocidade de propagação igual à **velocidade da luz**

duas polarizações: h_+ e h_x

amplitude: $\Delta h/h \sim 10^{-21}$



O Pulsar PSR B1913+16



 The Nobel Prize in Physics 1993
Russell A. Hulse, Joseph H. Taylor Jr.

The Nobel Prize in Physics 1993

Nobel Prize Award Ceremony

Russell A. Hulse

Joseph H. Taylor Jr.

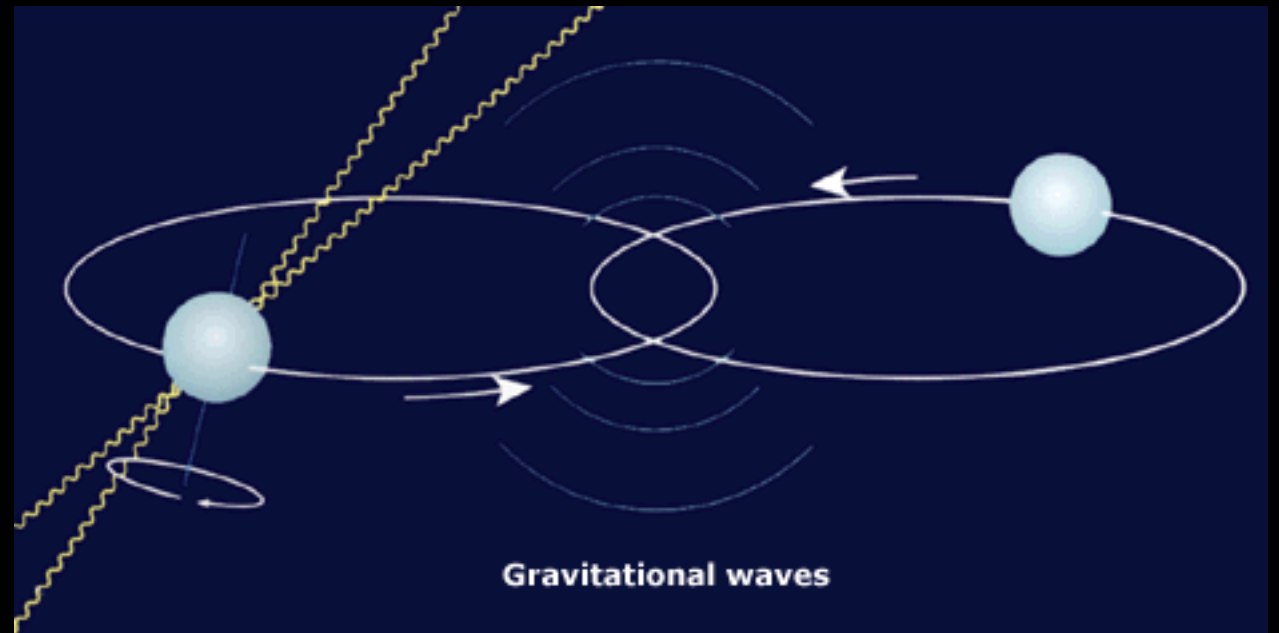


Russell A. Hulse Joseph H. Taylor Jr.

The Nobel Prize in Physics 1993 was awarded jointly to Russell A. Hulse and Joseph H. Taylor Jr. "for the discovery of a new type of pulsar, a discovery that has opened up new possibilities for the study of gravitation"

Photo: Copyright © The Nobel Foundation

sistema binário de estrelas de neutrons



detecção **indireta**: a emissão de ondas gravitacionais diminui o **período** do pulsar!

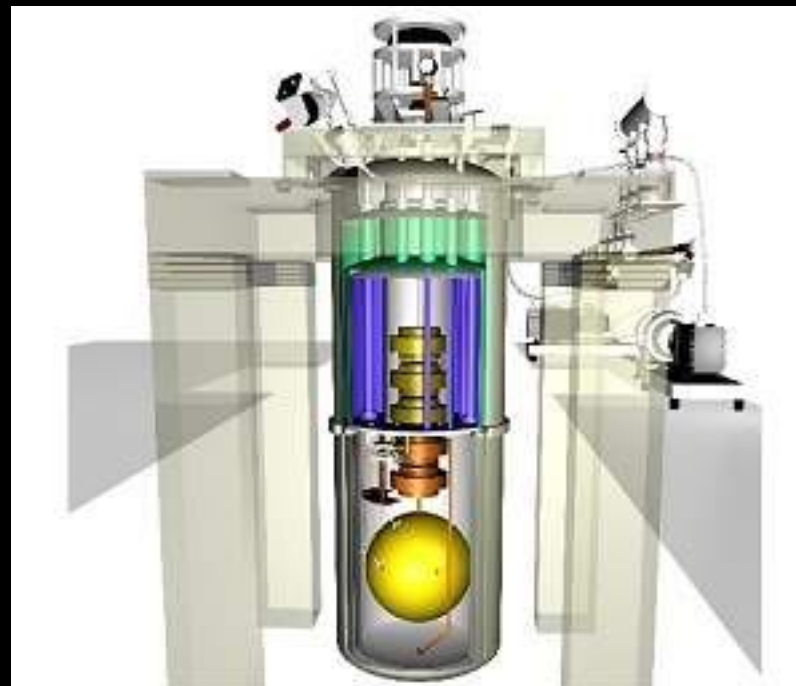
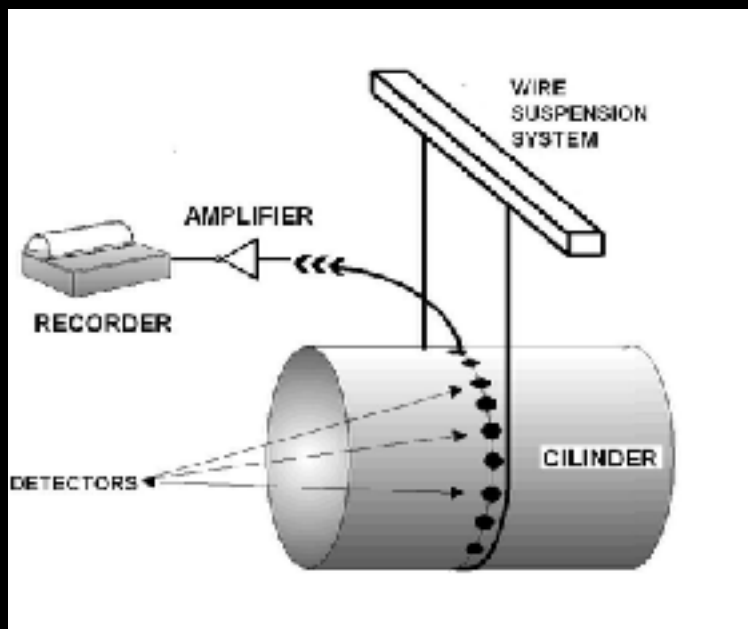
Detectores de ondas gravitacionais

Tipos de detectores:

- detectores tipo massa ressonante
- detectores tipo interferômetro laser
- detector LISA
- Pulsar Timing Array

Detectores tipo massa ressonante

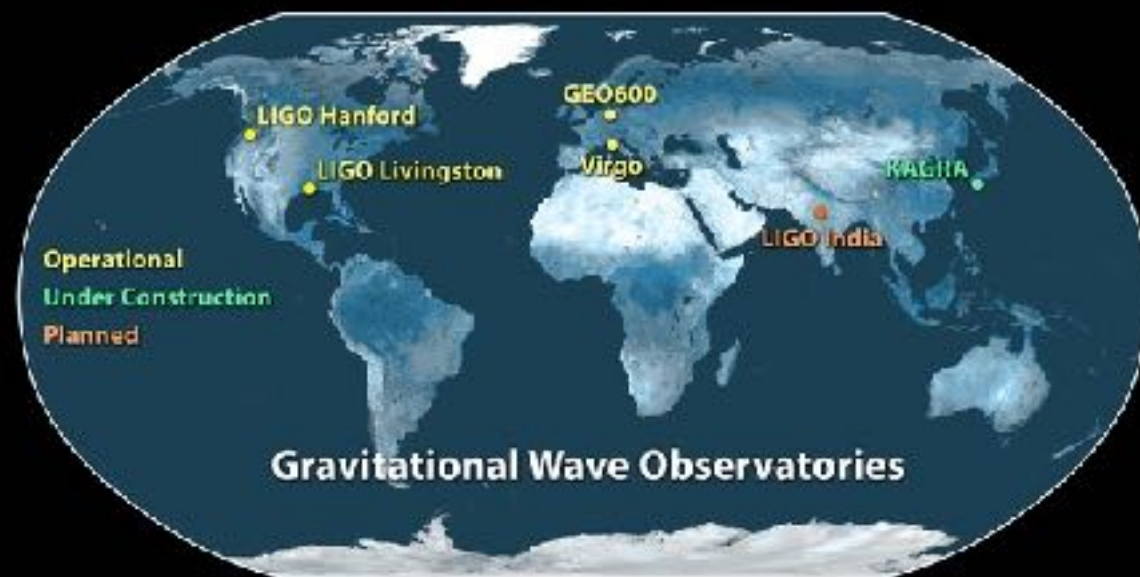
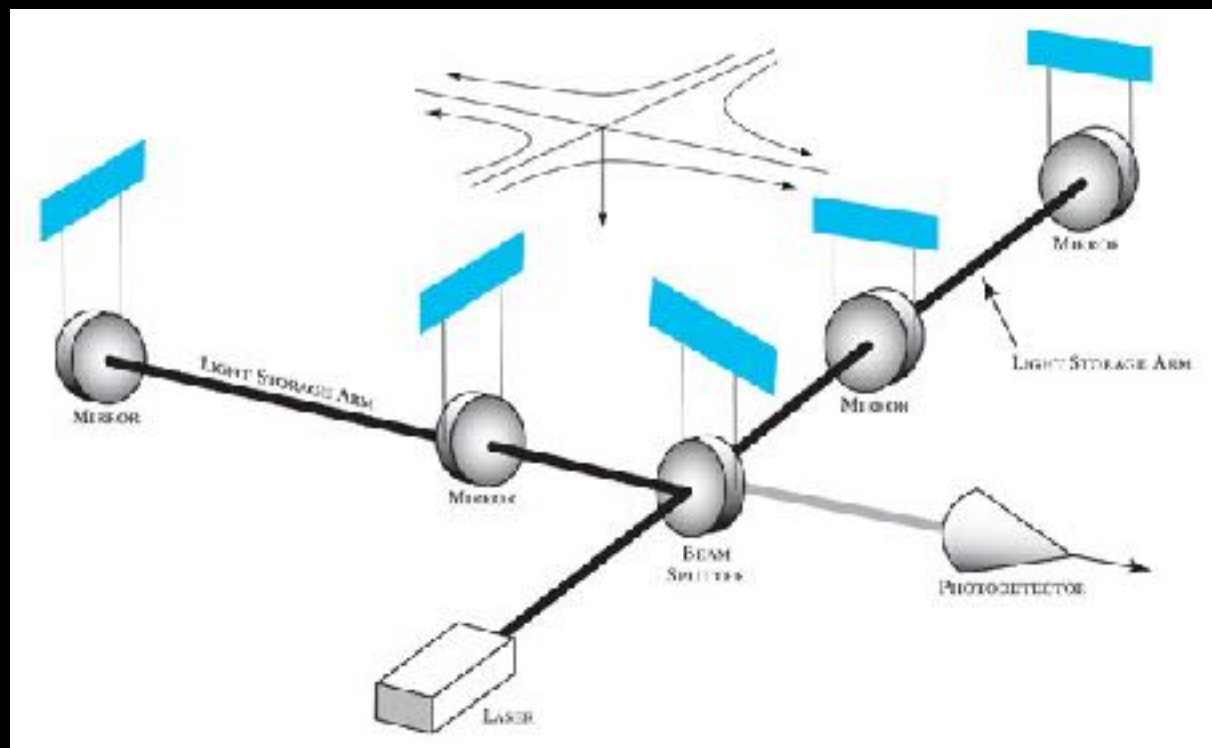
O primeiro detector foi desenvolvido por Joe Weber na Universidade de Maryland na década de 60



Esquema do detector brasileiro Mario Schenberg

Detectores tipo interferômetro laser

Esquema do interferômetro

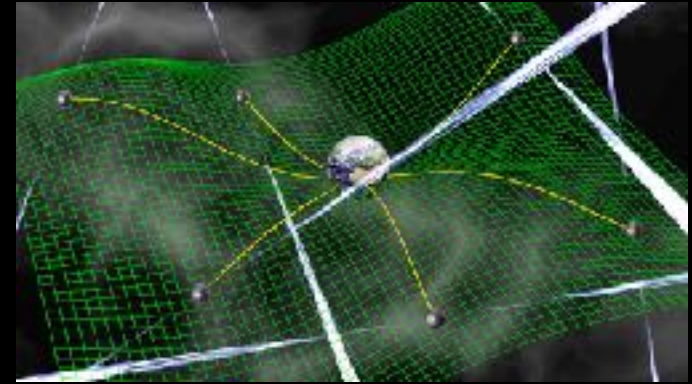


Rede mundial de detectores



Outros detectores

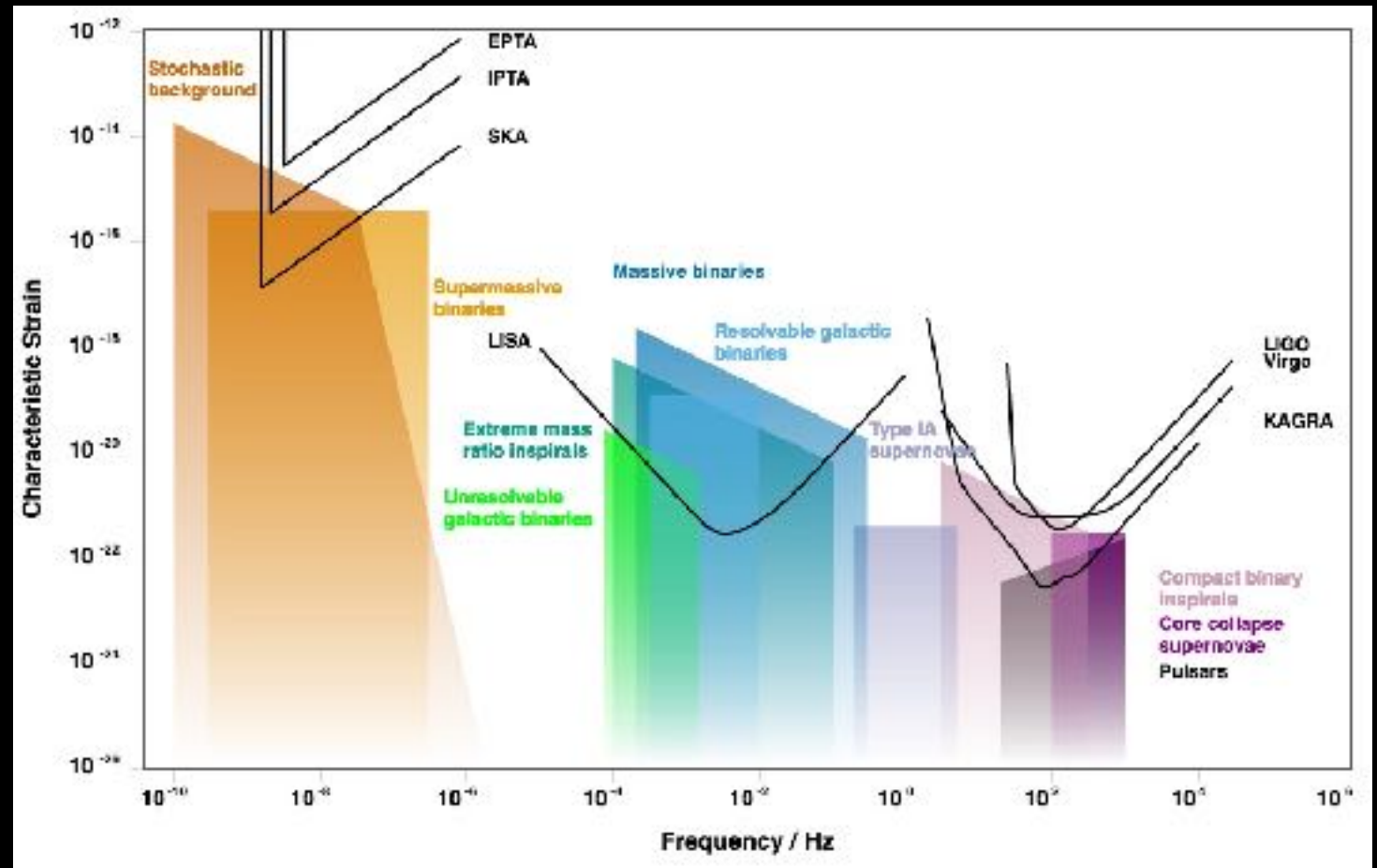
LISA - Laser Interferometer Space Antenna (futuro)



Pulsar Timing Array

Fontes de erro e sensibilidade do detector

- ruído sísmico
- ruído térmico
- ruído de contagem de fótons
- etc



Detecções diretas: observações recentes

1º evento detectado pelo
LIGO: GW150914

fusão de um sistema
binário de **buracos negros**

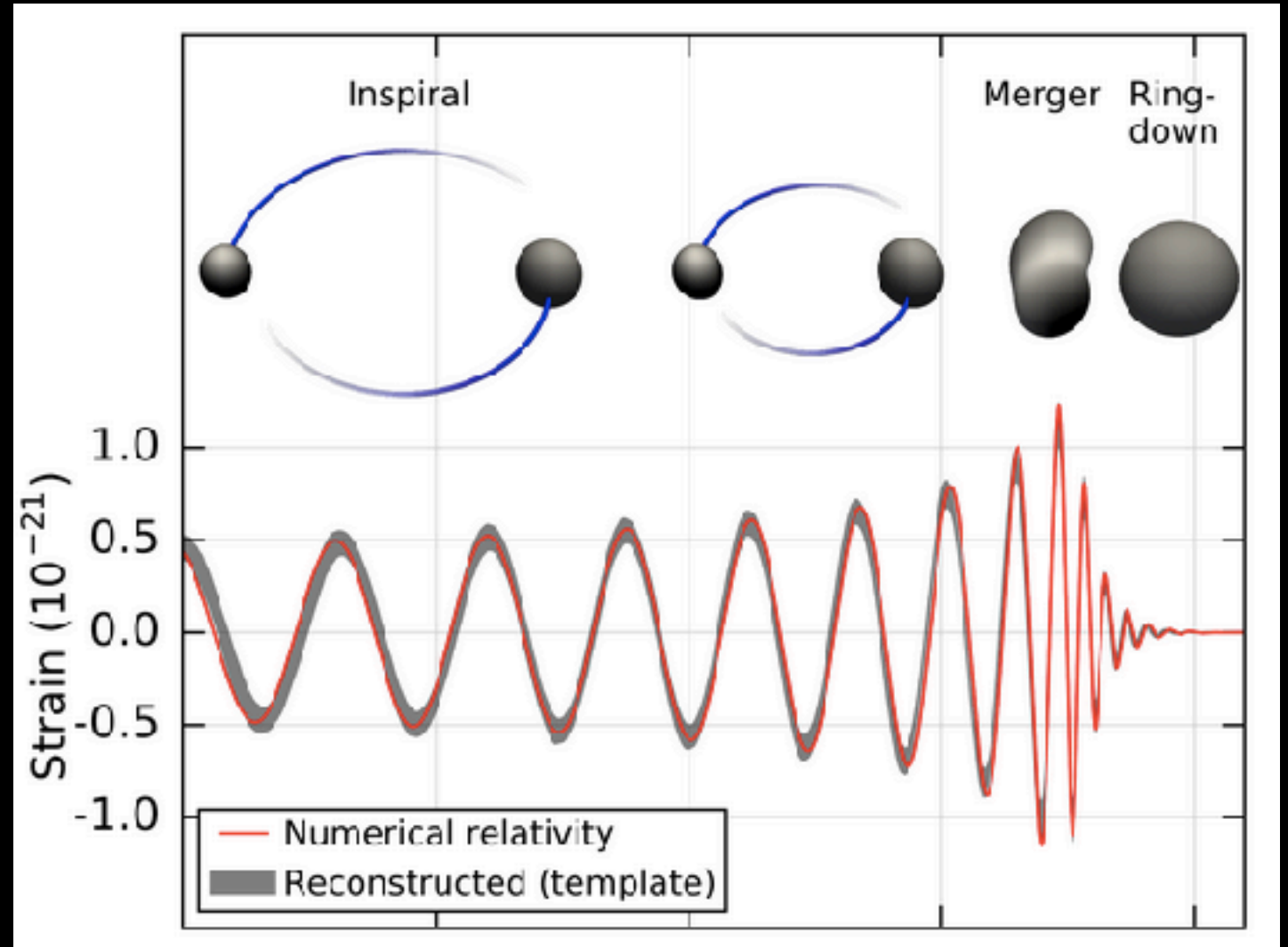
$m_1 = 36 M_{\text{sol}}$

$m_2 = 29 M_{\text{sol}}$

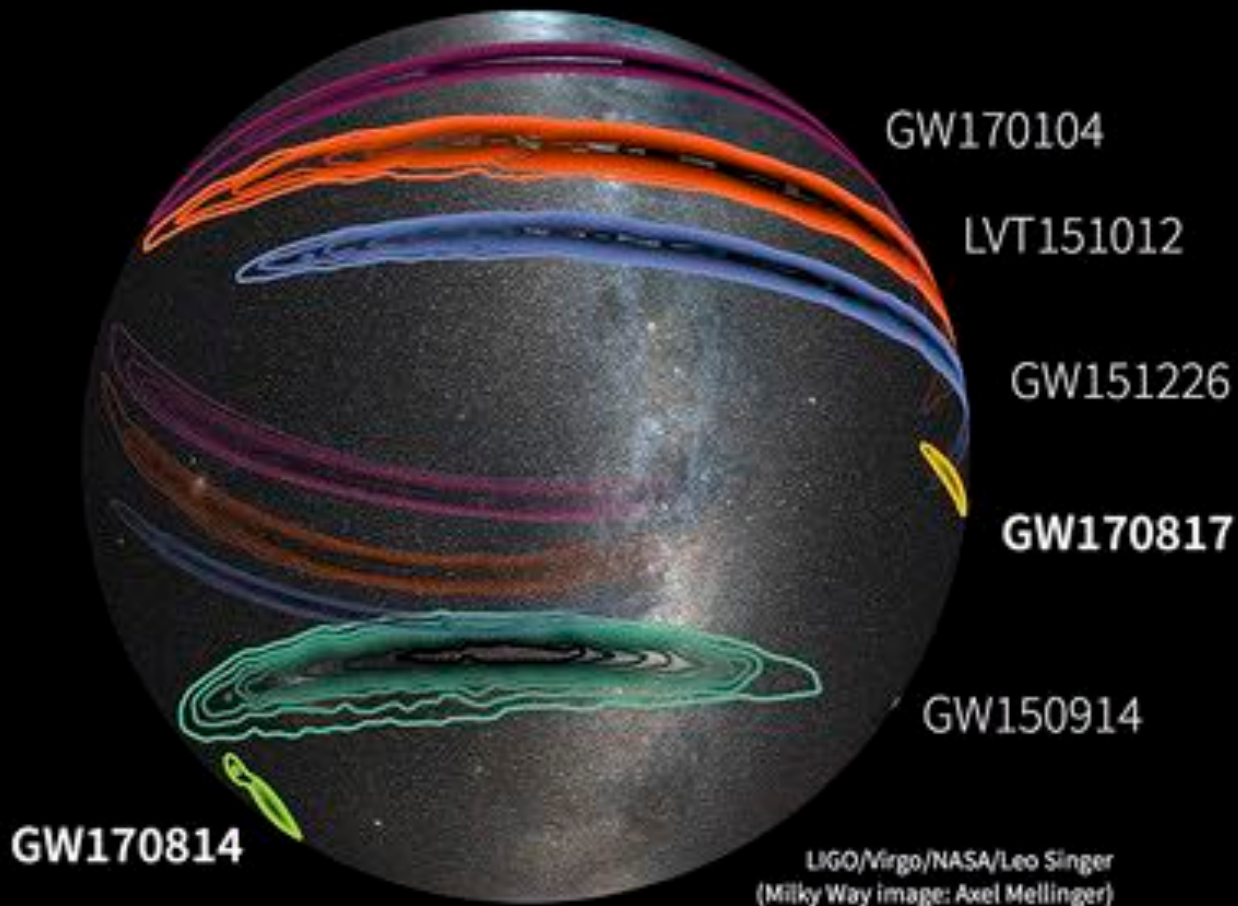
Resultado:

$M_{\text{final}} = 62 M_{\text{sol}}$

**3 M_{sol} transformadas em
energia em 0,5 s!**



Localização dos eventos observados



A localização no céu dos eventos é muito mais precisa quando **3 detectores** participam da detecção!

GW170814 foi a primeira detecção tripla: **LIGO e Virgo**

GW170817: estrelas de nêutrons

1ª detecção da fusão de um sistema binário de **estrelas de nêutrons**

$$m_1 = 1.36-1.60 M_{\text{sol}}$$

$$m_2 = 1.17-1.36 M_{\text{sol}}$$

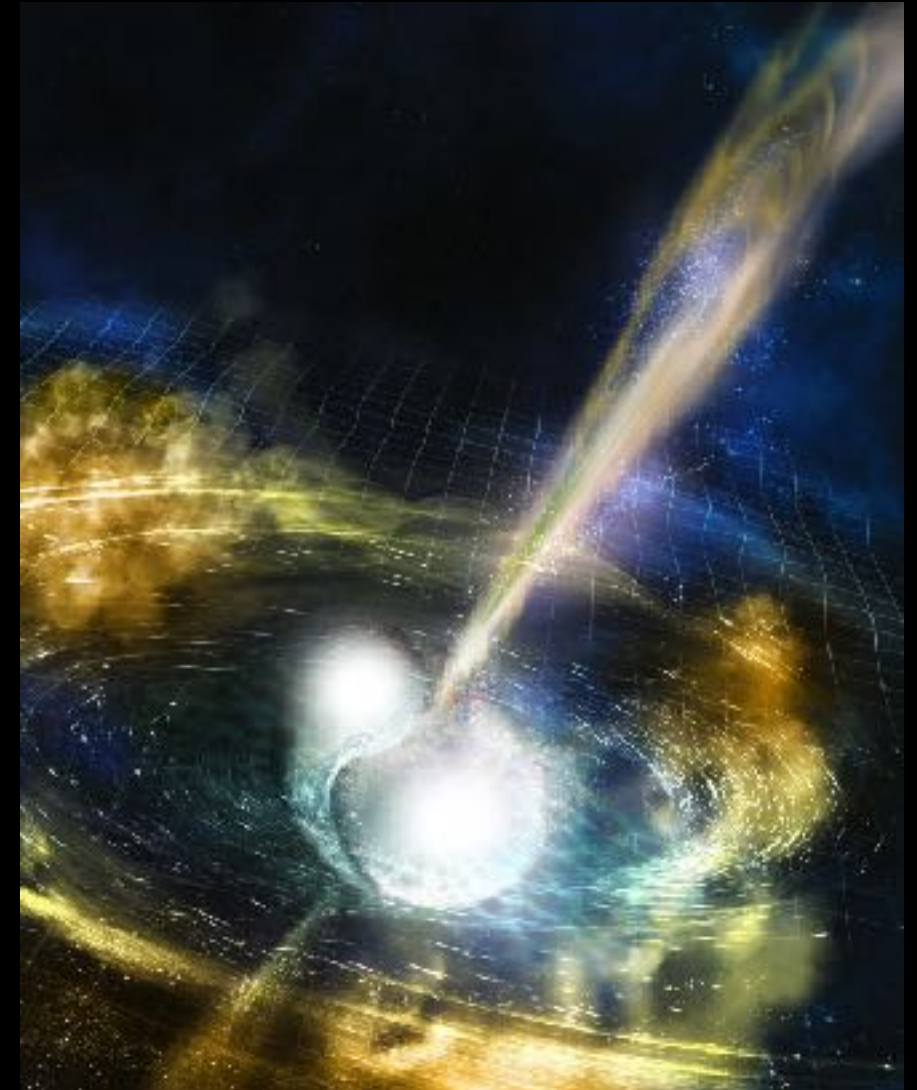
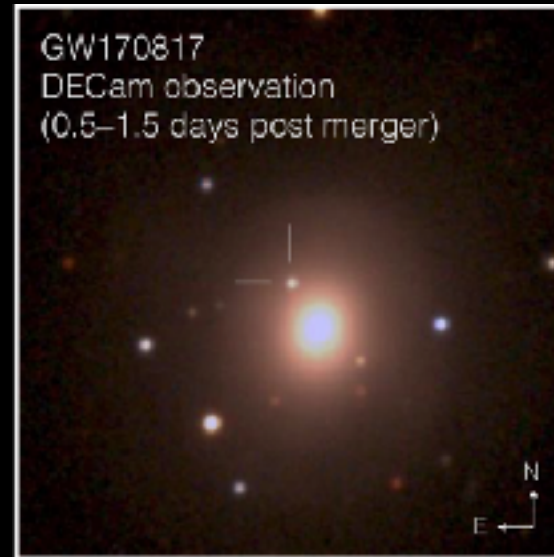
contrapartida **eletromagnética**

GRB 170817A - 2s após o evento

AT 2017gfo - 11h após o evento

cosmologia

determinação da constante de Hubble



Consequências das detecções de ondas gravitacionais

- **teste** da relatividade geral
- formação de **buracos negros** com massas maiores que $10 M_{\text{sol}}$
- determinação de massas de **estrelas de nêutrons**
- teste do modelo de **kilonova** de formação de elementos pesados

Desafios para o futuro

Outras fontes ainda não detectadas:

sistemas binários mistos, supernovas,
pulsares, fundo estocástico, ???

Estatística das observações:

detectar mais eventos,
reduzir os erros de medição

Testes da teoria da relatividade geral

teorias e modelos alternativos,
evidências de gravitação quântica...?