

ONDAS GRAVITATORIAS

J. J. Ruiz-Lorenzo

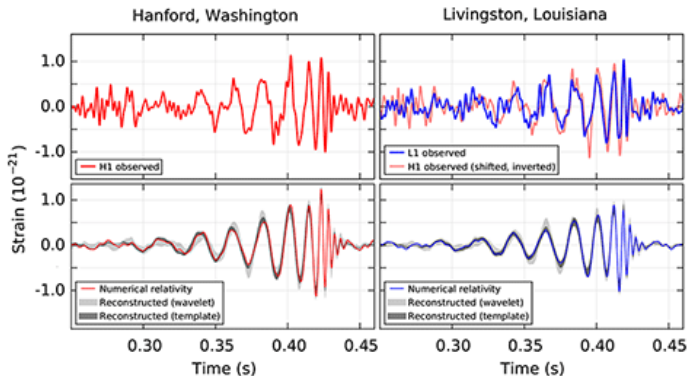
Dep. Física,
Instituto de Computación Científica Avanzada(ICCAEx),
Universidad de Extremadura
http://www.eweb.unex.es/eweb/fisteor/juan/juan_talks.html

Badajoz, 22 de Febrero de 2016



Real Sociedad Económica Extremeña de Amigos del País de Badajoz

- Señal recibida el día 14/9/2015 a las 9:50:45 UTC en los observatorios de Livingston y Hanford (USA):

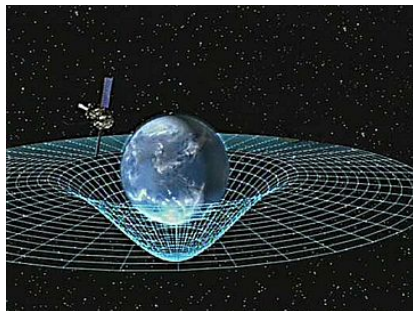


Ecuaciones de Einstein (1915)

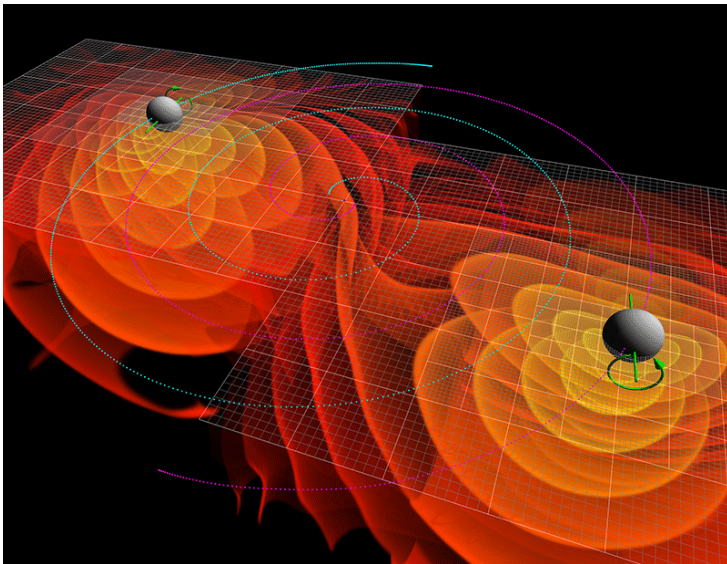
$$ds^2 = -c^2 d\tau^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$$

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

$$\frac{d^2 x^\mu}{d\tau^2} + \Gamma_{\rho\gamma}^\mu \frac{dx^\rho}{d\tau} \frac{dx^\gamma}{d\tau} = 0$$



Ondas Gravitatorias



En un sistema binario de masas m_1 y m_2 , masa reducida $\mu = m_1 m_2 / M$ y masa total $M = m_1 + m_2$, con una órbita circular de radio R y frecuencia ω , emite en forma de ondas gravitacionales:

$$P = \frac{32}{5} G (\mu R^2)^2 c^{-5} \omega^6$$

Aplicando la tercera ley de Kepler: $\omega^2 R^3 = GM$

$$P = \frac{32}{5} \frac{c^5}{G} \left(\frac{\mu}{M} \right)^2 \left(\frac{GM}{c^2 R} \right)^5$$

La Tierra emite unos 200 W.

Y todo el sistema solar: 5000 W!

Pero $P_{\max} = 10^{52}$ W!

Ondas Gravitatorias: Amplitud

- Supongamos un sistema binario formado por dos masas iguales siguiendo órbitas circulares de radio R y periodo P .
- La amplitud, h , de la onda gravitacional se puede estimar como:

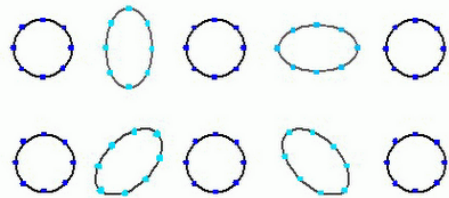
$$h \sim 10^{-21} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{1 \text{ h}}{P} \right)^{2/3} \left(\frac{100 \text{ pc}}{r} \right)$$

- Pitágoras (mod): $(\Delta s)^2 = (1 + h_{xx})(\Delta x)^2 + (1 + h_{yy})(\Delta y)^2$
- Entonces:

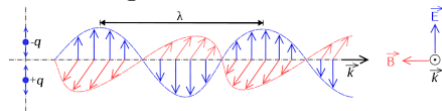
$$\frac{\Delta L}{L} \sim h$$

Ondas Gravitatorias: Polarización

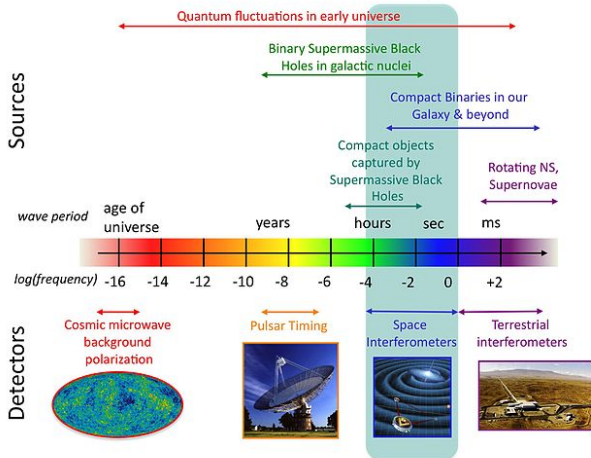
Gravitacional



Electromagnético

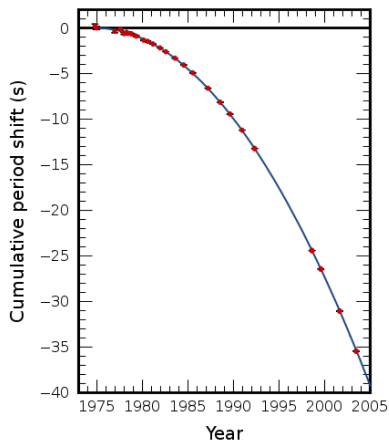


The Gravitational Wave Spectrum



Ondas Gravitatorias (detección indirecta)

- Estudio de los parámetros orbitales del pulsar binario PSR B1913+16.
- R. A. Hulse y J. H. Taylor (Premio Nobel 1993)



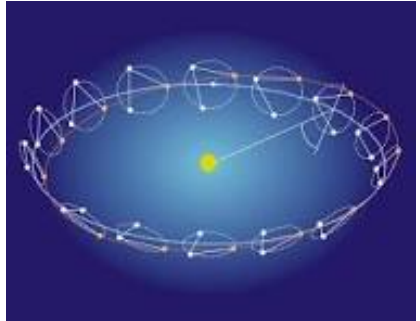
Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)



VIRGO:

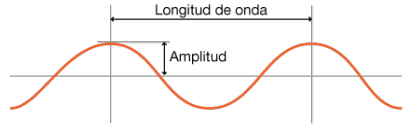


LISA:



Otros observatorios: TAMA 300 (Japón) y GEO 600 (Alemania)

Interferencia

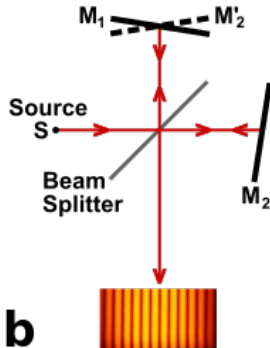
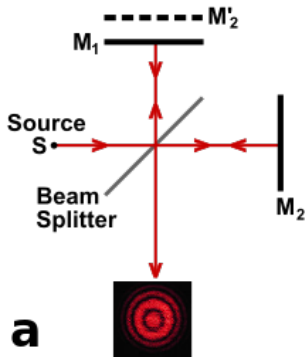


Interferómetros

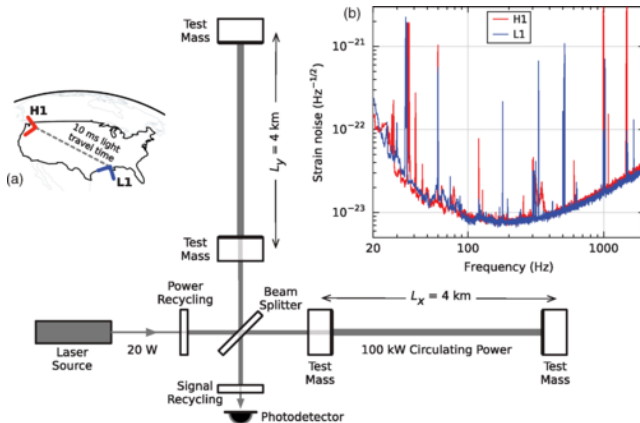
S_2'

S_1'

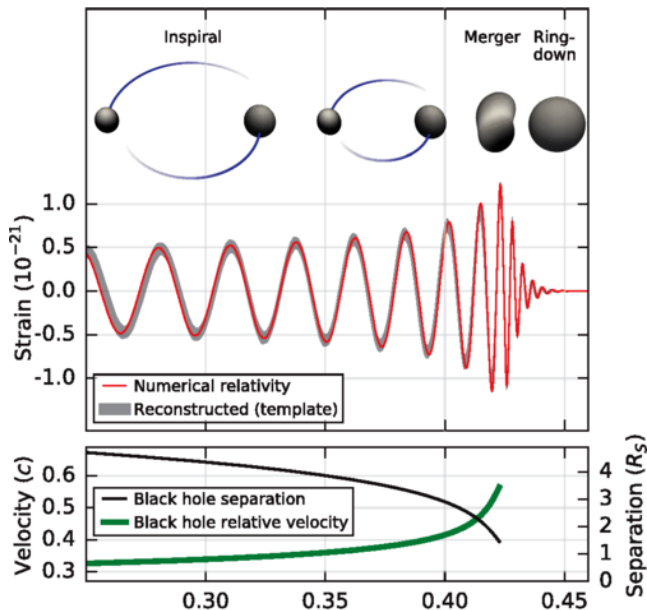
S_2' S_1'



Interferómetros (LIGO)



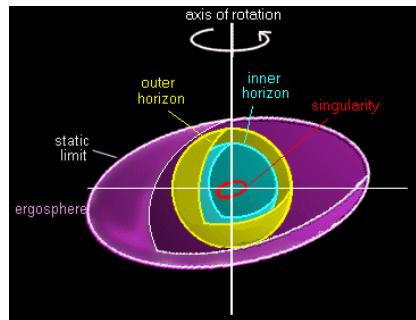
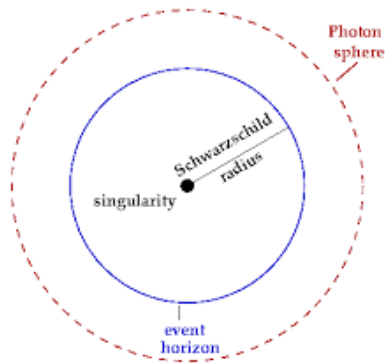
Señal de la Coalescencia de dos Agujeros Negros



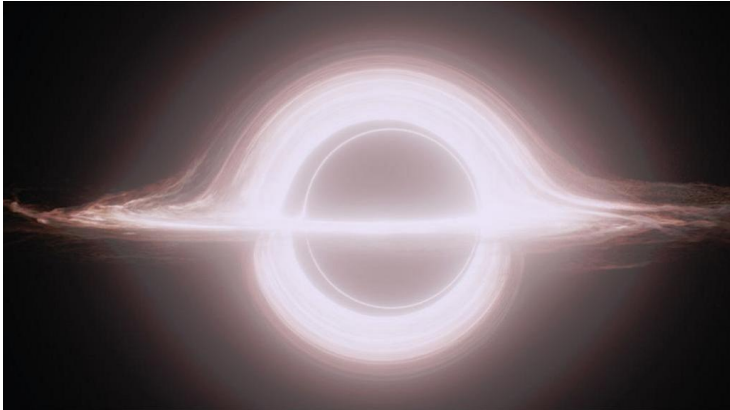
Características de los dos Agujeros Negros

- Primario: $36 \pm 5M_{\odot}$
- Secundario: $29 \pm 4M_{\odot}$
- Masa Final: $62 \pm 4M_{\odot}$
- Momento angular final: 0.67 ± 0.07
- Distancia Luminosidad: 410 ± 180 Mpc
- Redshift (Cosmológico): 0.09 ± 0.04
- Energía total radiada: $3 \pm 0.5M_{\odot}c^2$

Agujero Negros



Agujero Negro tipo Kerr (Gargantua)



¿Dónde?

