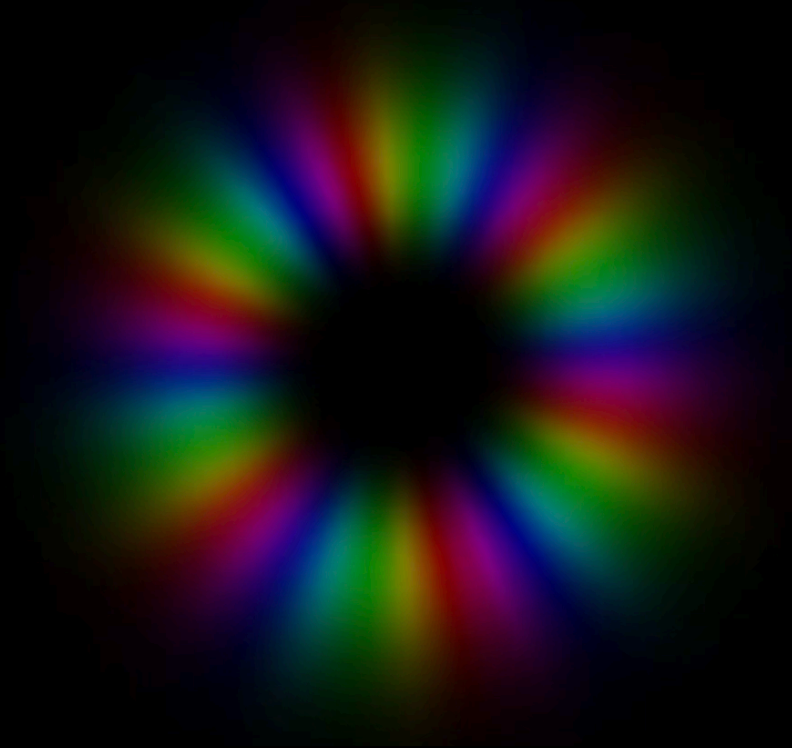




UNIVERSITÀ
DI TRENTO

Dipartimento di
Fisica



① da Galilei a Einstein
(più veloci della luce)

Elementi di
Fisica Moderna 2025





DIALOGO

DI
GALILEO GALILEI LINCEO

MATEMATICO SOPRAORDINARIO

DELLO STUDIO DI PISA.

E Filosofo, e Matematico primario del

SERENISSIMO

GR.DVCA DI TOSCANA.

Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



MUSEO
DEGLI STRUMENTI ANTICHI
DI FISICA
E DI ASTRONOMIA
VILEGI.



MUSEO
DI FISICA
E STORIA NATURALE
DI FIRENZE

IN FIRENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.

BIBLIOTECA dell'ISTITUTO
dell'UNIVERSITA' - FIRENZE

11/28

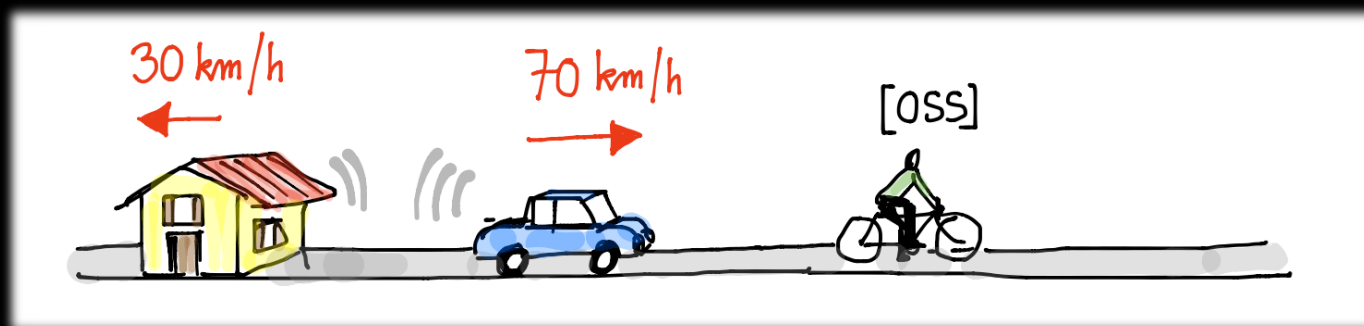
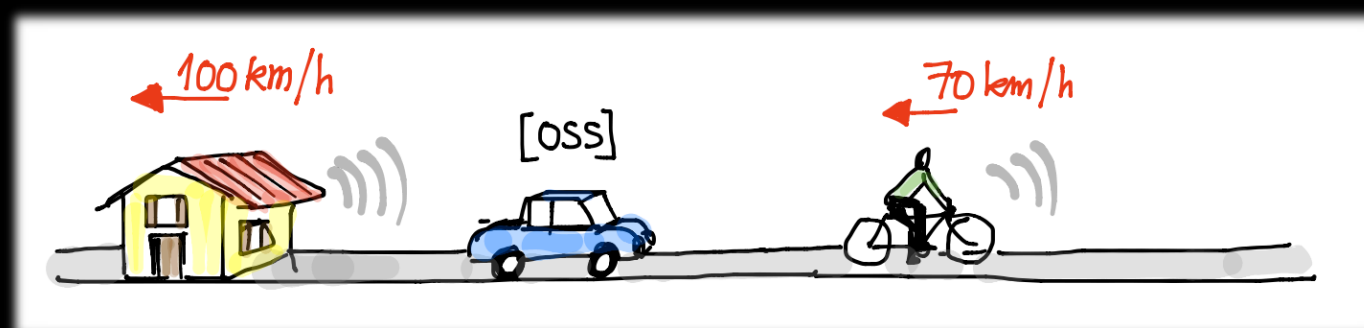
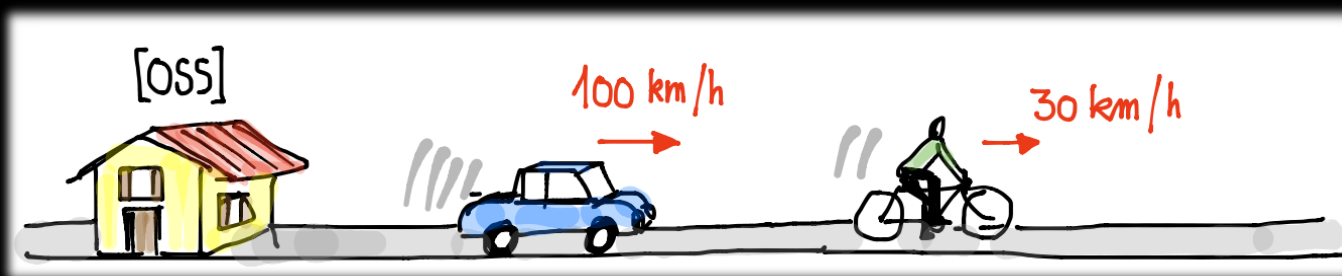
Antico
11/9



RELATIVITA' (di tanto tempo fa)

Rinseratevi con qualche annio nella maggior stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti: siavi anco un gran vaso d'acqua e dentrovi de' pescetti; Suspendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca che sia posto a basso; e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza. I pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi, le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi gettando all'anco alcuna cosa non più gagliardamente la dovete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze saranno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazi passerete vedo tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benchè niun dubbio ci sia mentre il vascello sta fermo non debbano succedere così: fate muovere la nave con quanta si voglia velocità; che (pur di moto uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutatione in tutti li nominati effetti; nè da alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina, o pure sta ferma.

RELATIVITA' (di tanto tempo fa)



RELATIVITA' (di tanto tempo fa)

LUCE & GRAVITA' ...

LUCE

alla velocità della LUCE

300 000 km/s

(più di un miliardo di km/h)



alla velocità della LUCE

300 000 km/s

(più di un miliardo di km/h)

si può misurare?

alla velocità della LUCE
300 000 km/s
(più di un miliardo di km/h)

si può misurare?

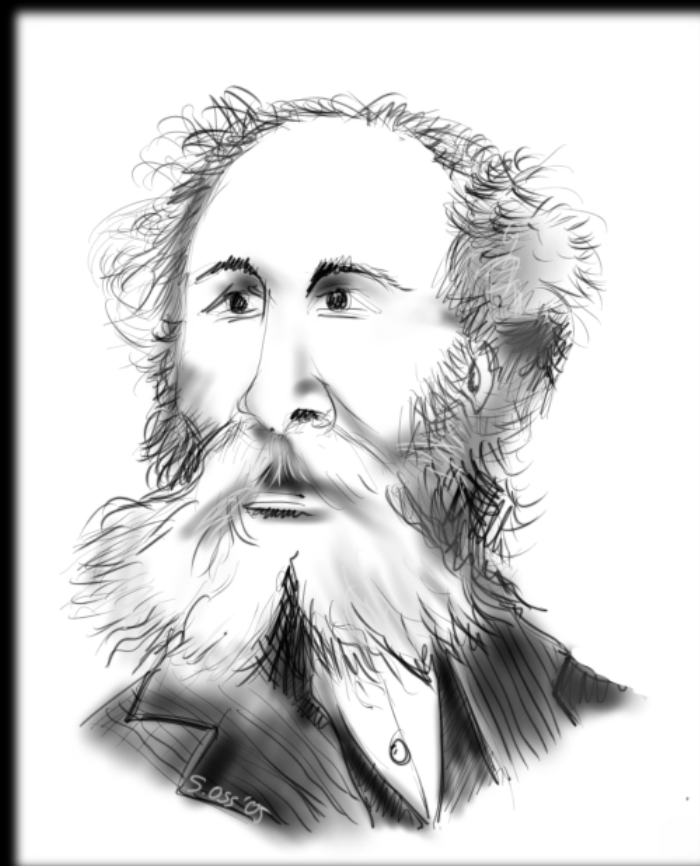


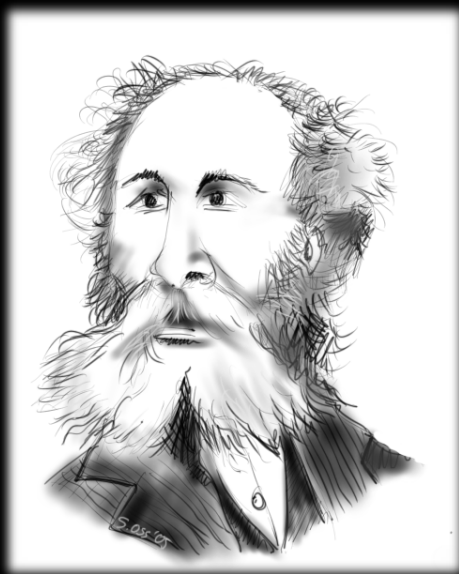
alla velocità della LUCE

300 000 km/s

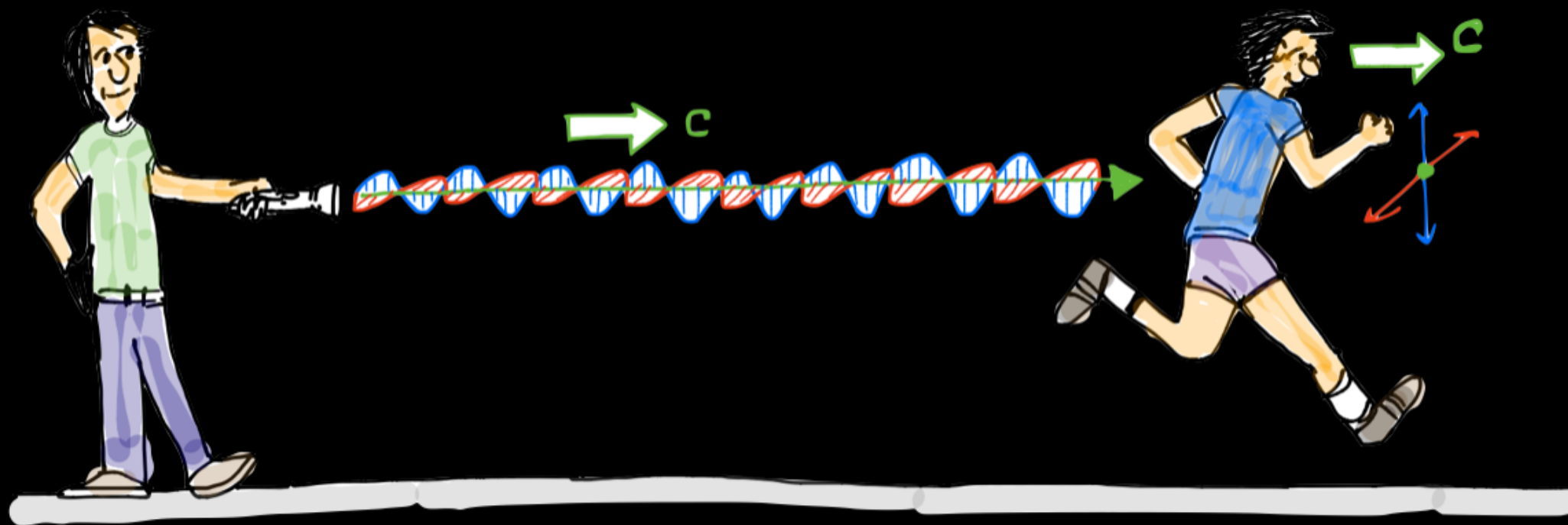
(più di un miliardo di km/h)

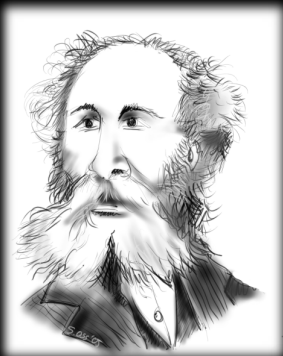
RISPETTO COSA ?



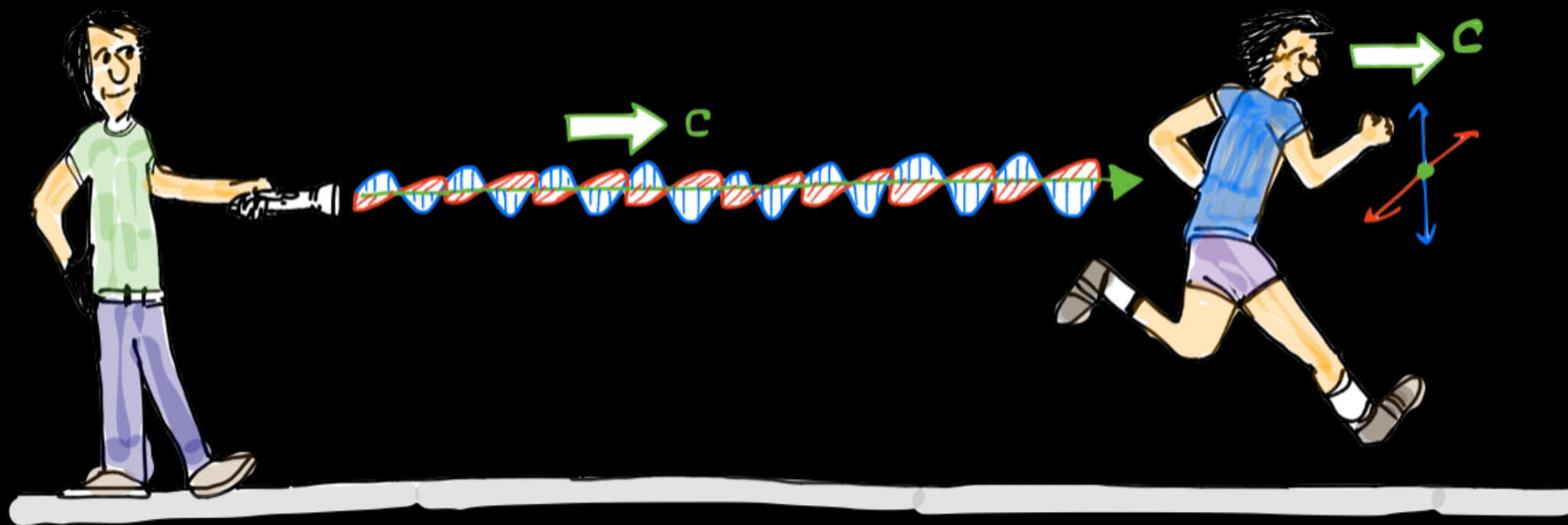


LUCE





LUCE





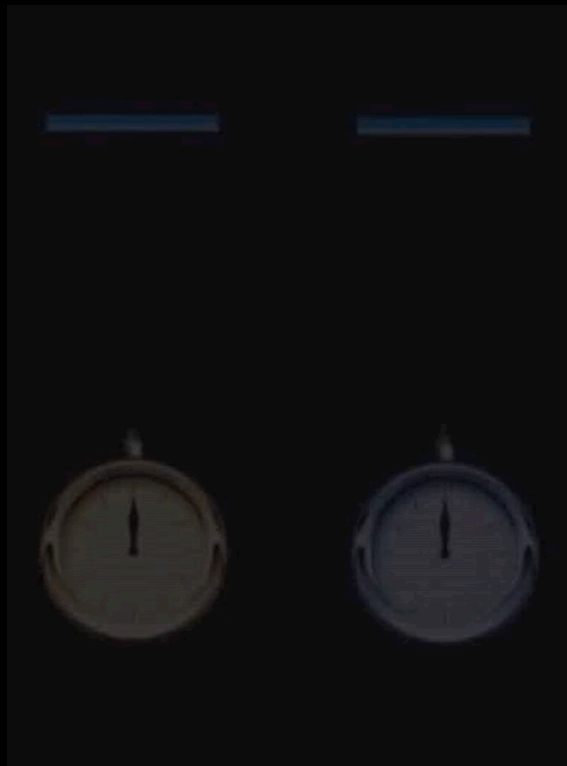
RELATIVITÀ (del 1905)

Tutte^(*) le leggi della fisica hanno
la stessa forma per ogni osservatore

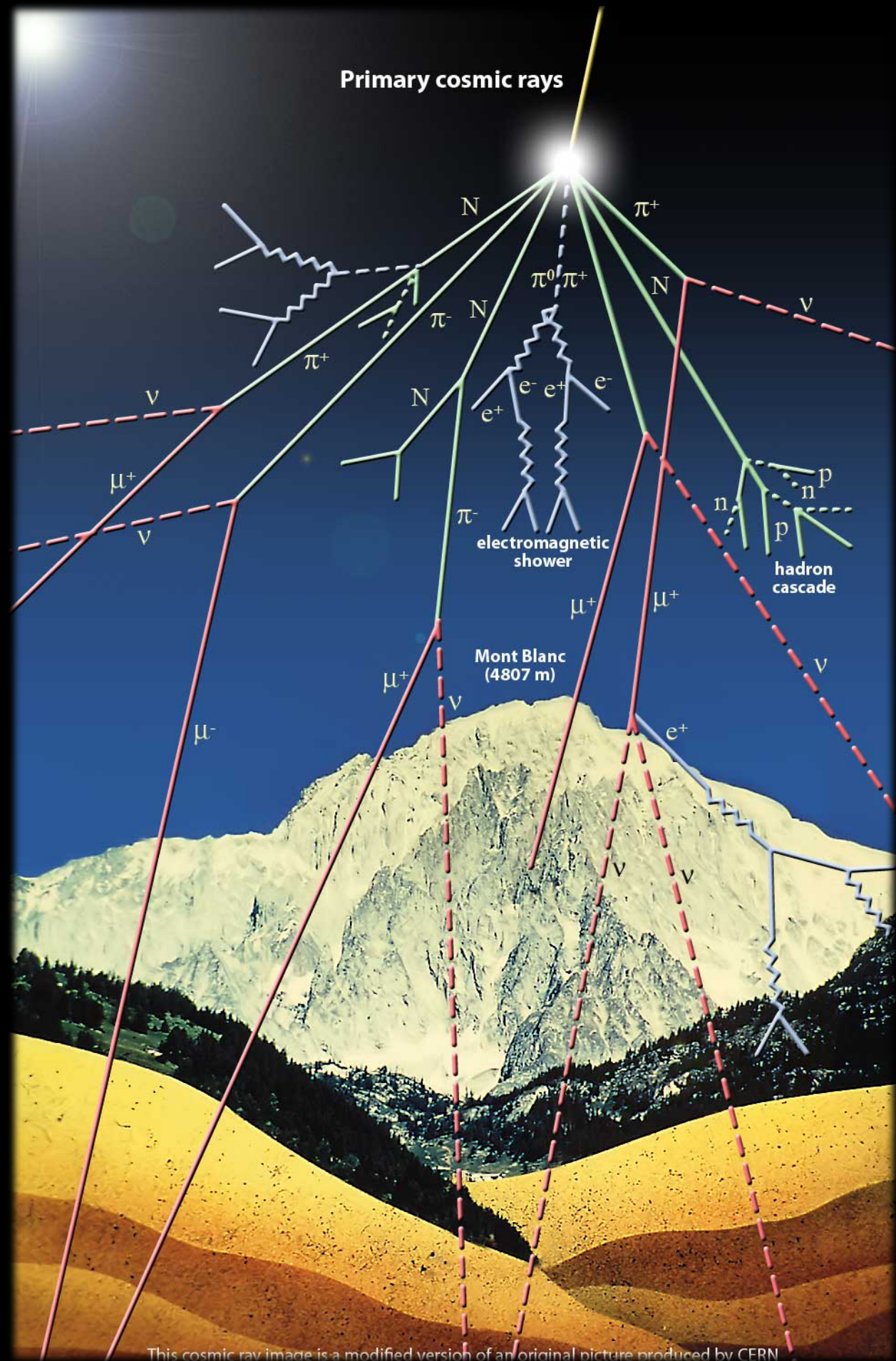
(*) MA PROPRIO TUTTE

La LUCE ha (nel vuoto) la STESSA
velocità per ogni osservatore.

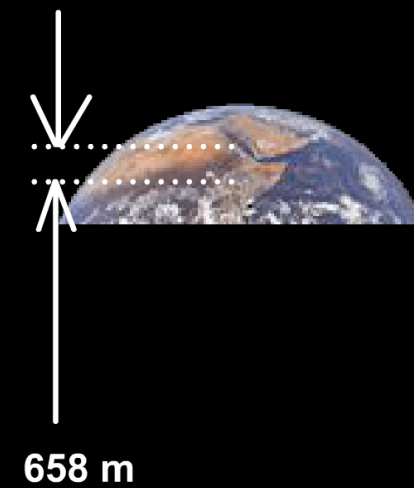
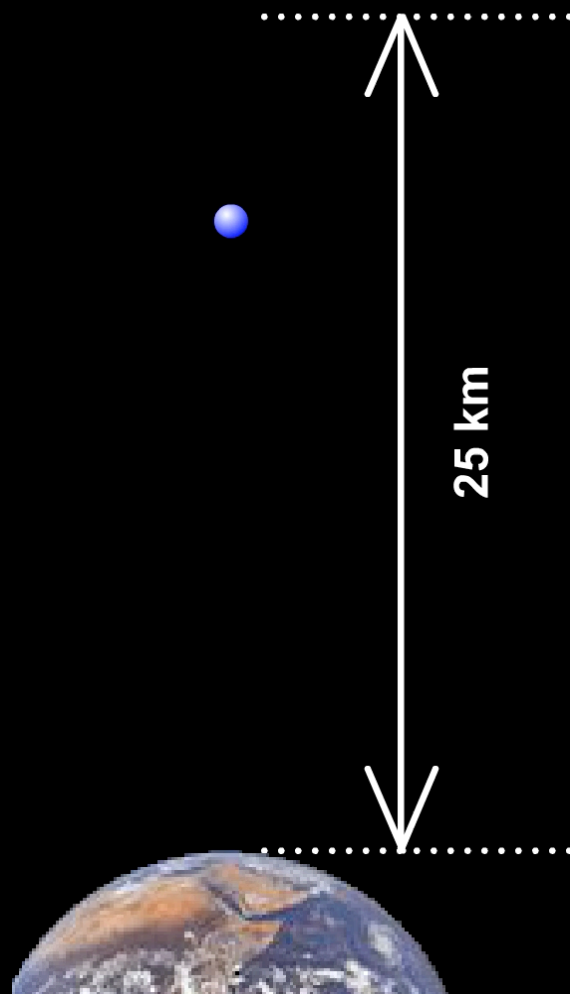
OROLOGI a LUCE!



Raggi Cosmici



Raggi Cosmici



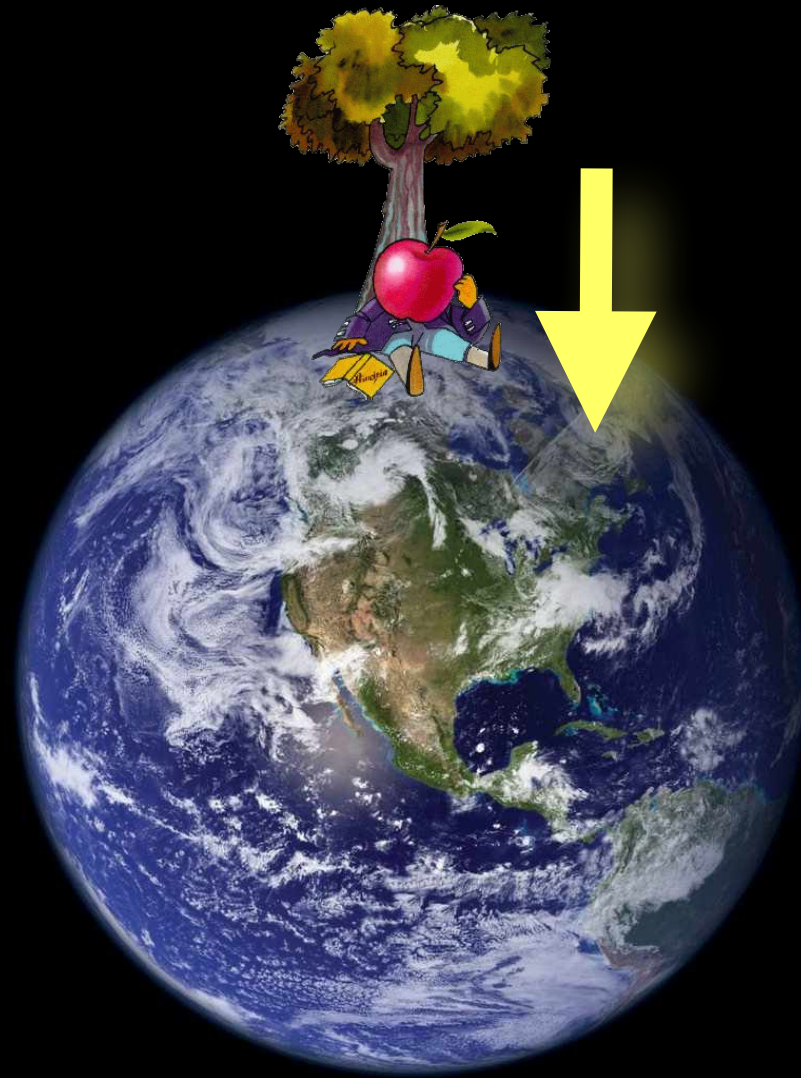
SPAZIO e TEMPO

Sono

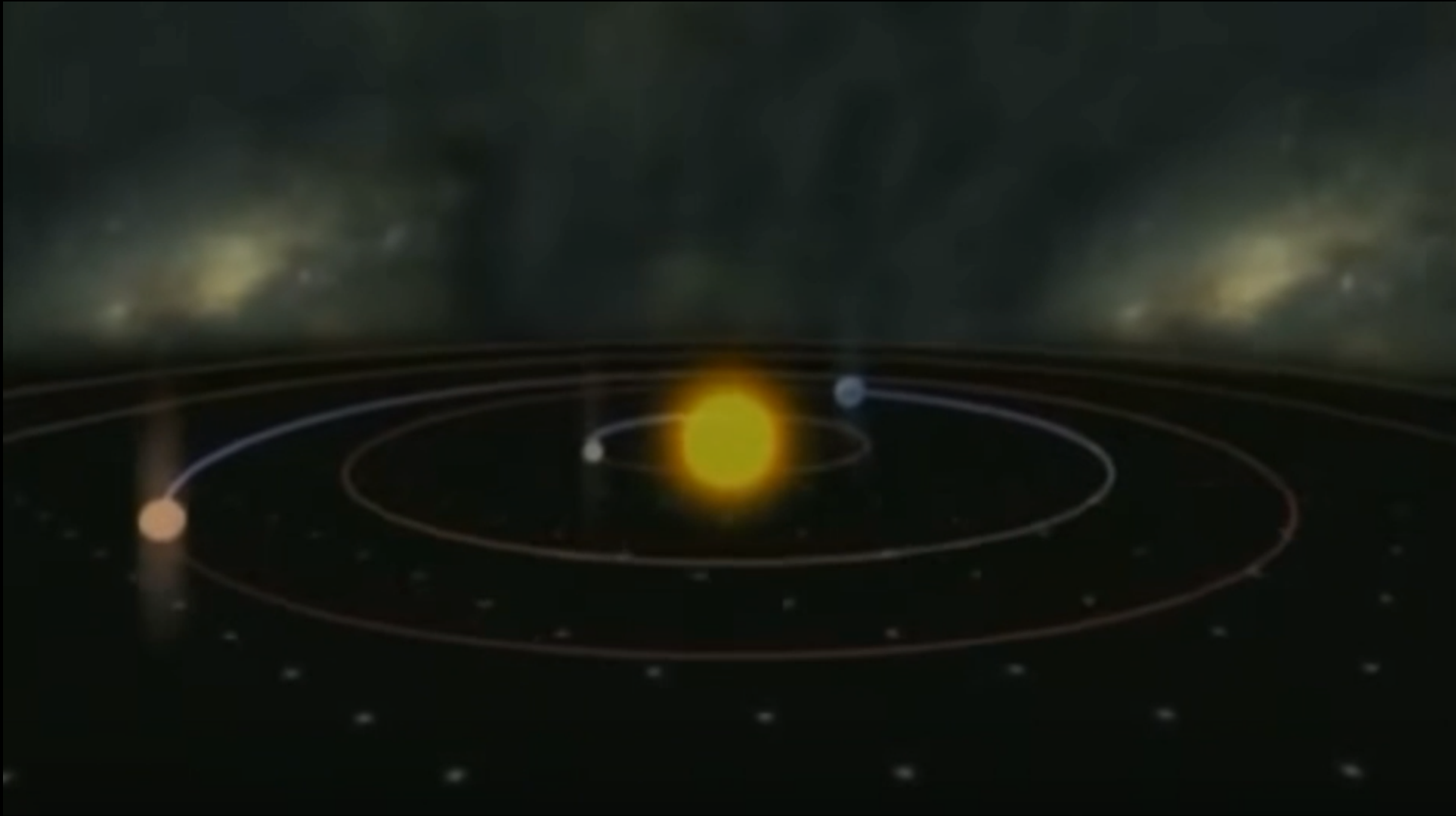
RELATIVI e INTRECCIATI

GRAVITA'

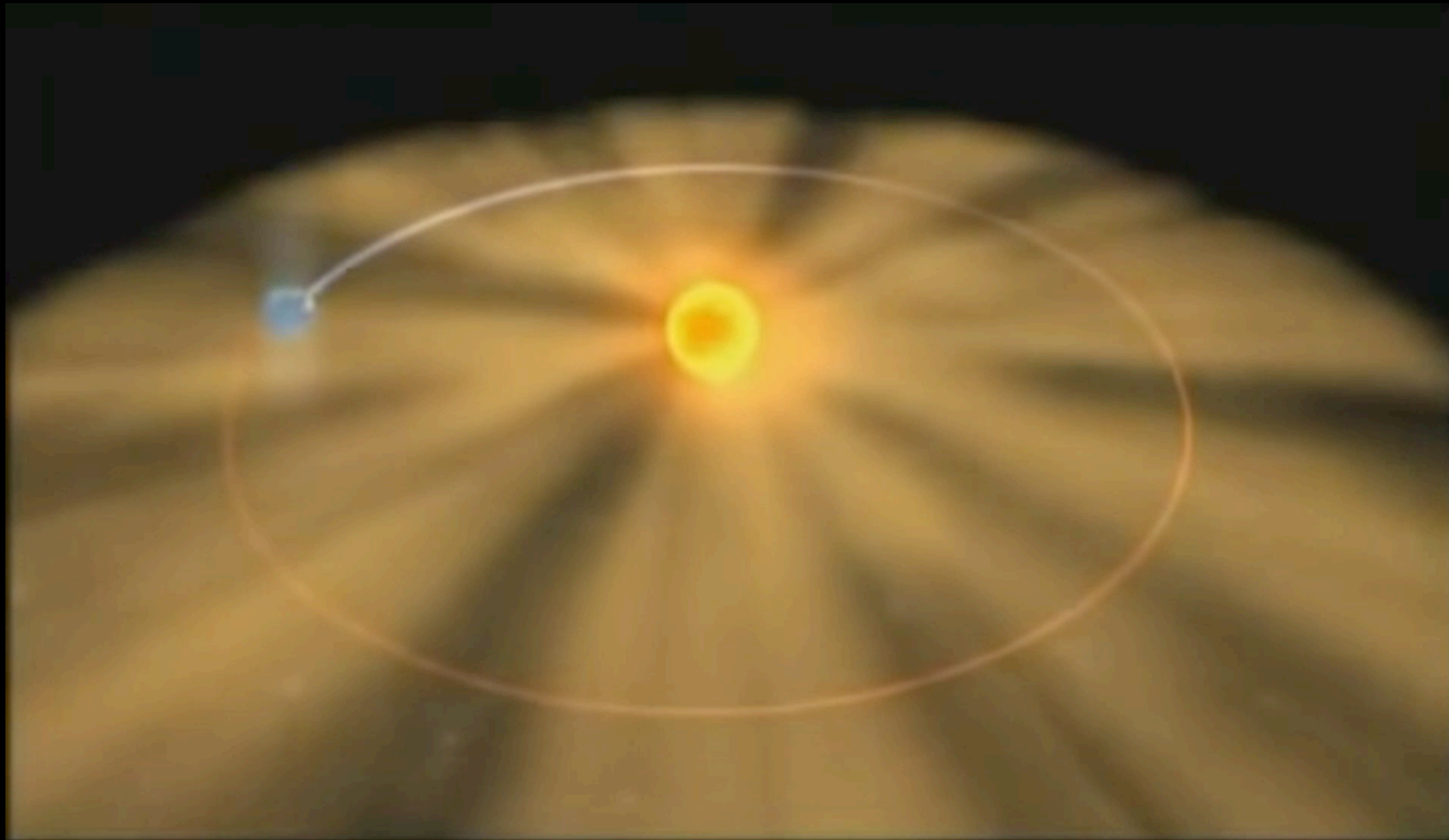
Cos'è la GRAVITA' ?



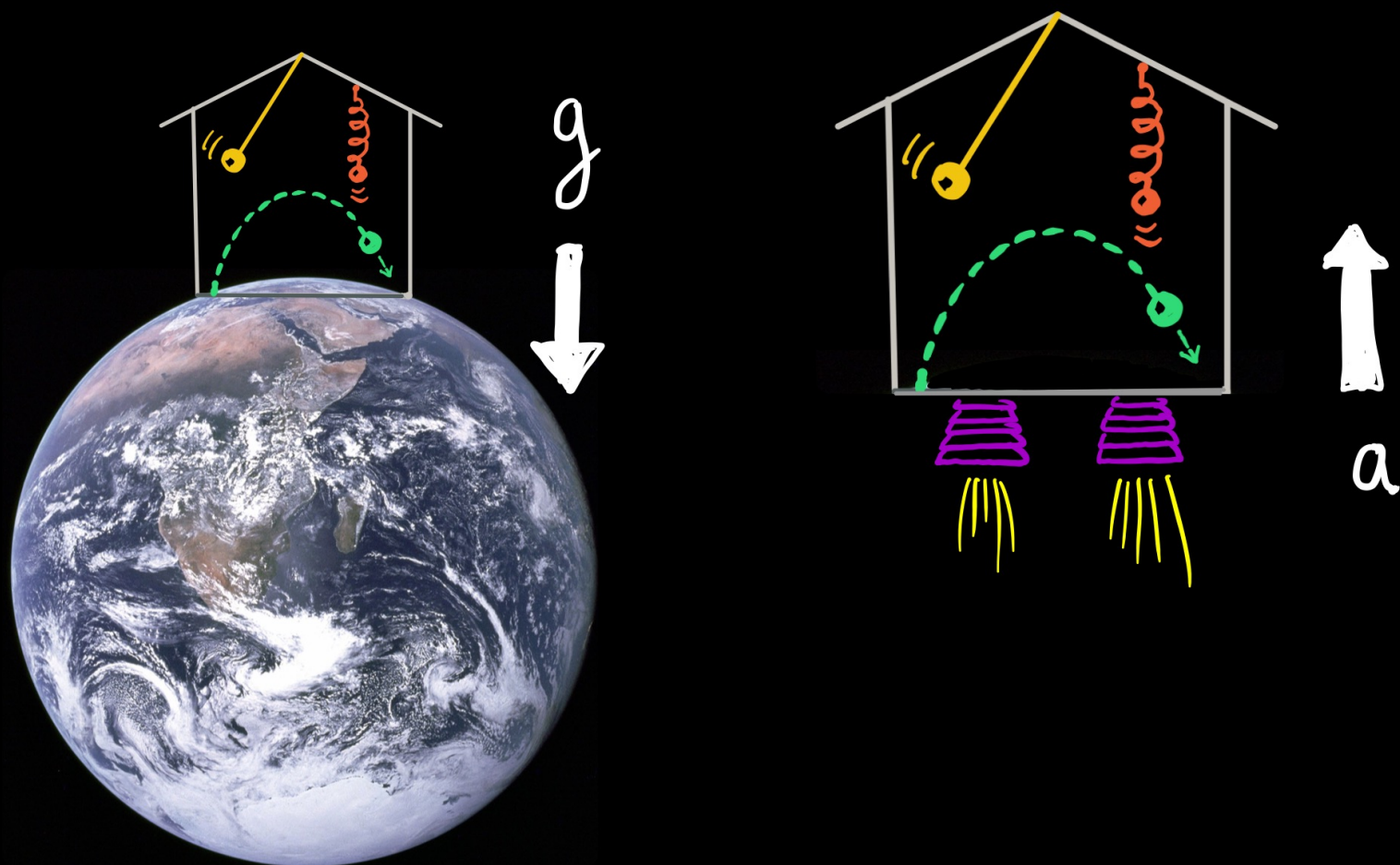
Cos'è la GRAVITA' ?



Cos'è la GRAVITA' ?



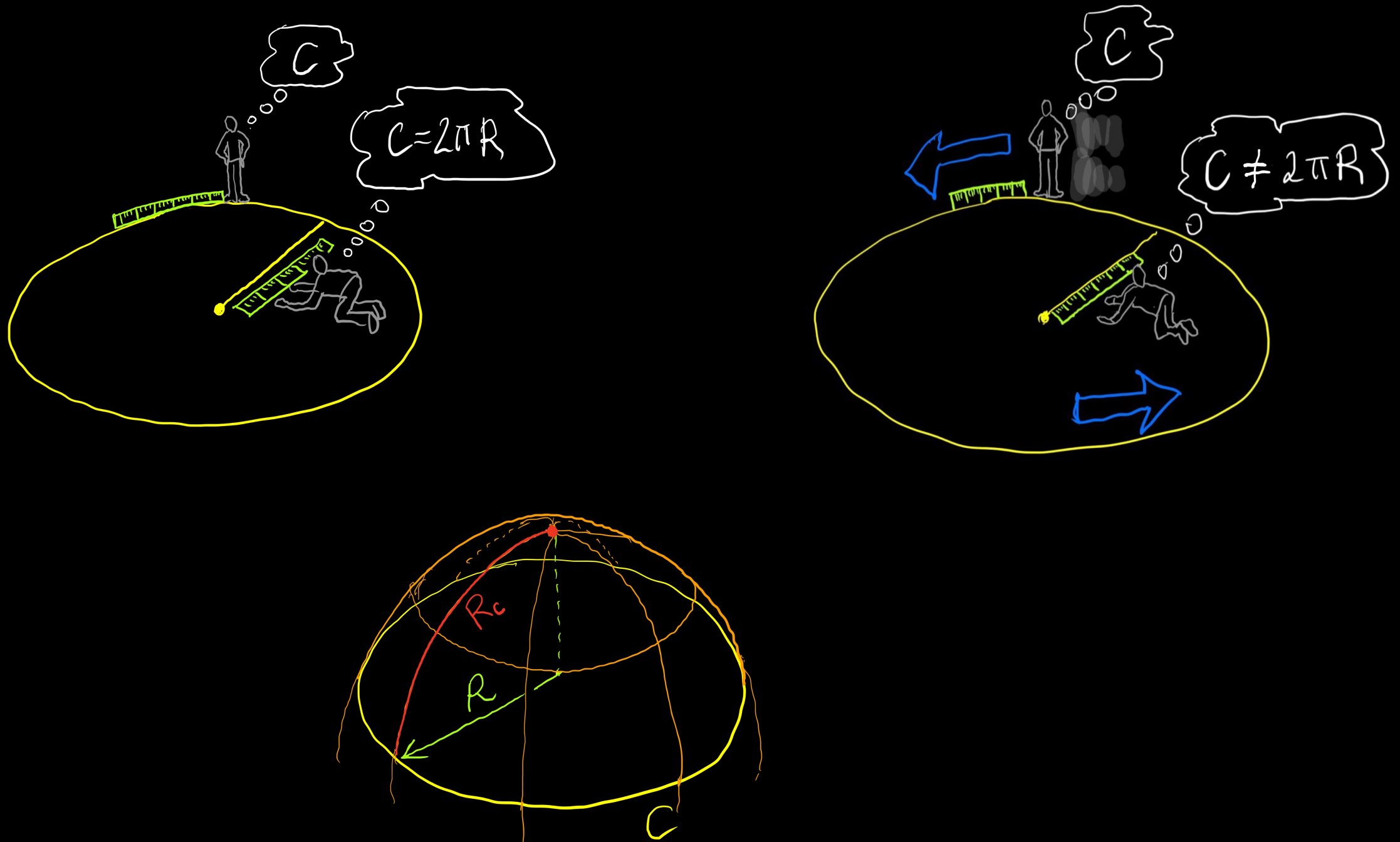
E' un problema più
GENERALE



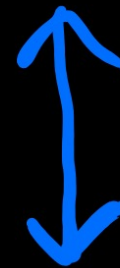
LA GIOSTRA di EINSTEIN



LA CURVATURA dello SPAZIO (e del tempo)



VELOCITA' $\leftrightarrow$ ACCELERAZIONI



SPAZIO-TEMPO
DEFORMATI



GRAVITA'

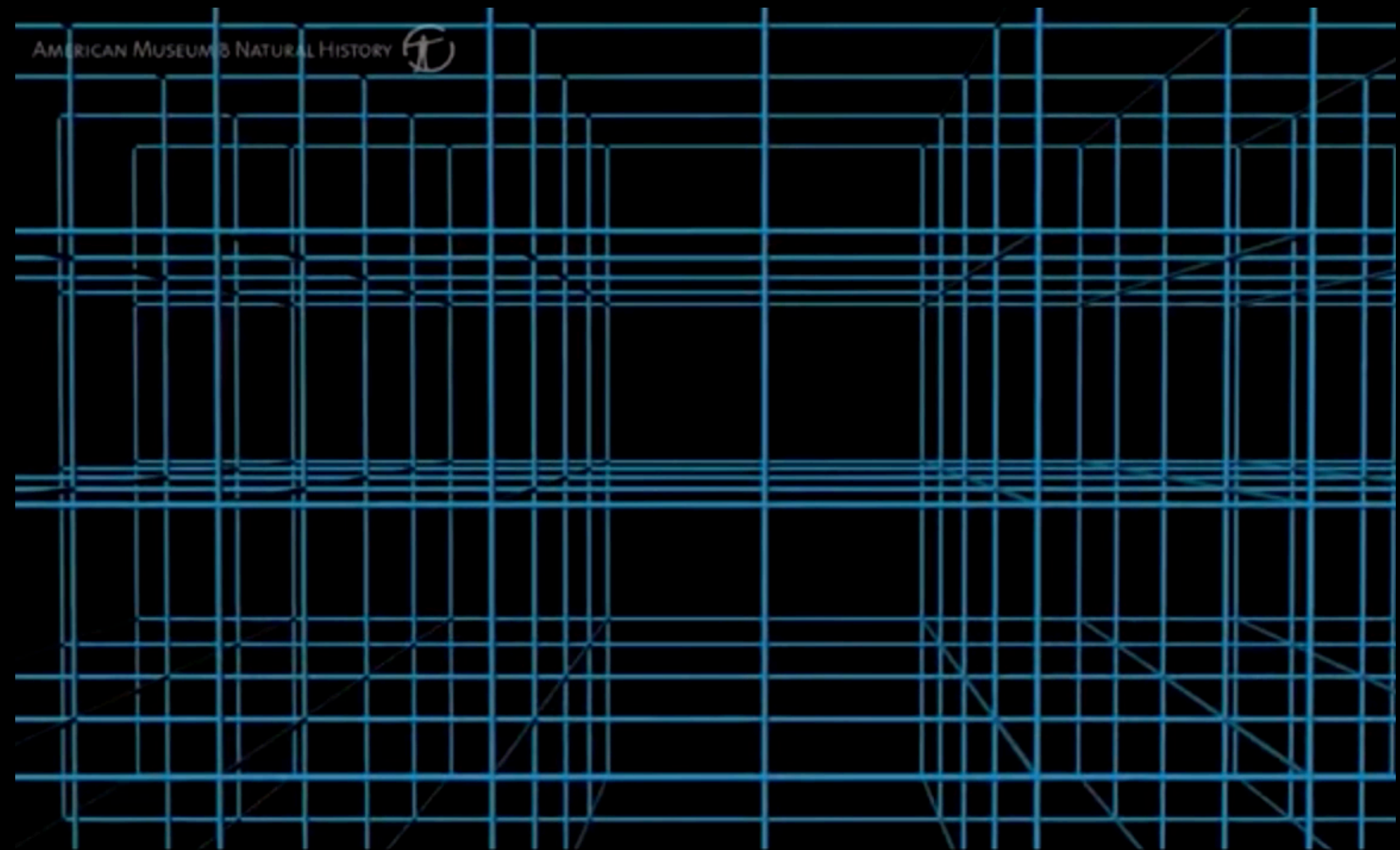
SPAZIO-TEMPO
DEFORMATI



GRAVITA'

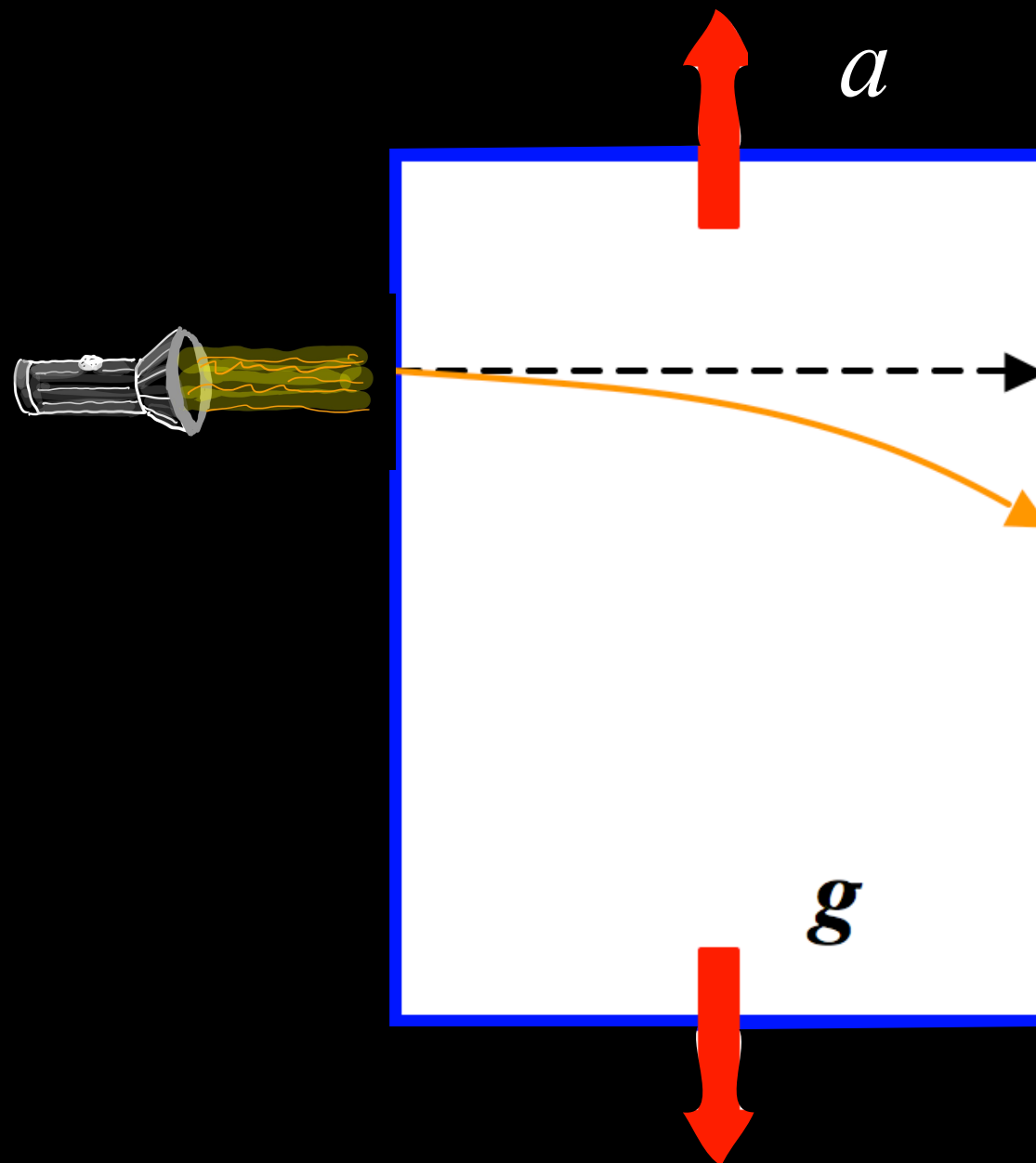
LA MATERIA "CURVA"
LO SPAZIO-TEMPO

LO SPAZIO-TEMPO "DICE"
ALLA MATERIA COME MUOVERSI



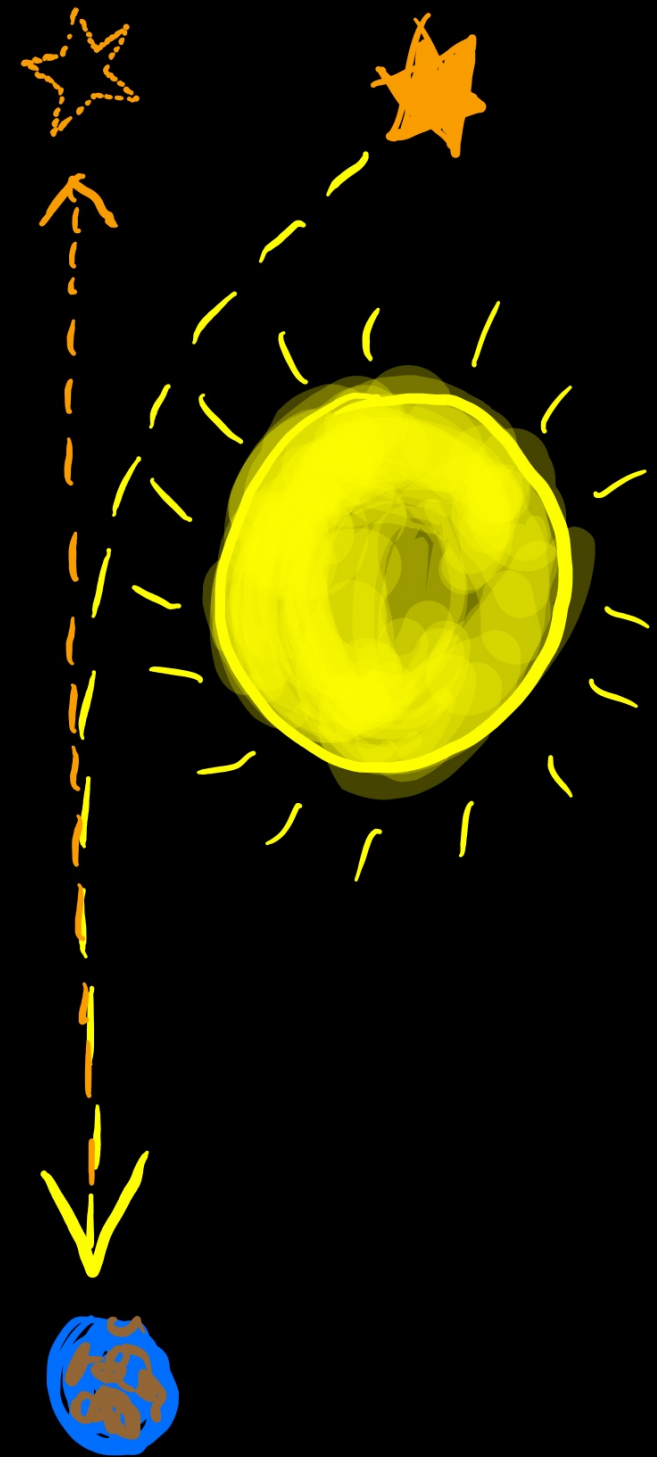
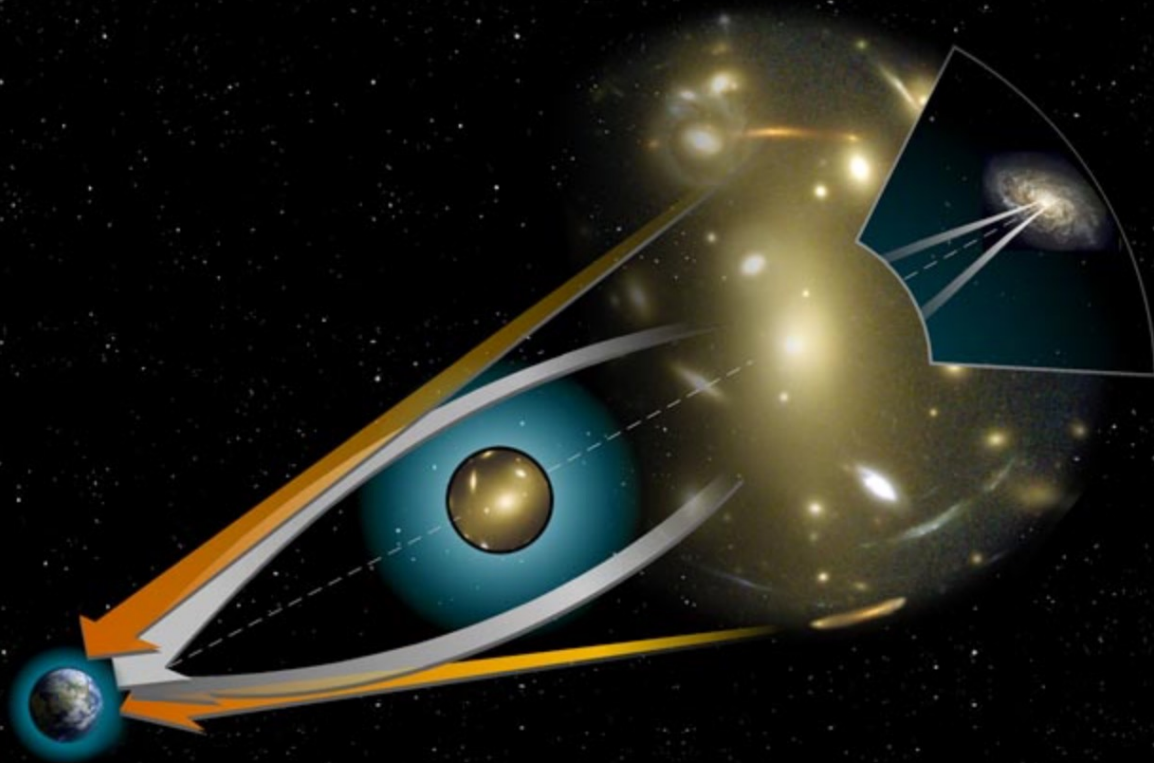
LA MATERIA "CURVA"
LO SPAZIO-TEMPO

LO SPAZIO-TEMPO "DICE"
ALLA MATERIA COME MUOVERSI
E ANCHE ALLA LUCE!

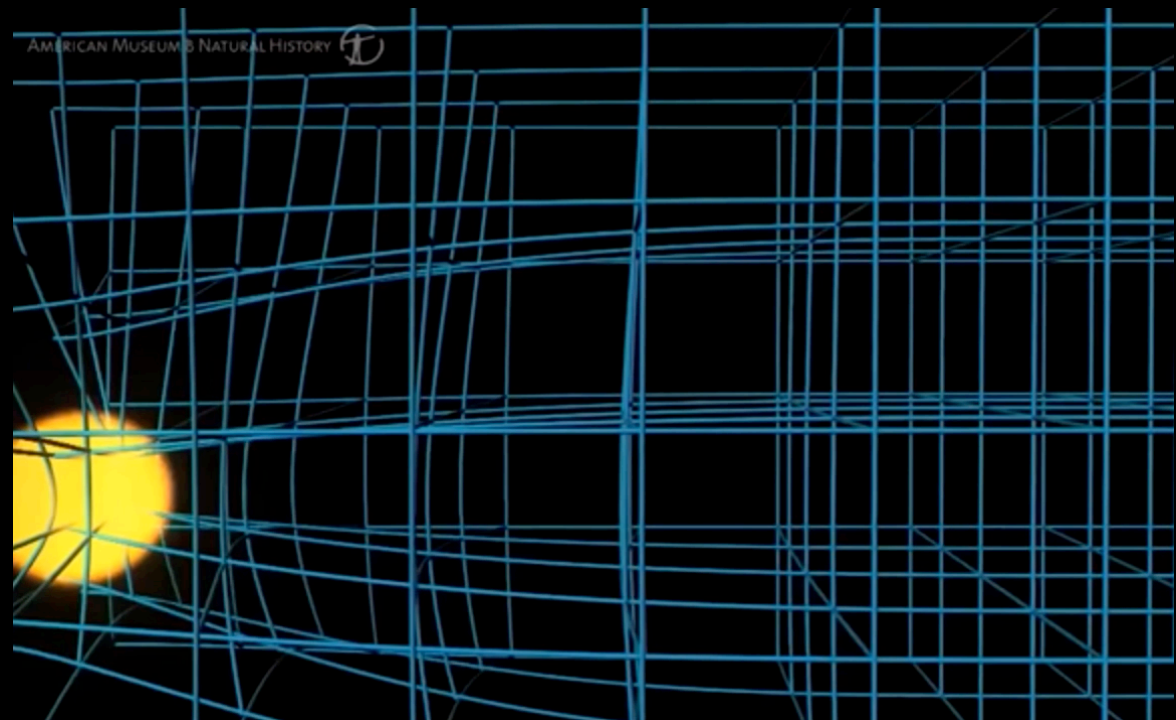


LA MATERIA "CURVA"
LO SPAZIO - TEMPO

LO SPAZIO-TEMPO "DICE"
ALLA MATERIA COME MUOVERSI
E ANCHE ALLA LUCE!



ONDE di DEFORMAZIONE
dello SPAZIO-TEMPO
PRODOTTE dalla MATERIA
che OSCILLA

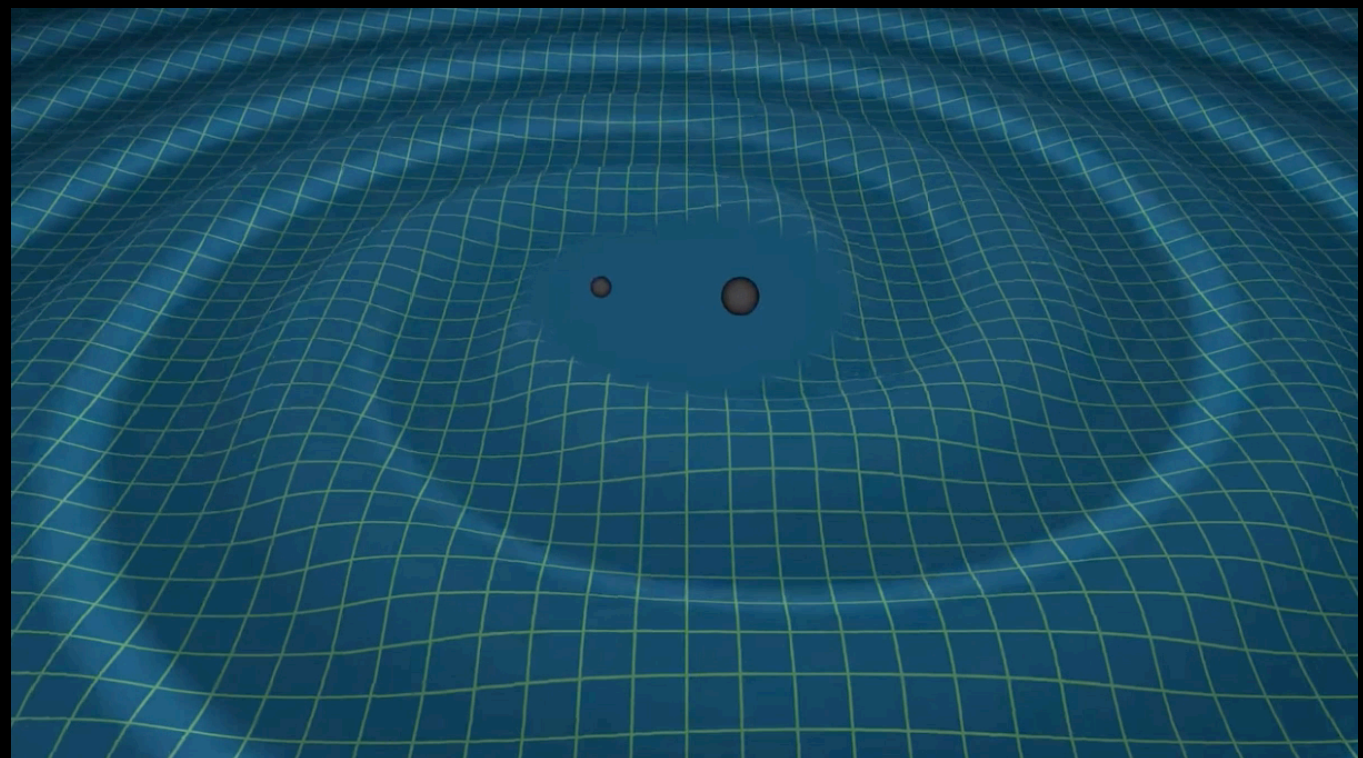


ONDE di DEFORMAZIONE

dello SPAZIO-TEMPO

PRODOTTE dalla MATERIA

che OSCILLA



ONDE di DEFORMAZIONE
dello SPAZIO-TEMPO
PRODOTTE dalla MATERIA
che OSCILLA

ONDE
GRAVITAZIONALI

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

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \partial_\alpha \partial^\alpha h_{\mu\nu} = \square h_{\mu\nu} \simeq 0$$

COSA E' ACCADUTO ?

QUANDO ? DOVE ?

Due buchi neri "collassano"
fra di loro a ~ 400 Mpc
di distanza.

P.S. lo fanno a circa $150,000$ km/s !



400 Mpc vuol dire circa
un miliardo e trecento milioni
di anni - luce .

PIÙ di DIECIMILA MILIARDI DI MILIARDI di KM

QUANDO ?

14 settembre 2015 4:50:45 EST

(sulla Terra)

un miliardo e trecento milioni
di anni fa l'evento

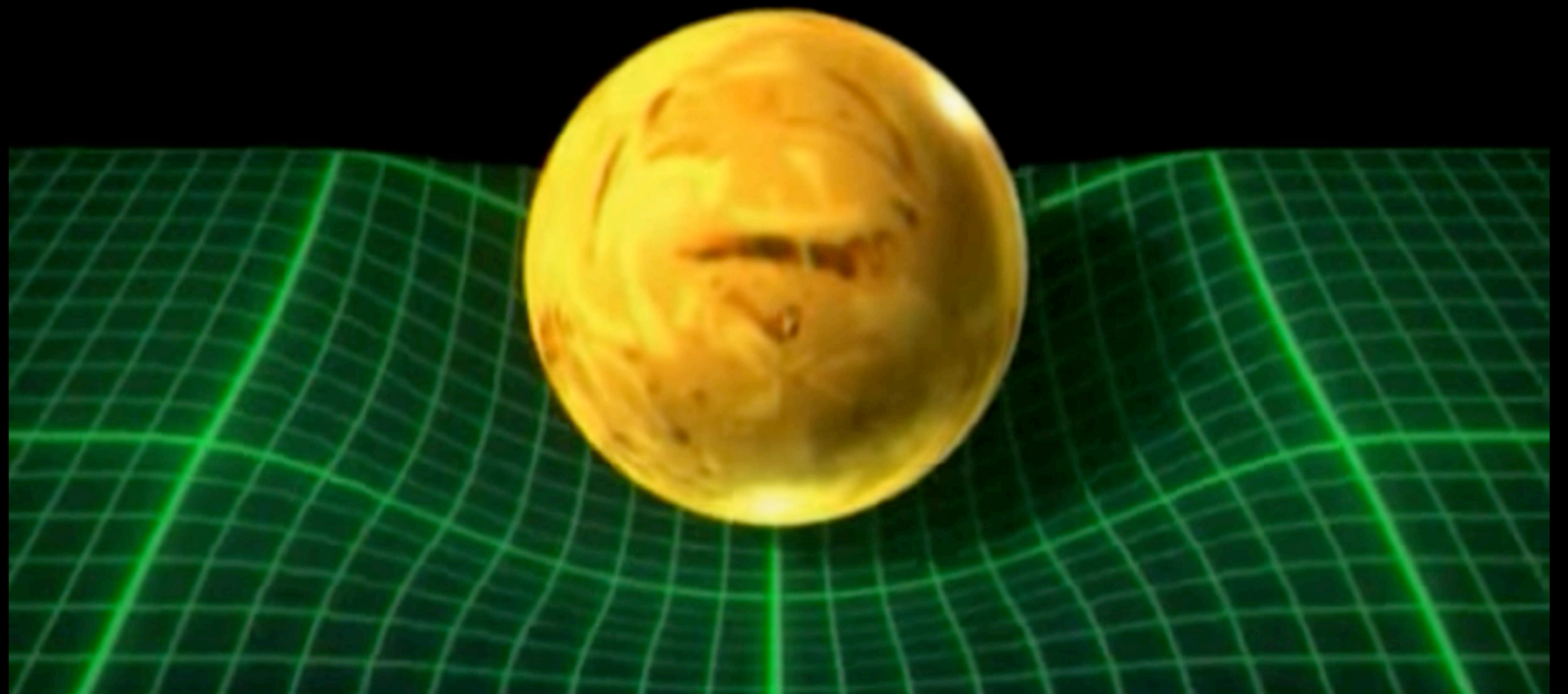
COSA:



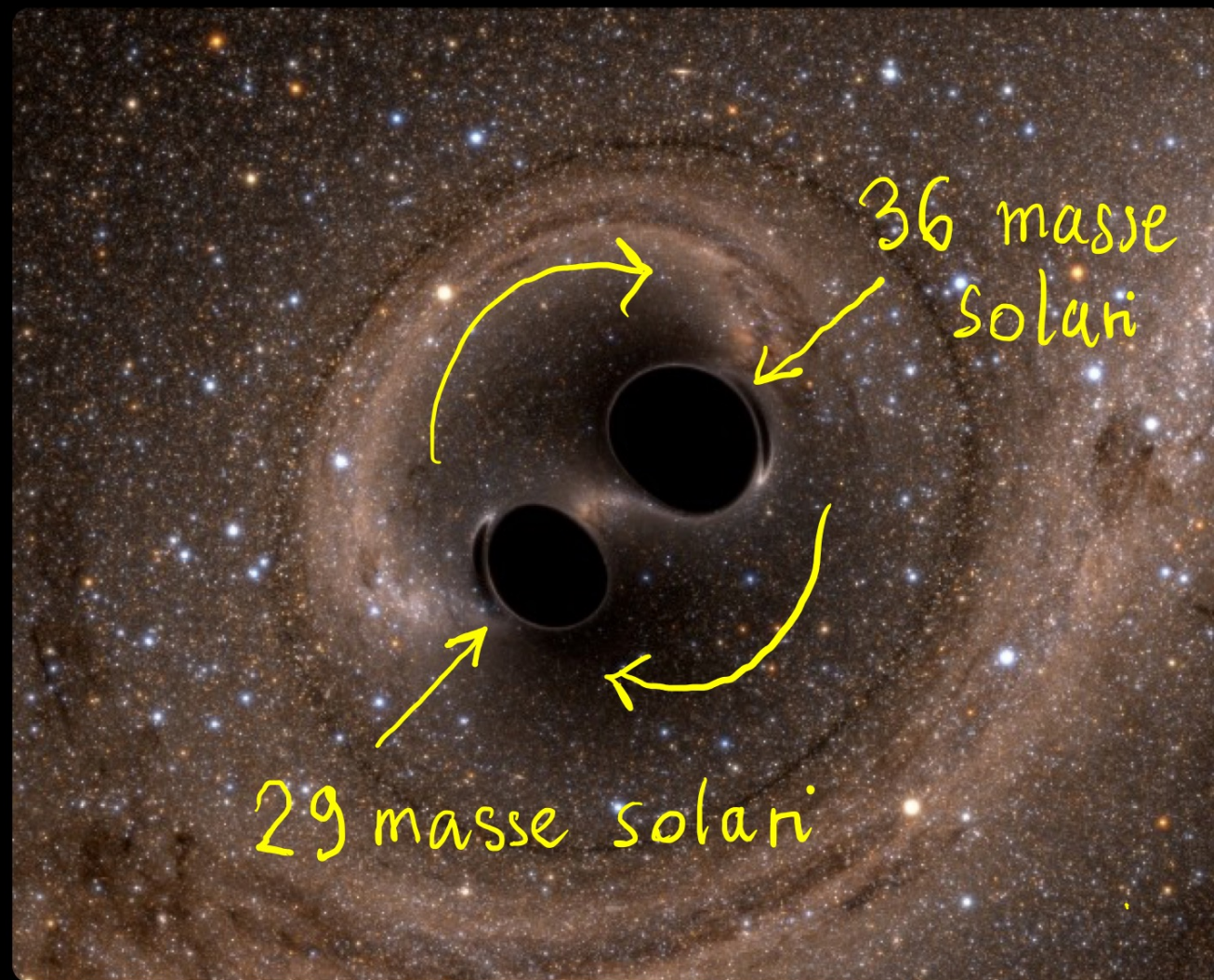
BUCO NERO

BUCA NERA

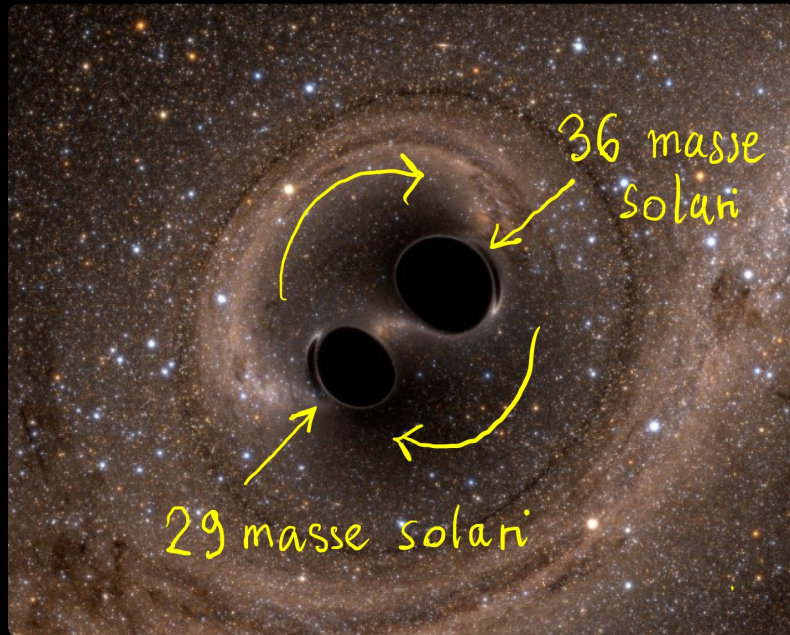
COSA:



COSA:



COSA:



dopo meno di $\frac{1}{2}$ secondo:

$$\text{BN}_1 + \text{BN}_2 = \text{BN} + \text{onde gravitazionali}$$

 $29 + 36 = 62 + 3$

Buco Nero di 30 masse solari
raggio ~ 100 km

Come ~ 10 milioni di pianeti Terra

densità notevole:
dieci miliardi di tonnellate per litro

oppure diecimila portaerei nel
palmo di una mano

3 masse solari trasformate in
onde gravitazionali

$$E = mc^2$$

tutta l'energia consumata sulla Terra
in UN MILIARDO DI MILIARDI DI MILIARDI di ANNI.

L' EVENTO

che ci ha "scosso"

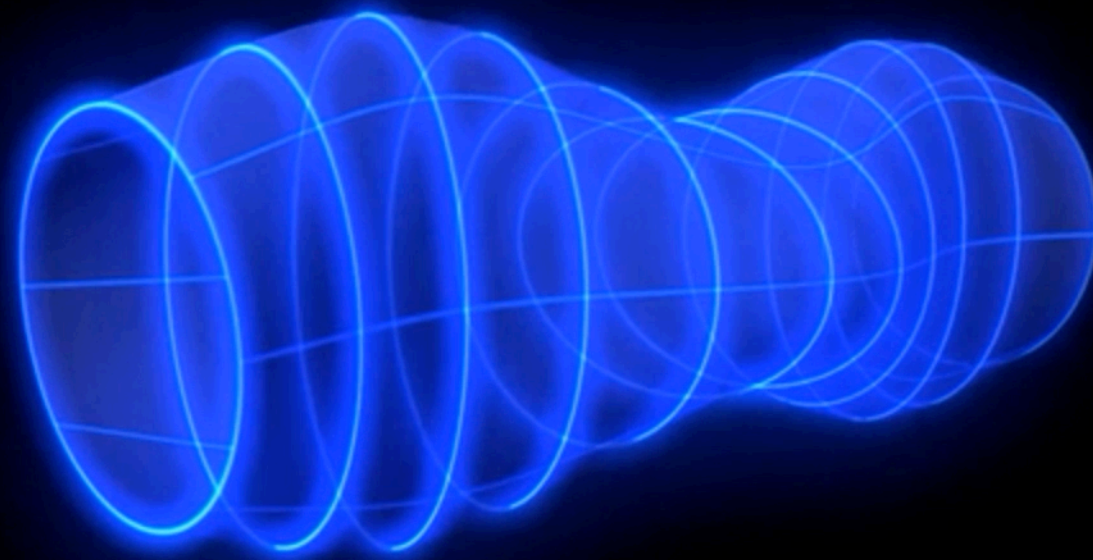
[tutti - poco in un certo senso]



L' EVENTO

che ci ha "scosso"

[tutti - poco in un certo senso]



L' EVENTO

che ci ha "scosso"

[tutti - poco in un certo senso]

COME MISURARE / VEDERE
UN' ONDA GRAVITAZIONALE ?

L' ESPERIMENTO

gli esperimenti LIGO

[LASER Interferometer
Gravitational - Wave Observatory]

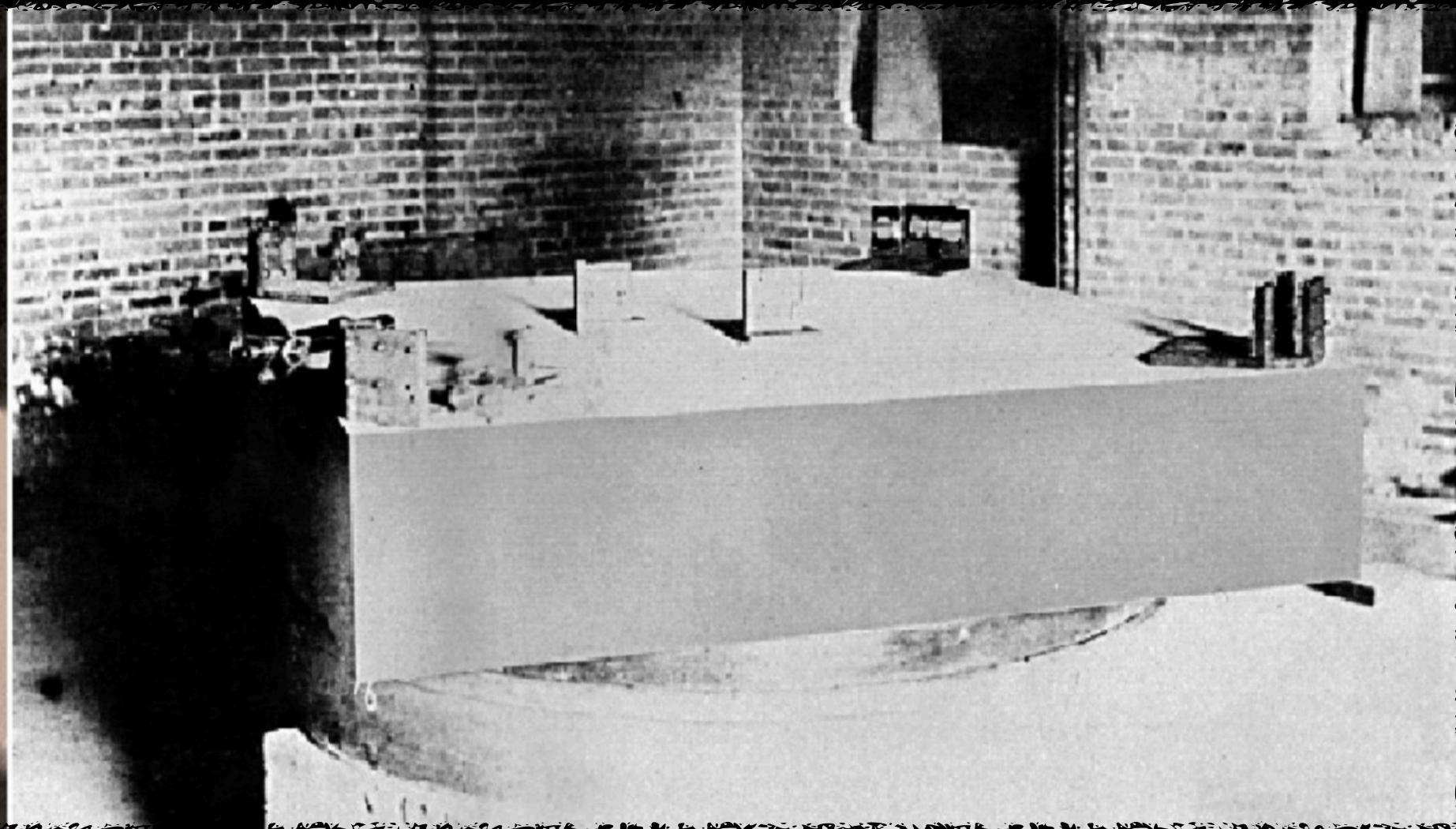


gli esperimenti LIGO

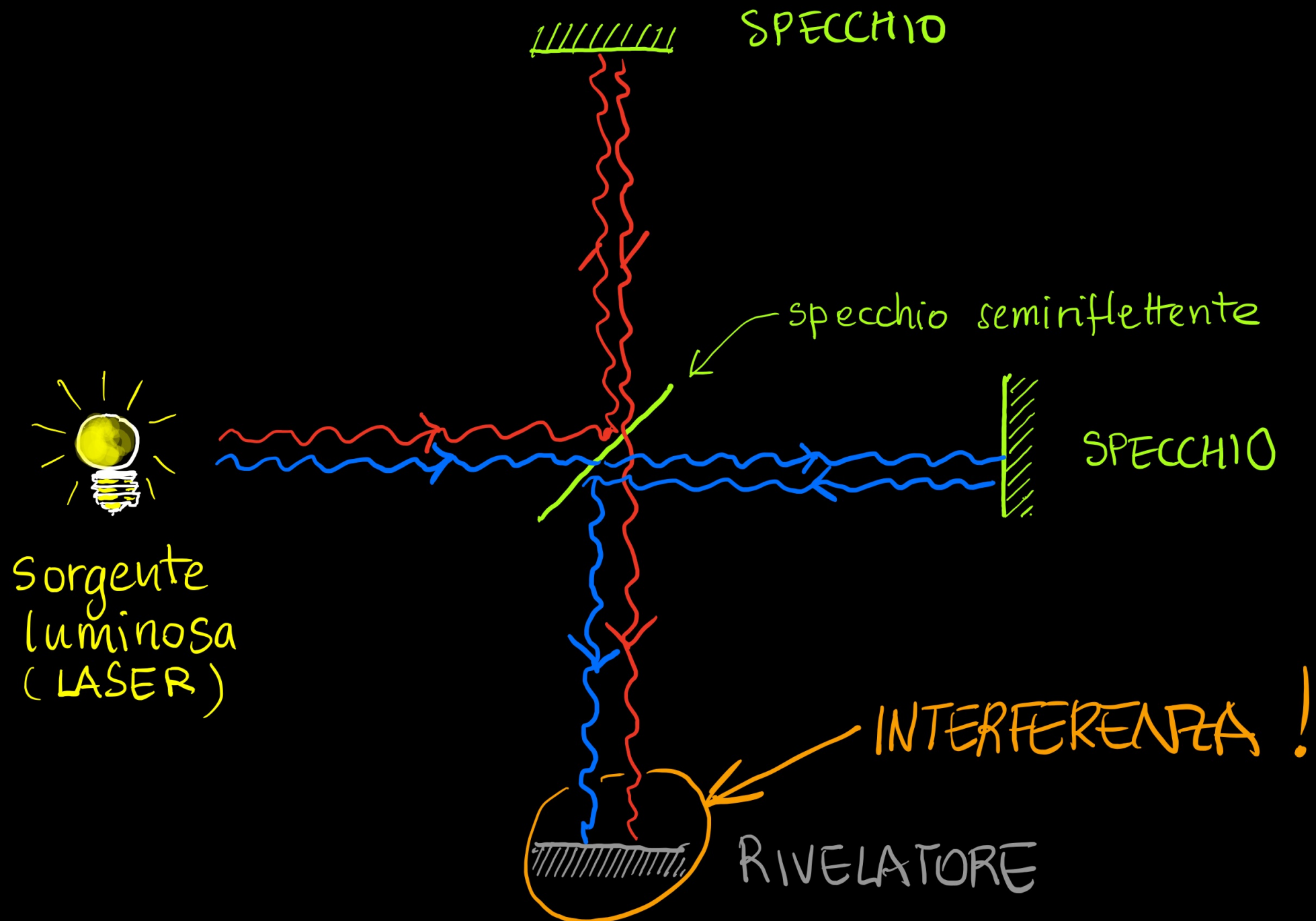
[LASER Interferometer
Gravitational - Wave Observatory]



L'esperimento di Michelson-Morley (1887)



INTERFEROMETRO MICHELSON



gli esperimenti LIGO

[LASER Interferometer
Gravitational - Wave Observatory]



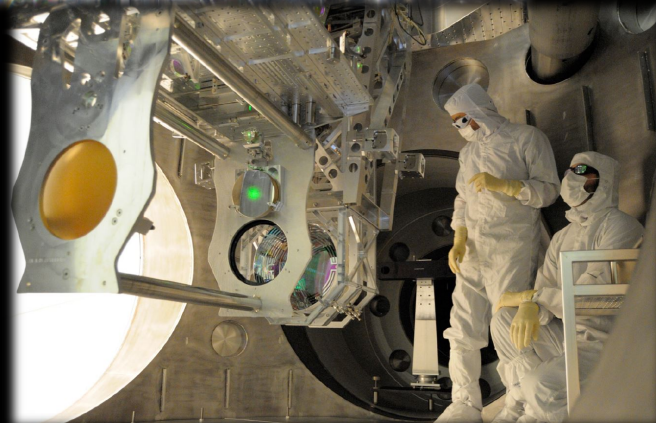
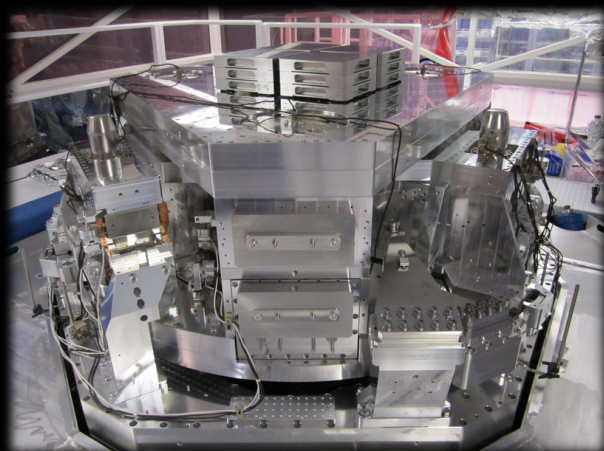
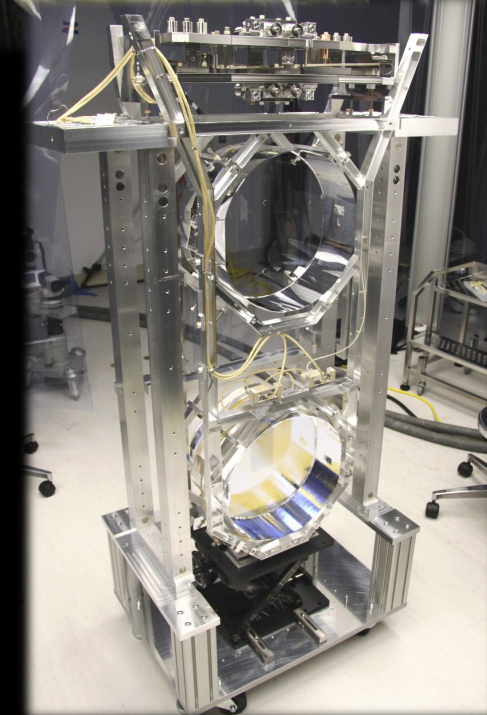
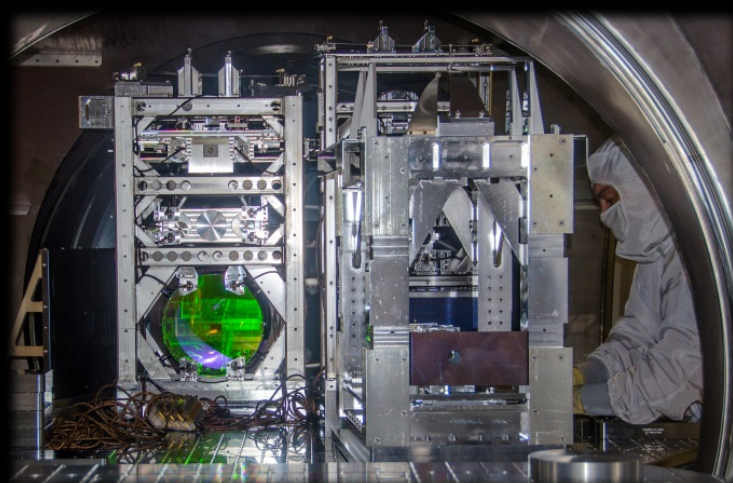
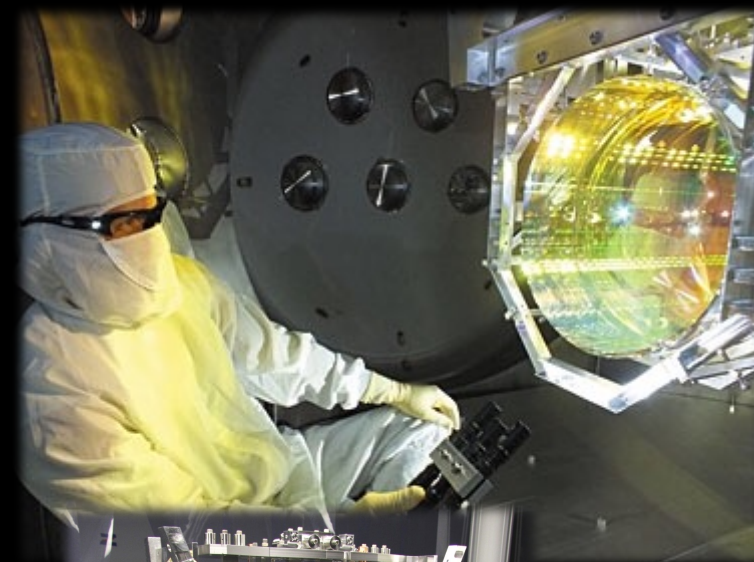
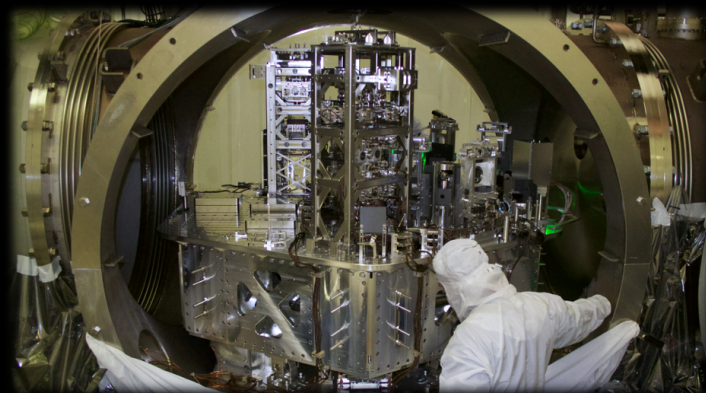
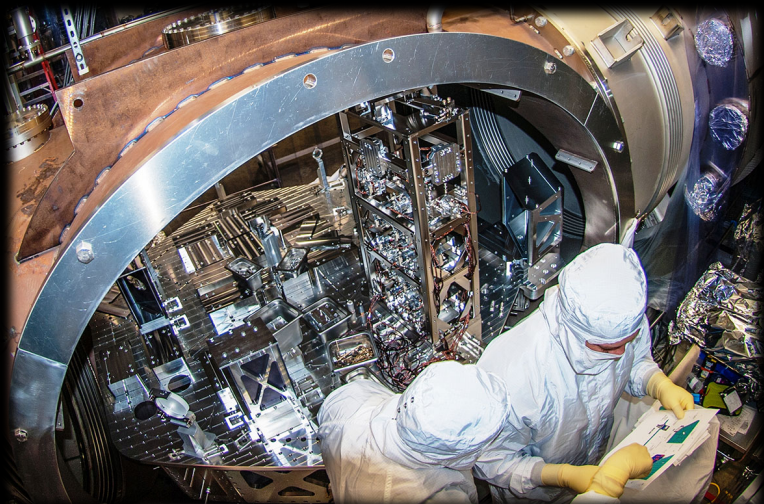
gli esperimenti LIGO

[LASER Interferometer
Gravitational - Wave Observatory]

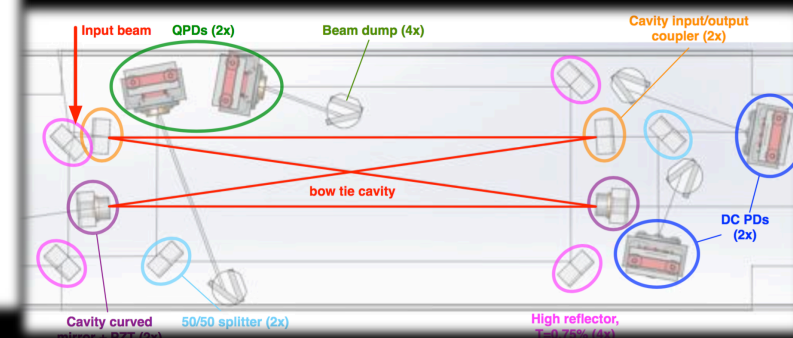
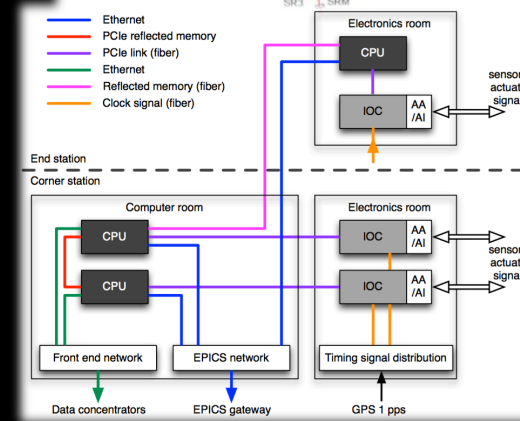
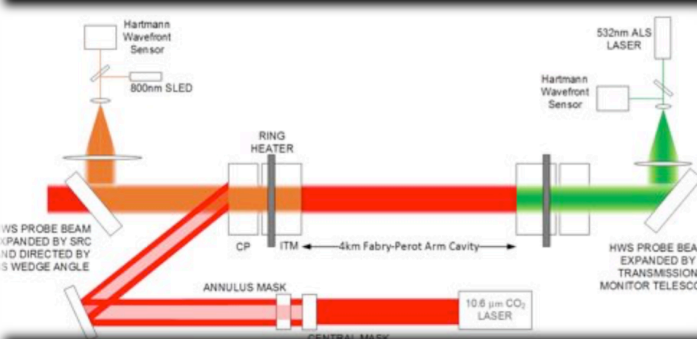
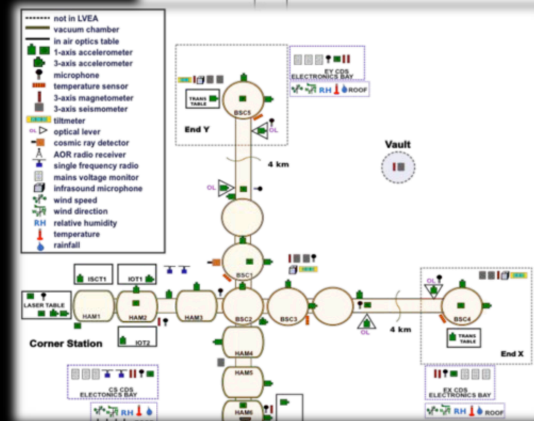
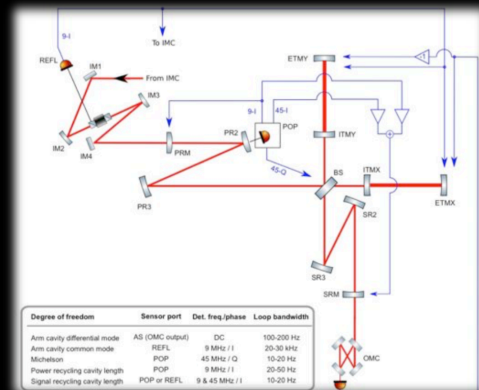
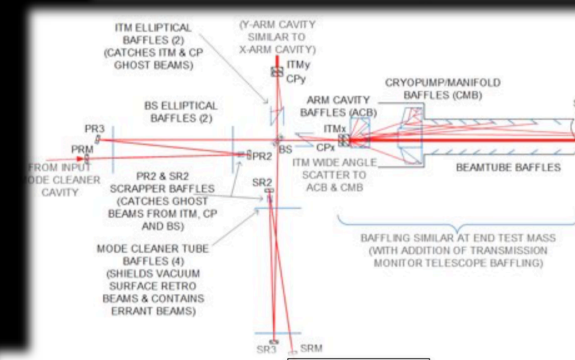
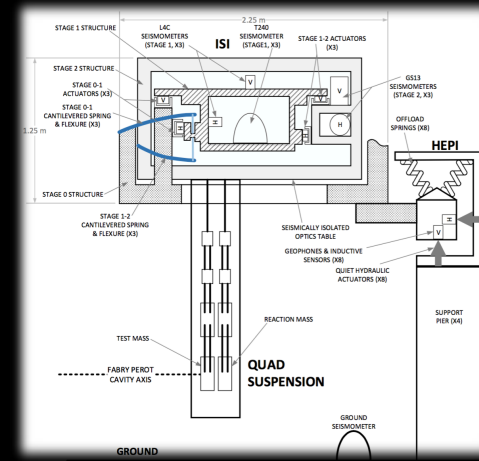
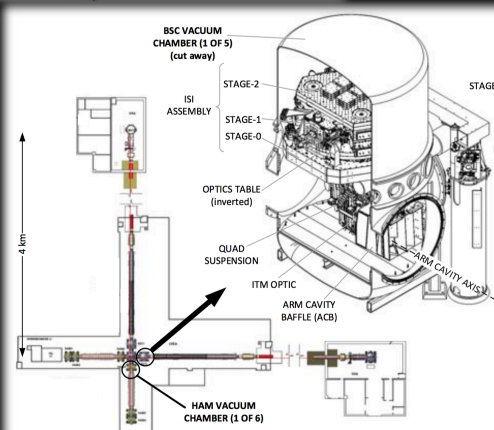
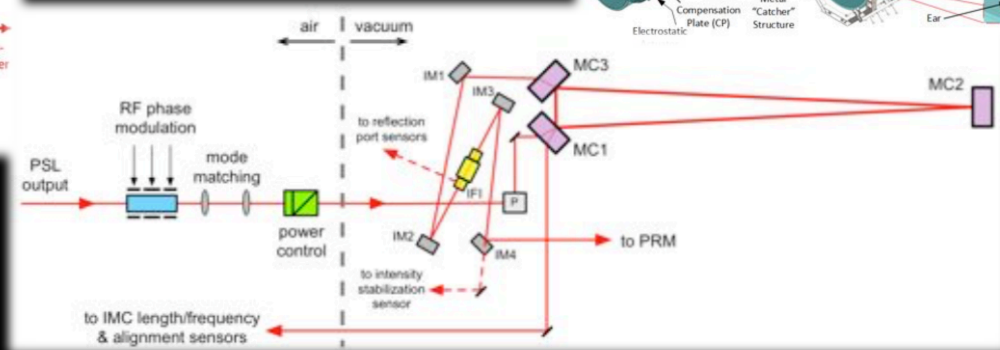
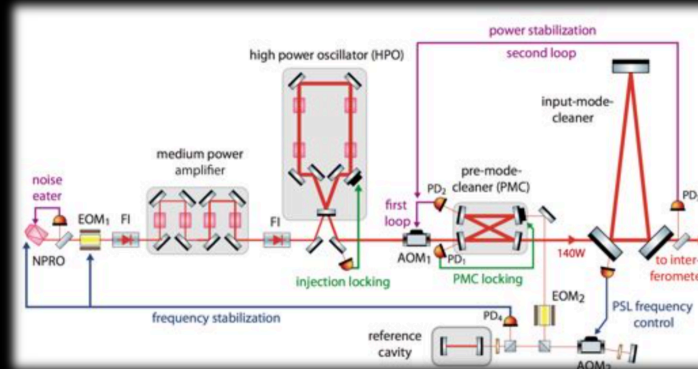
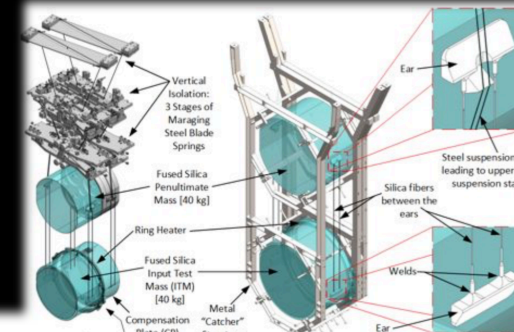


gli esperimenti LIGO

[LASER Interferometer
Gravitational - Wave Observatory]

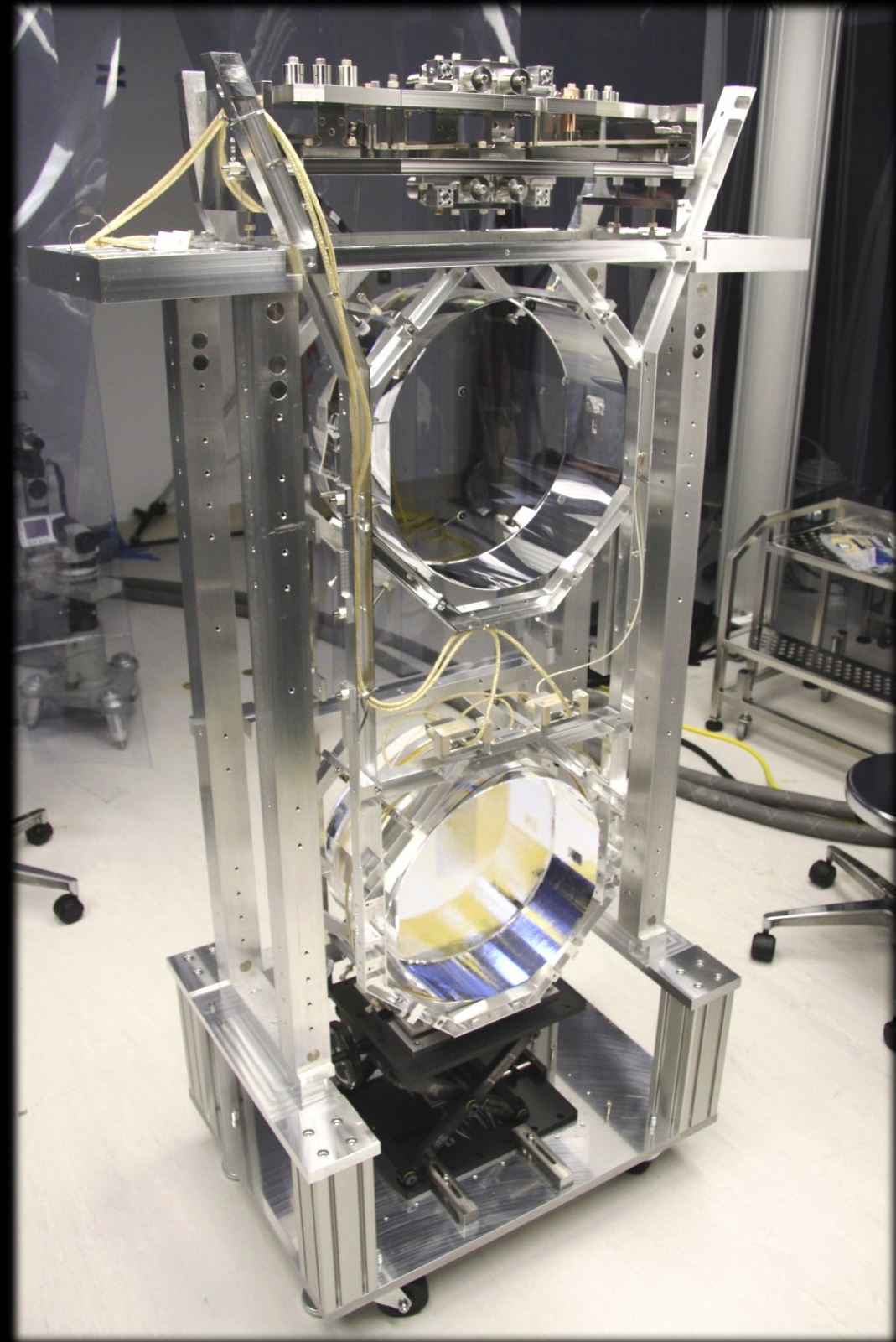
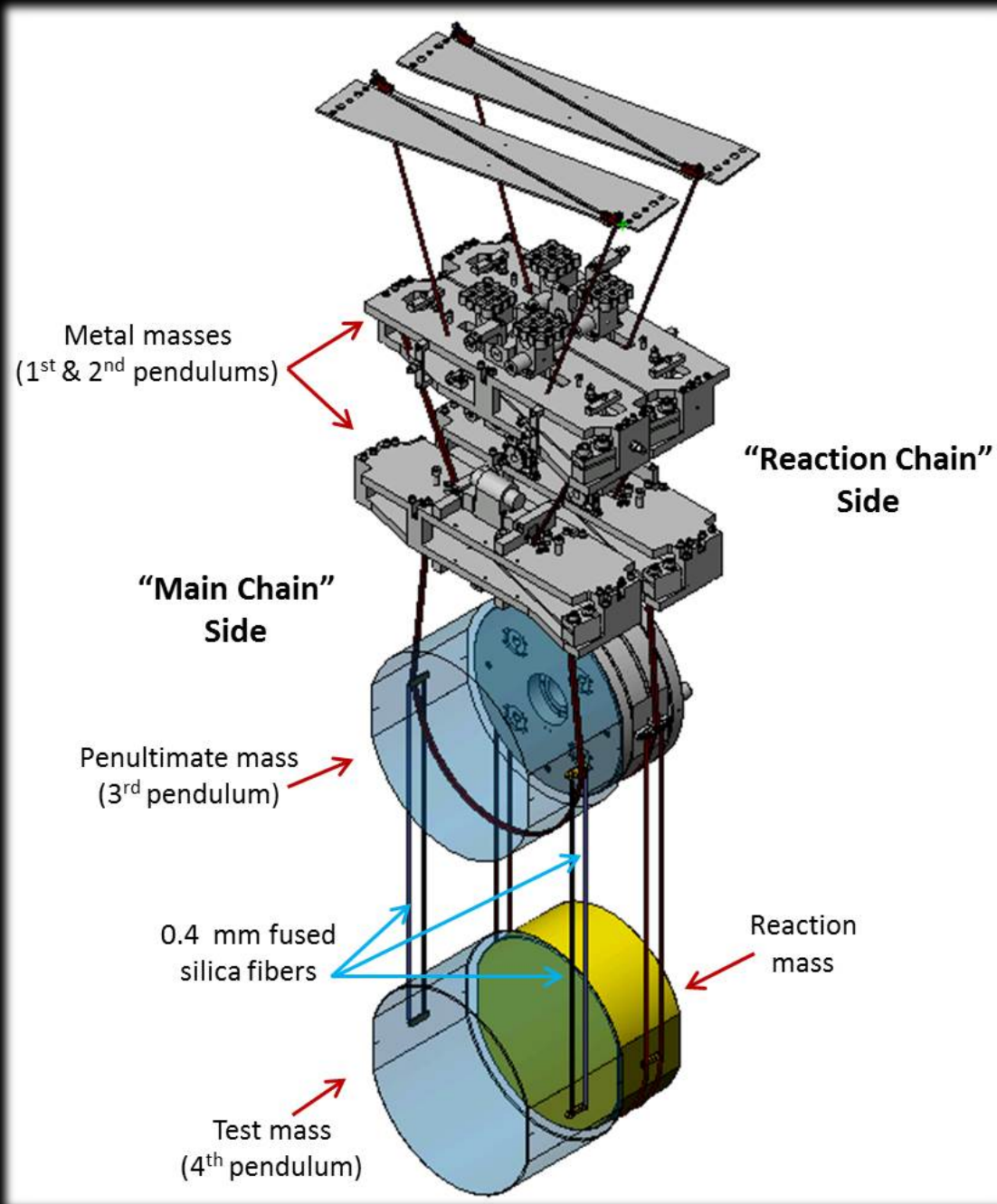


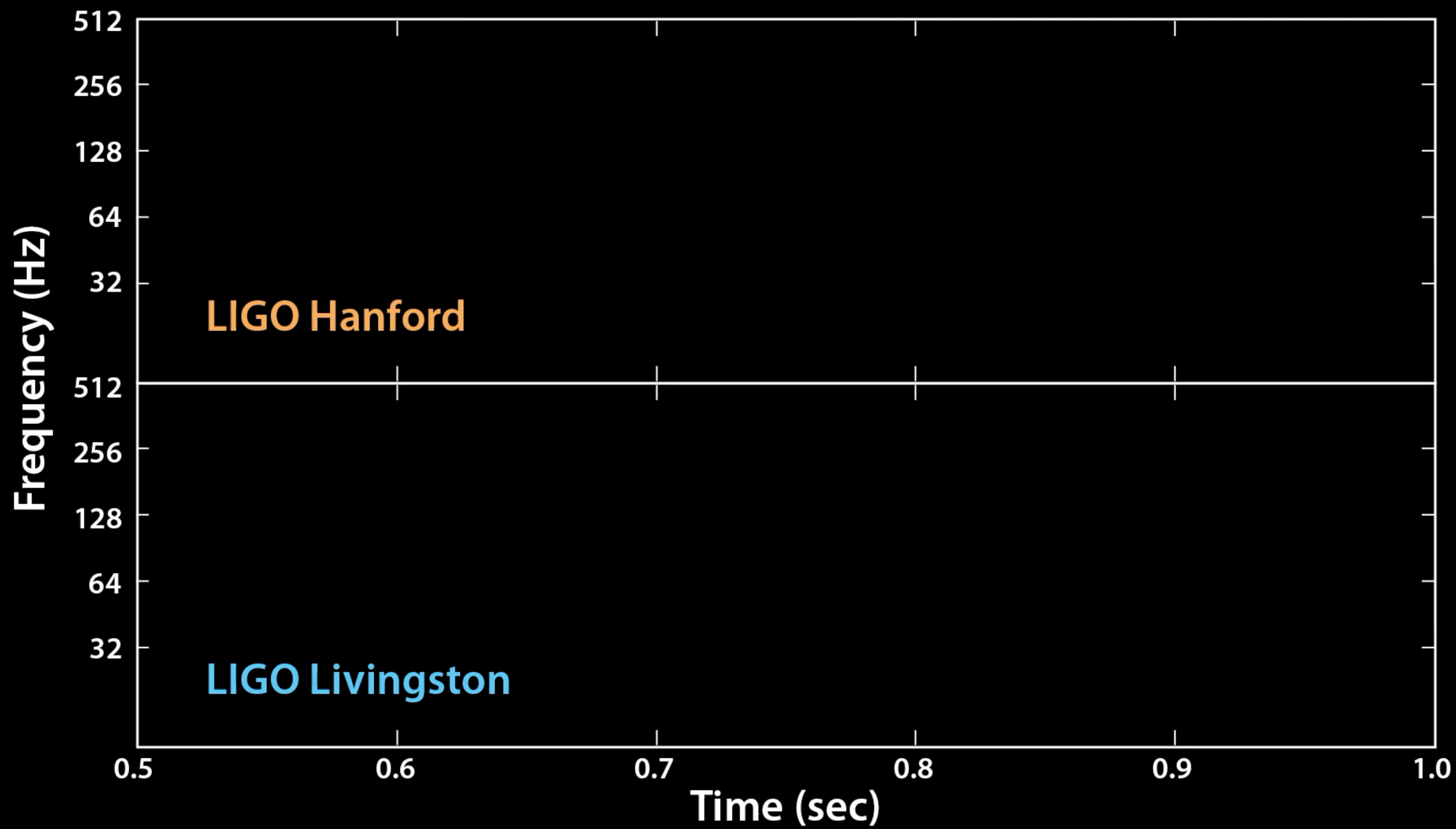
[LASER Interferometer
Gravitational - Wave Observatory]



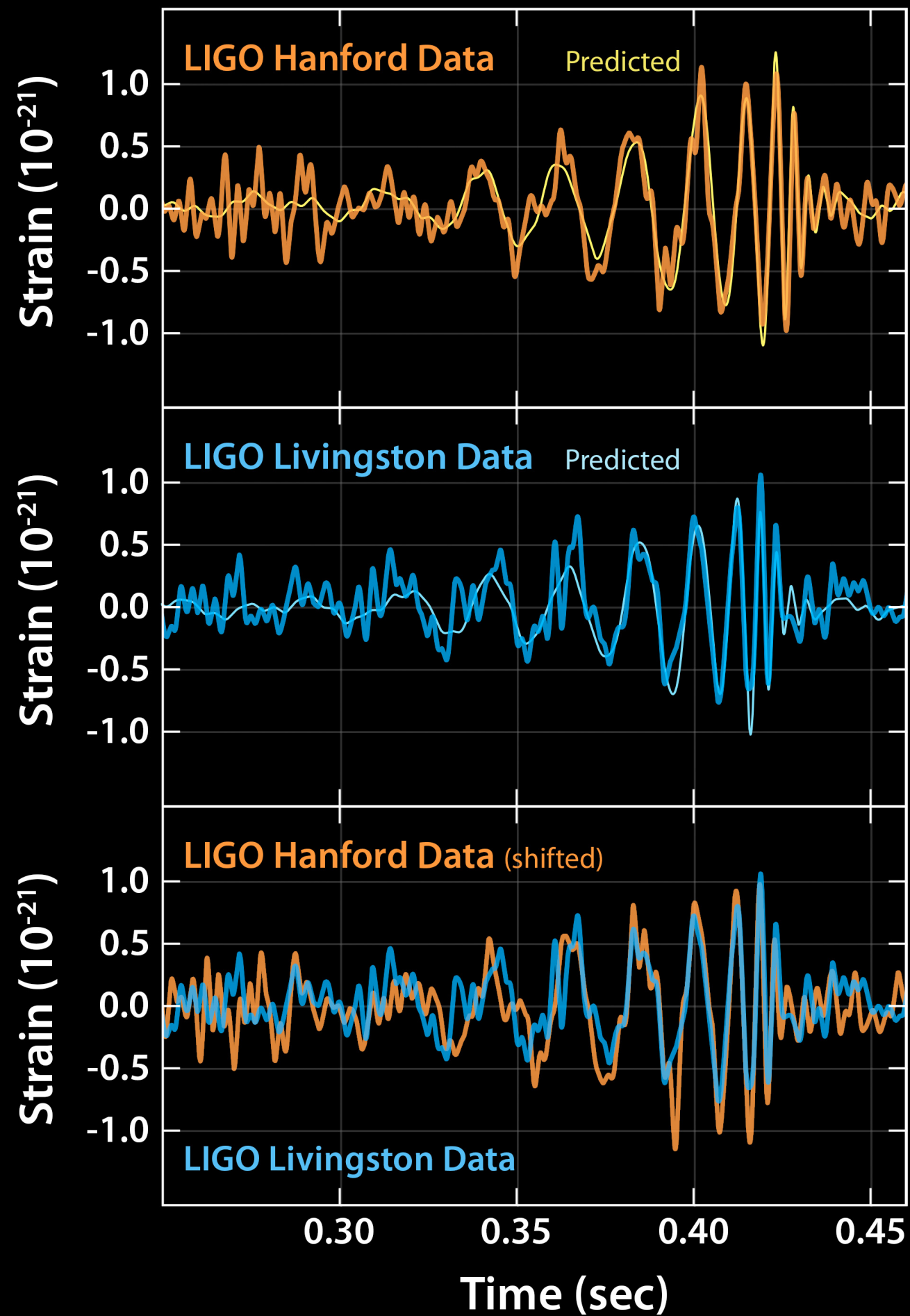
gli esperimenti LIGO

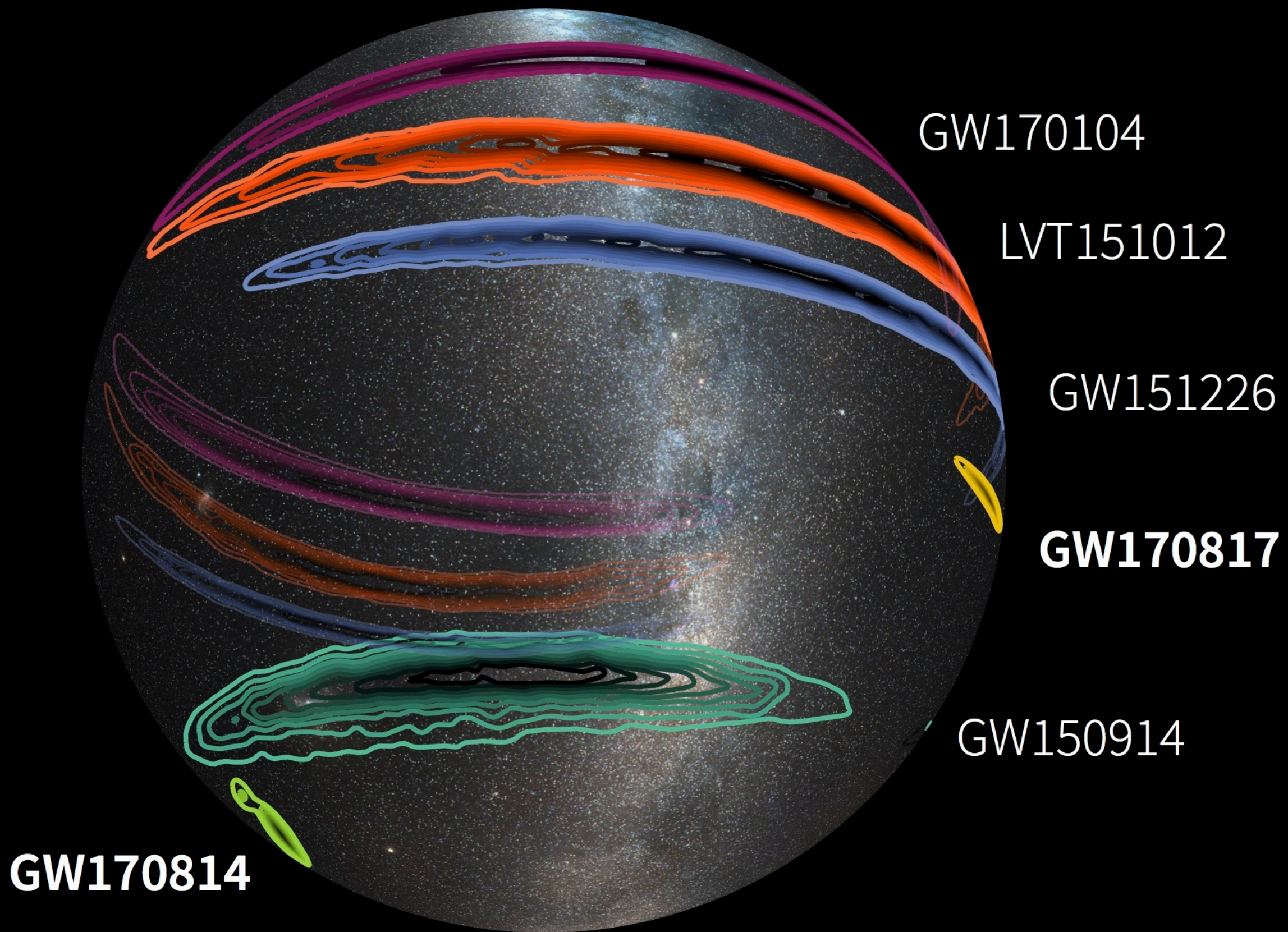
[LASER Interferometer
Gravitational - Wave Observatory]





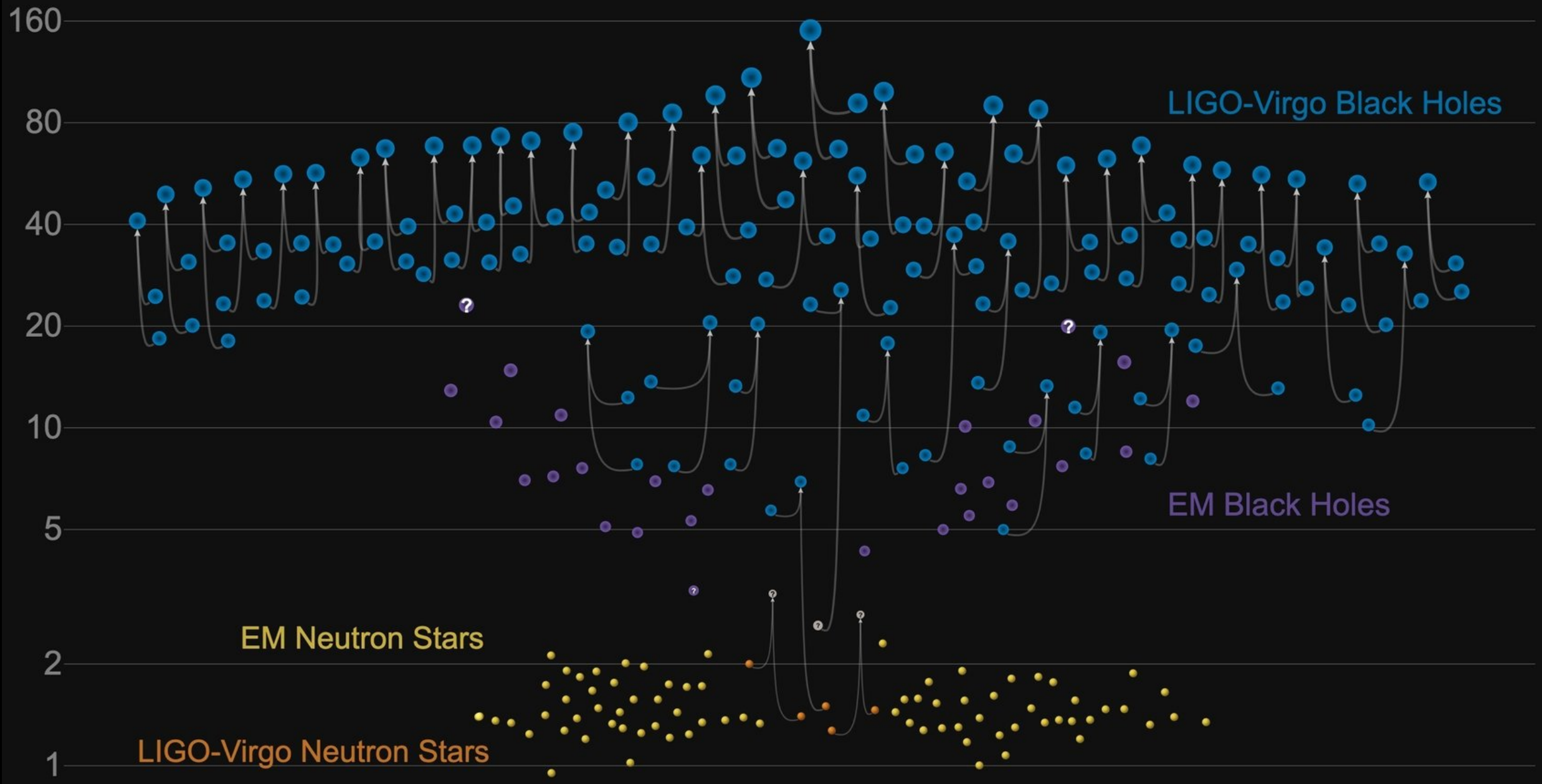
Il segnale





Masses in the Stellar Graveyard

in Solar Masses

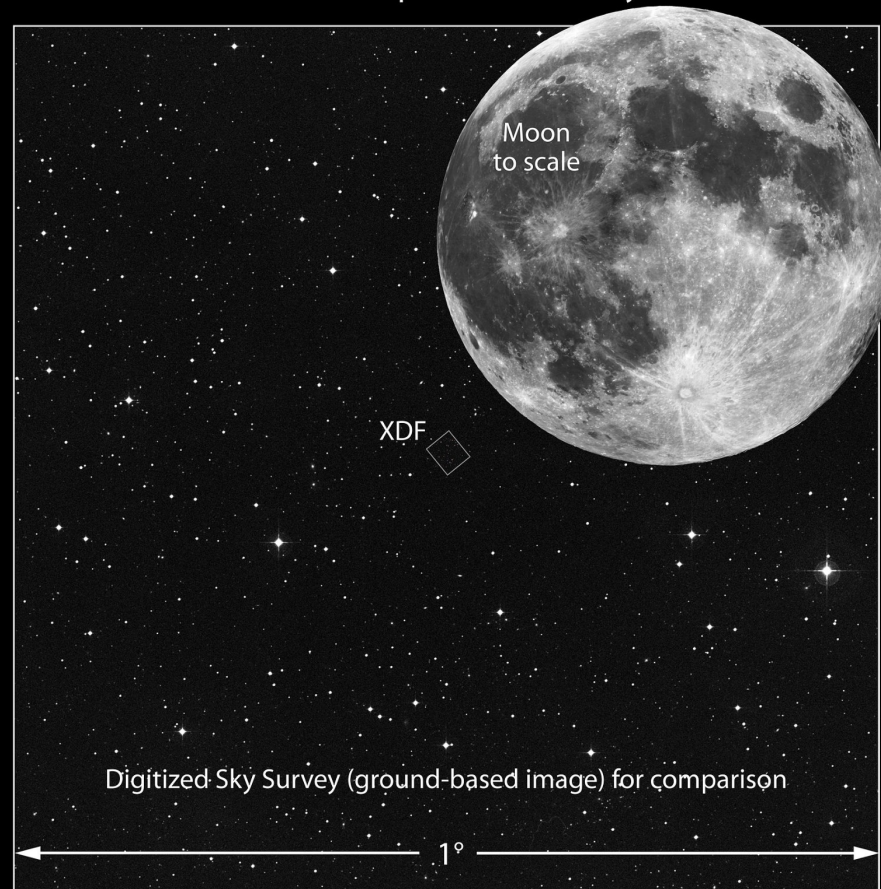


GWTC-2 plot v1.0

LIGO-Virgo | Frank Elavsky, Aaron Geller | Northwestern

HUBBLE EXTREME DEEP FIELD (XDF)

Size of Hubble eXtreme Deep Field on the Sky





XDF

