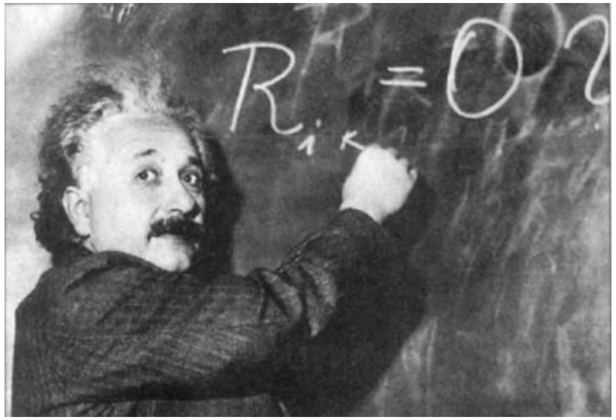
ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ



EINSTEIN 1915
LIGO-VIRGO 2015-16

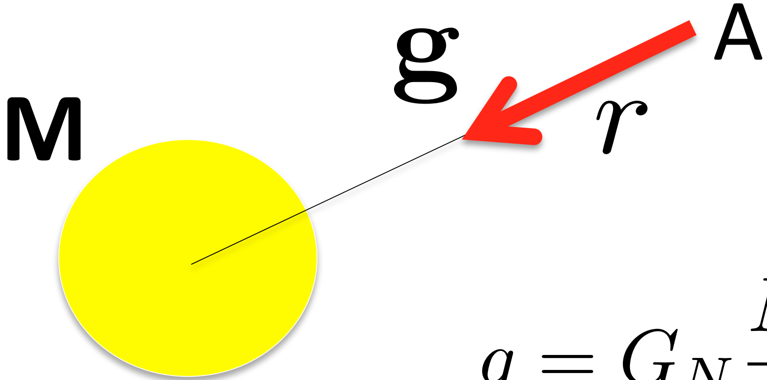
ΣΥΦΥΚ
Ηράκλειο, 23 Απριλίου 2016

Θεόδωρος Ν. Τομαράς
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Η ΝΕΥΤΩΝΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΧΩΡΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ

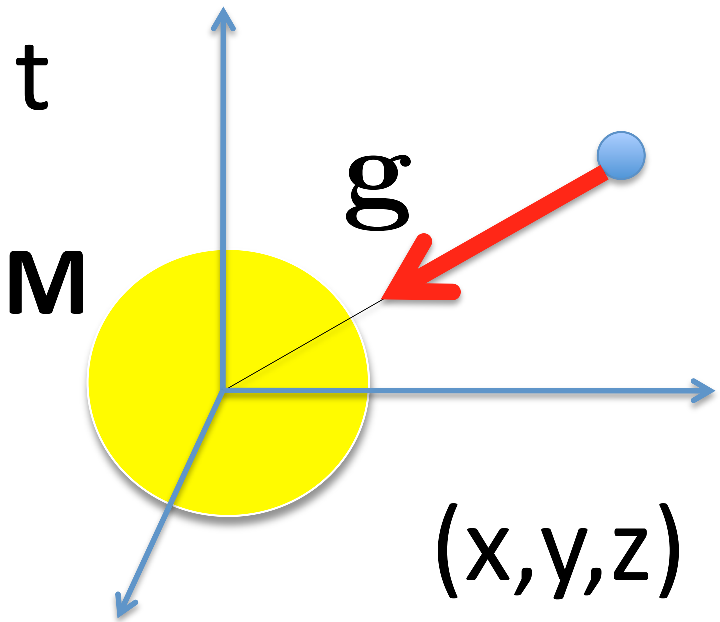
1. ΥΛΗ → ΒΑΡΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ



$$g = G_N \frac{M}{r^2}$$

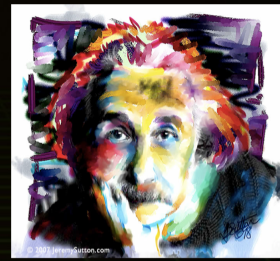
$$\nabla \cdot \mathbf{g} = -4\pi G_N \rho_M(\mathbf{r}, t)$$

2. ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΒΑΡΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

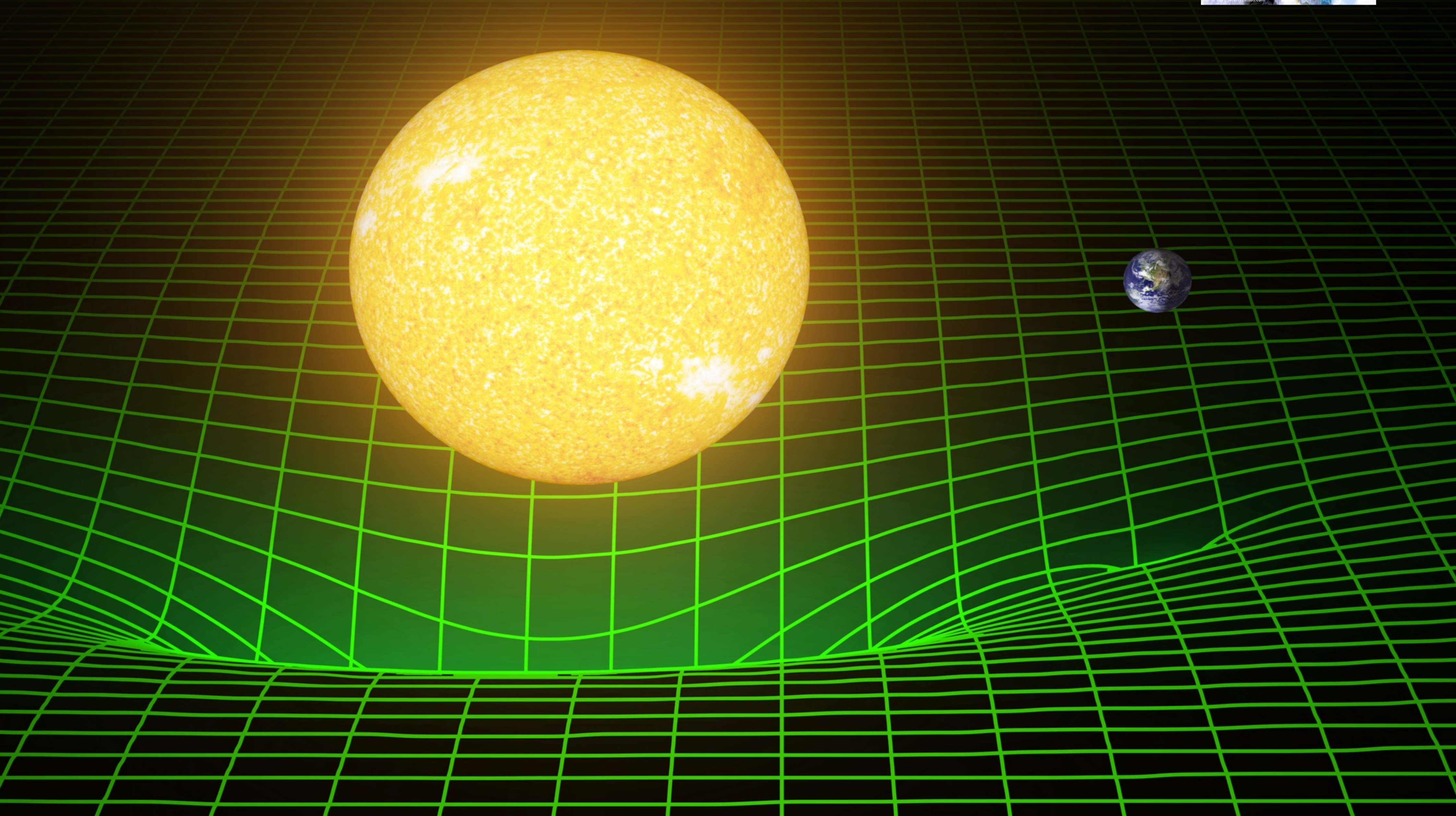


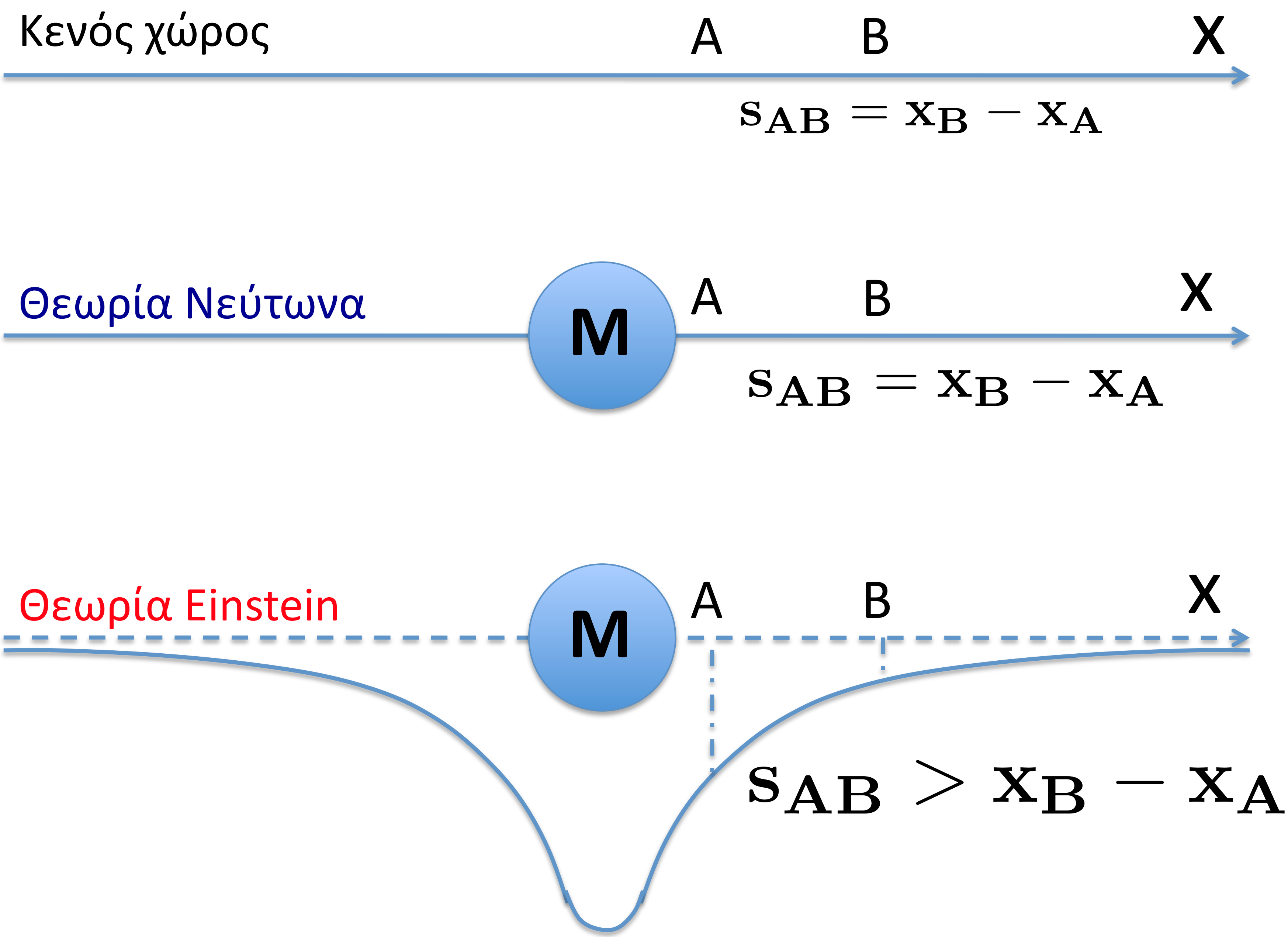
$$\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \mathbf{g}(\mathbf{r}, t)$$

Η ΘΕΩΡΙΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ EINSTEIN



ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ

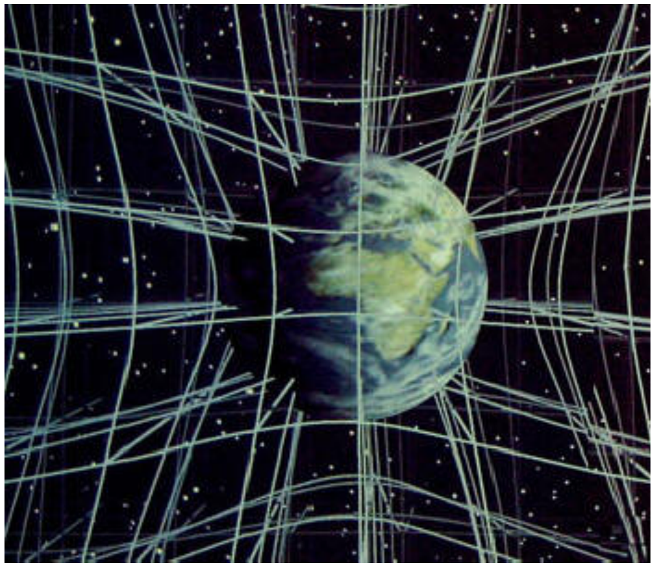



Κενός χώρος
A
B
X
$\mathbf{s_{AB} = x_B - x_A}$
Θεωρία Νεύτωνα
M
A
B
X
$\mathbf{s_{AB} = x_B - x_A}$
Θεωρία Einstein
M
A
B
X
$\mathbf{s_{AB} > x_B - x_A}$

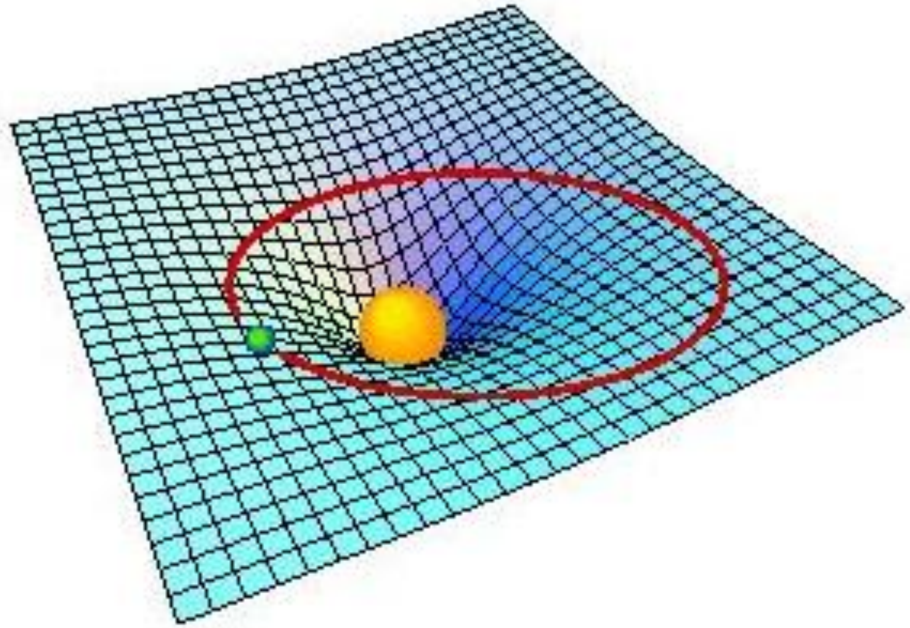
Η ΘΕΩΡΙΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ EINSTEIN - συνέχεια

ΥΛΗ - ΕΝΕΡΓΕΙΑ → **ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ** ($g_{\mu\nu}$) ΤΟΥ ΧΩΡΟΧΡΟΝΟΥ

ΤΡΟΧΙΕΣ ΣΩΜΑΤΩΝ



Γεωμετρία Schwarzschi



$$\mathbf{G}_{\mu\nu} = 8\pi\,\mathbf{G_N}\,\mathbf{T}_{\mu\nu}$$

$$\frac{\mathbf{d^2x}^\mu}{\mathbf{ds^2}} = -\mathbf{\Gamma}^\mu_{\nu\lambda}\frac{\mathbf{dx}^\nu}{\mathbf{ds}}\frac{\mathbf{dx}^\lambda}{\mathbf{ds}}$$

ΕΝΤΥΠΩΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΤΥΧΙΕΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

1. ΟΙ ΤΡΟΧΙΕΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ –
   Η ΜΕΤΑΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΗΛΙΟΥ ΤΟΥ ΕΡΜΗ

http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/GenRel/Flash/Precession.html

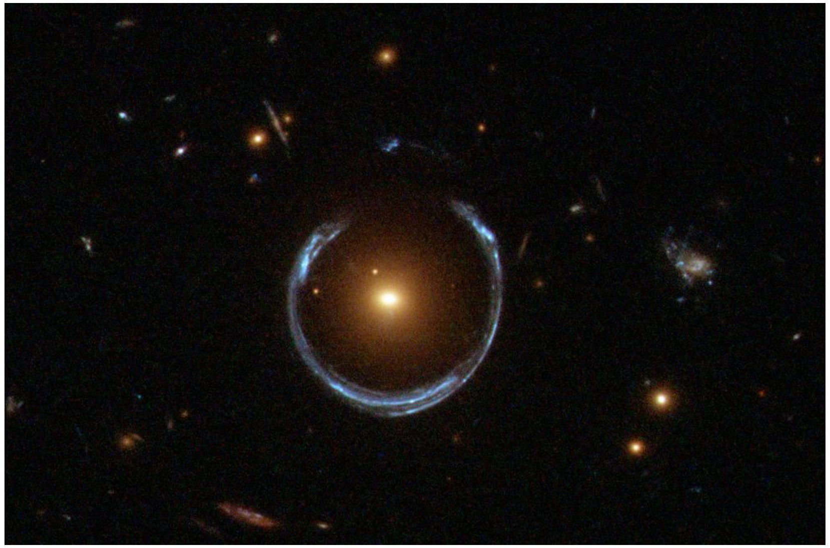
ΕΡΜΗΣ: υπόλοιπο **43'' ανά αιώνα**

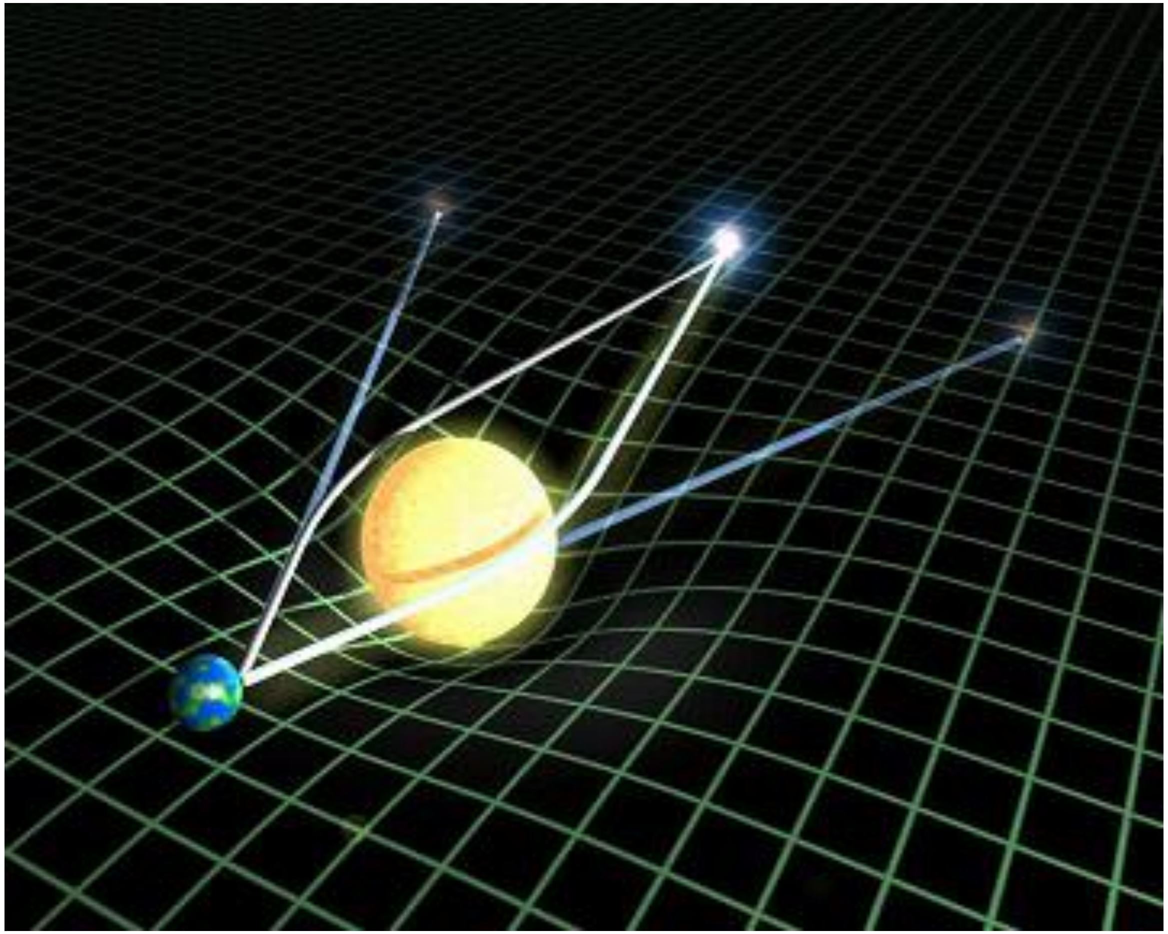
Ετος Ερμή = 88 ημέρες Γης

100 έτη Γης = 100 x 365 / 88 περιστροφές Ερμή

= 414.8 περιστροφές Ερμή

2. ΤΡΟΧΙΕΣ ΦΩΤΟΣ –
ΚΑΜΠΥΛΩΣΗ ΤΡΟΧΙΑΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ





$$\delta \sim \# \frac{G_N M}{c^2\, r_{\min}}$$

ΠΟΤΕ ΕΙΝΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ EINSTEIN?

Π.χ. Για σύστημα με μάζα M και
τυπικό γραμμικό μέγεθος R:

$$\psi \equiv \frac{\mathbf{E_{gr}}}{\mathbf{Mc^2}} \simeq \frac{\mathbf{G_N M^2/R}}{\mathbf{Mc^2}} = \frac{\mathbf{G_N M}}{\mathbf{Rc^2}}$$

NEWTON $\longleftarrow$ EINSTEIN

+μικρές διορθώσεις

Ψ<<1 και V<<c

Μεταλλική σφαίρα: 10^{-24}
ΓΗ: 10^{-9}
ΗΛΙΟΣ: 10^{-6}

Αστέρας νετρονίων: 0.2

Μελανή Οπή: 0.5

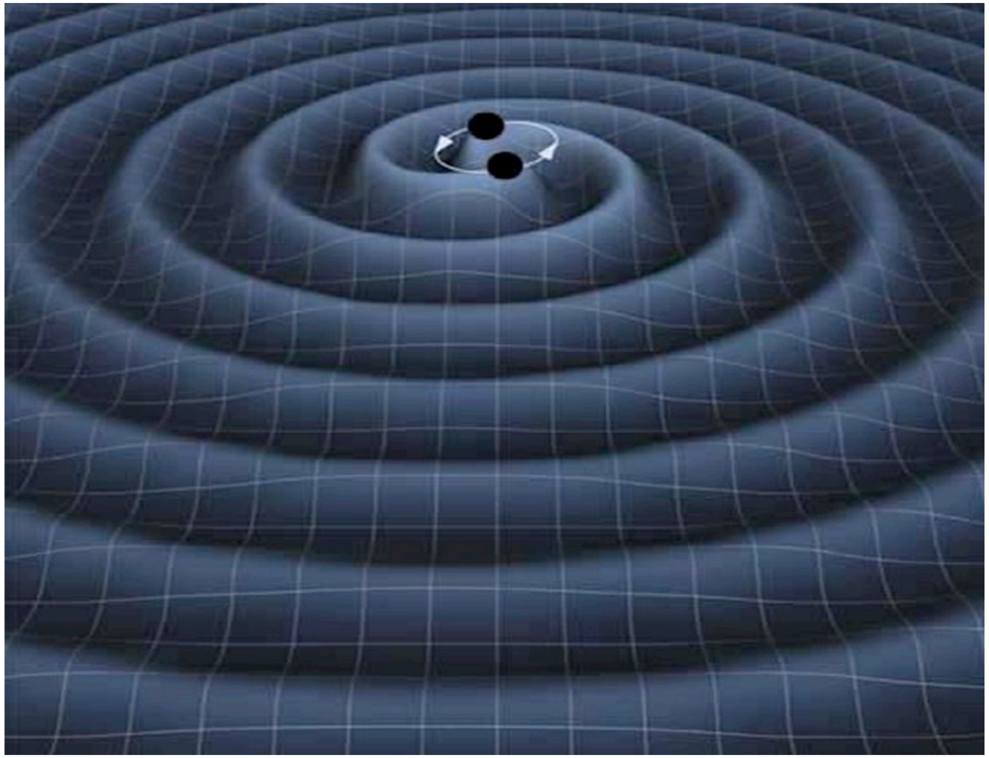
ΣΥΜΠΑΝ: 0.1

ΝΕΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ: ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

LISA LASER INTERFEROMETER SPACE ANTENNA
HANNOVER, GERMANY

Print Page

Gallery
Ripples in the curvature of spacetime

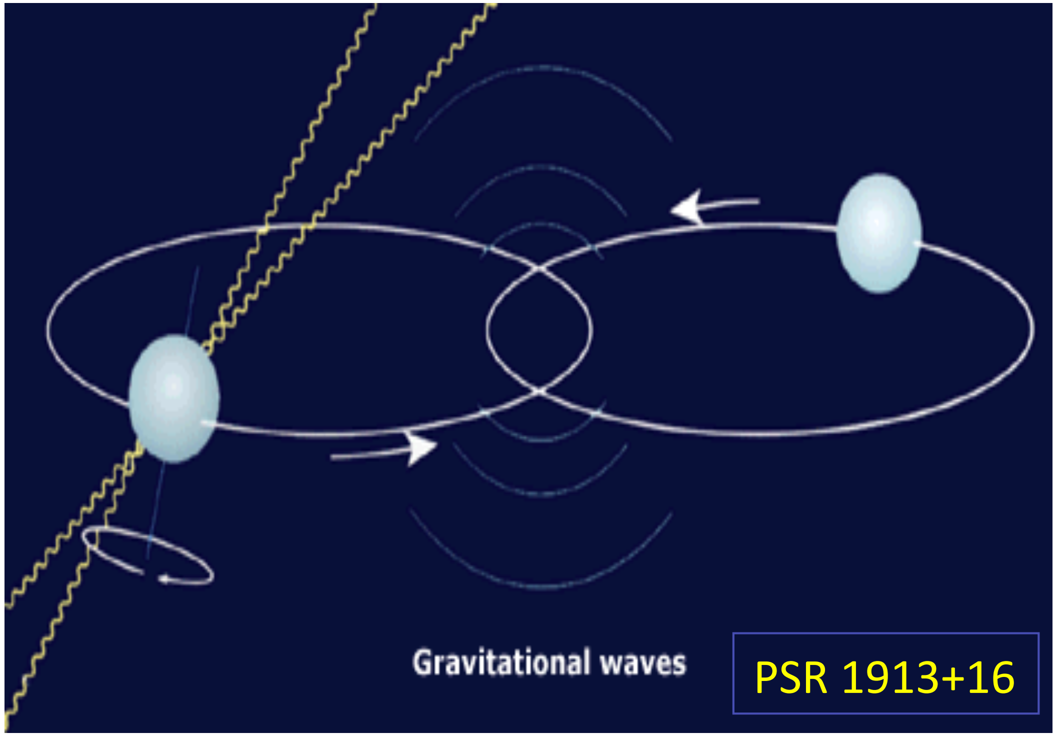


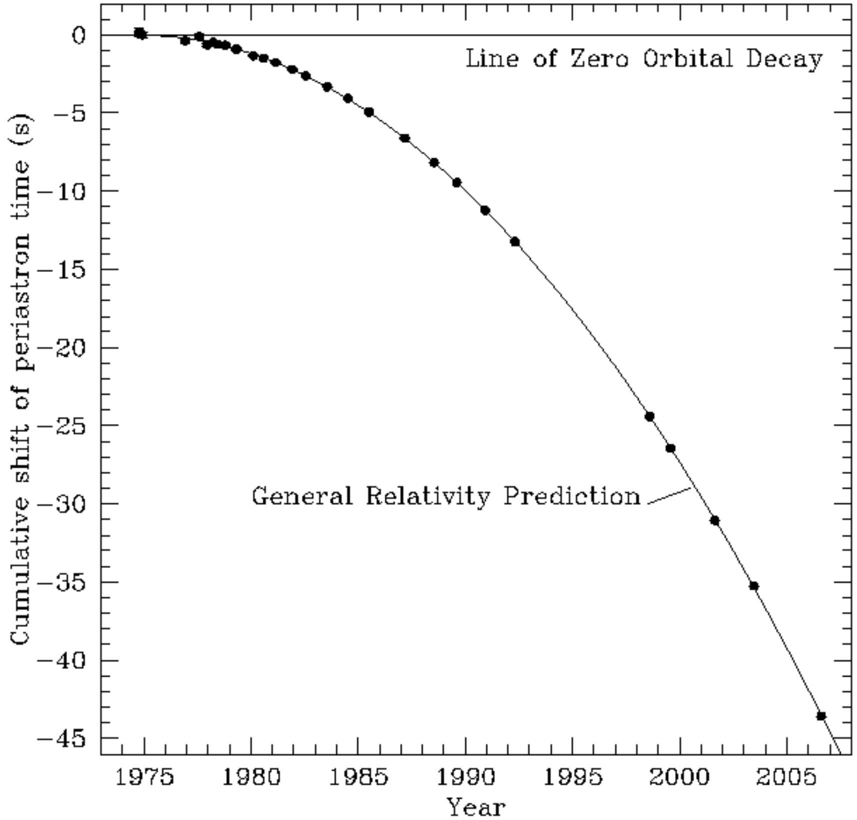
Ripples in the curvature of spacetime generated by the motion of massive particles, such as two stars or two black holes orbiting each other. © NASA

WWW.LISA.AEI-HANNOVER.DE

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Wavy.gif

ΕΜΜΕΣΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ

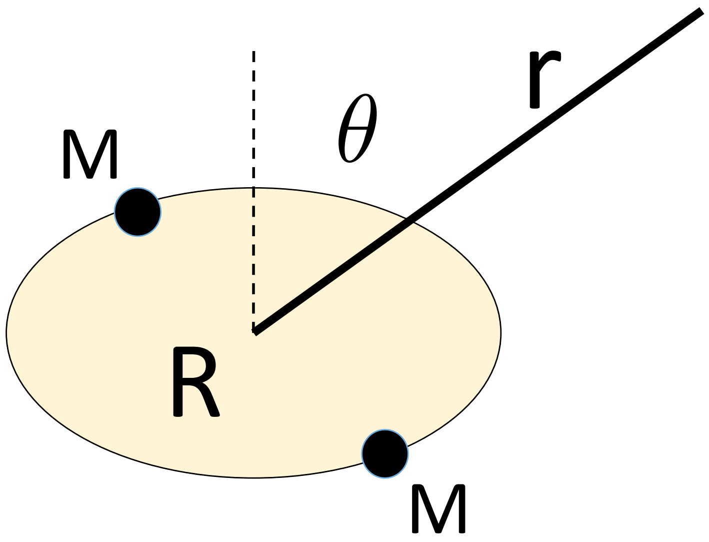




R. Hulse & J. Taylor
Nobel 1993

ΟΜΩΣ ΕΚΚΡΕΜΕΙ *ΕΥΘΕΙΑ* ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ.....

ΒΑΡΥΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΑΠΟ ΔΙΠΛΟ ΑΣΤΕΡΑ



ΠΛΑΤΟΣ

$$h_+ \sim \frac{M}{R}\frac{M}{r}(1+\cos^2\theta)\cos(\omega(t-r/c))$$

$$h_X \sim \frac{M}{R}\frac{M}{r}\cos\theta\sin(\omega(t-r/c))$$

Ηλιος-Γη: $h_+ \sim 10^{-10} m/r$

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ $\omega \sim \sqrt{M/R^3}$

ΠΟΛΩΣΗ

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/GravitationalWave_PlusPolarization.gif

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/GravitationalWave_CrossPolarization.gif

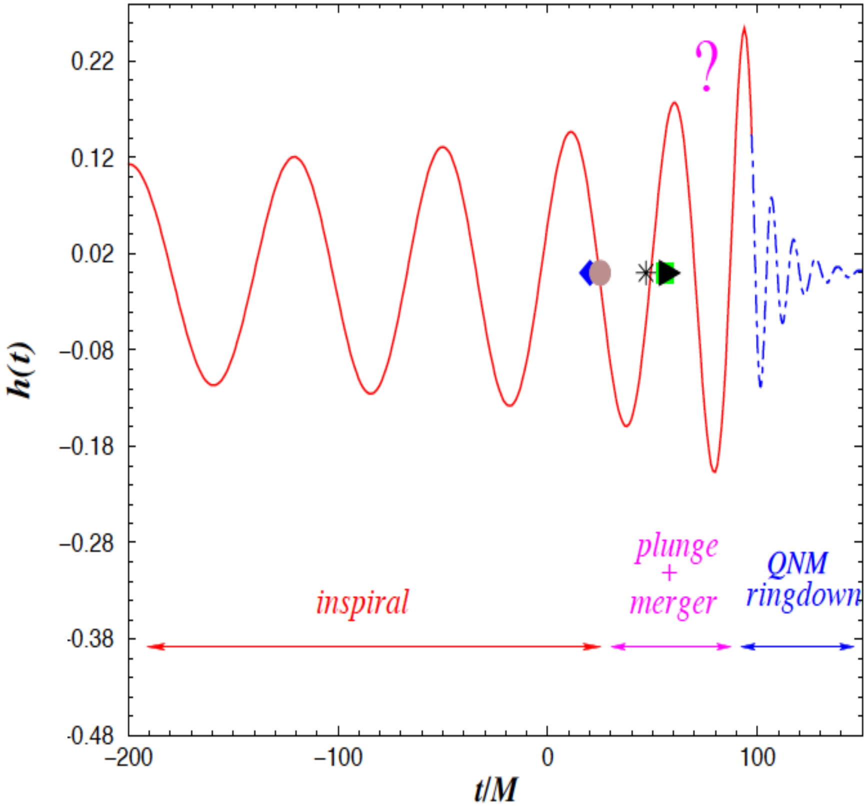
ΙΣΧΥΣ

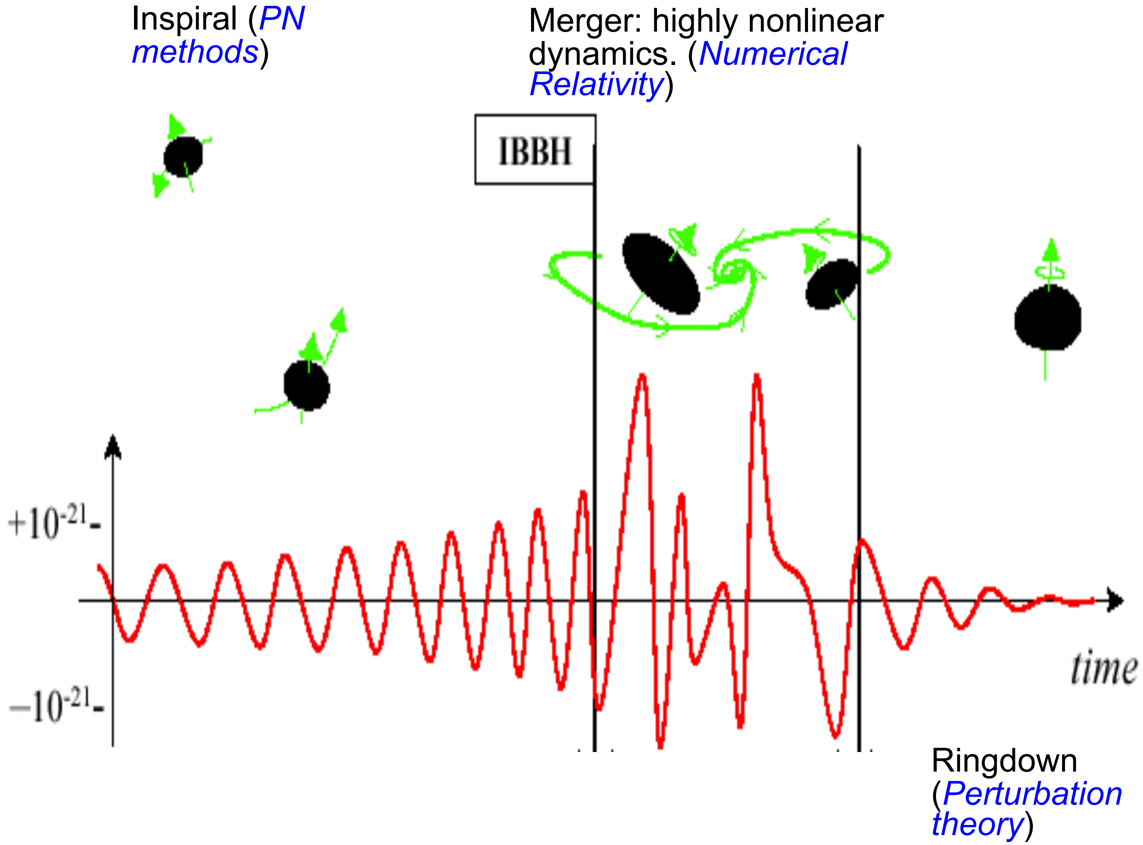
$$\mathbf{P_{rad} \equiv \frac{dE_{rad}}{dt} = -\frac{32}{5}\frac{G_N^4}{c^5}\frac{M^2 m^2 (M+m)}{R^5} \sim \left(\frac{M}{R}\right)^5}$$

Ηλιος-Γη: 200 Watts !!!

Ηλιος: 4x10^26 Watts

ΕΙΔΙΚΑ ΑΠΟ ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΔΥΟ ΜΕΛΑΝΩΝ ΟΠΩΝ....

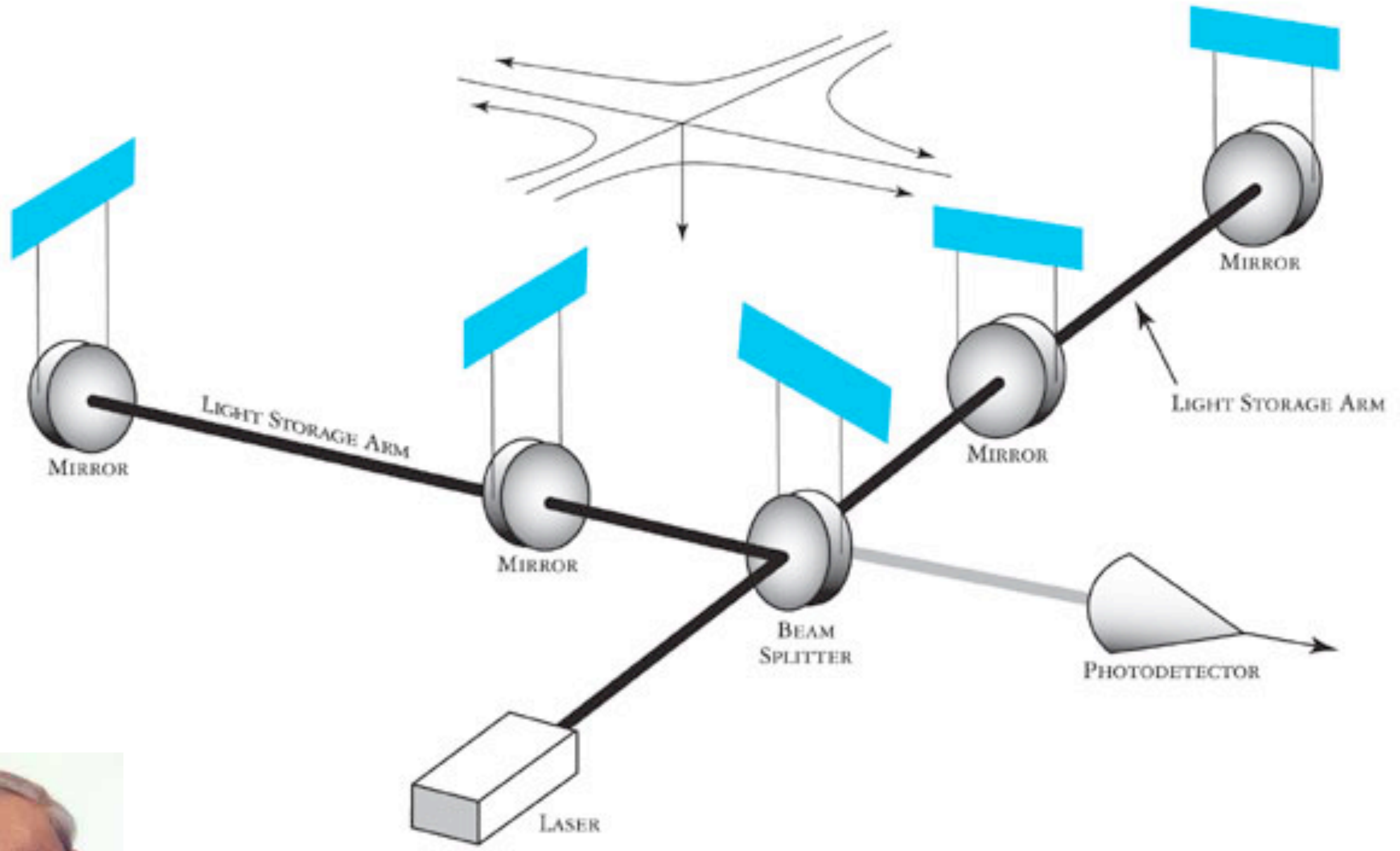




$$\Delta L \simeq h L$$

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

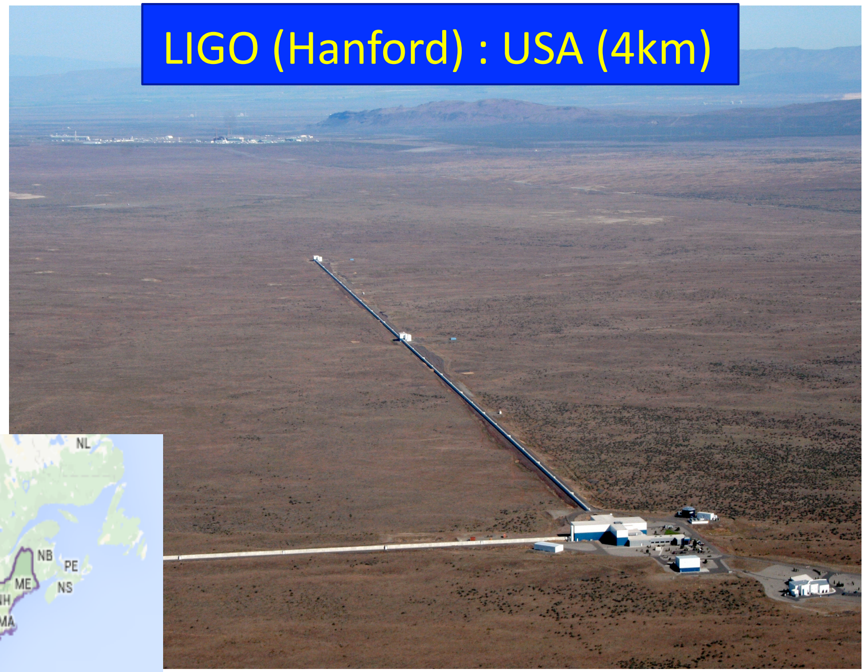
J. WEBER 1960 -



R. Weiss

R. Drever

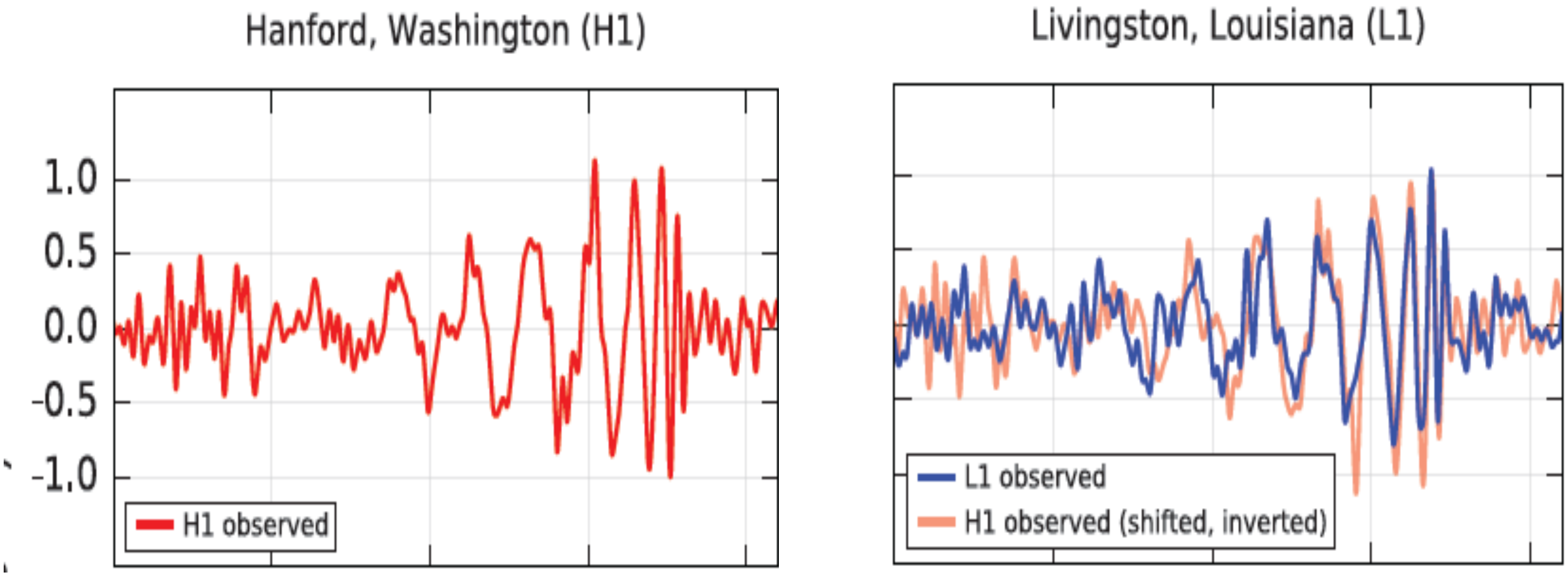
LIGO: L=4km, ΔL=h L=0.0001 Fermi

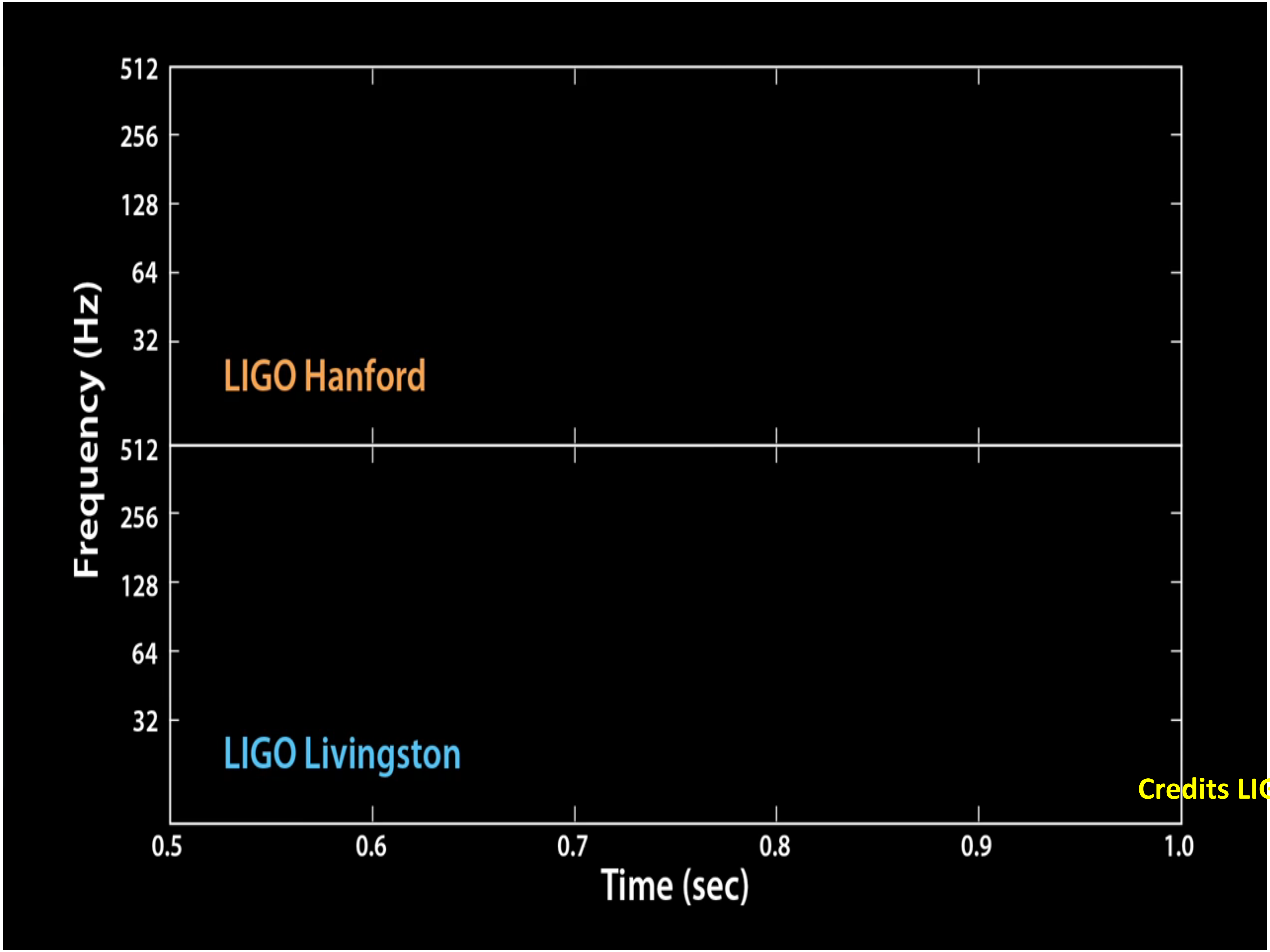


$\Delta L \sim 10^{-17}$cm !!

ΤΟ ΓΕΓΟΝΟΣ: 14/9/2015 (09:50:45 UT)

GW150914





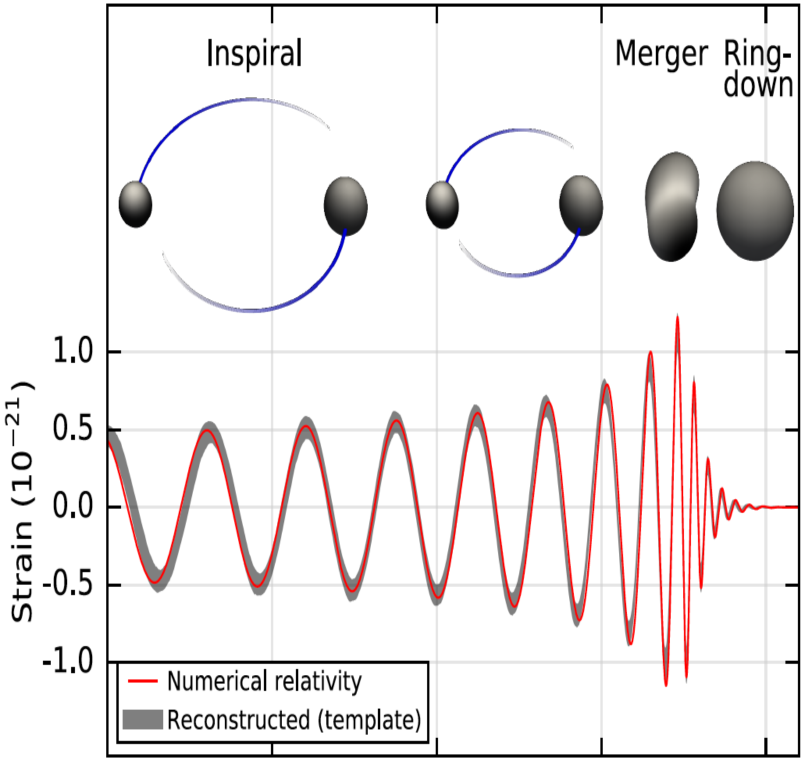
Credits LIGO

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ

$$\mathbf{M_1 \simeq 36\, M_{SUN}}$$

$$\mathbf{M_2 \simeq 29\, M_{SUN}}$$

$$\mathbf{M_{final} \simeq 62\, M_{SUN}}$$



$$\mathbf{\Delta M \simeq 3\, M_{SUN}}$$

$$\mathbf{Duration \simeq 0.2\, sec}$$

$$f_1 \sim 35\, Hz$$

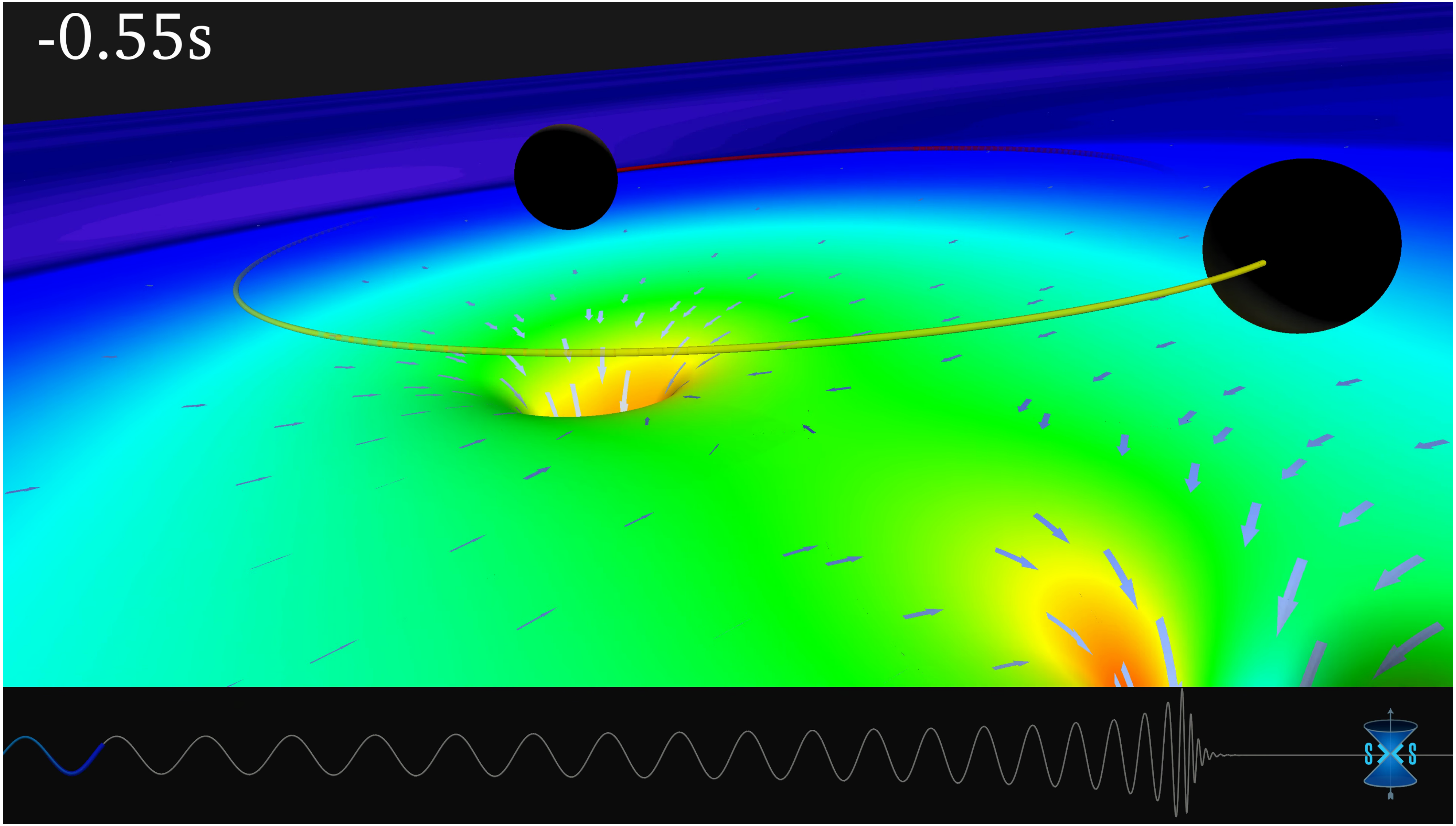
$$\mathbf{D \simeq 1.3 \times 10^9\ light\ years}$$

$$f_2 \sim 150\, Hz$$

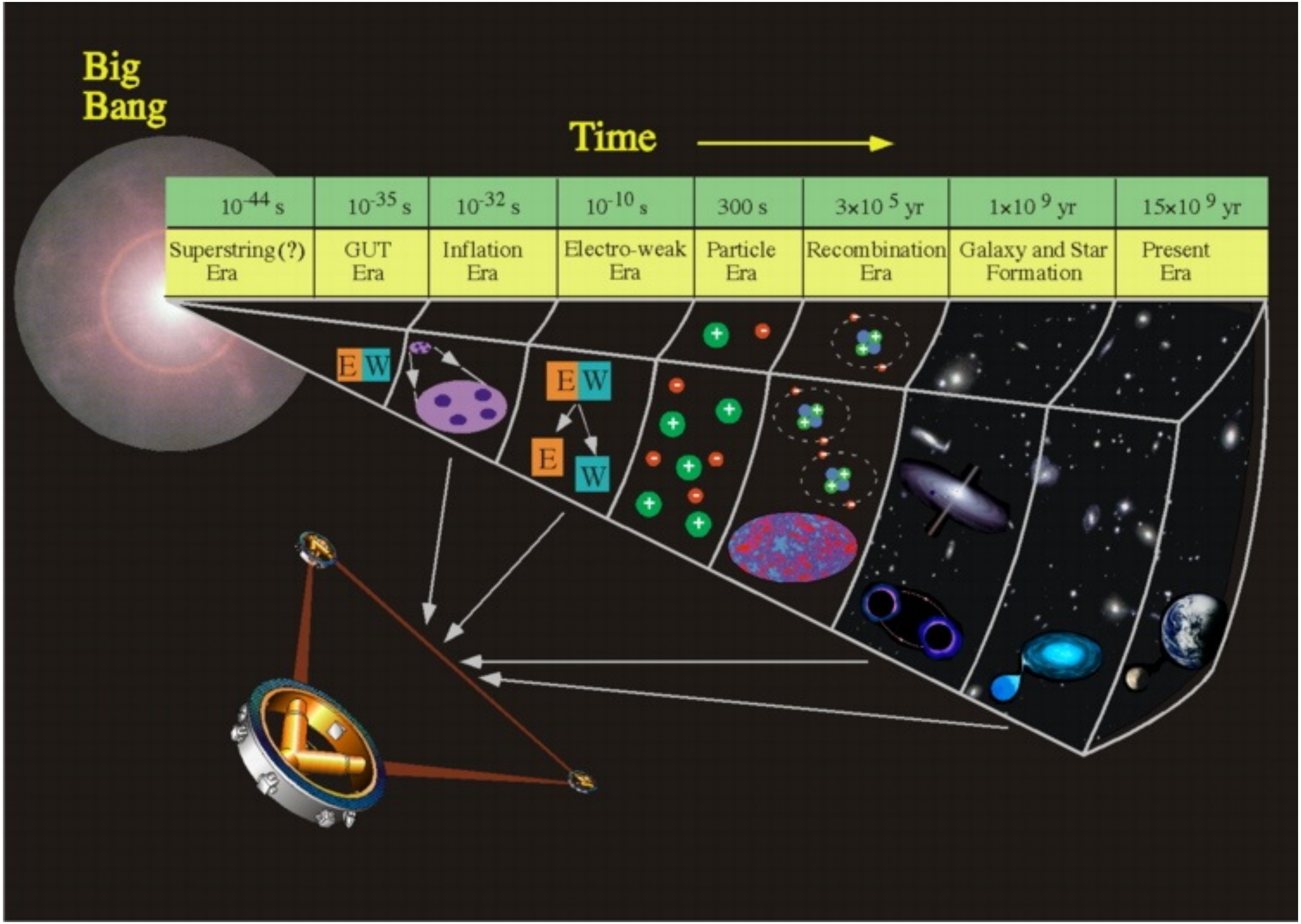
$$\mathbf{v/c \sim 0.5}$$

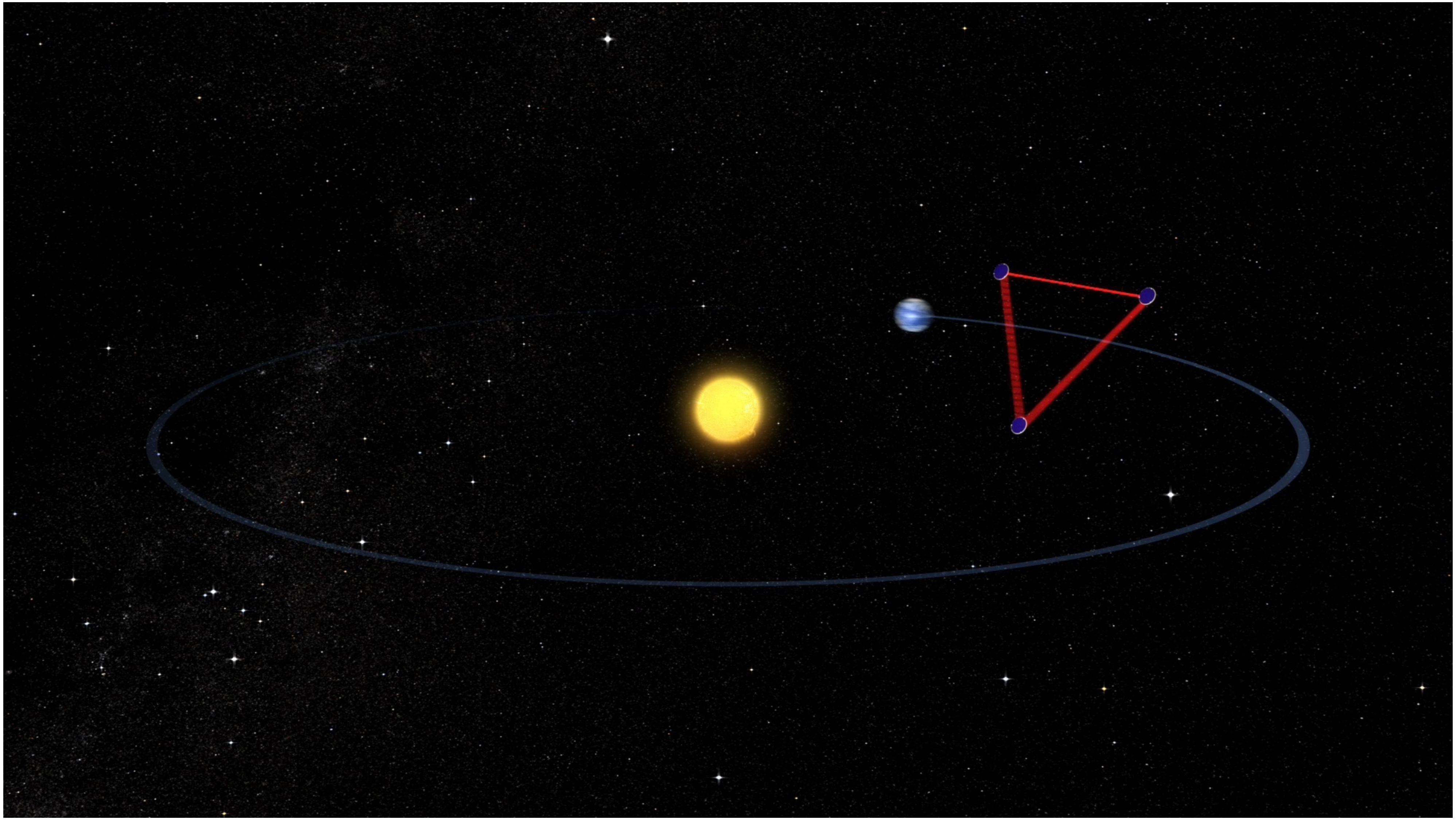
$$8\, turns$$

ΤΙ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ 1.3 ΔΙΣ ΧΡΟΝΙΑ



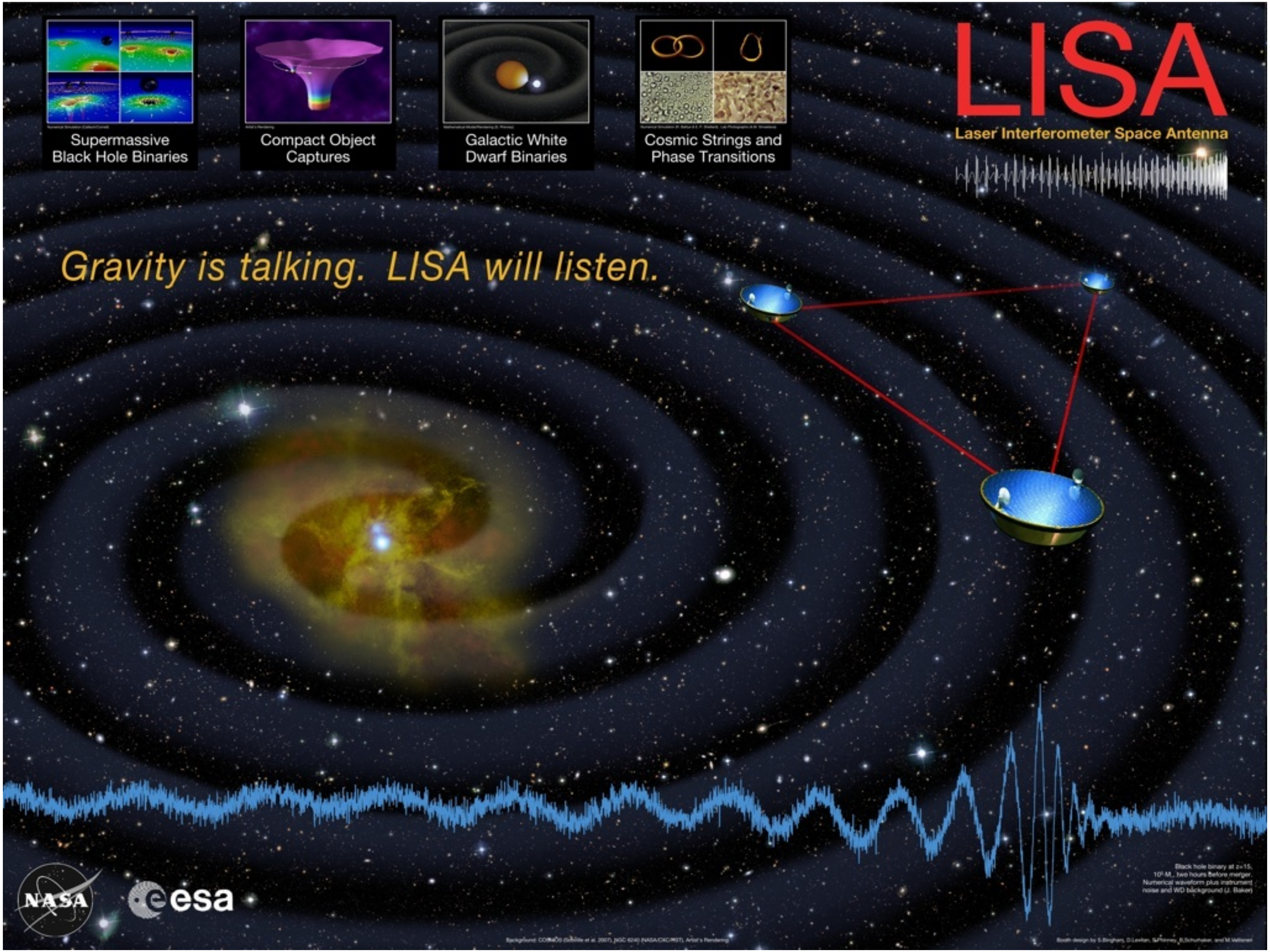
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/
Warped_Space_and_Time_Around_Colliding_Black_Holes_%28Courtesy_Caltech-MIT-
LIGO_Laboratory%2C_produced_by_SXS_project%29.webm


Big Bang
Time
10^{-44} s
10^{-35} s
10^{-32} s
10^{-10} s
300 s
3×10^{5} yr
1×10^{9} yr
15×10^{9} yr
Superstring (?) Era
GUT Era
Inflation Era
Electro-weak Era
Particle Era
Recombination Era
Galaxy and Star Formation
Present Era
E W
E W
E
W



ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΟ **LISA** (Laser Interferometer Space Antenna)

ΙΣΟΠΛΕΥΡΟ ΤΡΙΓΩΝΟ ΠΛΕΥΡΑΣ 5.000.000 km $\omega \sim 0.003 - 0.1 Hz$


Supermassive Black Hole Binaries
Compact Object Captures
Galactic White Dwarf Binaries
Cosmic Strings and Phase Transitions
LISA
Laser Interferometer Space Antenna
Gravity is talking. LISA will listen.
NASA
esa