



**Cavalcando la luce:
Dalla relatività di Einstein
ai viaggi interstellari**

**Catalina Curceanu, LNF-INFN
IYL2015-21 Gennaio 2015**



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



• International
• Year of Light
• 2015

**“He whose face gives no *light*,
shall never become a star.”**

**Chi non ha luce in viso non
diventera’ mai una stella**
(William Blake)



La Relativita'

Imagine travelling through space on a beam of light at the speed of light.



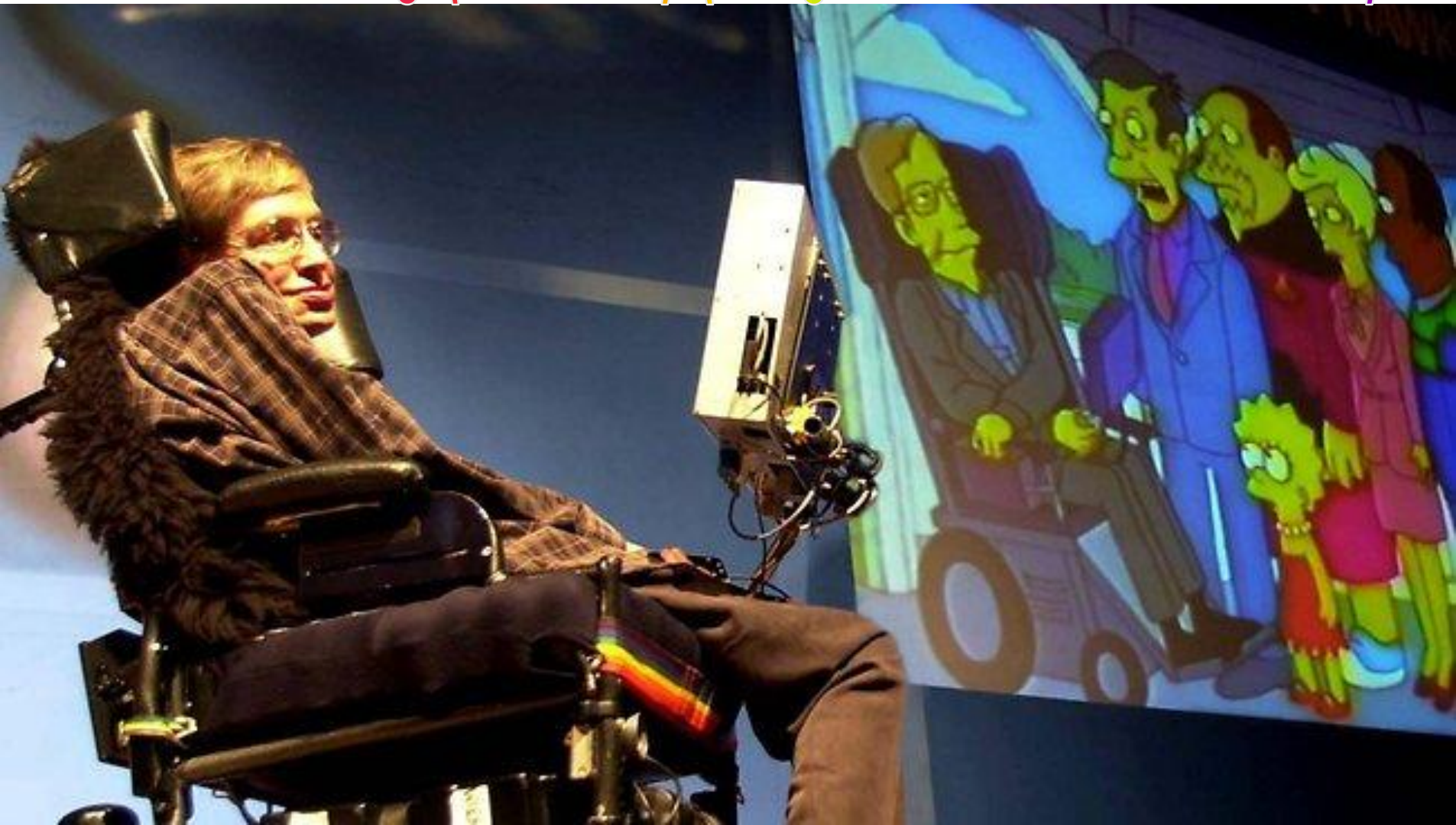
Albert Einstein, theory of relativity, gravity, velocity, energy, mass, speed, time, $E=mc^2$ Albert Einstein

Bobonart

Viaggi interstellati?

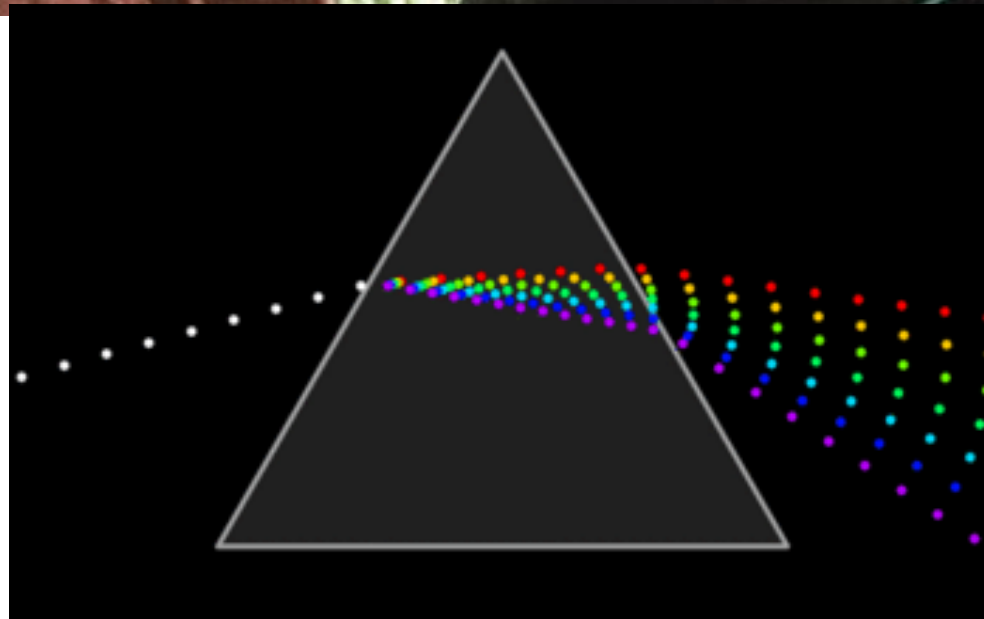
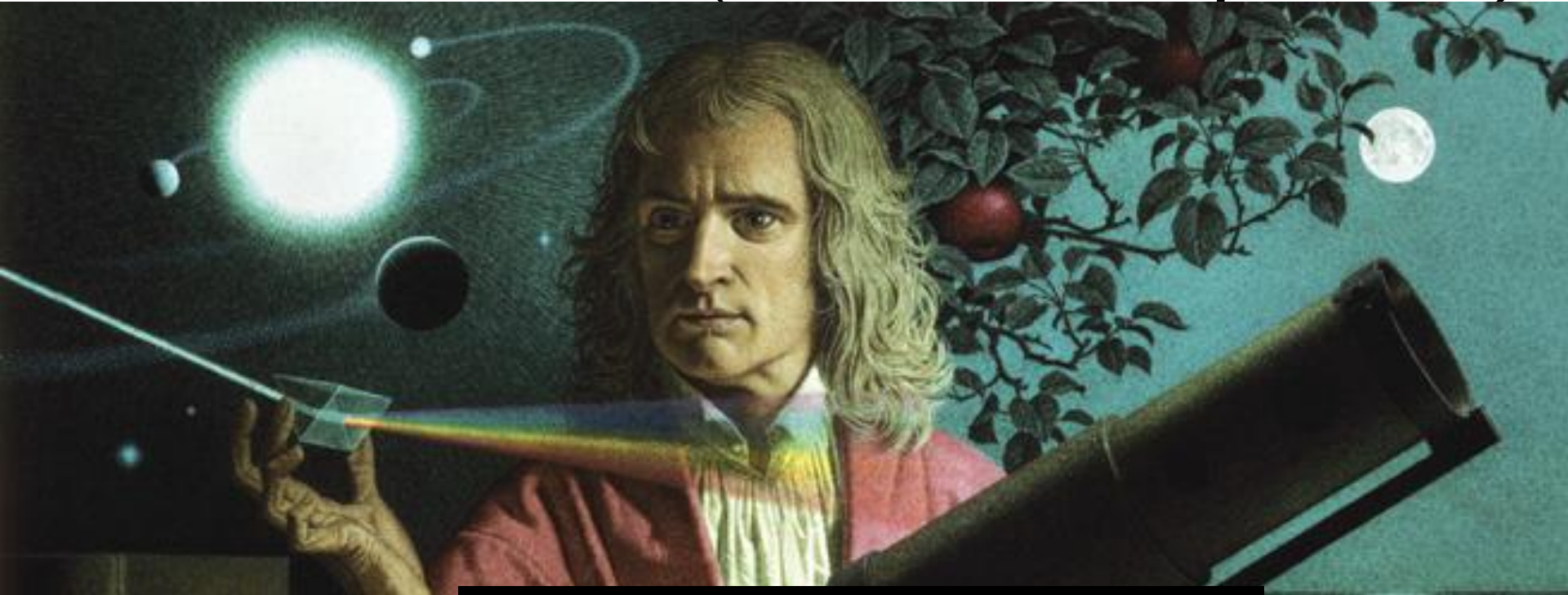


Hawking (70 anni) (La guerra dei buchi neri)

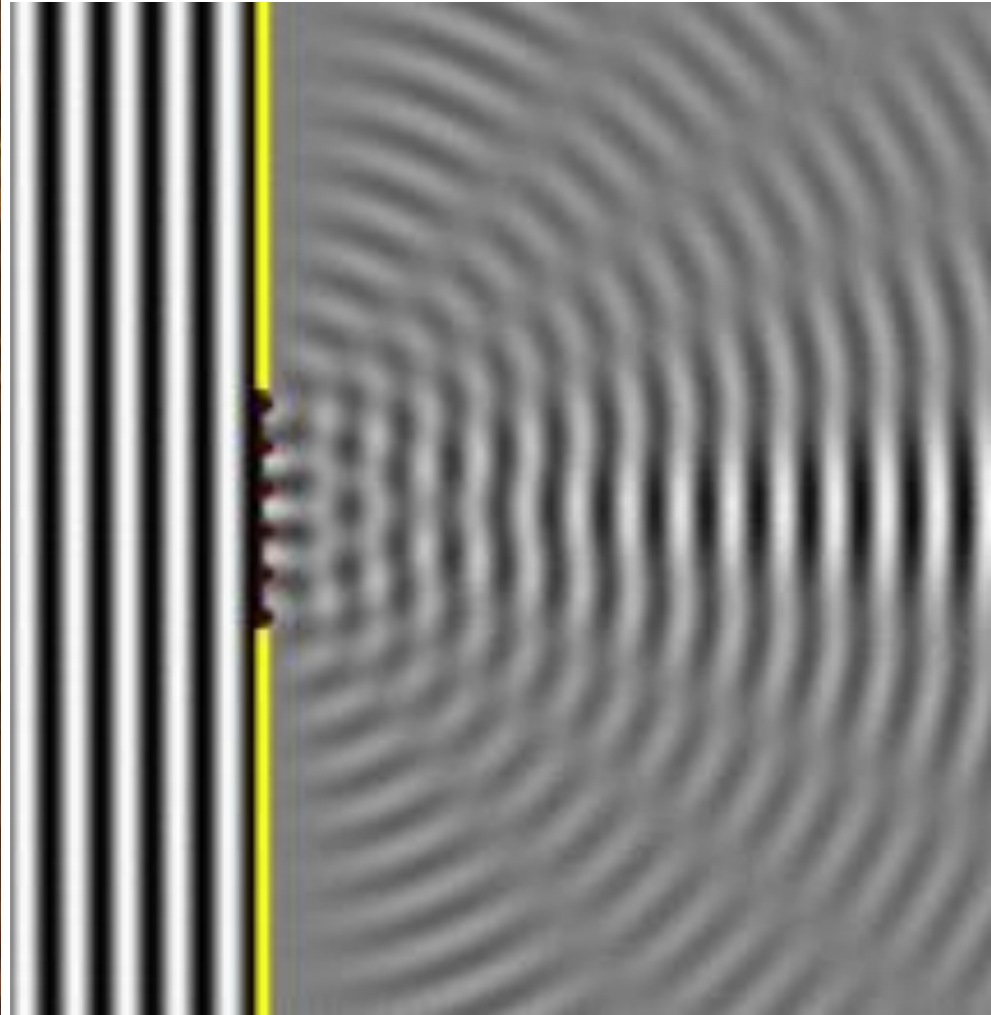




Cosa e' la luce? (**Newton**: corpuscoli)



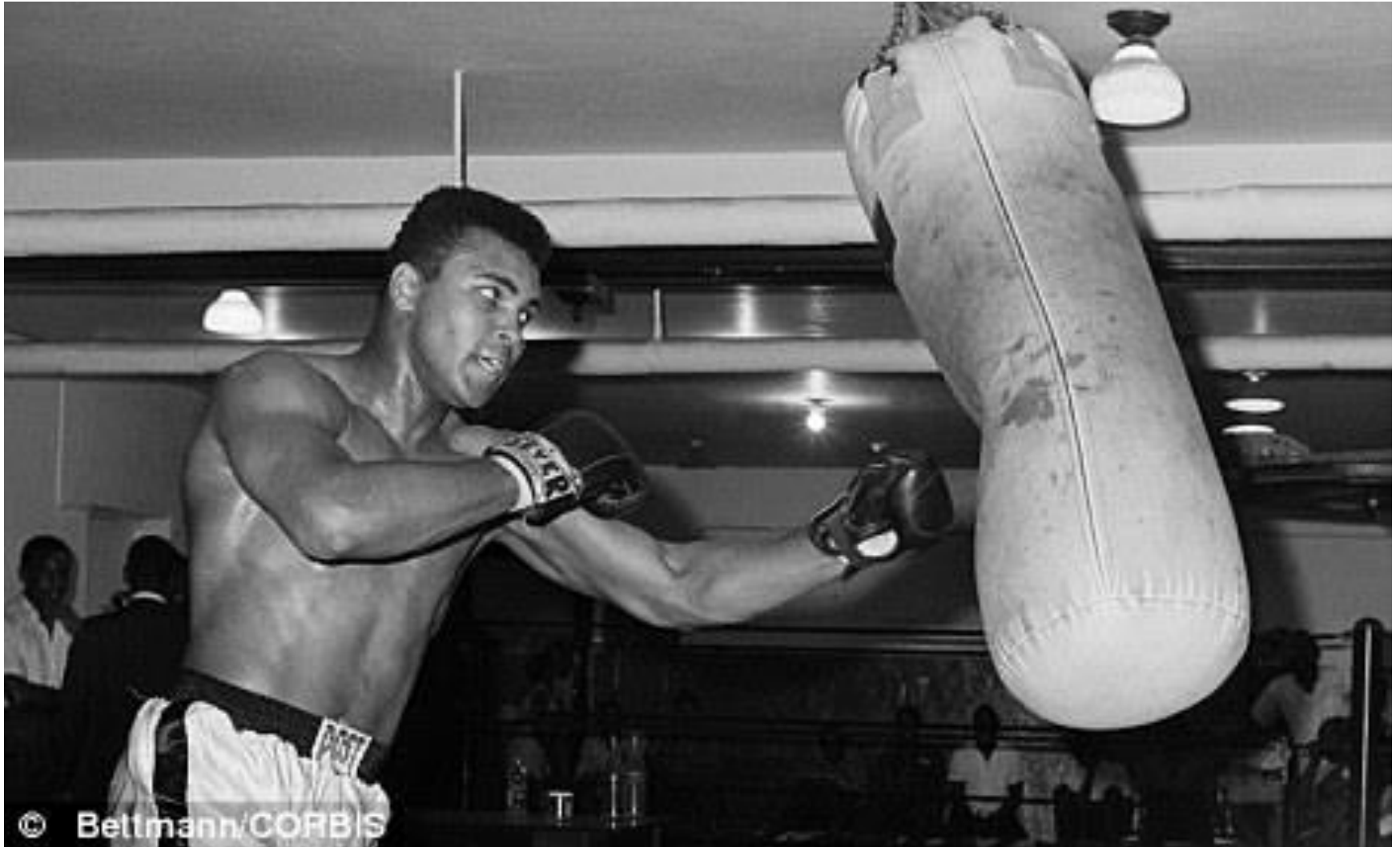
Cosa e' la luce? (Hyugens: onda)



La velocità della luce?

La velocità della luce?

Muhammad Ali (Cassius Clay)

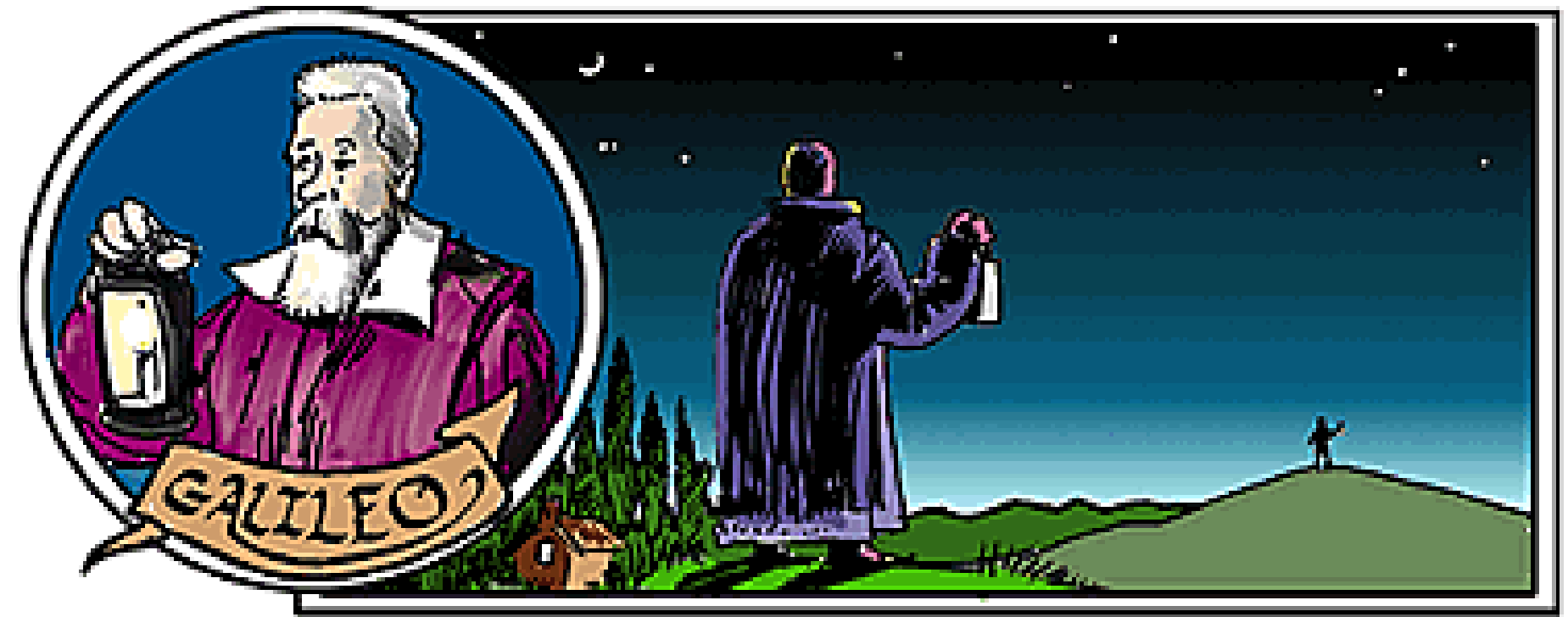


La velocità della luce?

Ero così veloce che avrei potuto alzarmi dal letto, attraversare la stanza, girare l'interruttore e tornare a letto sotto le coperte prima che la luce si fosse spenta.

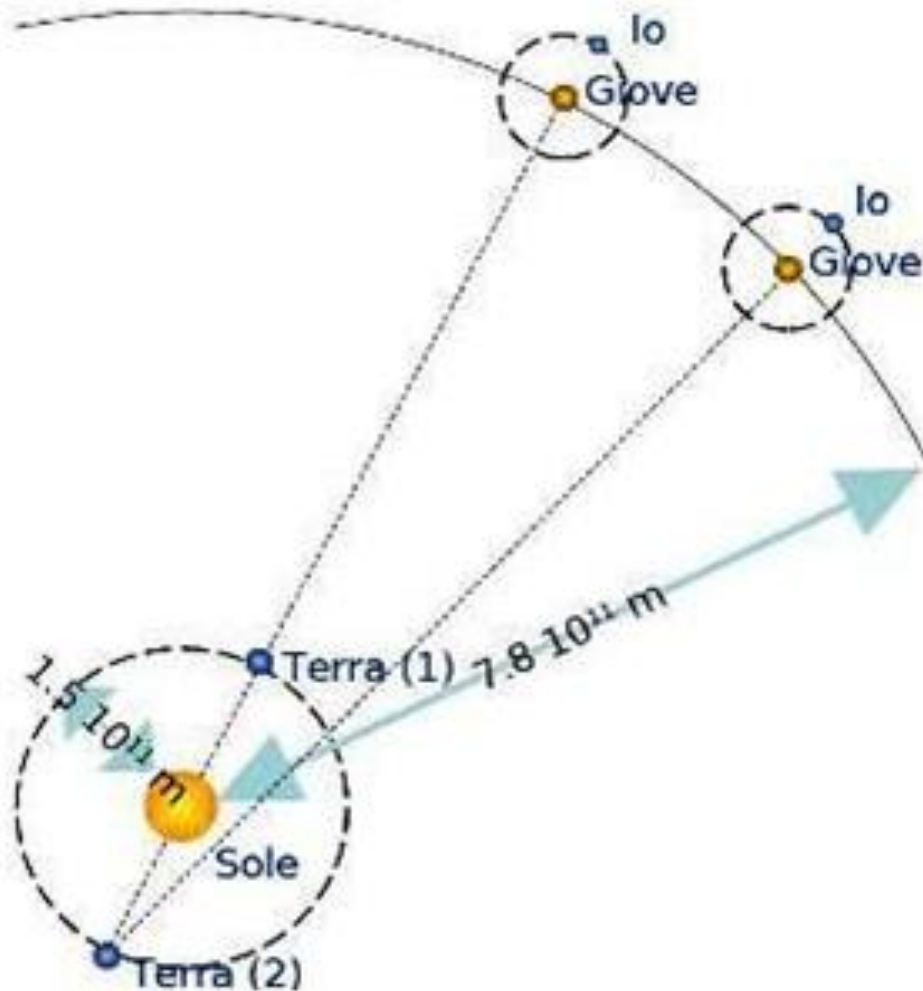
Muhammad Ali*

La velocità della luce? (Galileo)

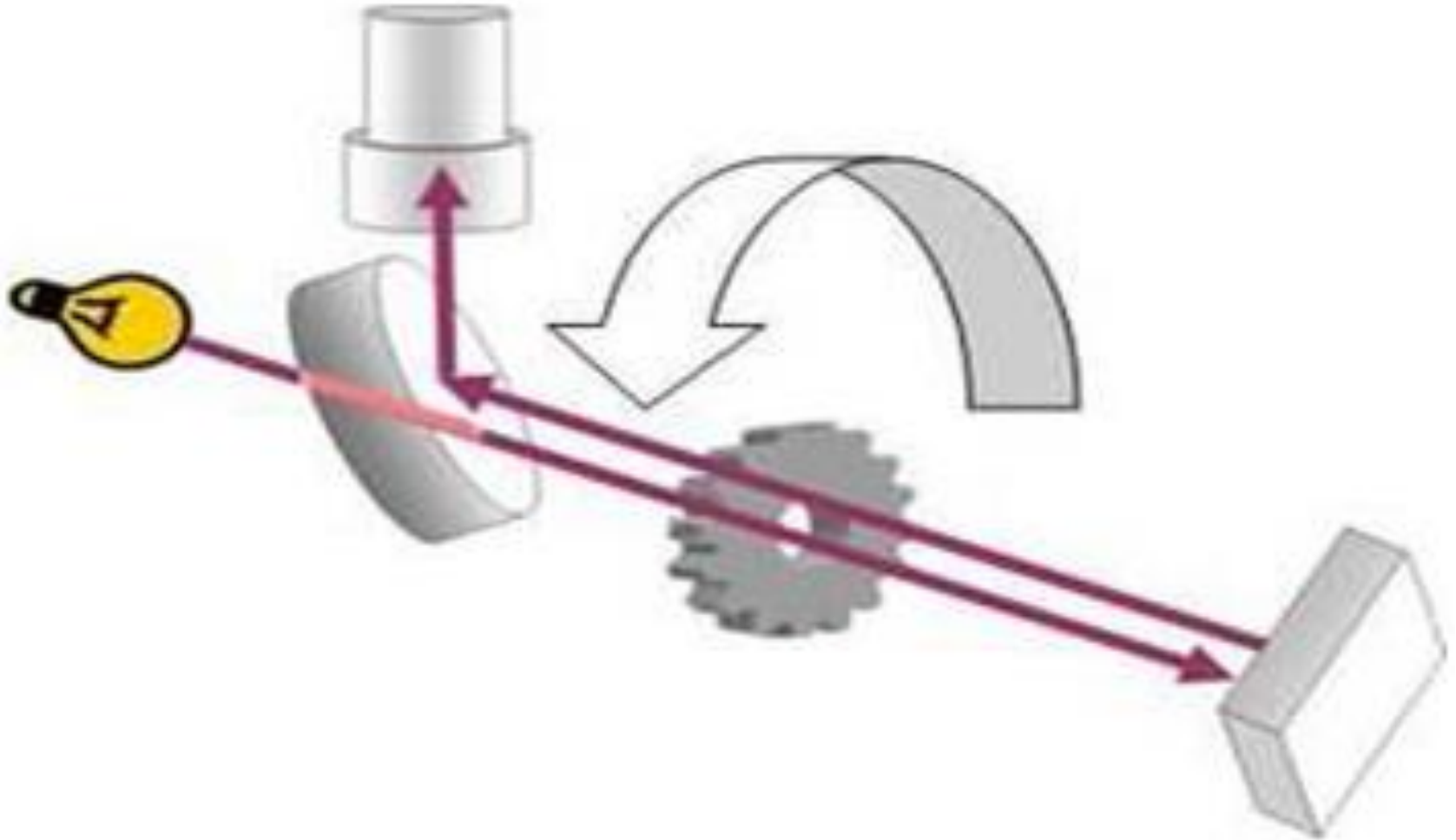


La velocità della luce? **Roemer**, 1676

? 214000 km/s

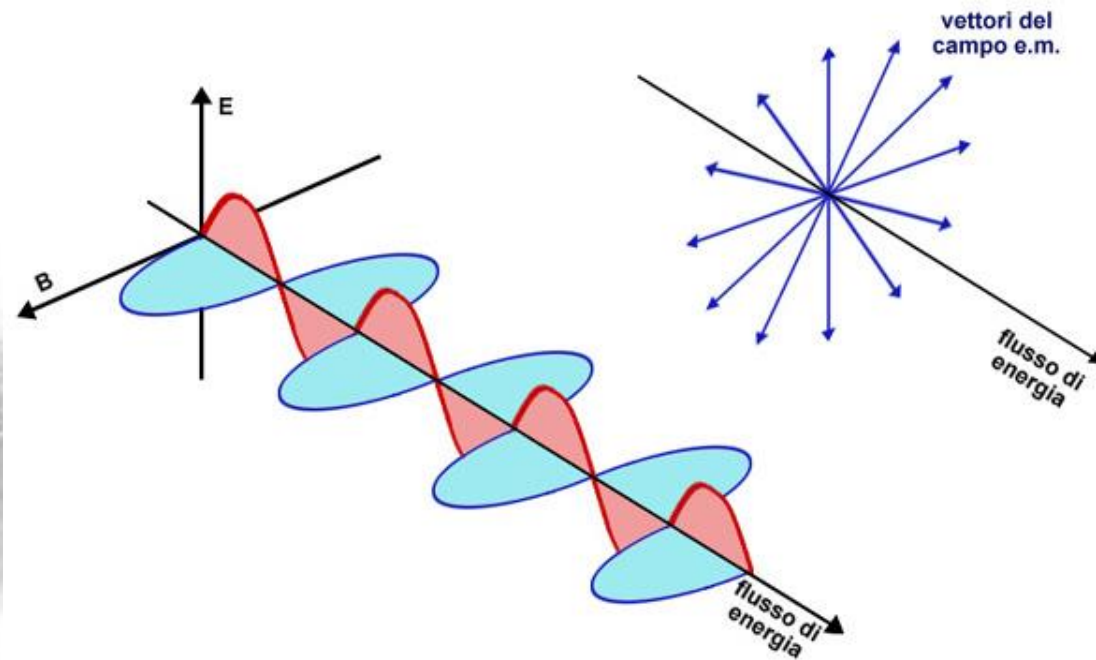


La velocità della luce? Fizeau, Foucault, 1864 circa



300000 km/s

Cosa e' la luce? **Maxwell**: onde elettromagnetiche)

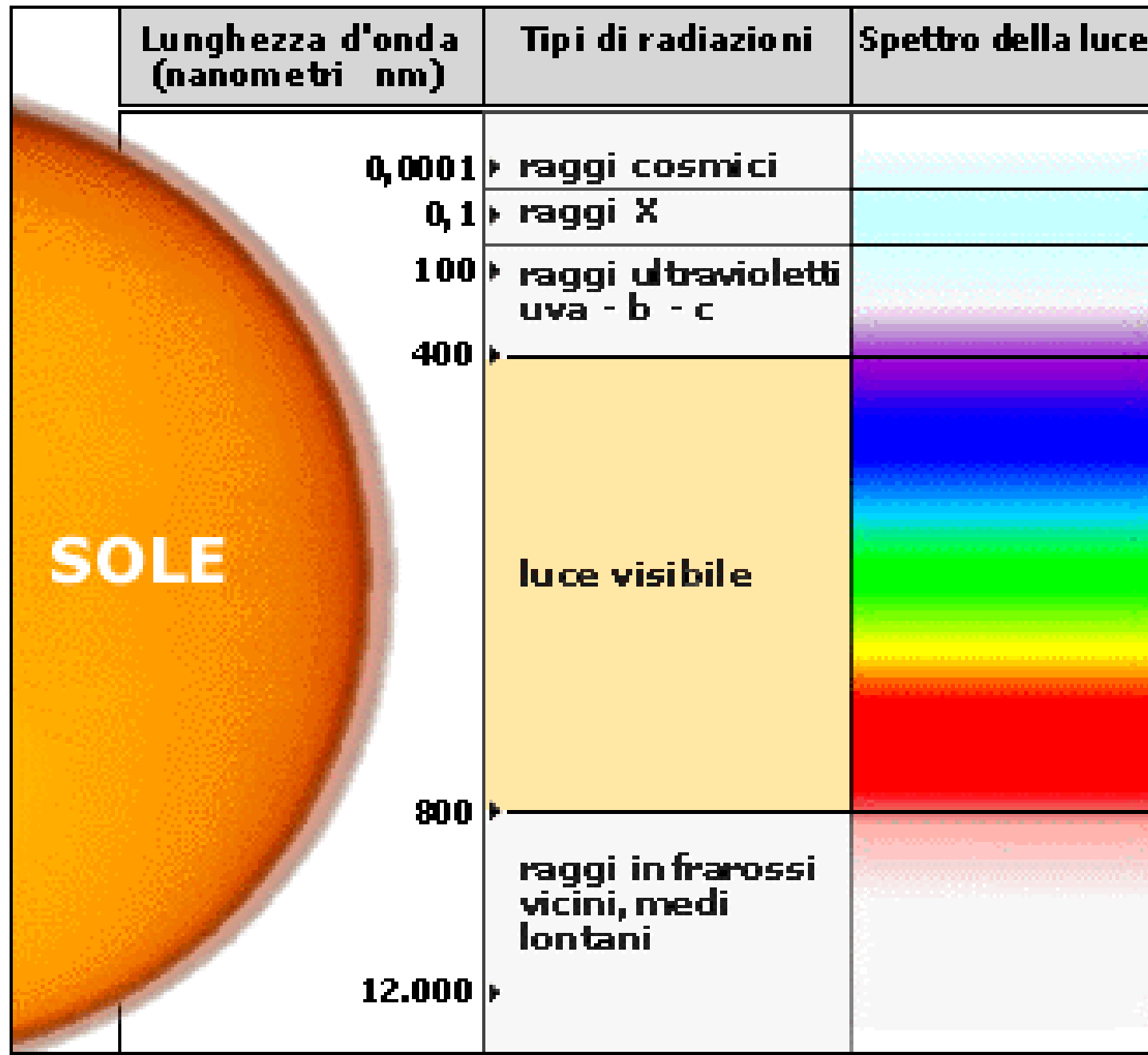


Cosa e' la luce? **Maxwell**: onde elettromagnetiche) **1864 – 150 anni**

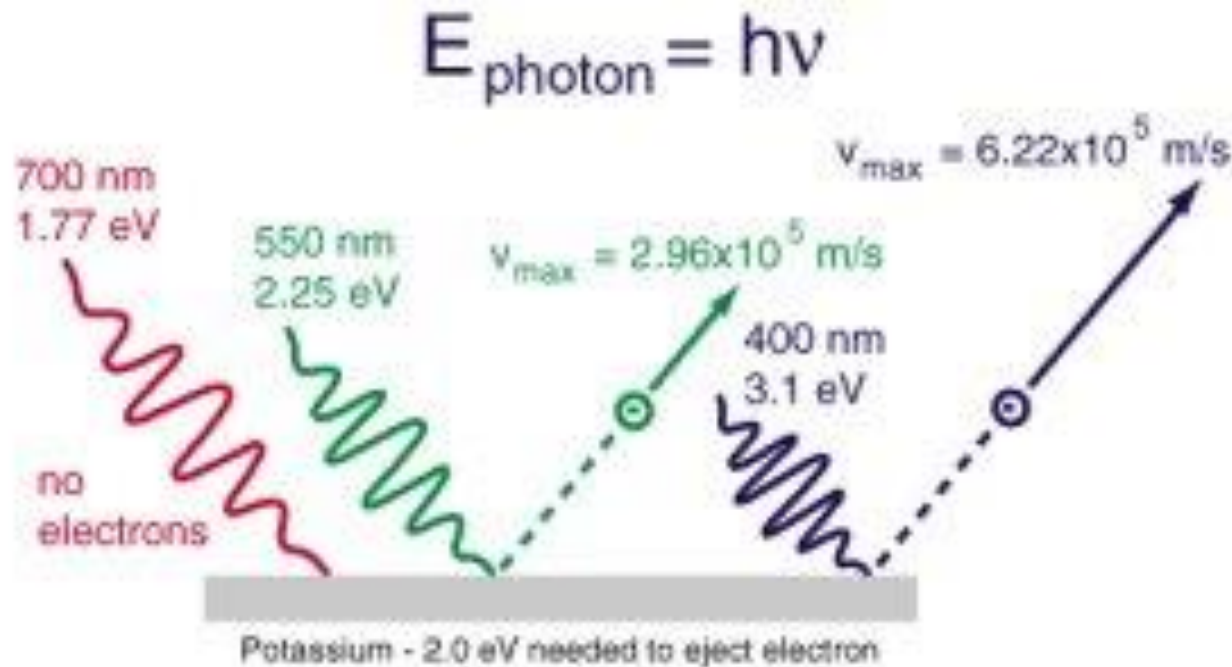
$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_c}{\epsilon_0} \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{array} \right.$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Lo spettro della luce



Cosa e' la luce? (**Einstein**: fotone)



Alla base dei pannelli
fotovoltaici



Cosa e' la luce? (onda e/o particella)



Meccanica Quantistica
Alcune conferenze dedicate

La Relativita'

Imagine travelling through space on a beam of light at the speed of light.



Albert Einstein, theory of relativity, gravity, velocity, energy, mass, speed, time, $E=mc^2$ Albert Einstein

Bobonart





La Relativita'

Per descrivere il comportamento dei “corpi” che si muovono molto velocemente.

La relativita' speciale

- Nessun corpo (oggetto) puo muoversi con una velocita' maggiore della luce
- La massa rappresenta una forma di energia

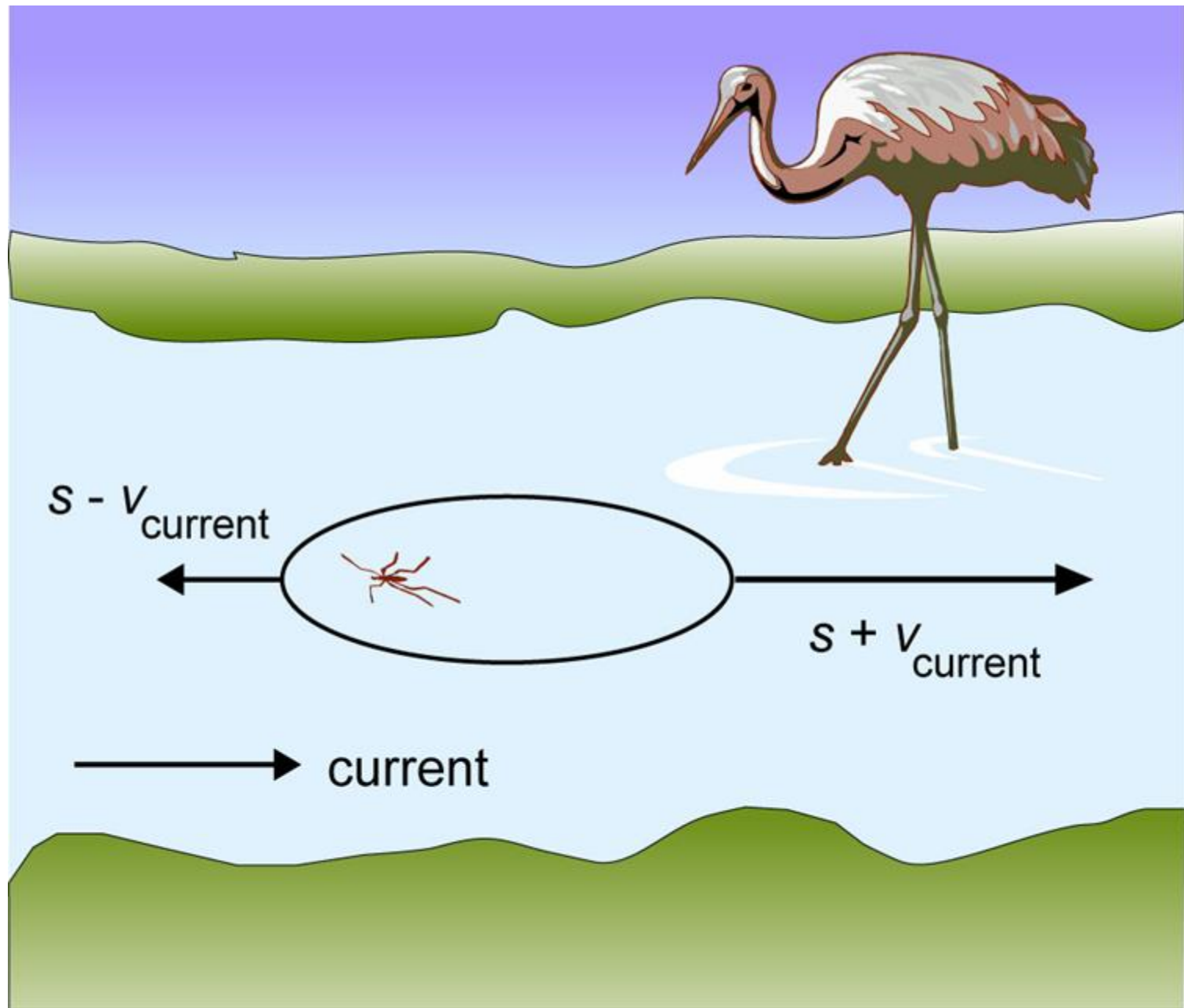
$$E = m c^2$$

La relativita' generale

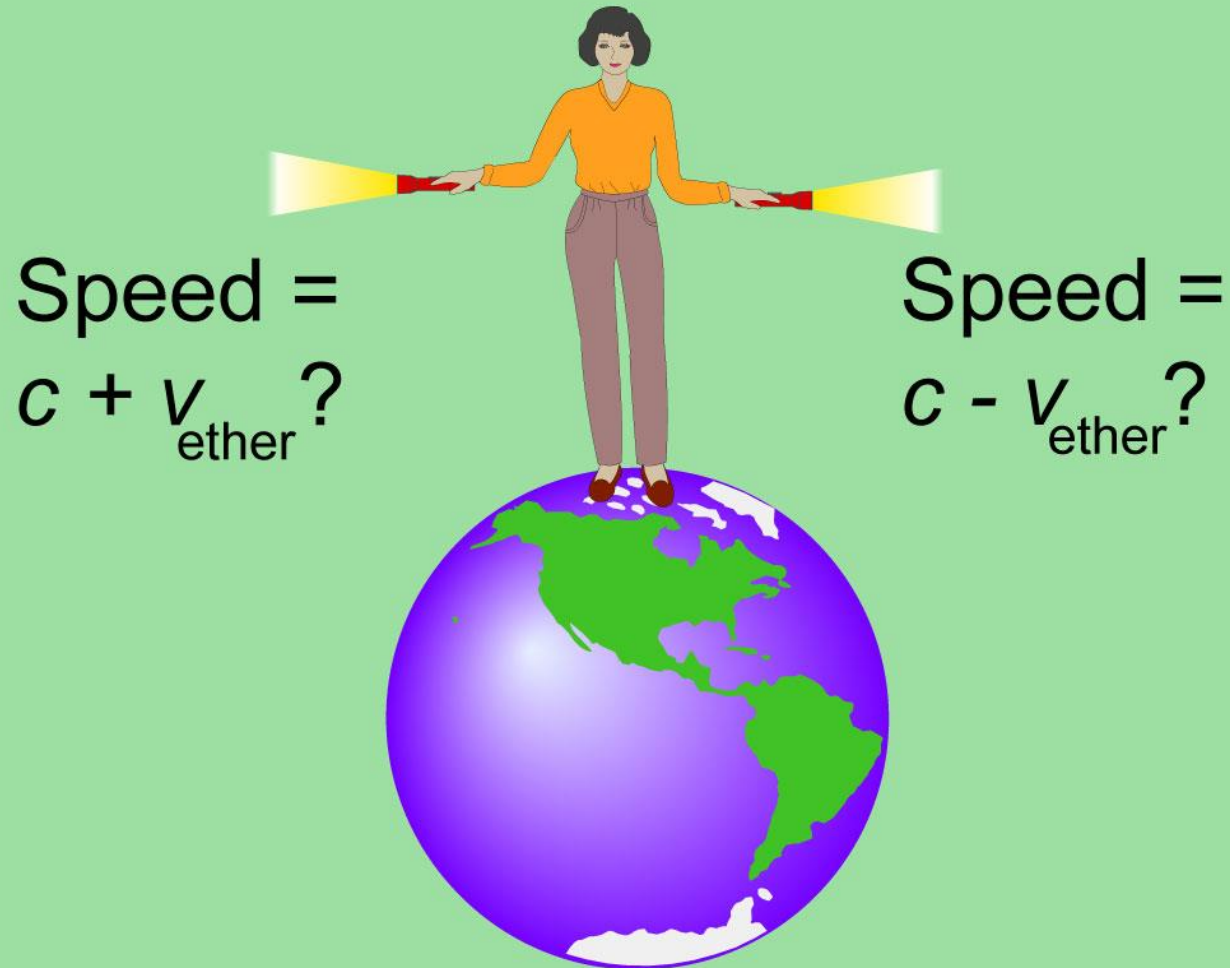
- Comprende gli effetti della forza di gravita'; descrive l'espansione dell'Universo, i buchi neri, etc.



Einstein nel 1905, all'eta' di 26 anni



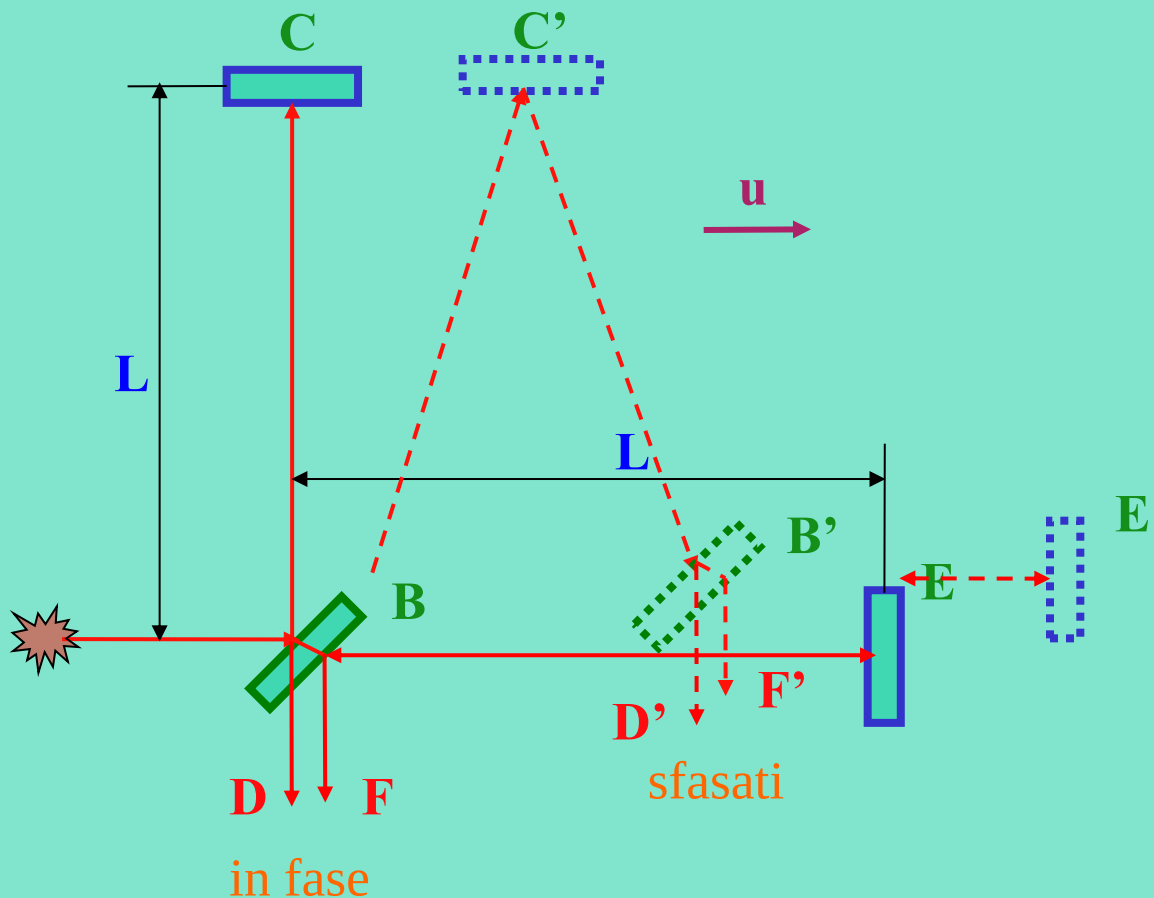
←
Ether?



Michelson & Morley

(1887)

Ta Terra si doveva muovere nell'etere.....



Interferometer

$$\mathbf{t}_1 : \mathbf{B} - \mathbf{E} - \mathbf{B}$$

$$t_2: B - C - B$$

$$t_1 = \frac{2L / c}{1 - u^2 / c^2}$$

$$t_2 = \frac{2L / c}{(1 - u^2 / c^2)^{1/2}}$$

Michelson & Morley

Misura sperimentale:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 0$$



La velocità della luce è la stessa in tutte le direzioni
(nessun effetto dovuto all'etere)

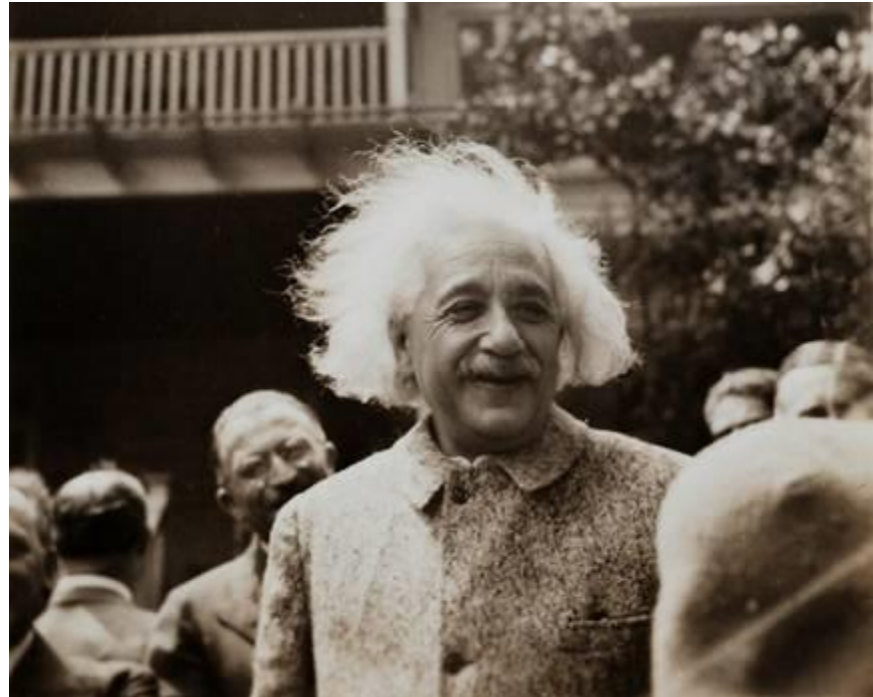


Due possibili soluzioni:

- 1) La luce non si propaga nella stessa modalità in vari sistemi referenziali (Maxwell laws)
- 2) Leggi di trasformazione Galileane non sono valide!

Einstein

(1905)



Einstein

(1905)



➡ **La teoria della relativita' – postulati:**

P1 - Le leggi della fisica sono le stesse in tutii i SRI

Than Maxwell eq. are ok if and only if:

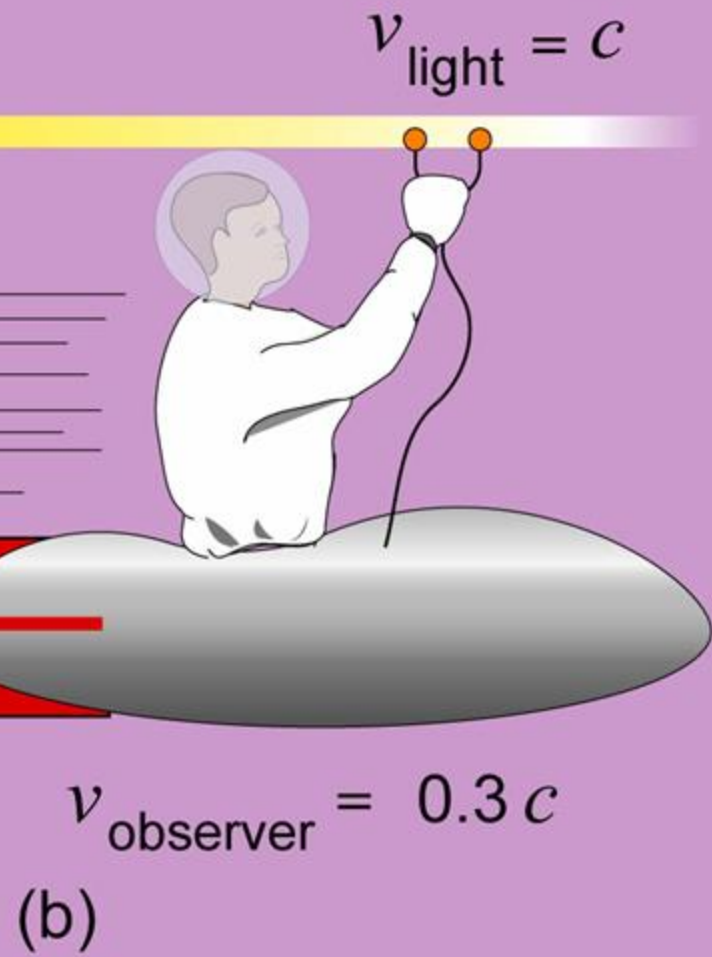
P2 - La velocita' della luce e' la stessa in tutti SRI



Etere non esiste

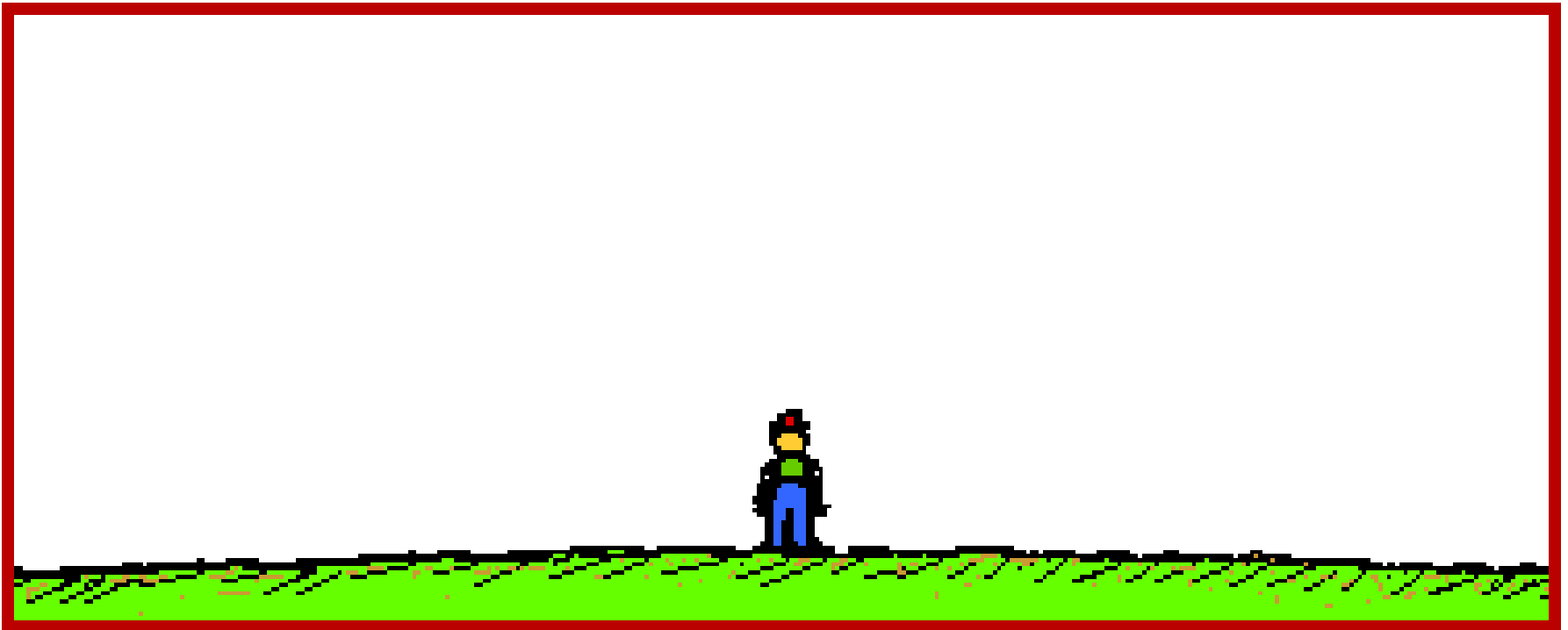
Einstein

Dopo dieci anni di riflessione, un siffatto principio risultò da un paradosso nel quale m'ero imbattuto all'età di 16 anni: se io potessi seguire un raggio di luce a velocità c (la velocità della luce nel vuoto), il raggio di luce mi apparirebbe come un campo elettromagnetico oscillante nello spazio, in stato di quiete. Ma nulla del genere sembra possa sussistere sulla base dell'esperienza o delle equazioni di Maxwell. Fin dal principio mi sembrò intuitivamente chiaro che, dal punto di vista di un tale ipotetico osservatore, tutto debba accadere secondo le stesse leggi che valgono per un osservatore fermo rispetto alla Terra. Altrimenti, come farebbe il primo osservatore a sapere, cioè come potrebbe stabilire, di essere in uno stato di rapidissimo moto uniforme?



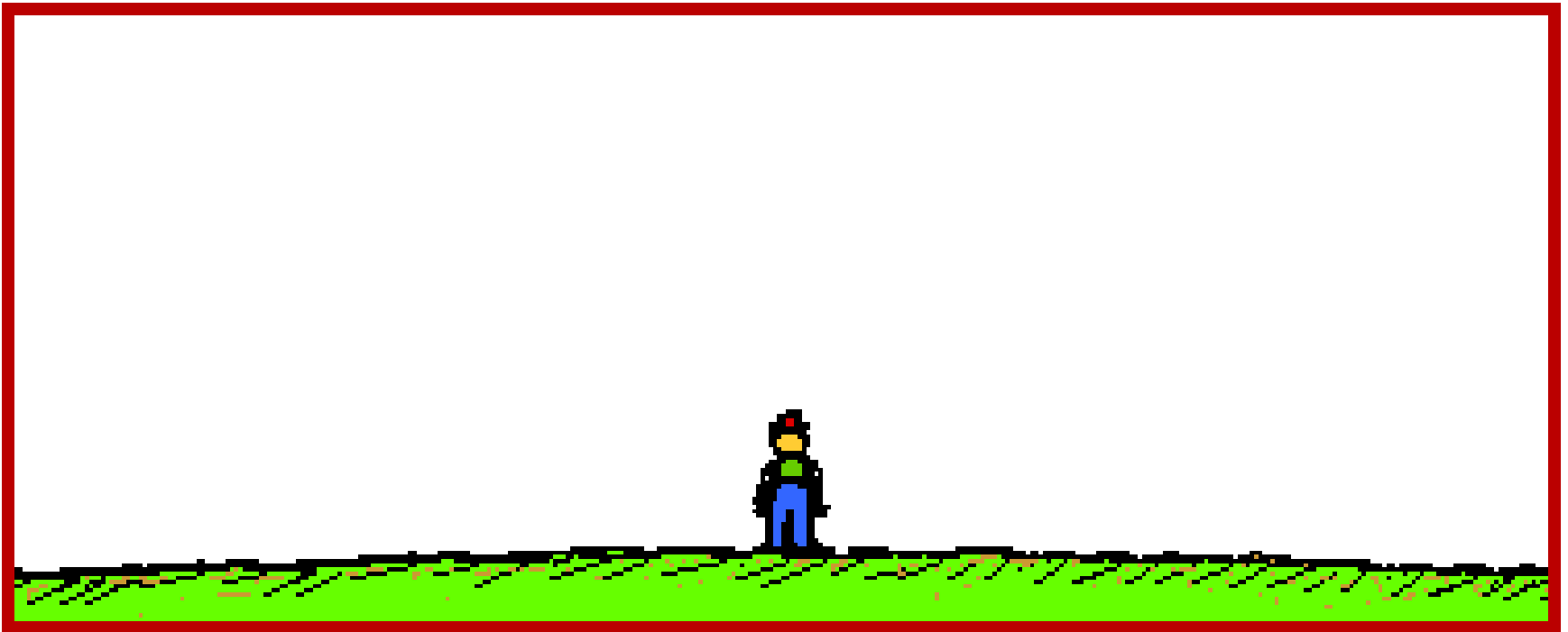
Contrazione delle lunghezze

- 10% velocità della luce



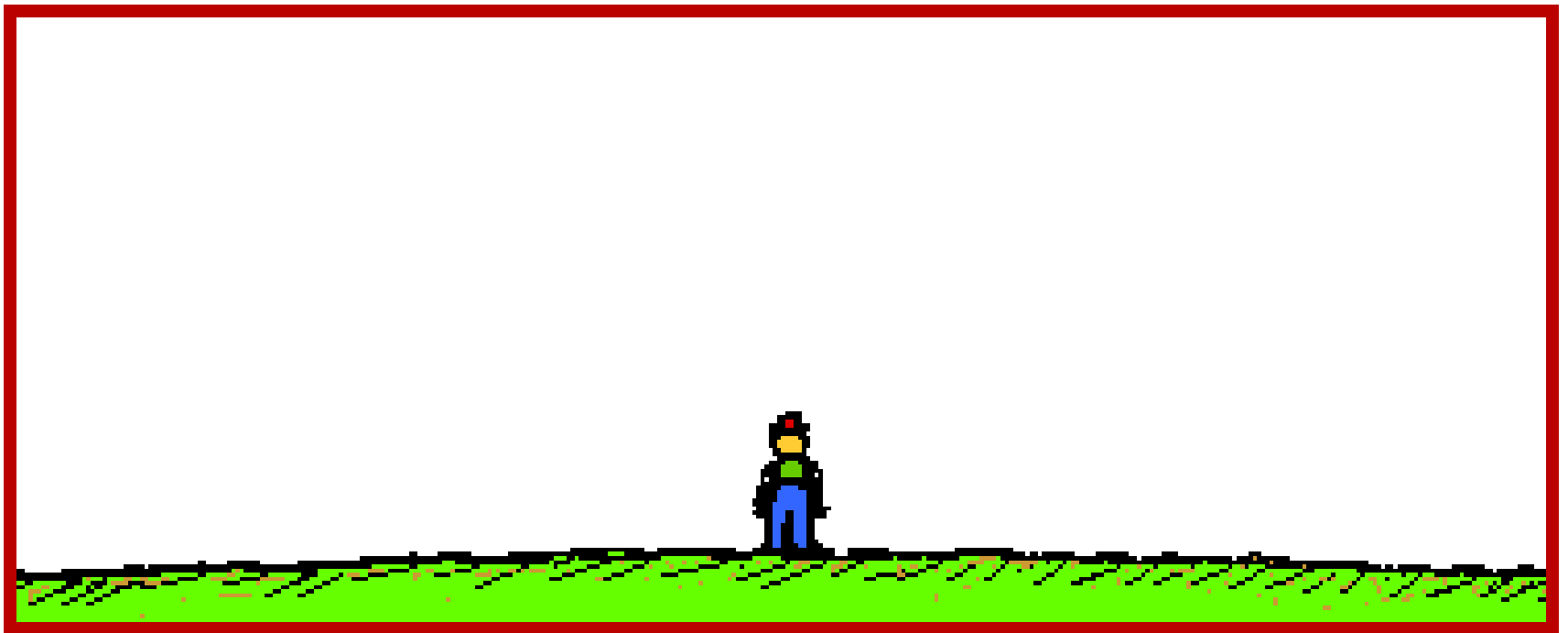
Contrazione delle lunghezze

- 86% velocità della luce



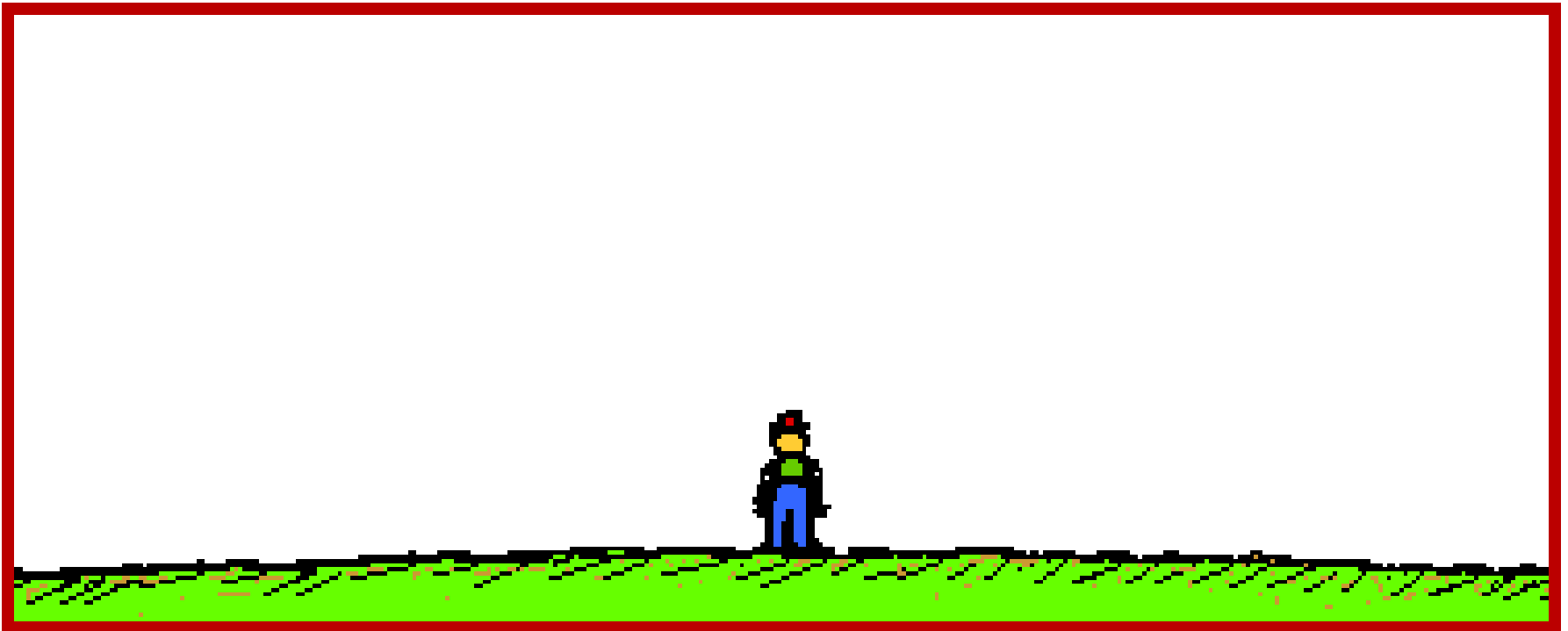
Contrazione delle lunghezze

- 99% velocità della luce



Contrazione delle lunghezze

- 99.99% velocità della luce



Twin paradox



Before



After



After

BACK TO THE FUTURE





**Les Demoiselles
d'Avignon:
Picasso's 1907**

exc
a fou



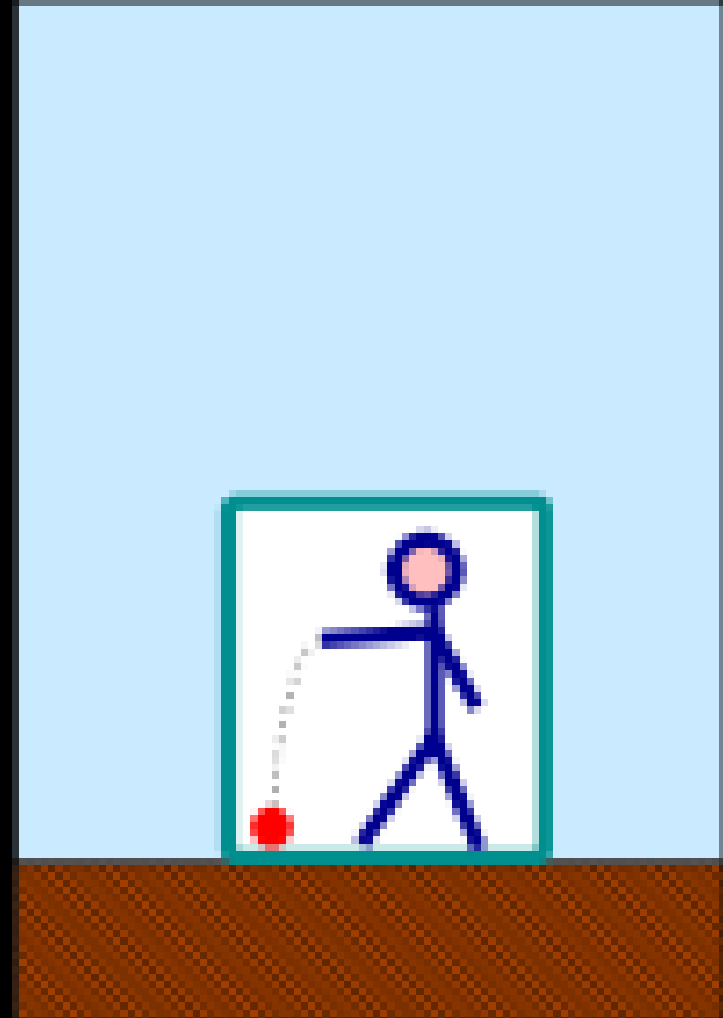
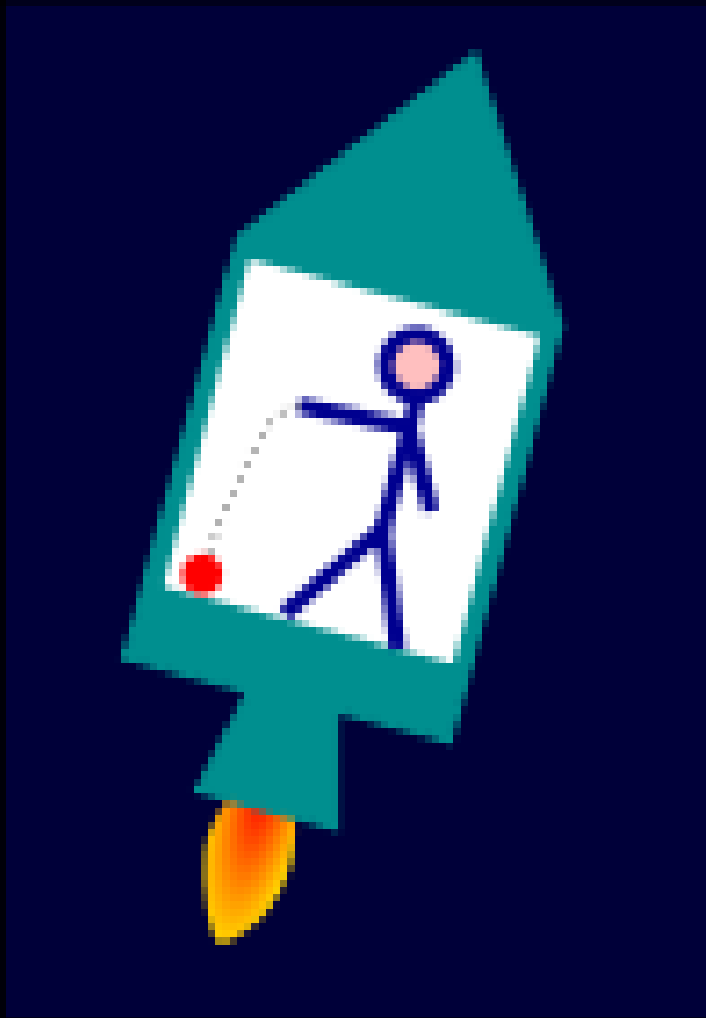
Girl in a chair
Picasso's 1907
indagine nella
quarta dimensione



The Persistence of memory, Salvador Dali, 1931



Relativita' generale - principio di equivalenza

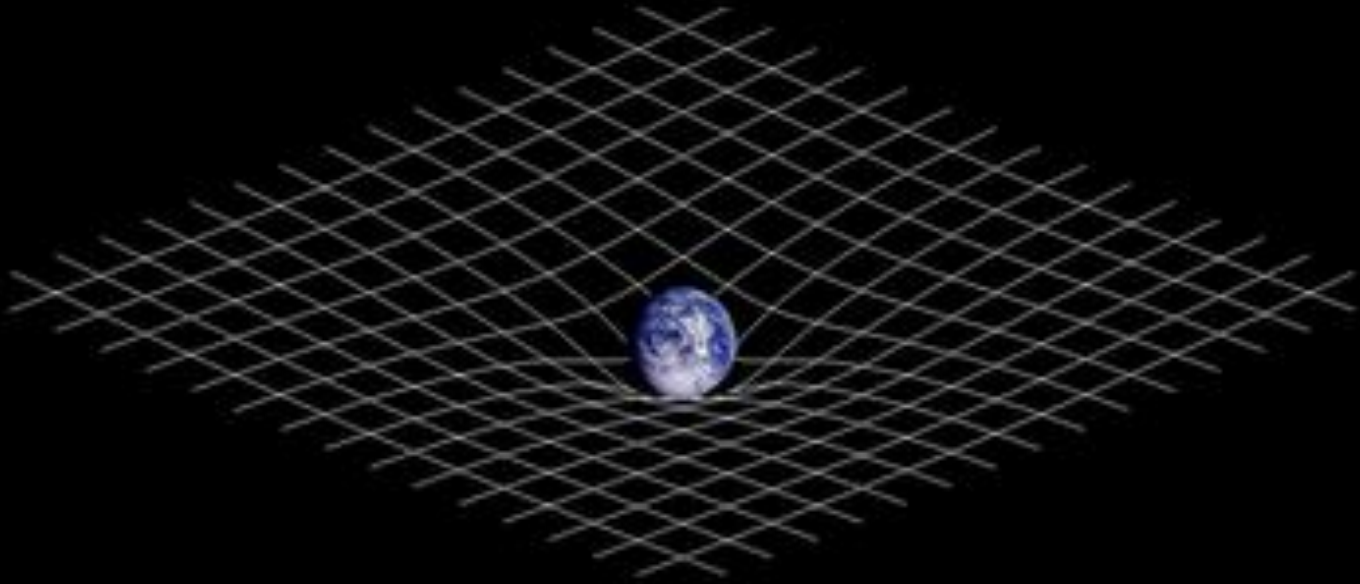


Relativita' generale

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

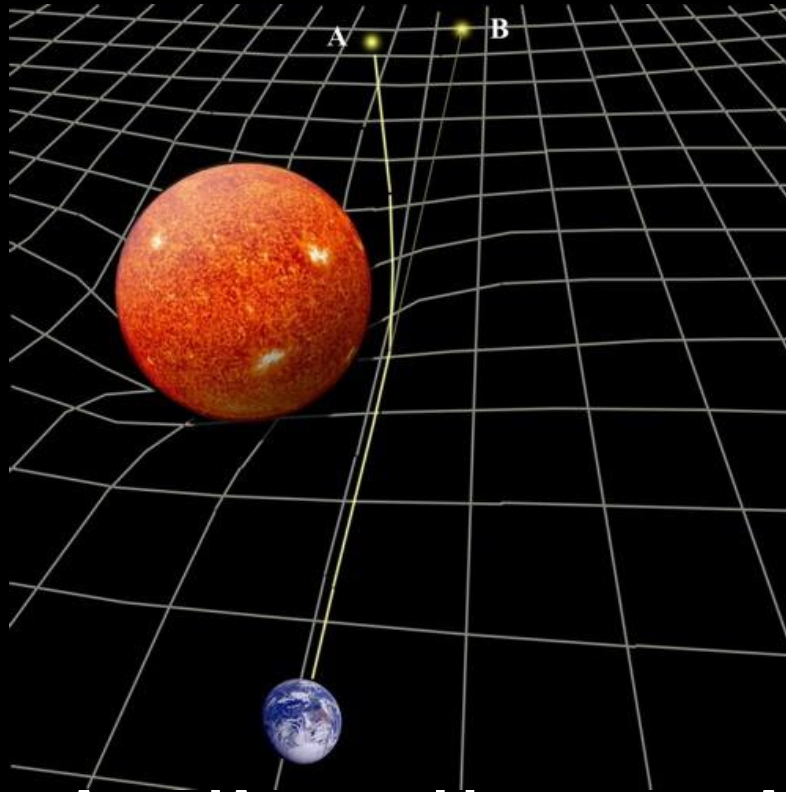
La materia dice allo spazio come curvarsi, *lo spazio dice alla materia* come muoversi.

Relativita' generale



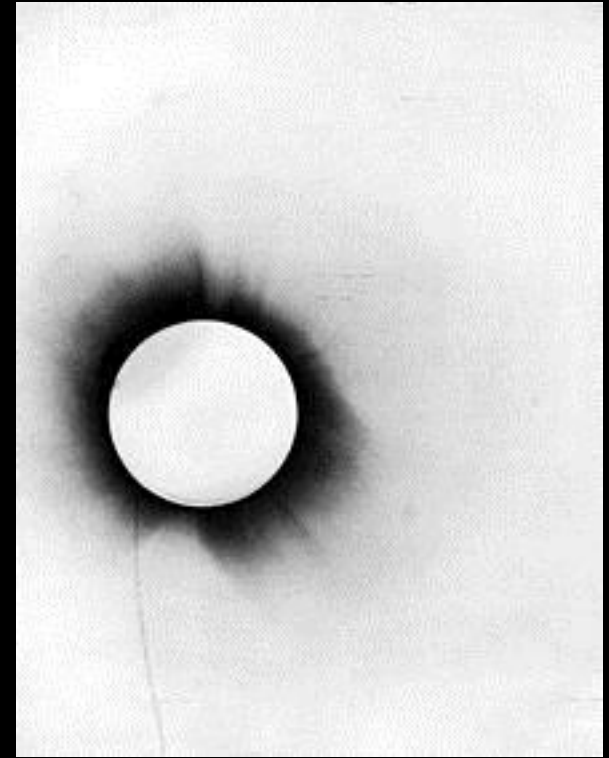
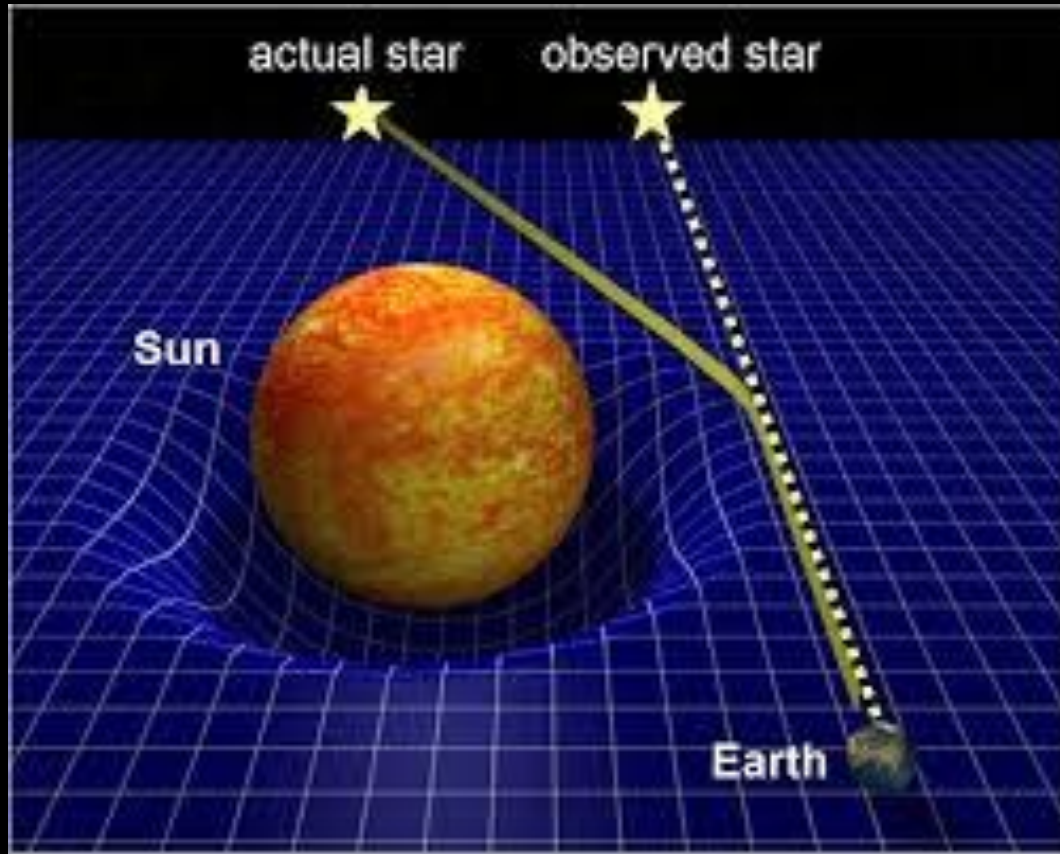
La materia dice allo spazio come curvarsi, *lo spazio dice alla materia* come muoversi.

Relativita' generale

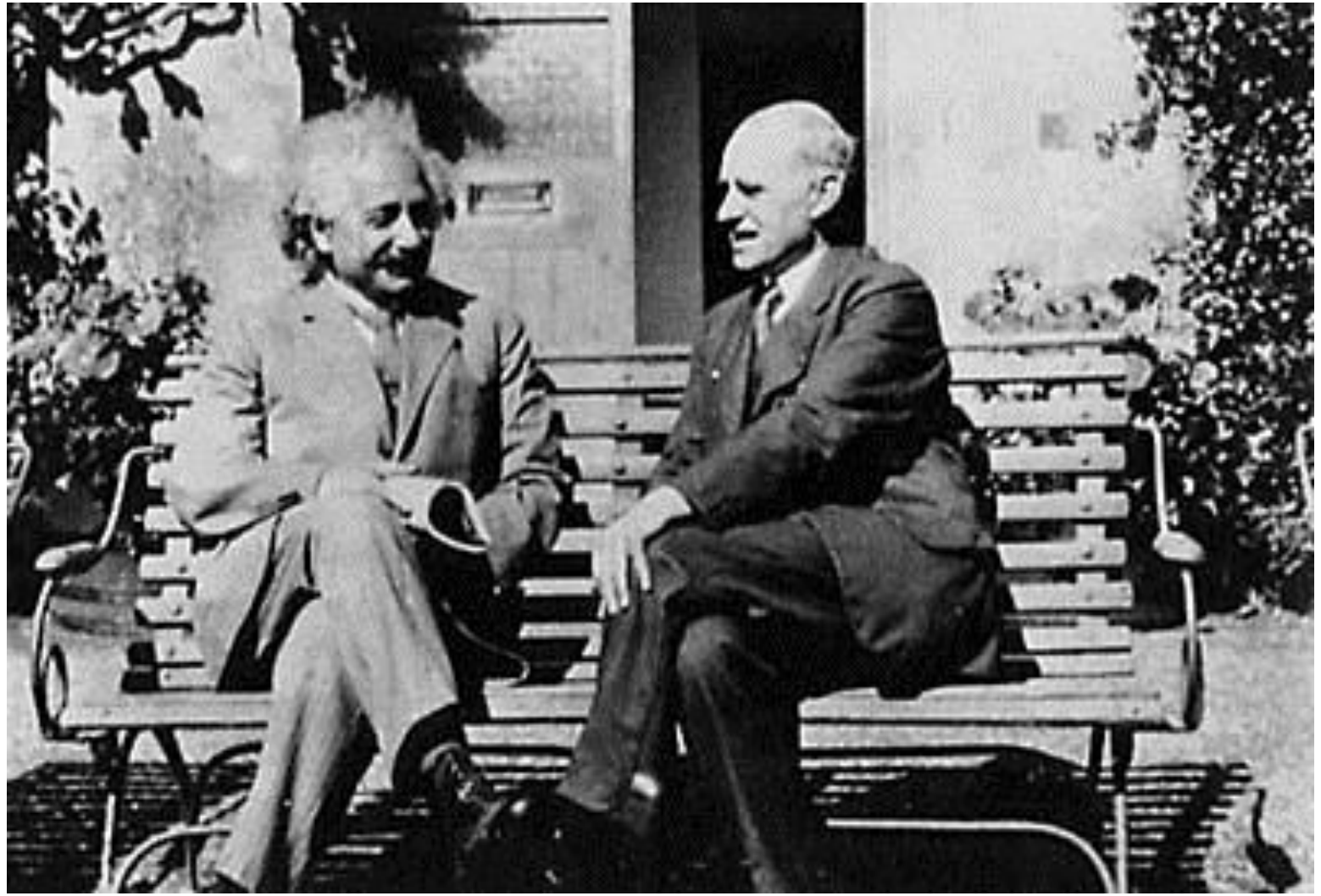


La materia dice allo spazio come curvarsi, *lo spazio dice alla materia* come muoversi.

Relativita' generale



1919 – conferma relativita' generale: Sir Arthur Eddington (foto durante eclissi...)

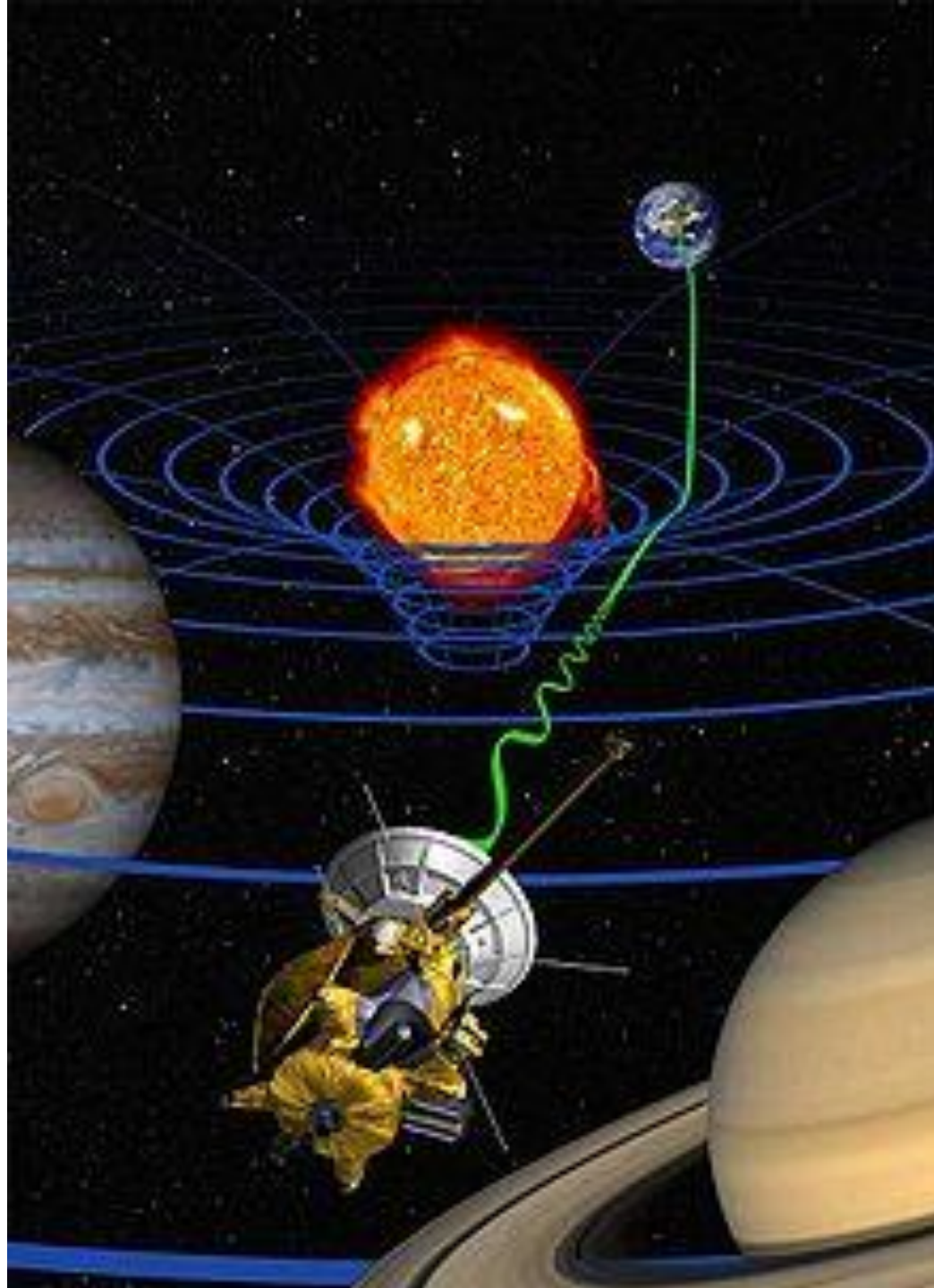




before



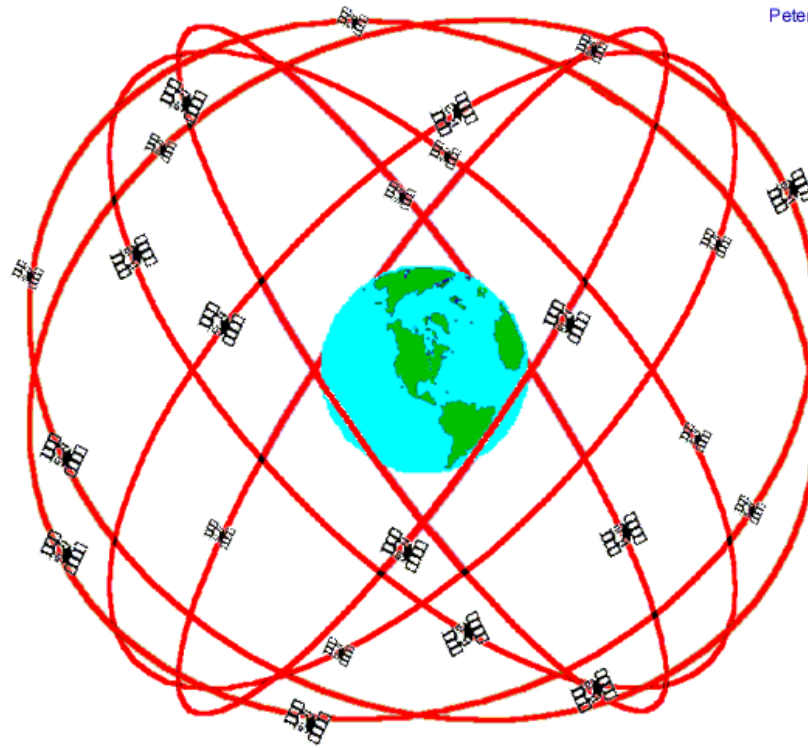
after



DAΦNE Collider at LNF-INFN



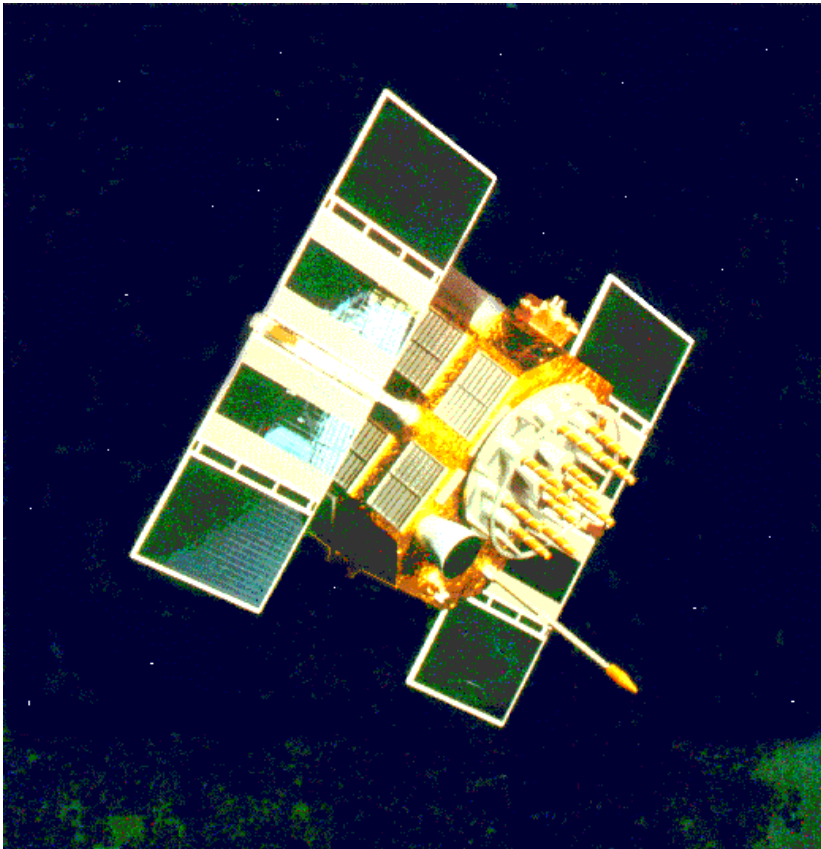
The Global Position System (GPS)



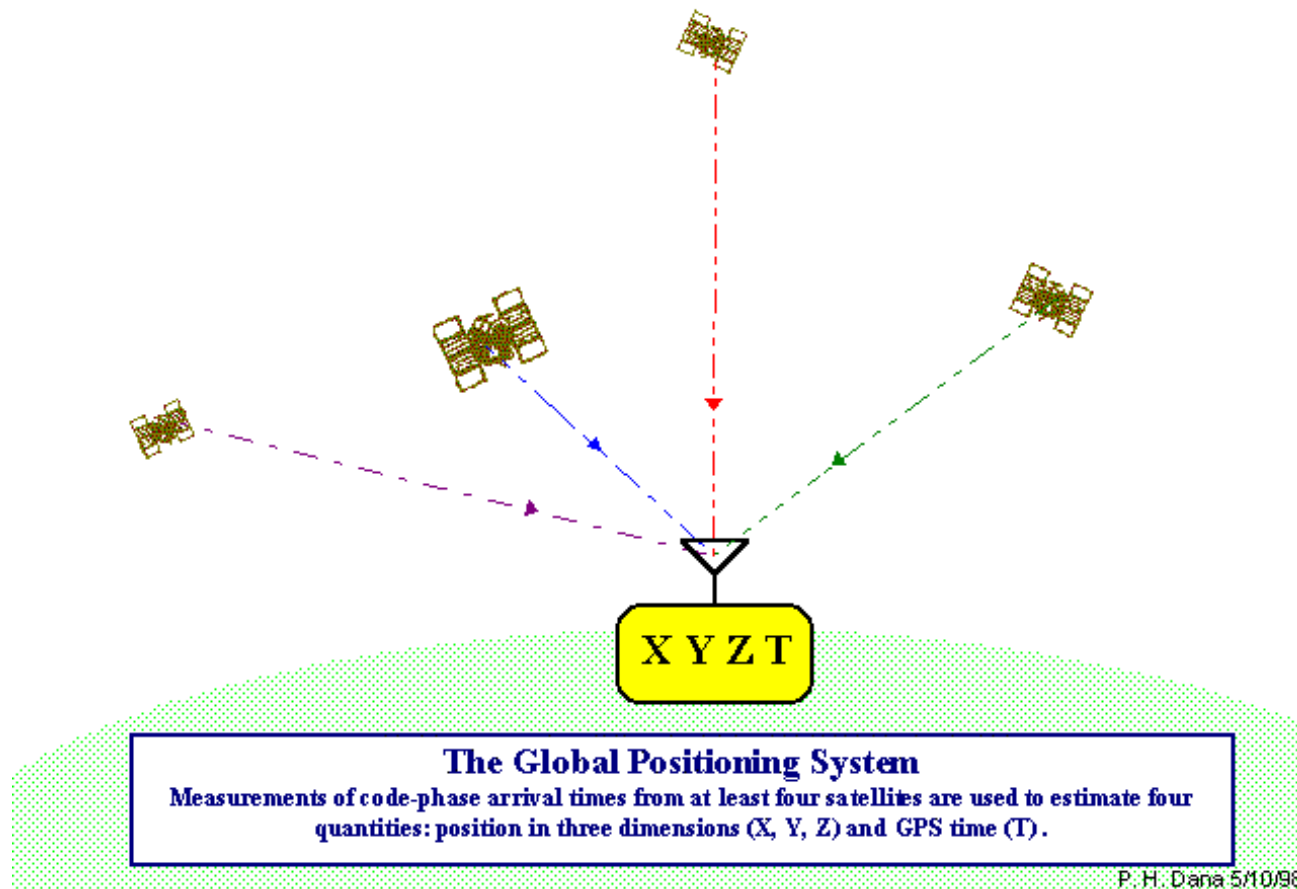
Peter H. Dana 9/22/98

GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

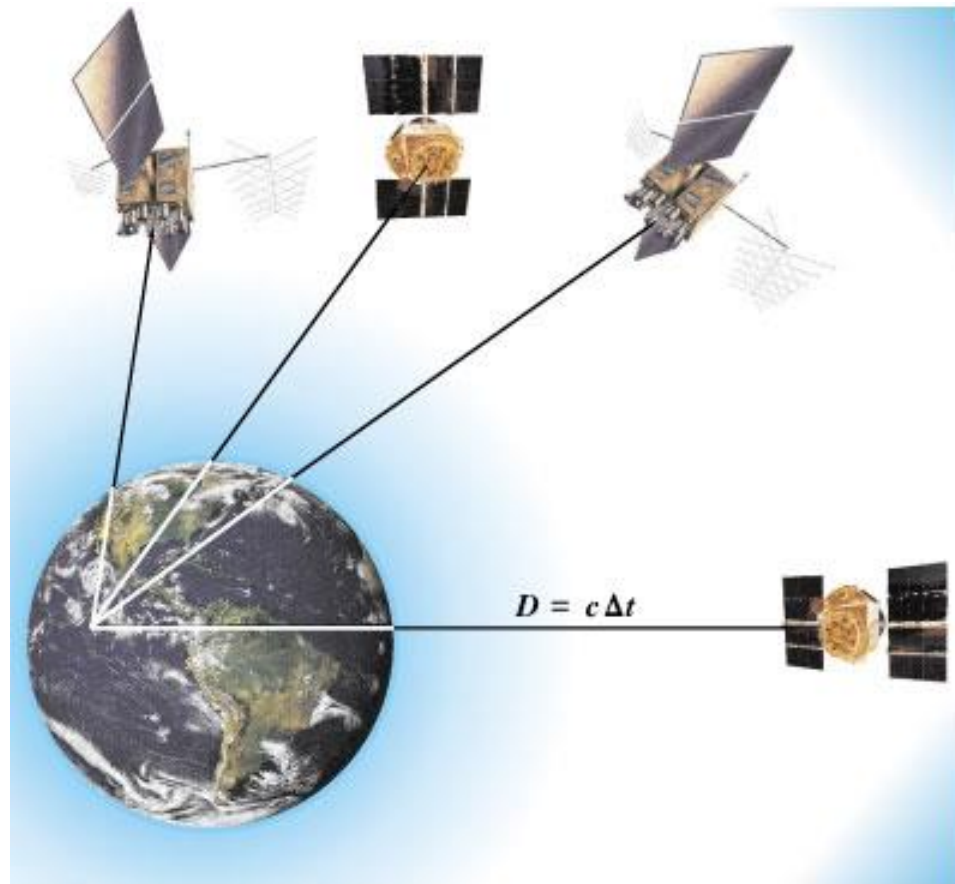
The Global Position System (GPS)



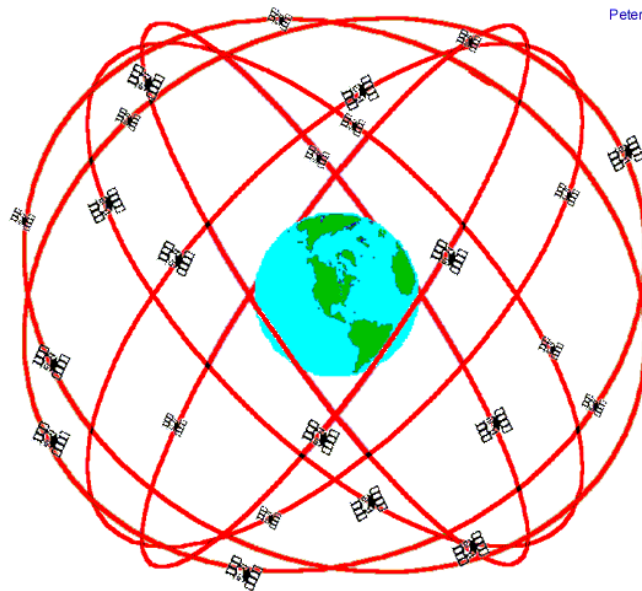
The Global Position System (GPS)



The Global Position System (GPS)



The Global Position System (GPS) e la relativita'!



Peter H. Dana 9/22/98

$$v = 3.87 \text{ Km/s}$$

$$t_{01} - t_{01}' = (1 - \gamma) t_{01}$$

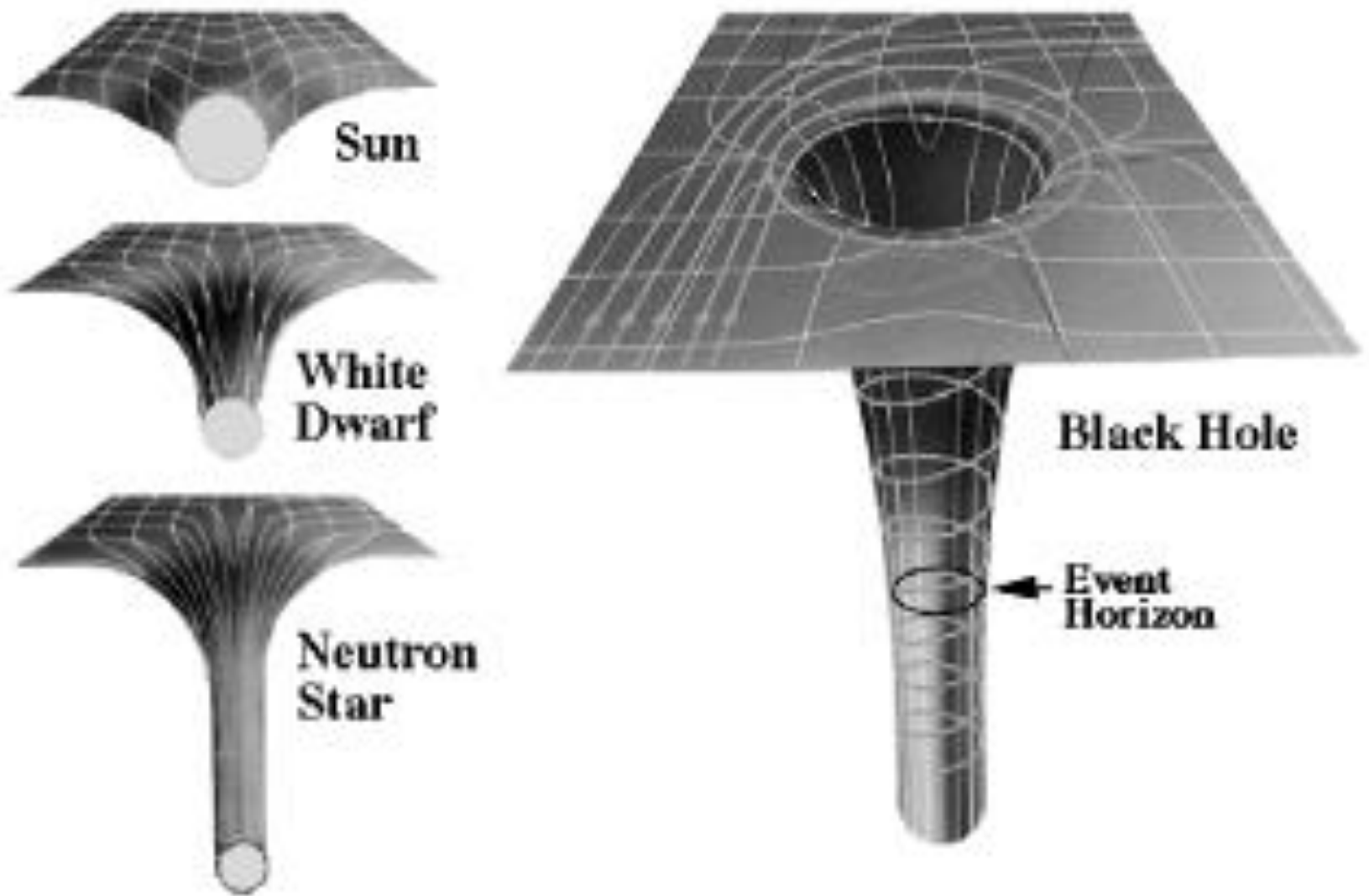
1 orbit $\sim$ 12 hours

$\rightarrow t_{01} - t_{01}' \sim 6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$

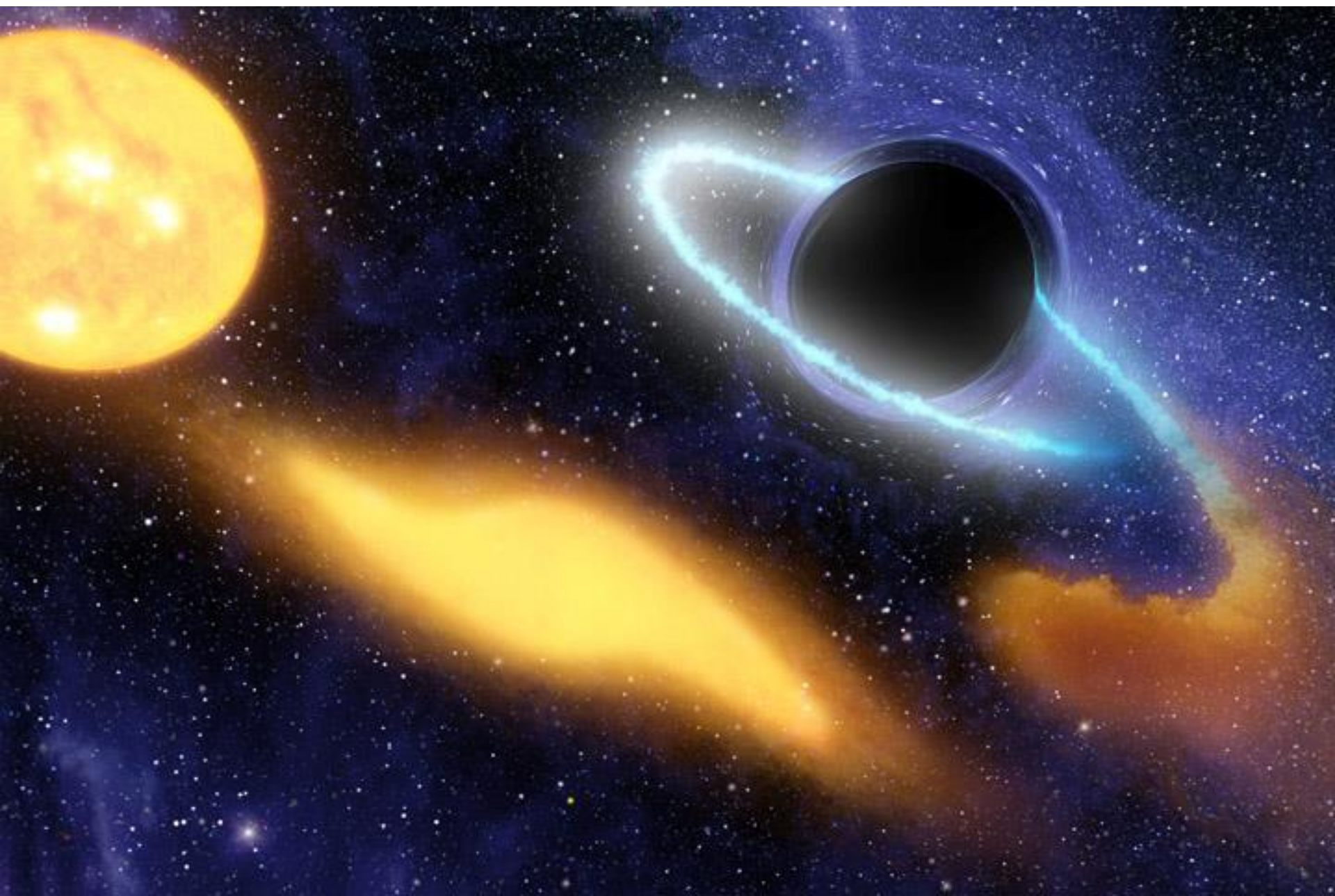
$\rightarrow \Delta D \sim 18 \text{ m}$

GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

Due to other effects connected to general relativity $\Delta D \sim 100 \text{ m}$

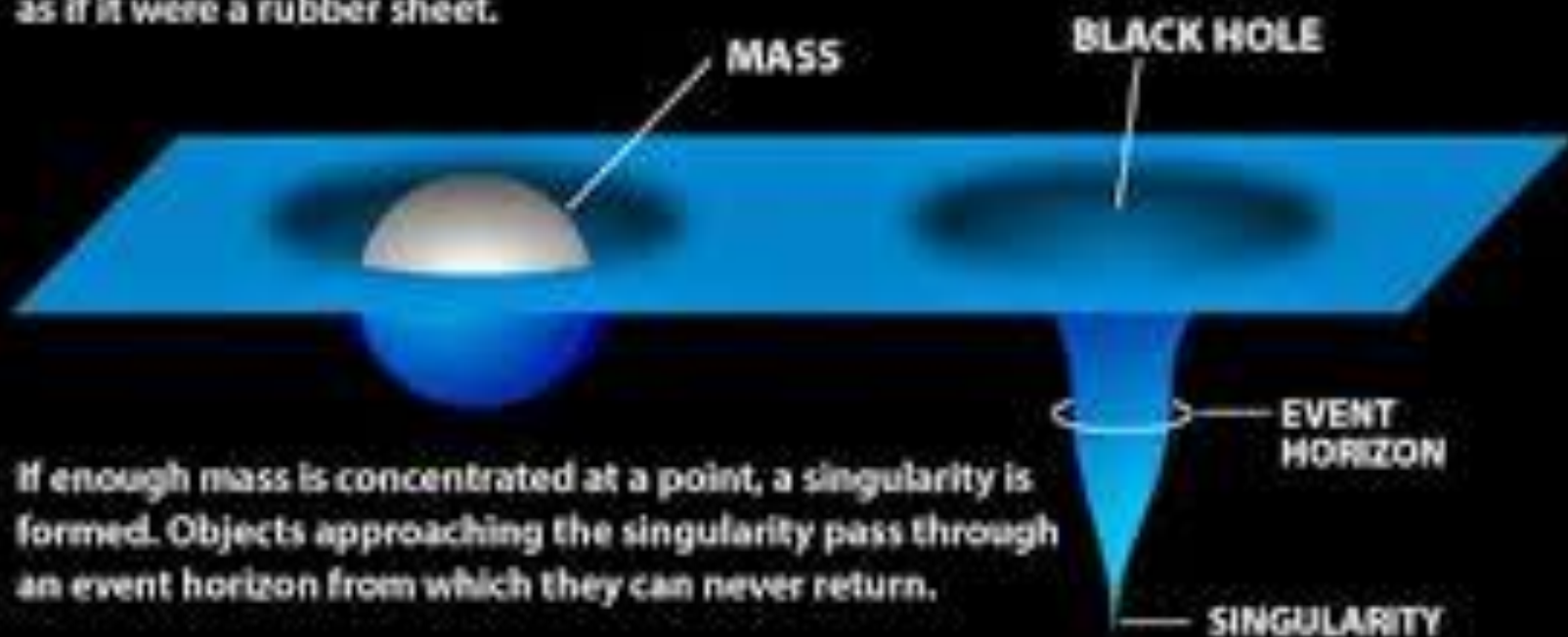


Credit: Adam Apollo



HOW TO MAKE A BLACK HOLE

The presence of mass distorts the local space-time as if it were a rubber sheet.



If enough mass is concentrated at a point, a singularity is formed. Objects approaching the singularity pass through an event horizon from which they can never return.

I buchi neri non sono cosi'neri
radiazione di Hawking
(effetti quantistici)



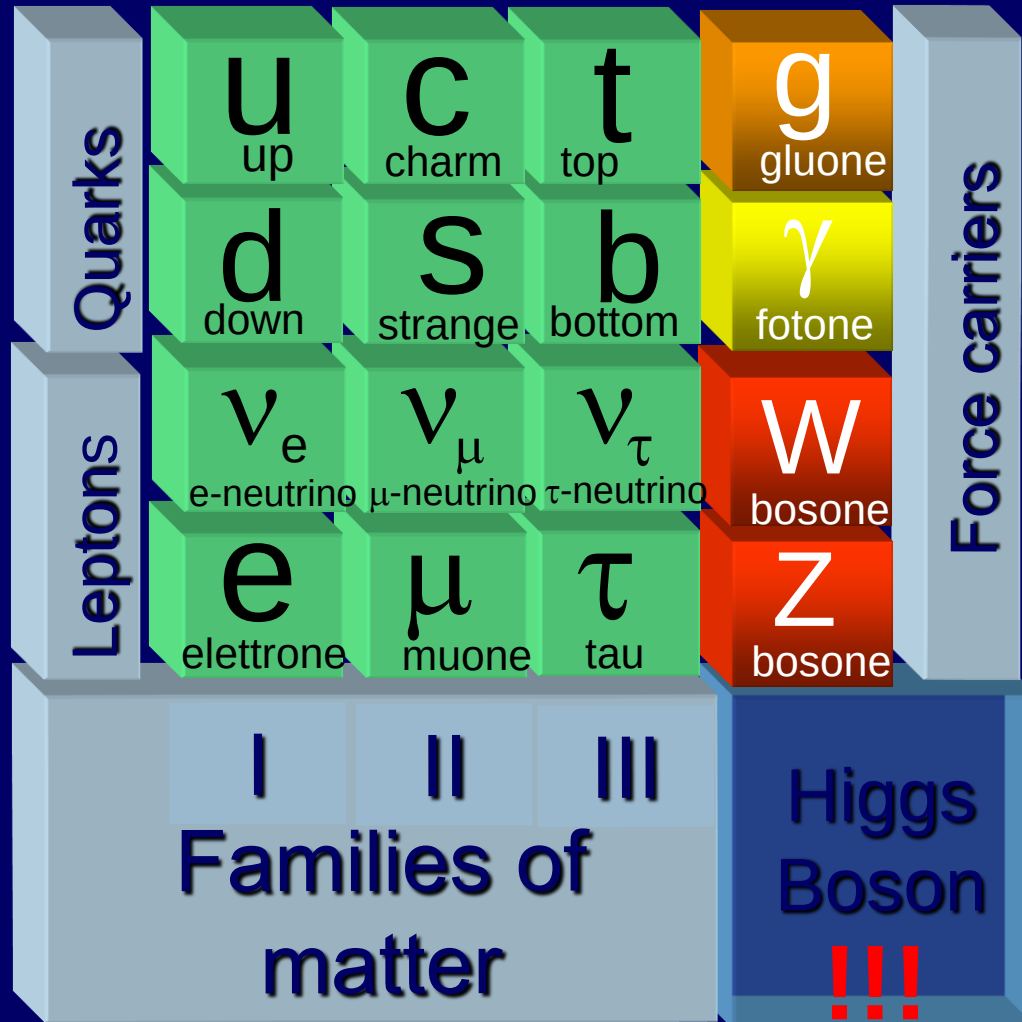
Per capire i buchi neri:
gravita' quantistica!



The Standard Model

Fermions

Bosons



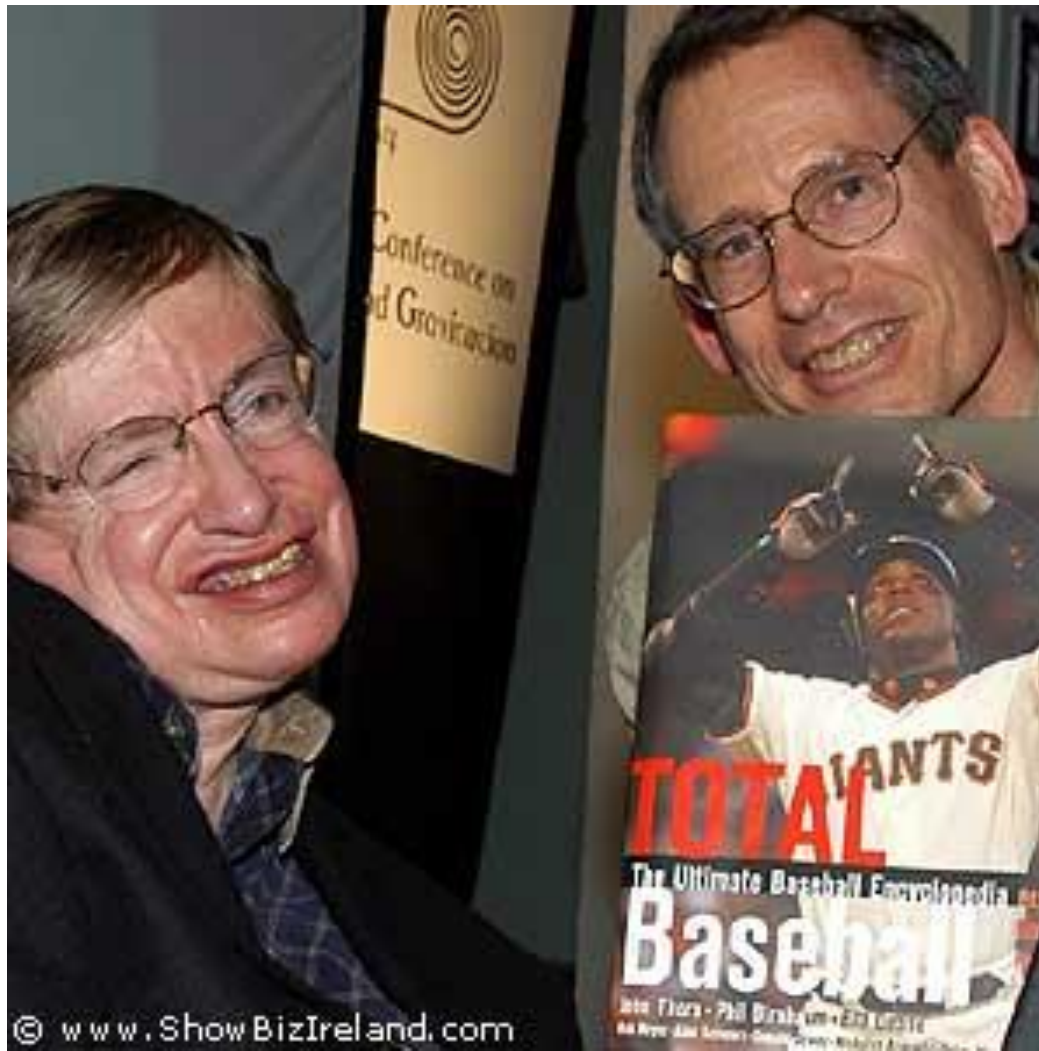
Gravity



The...
“opera
Ghost”



La “guerra” dei buchi neri cosa accade all’informazione? Hawking e Preskill (la scommessa)

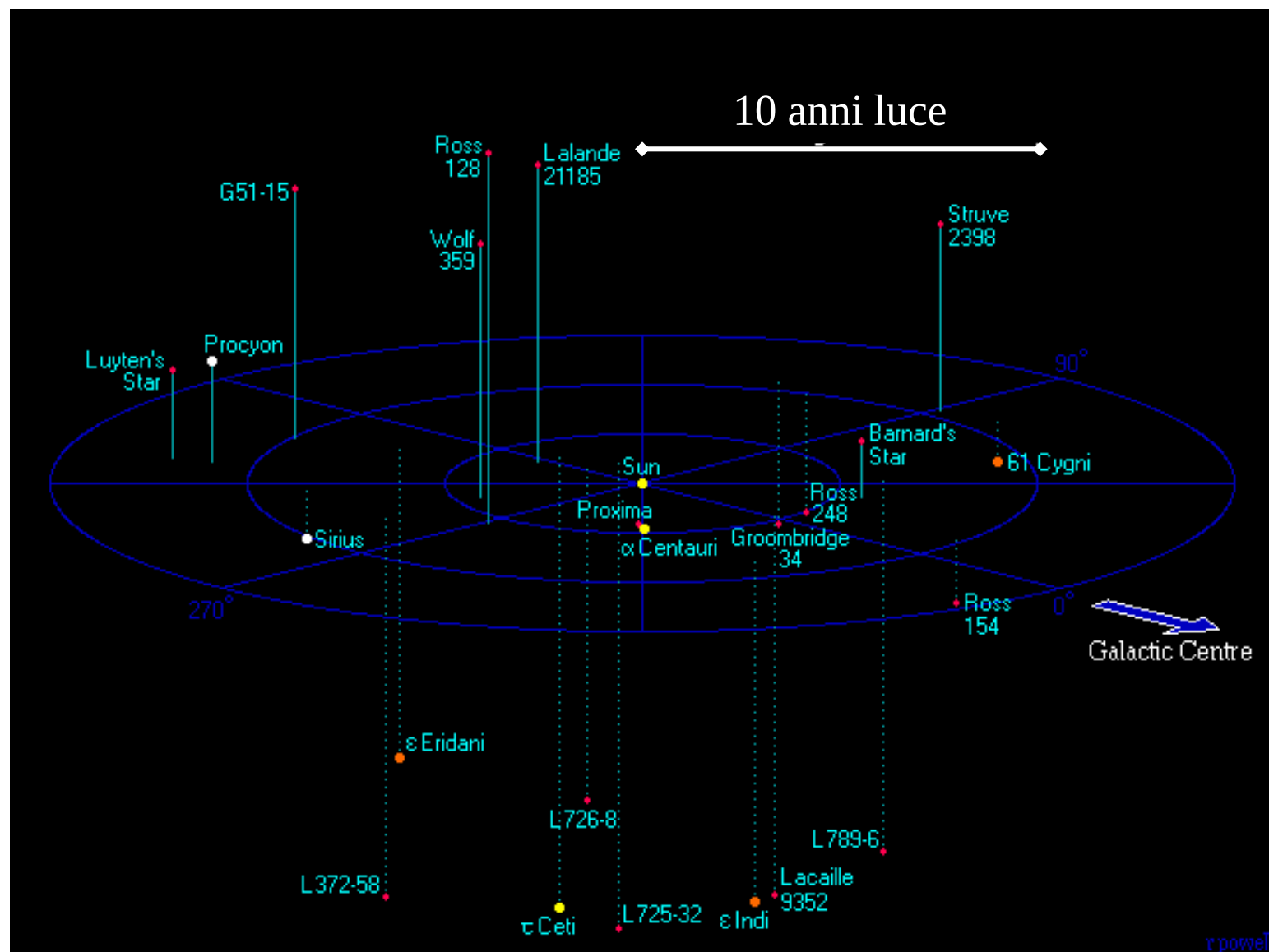


La “guerra” dei buchi neri cosa accade all’informazione? Maldacena

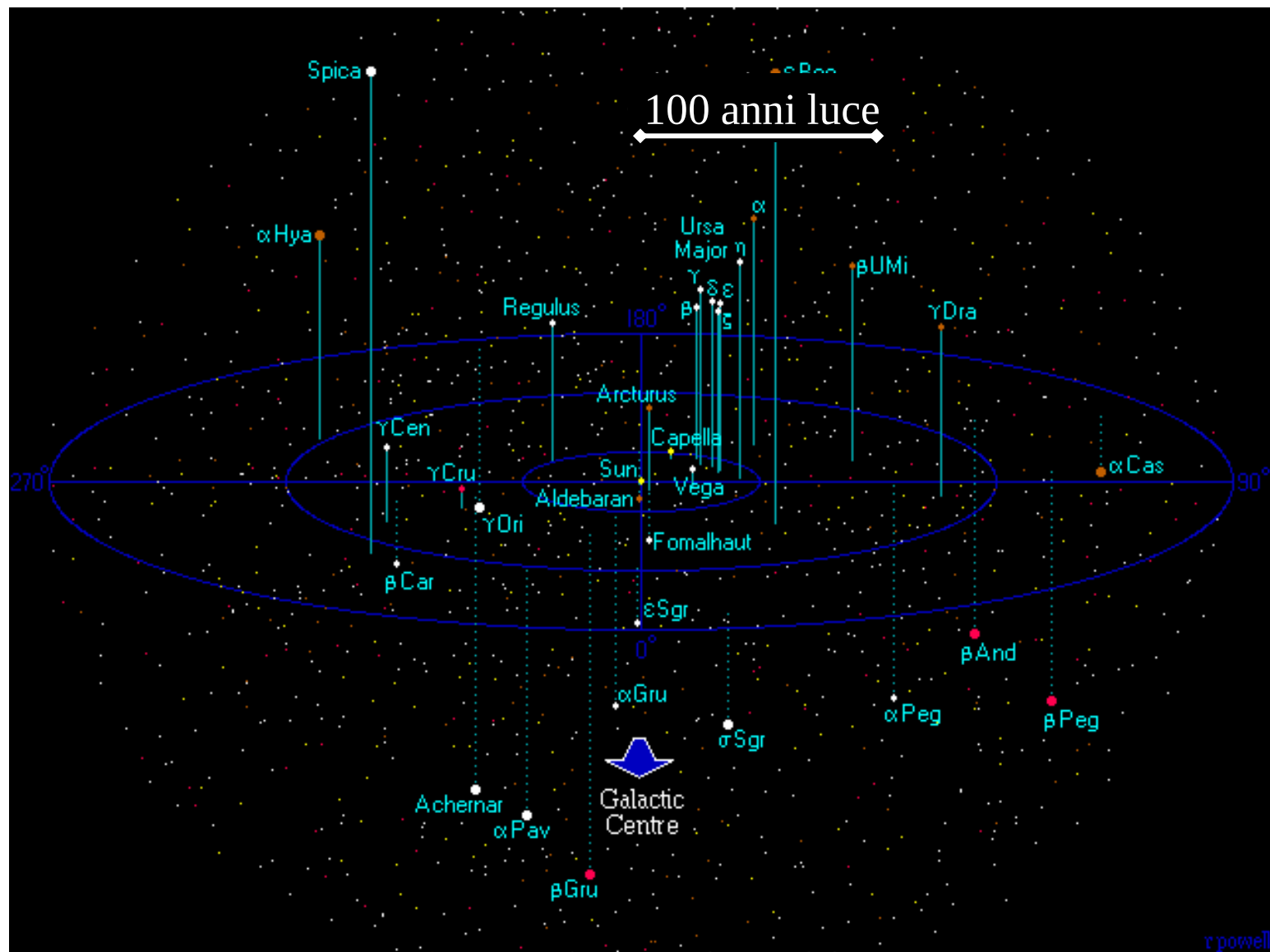


Viaggi interstellati?



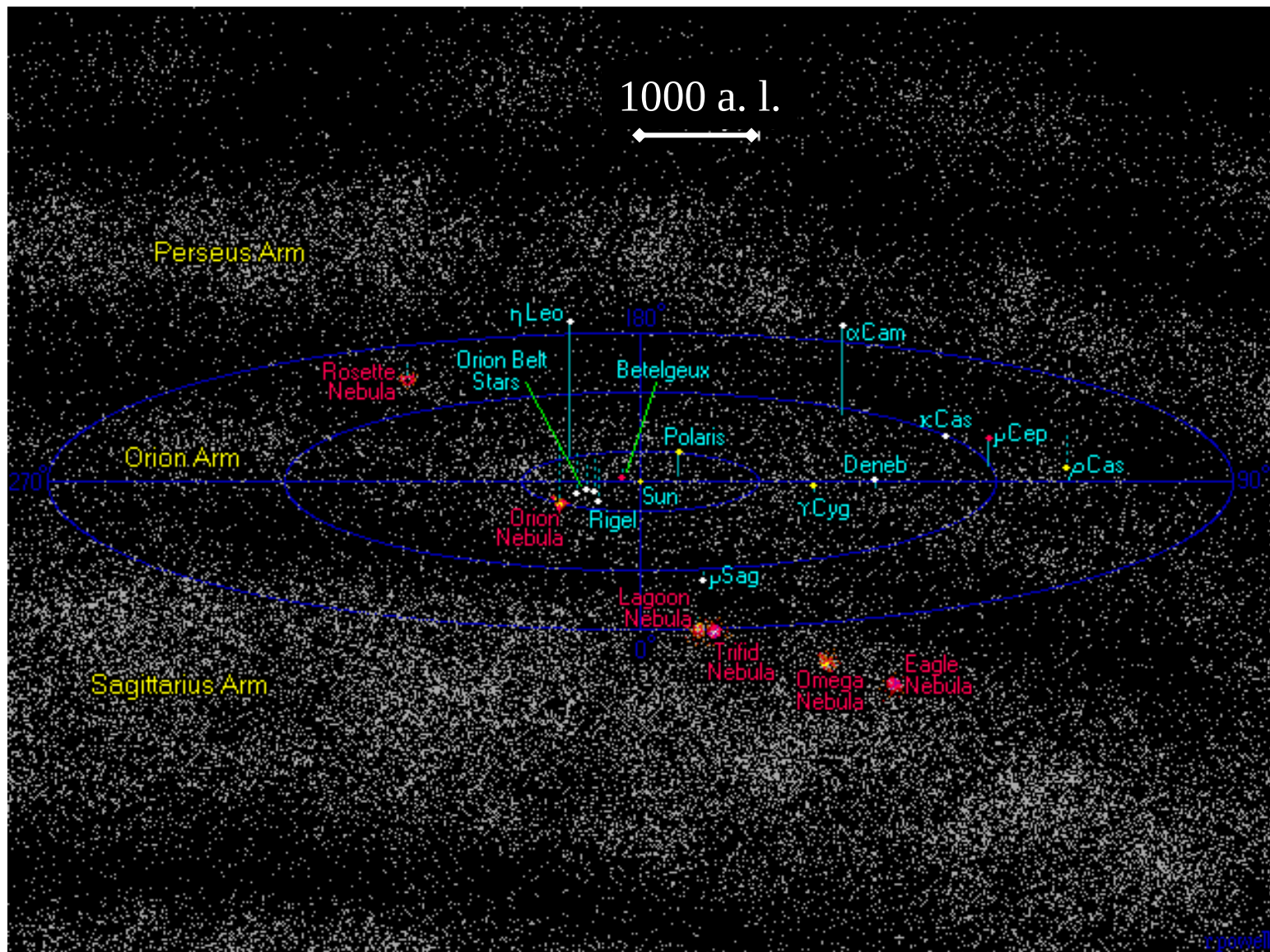


Zoom Out x20



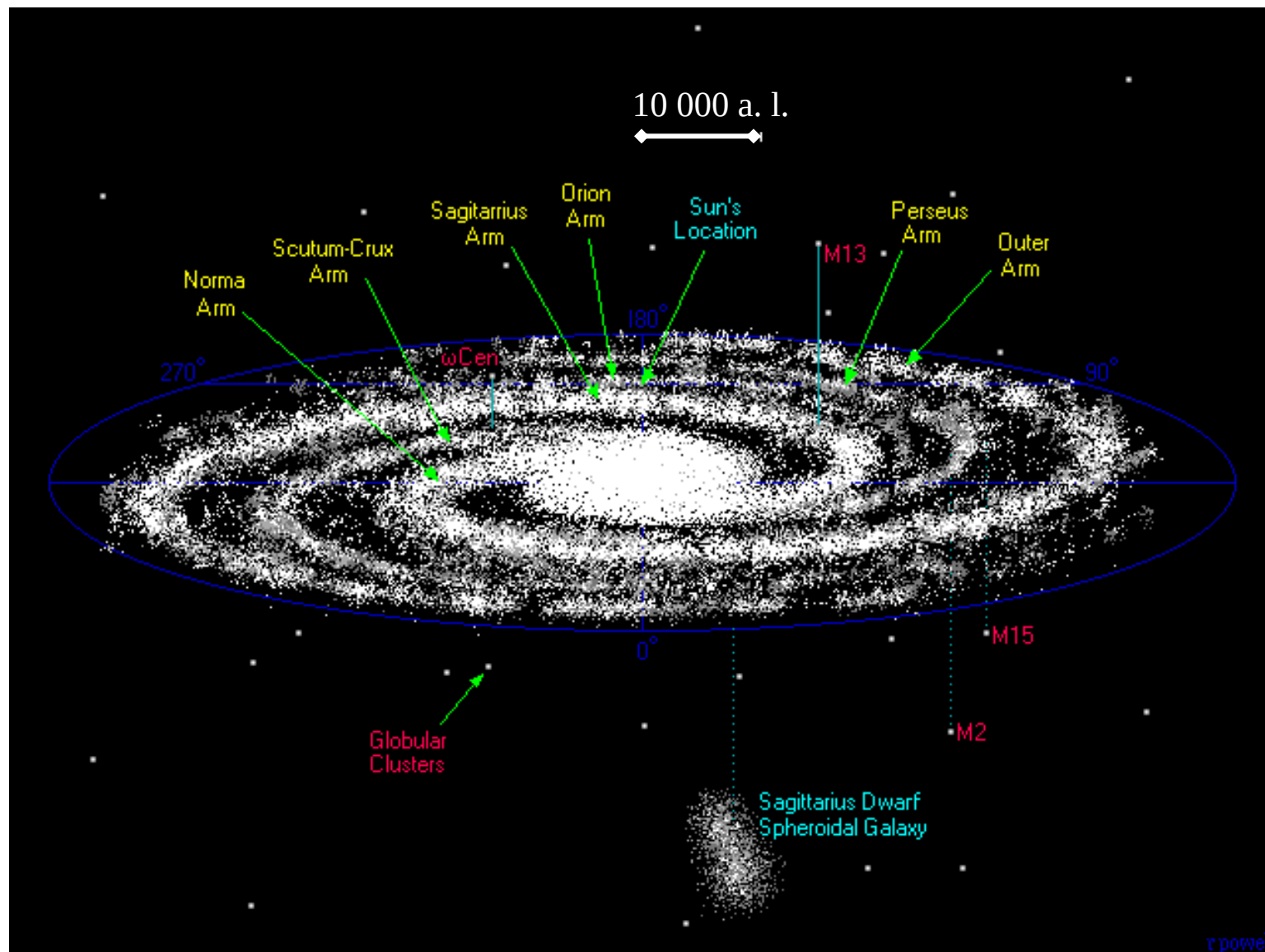
Zoom In x20

Zoom In x20



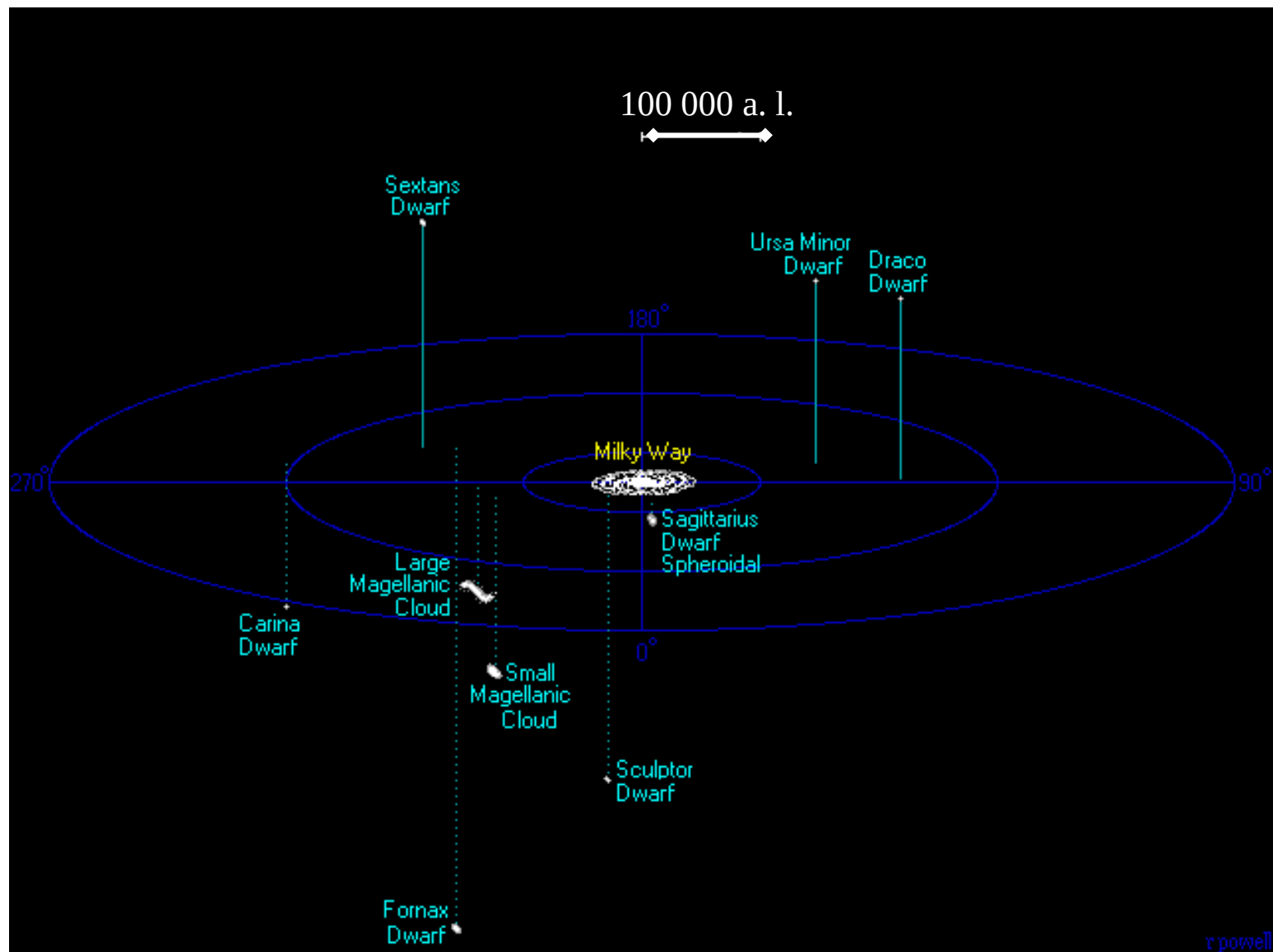
Zoom In x20

Zoom Out x10



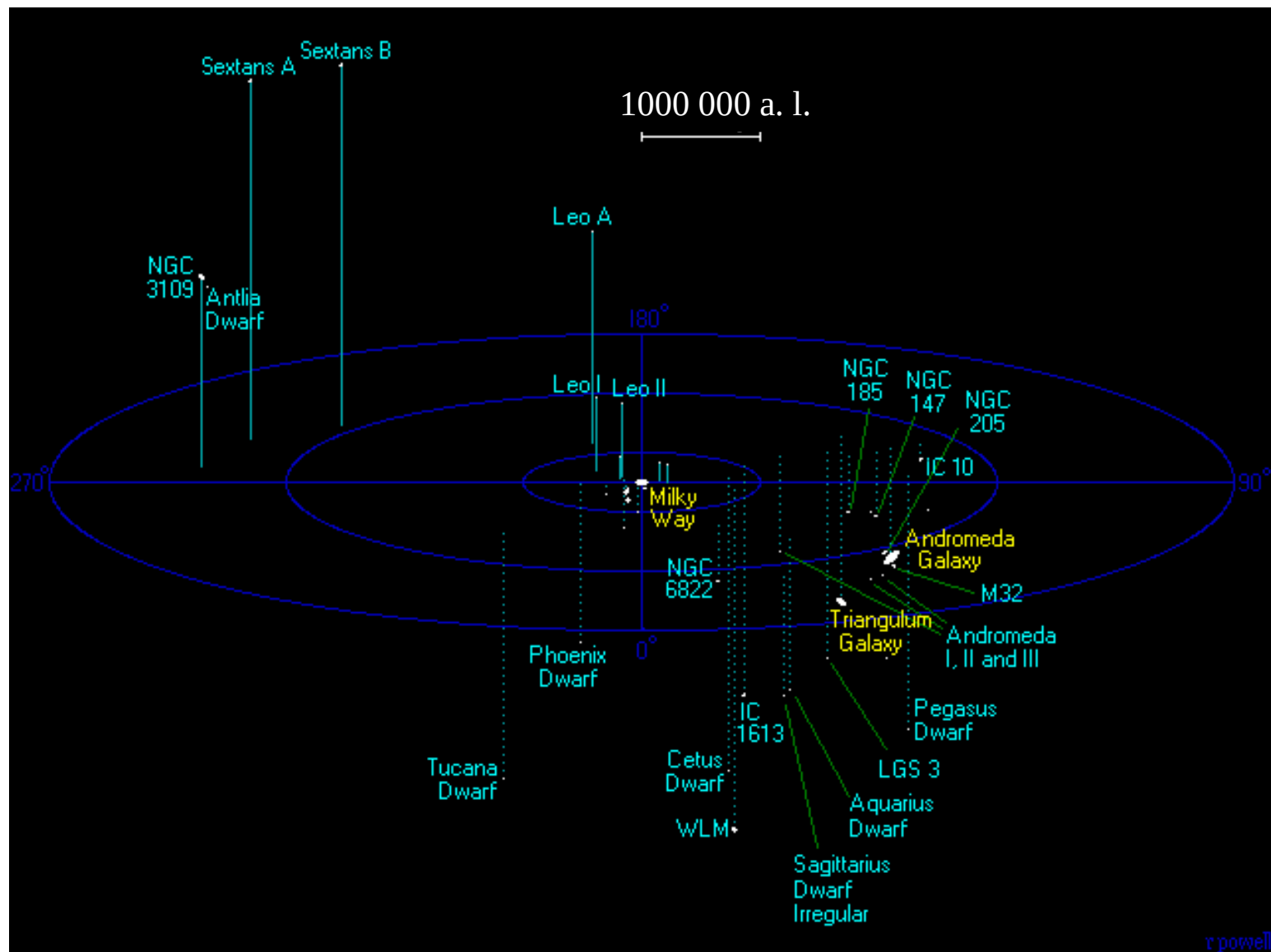
Zoom In x10

Zoom Out x10



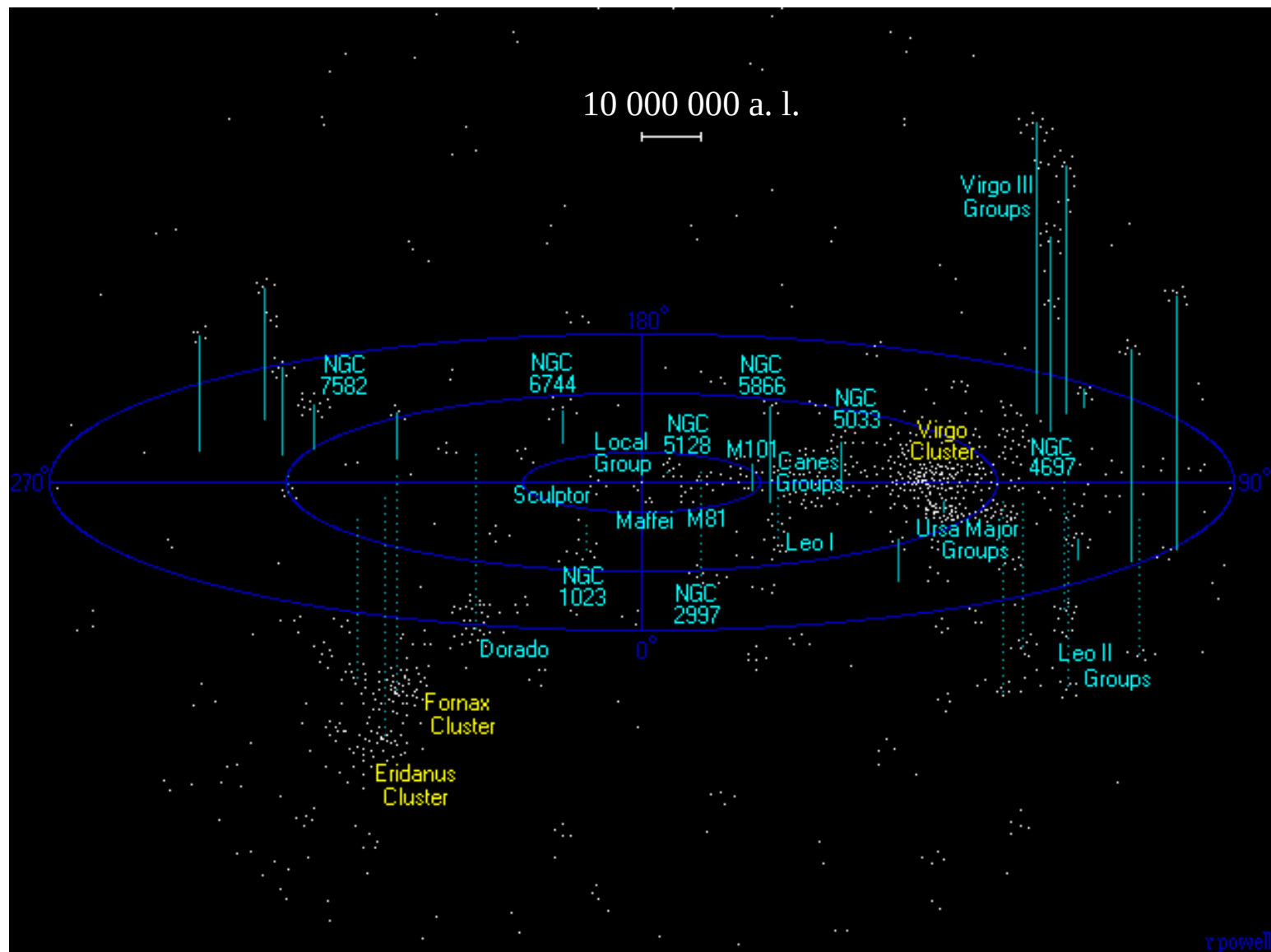
Zoom In x10

Zoom Out x10



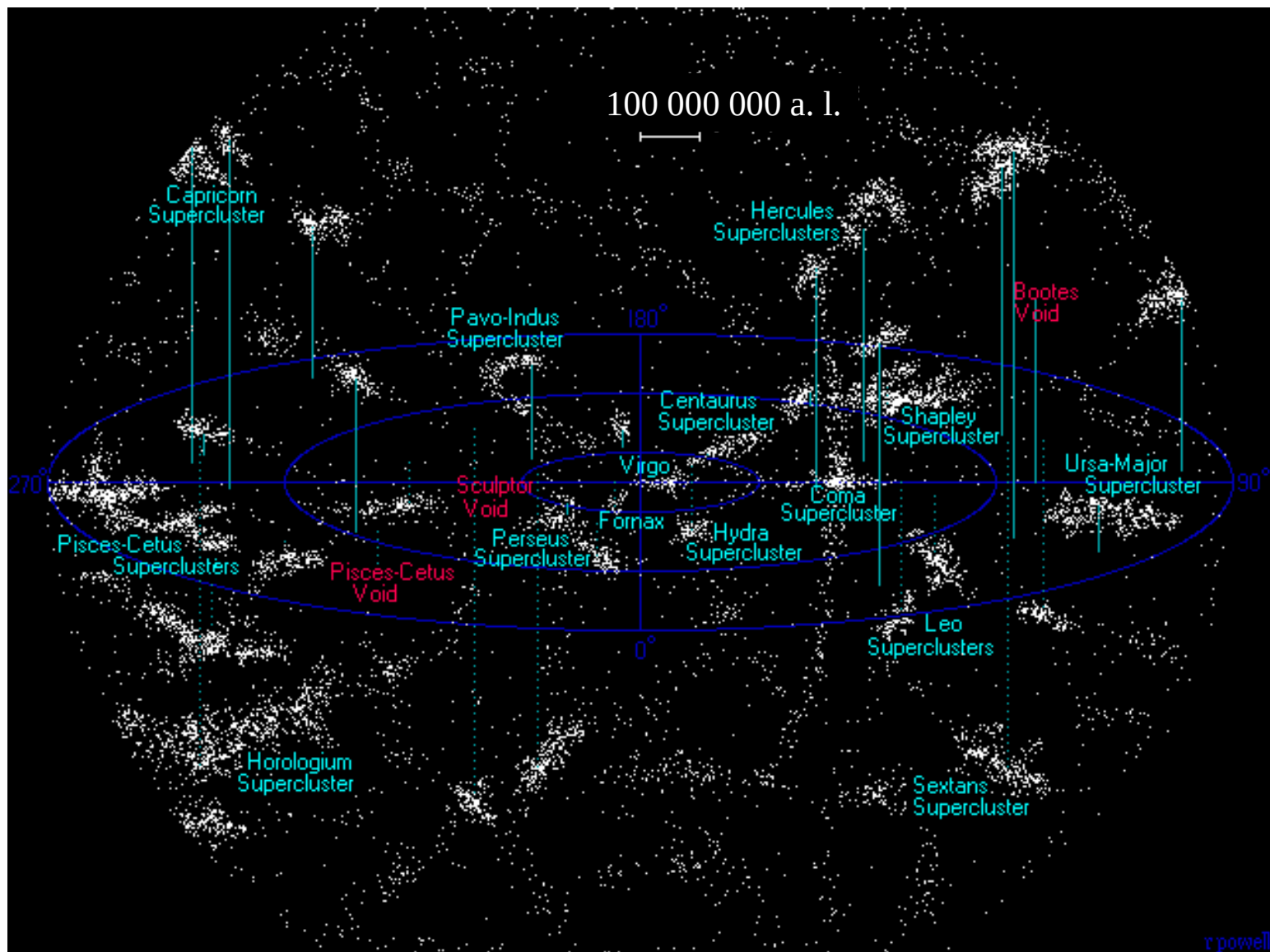
Zoom In x10

Zoom Out x20



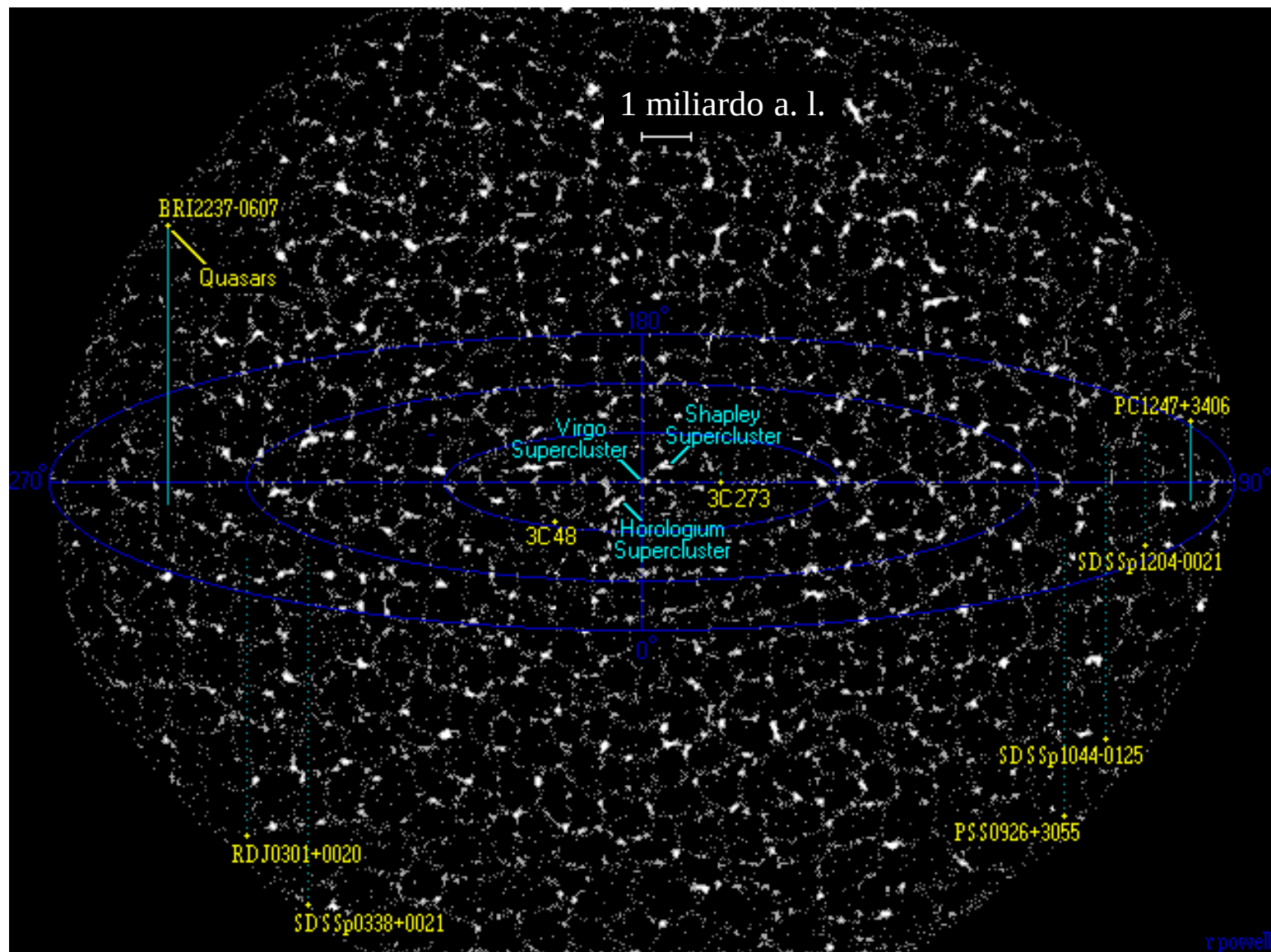
Zoom In x20

Zoom Out x10



Zoom In x10

Zoom Out x15

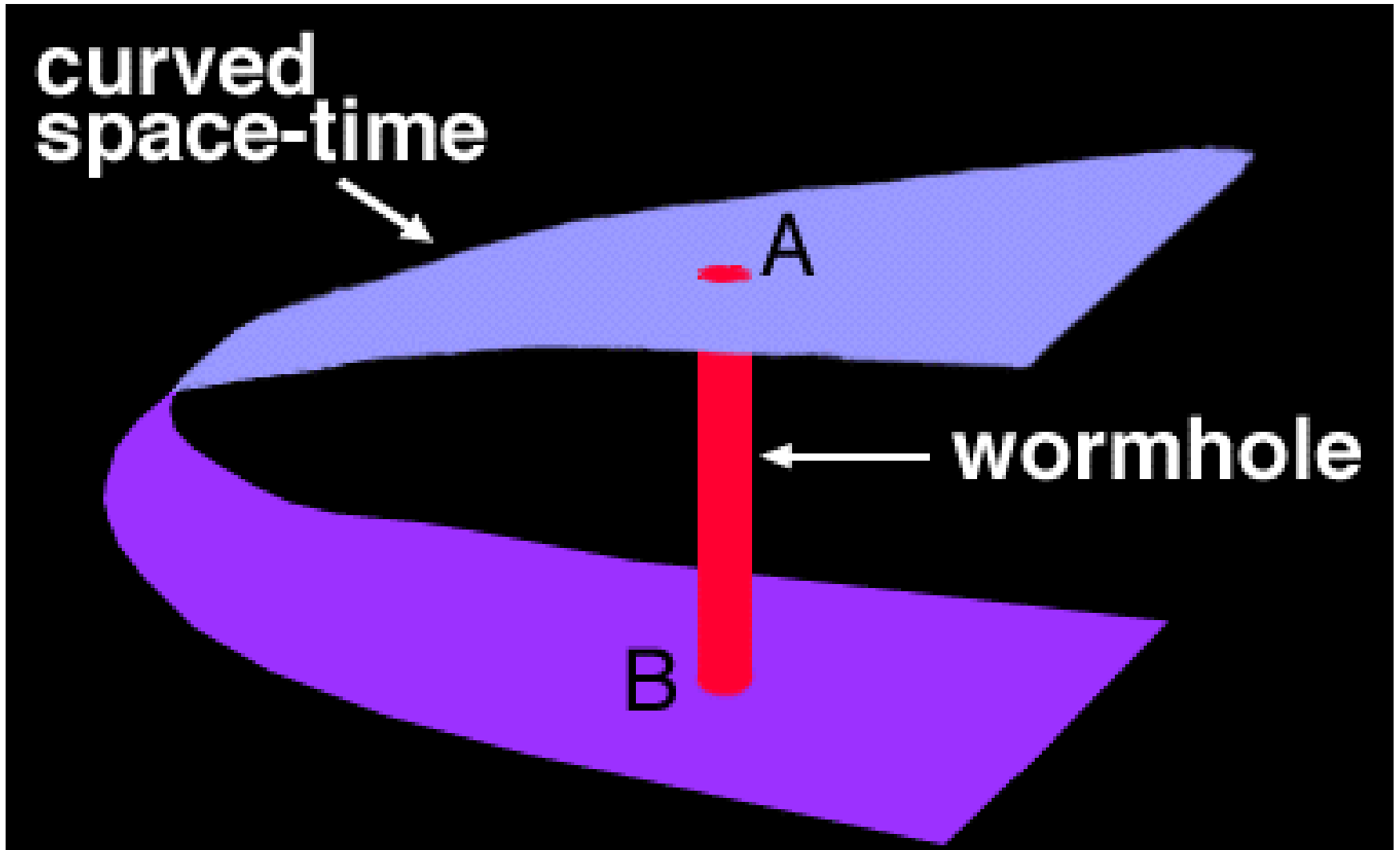


Zoom In x15

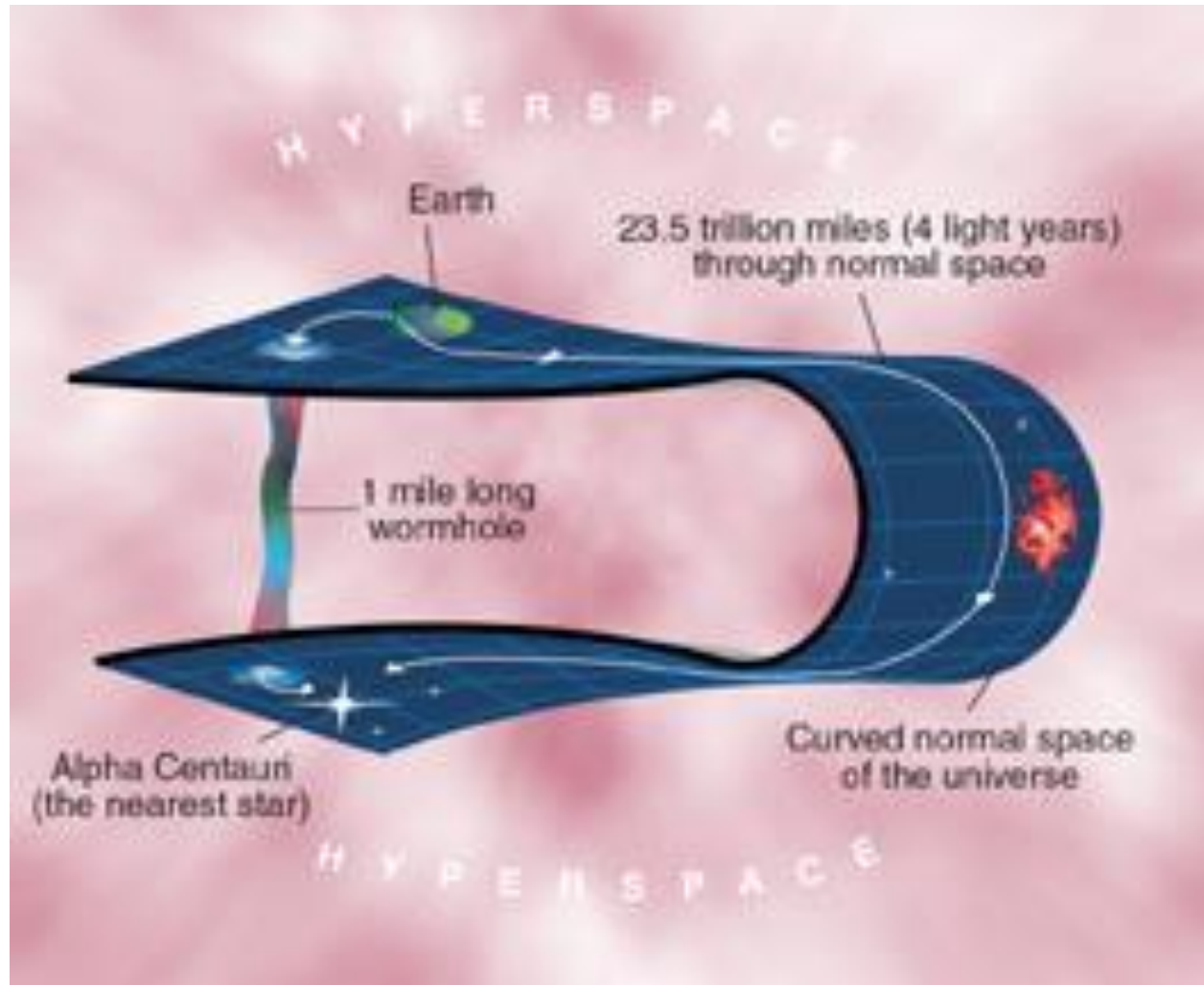
**Metodi standard (Saturn)
decine di migliaia di anni
per arrivare alla stella piu' vicina
(4 anni luce)**



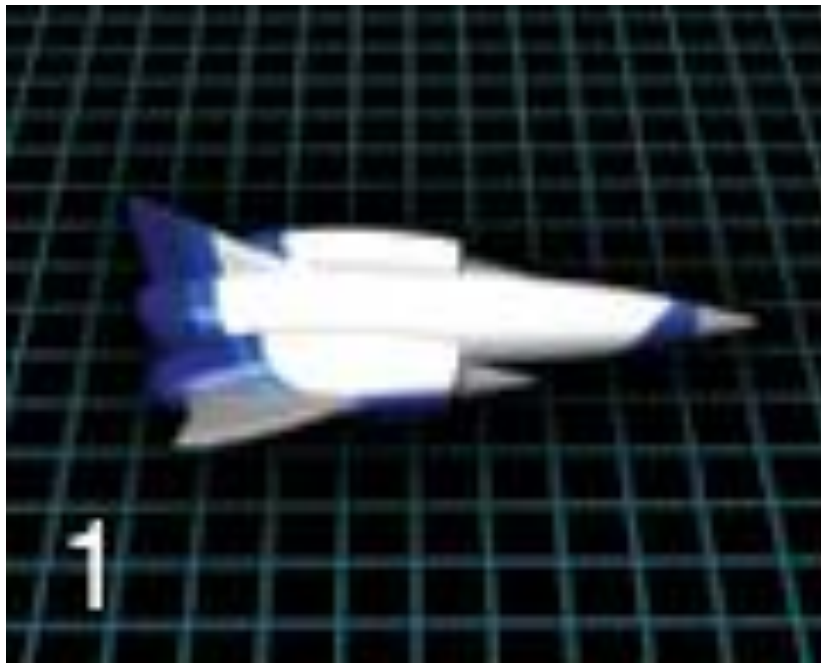
Scorciatoie spazio-temporali



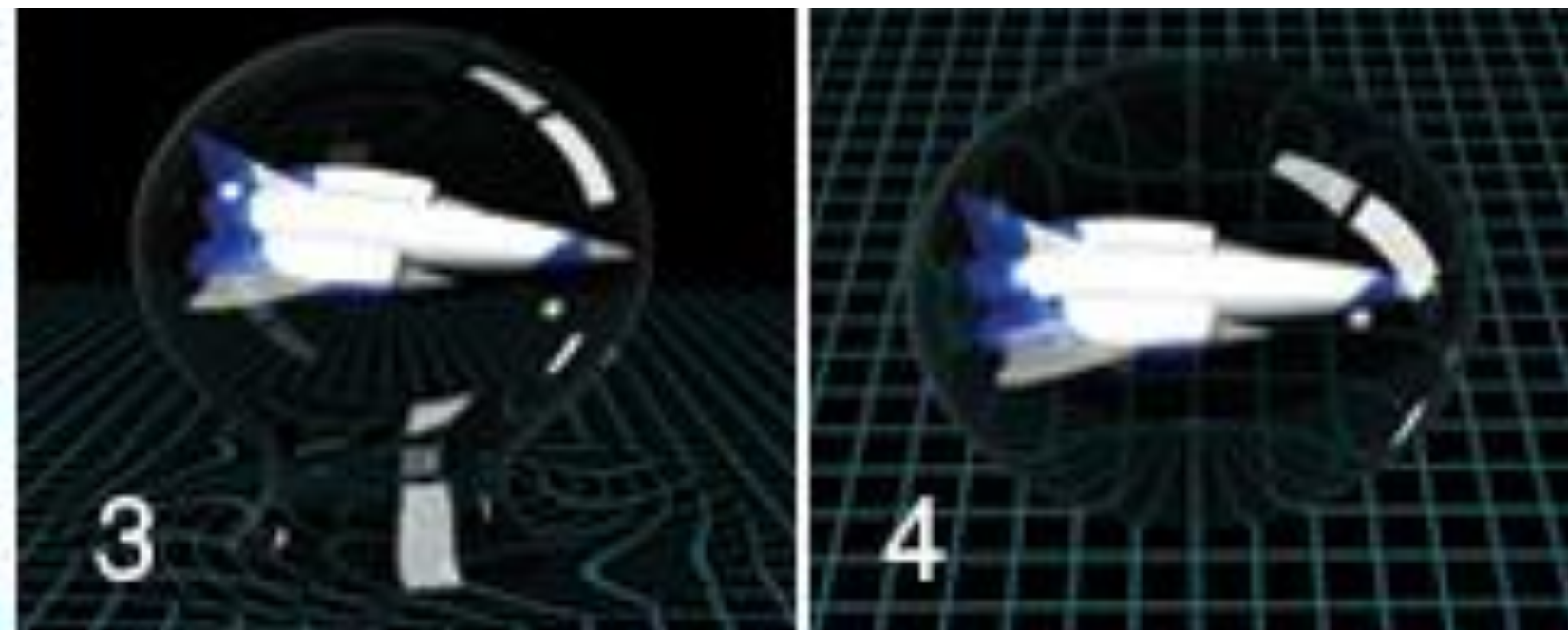
Scorciatoie spazio-temporali



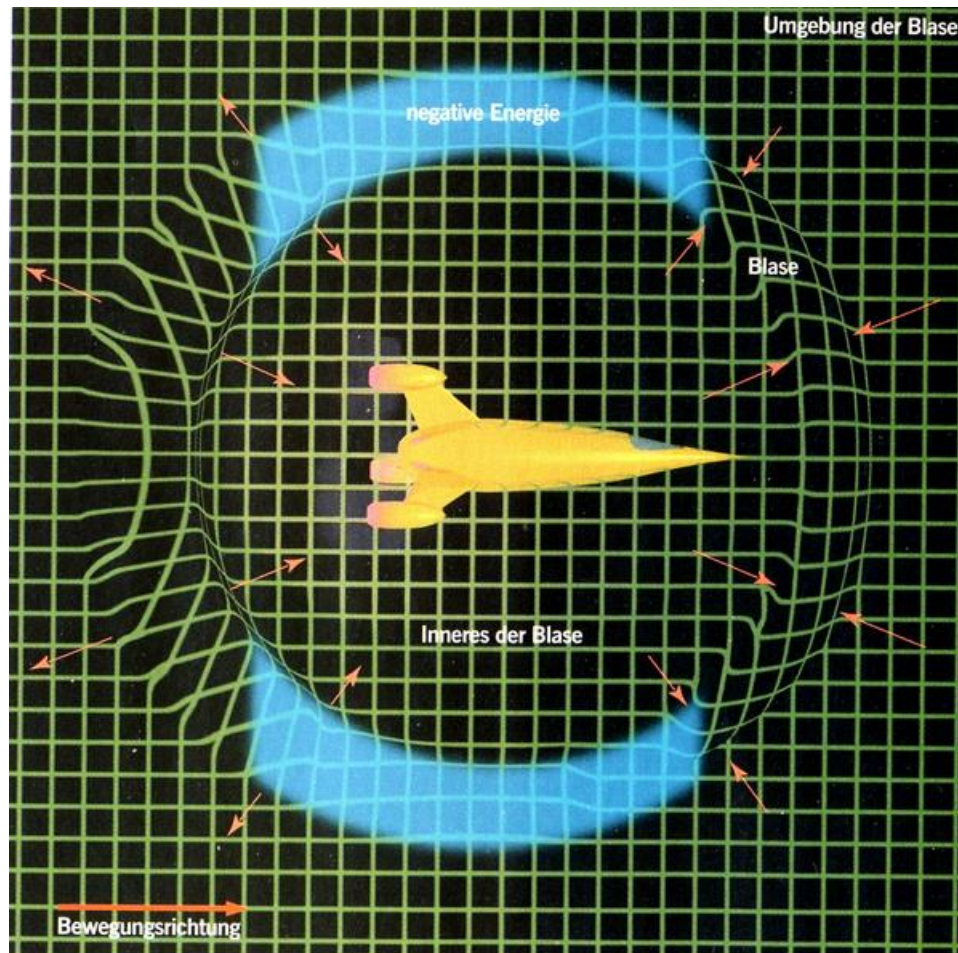
Motori che manipolano lo spazio-tempo



Motori che manipolano lo spazio-tempo



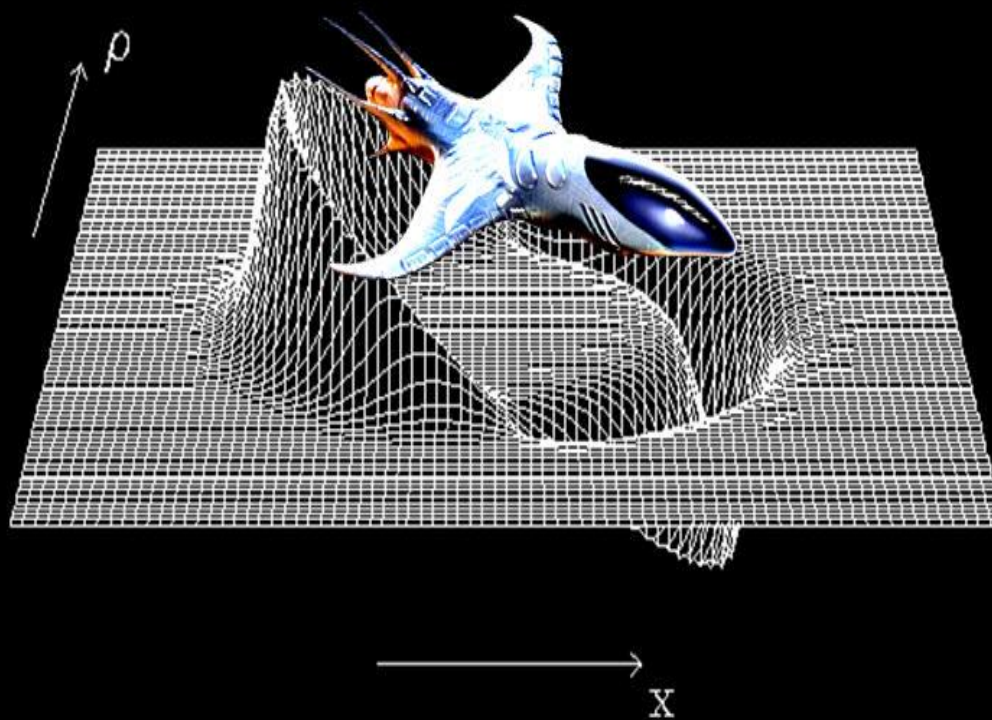
Motori che manipolano lo spazio-tempo: Alcubierre – surf sulle onde spazio-temporali





Alcubierre Warp Drive

$$\psi = -\alpha \text{Tr}(K)$$



Alcubierre Warp Drive: stretches spacetime in a wave causing the fabric of space ahead of a spacecraft to contract and the space behind it to expand.

The ship can ride the wave to accelerate to high speeds and time travel.

Lanciarsi in un buco nero?







Lanciarsi in un buco nero?

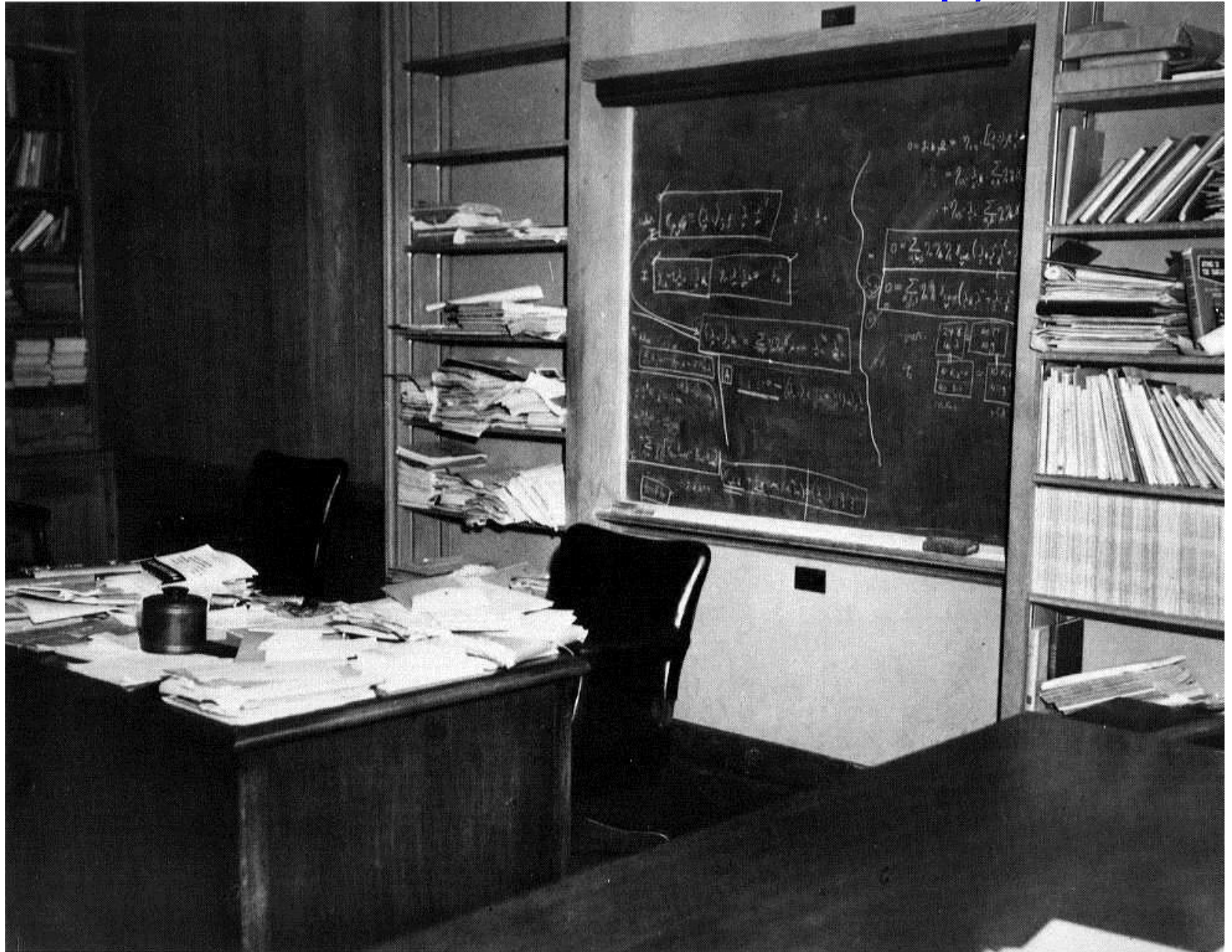


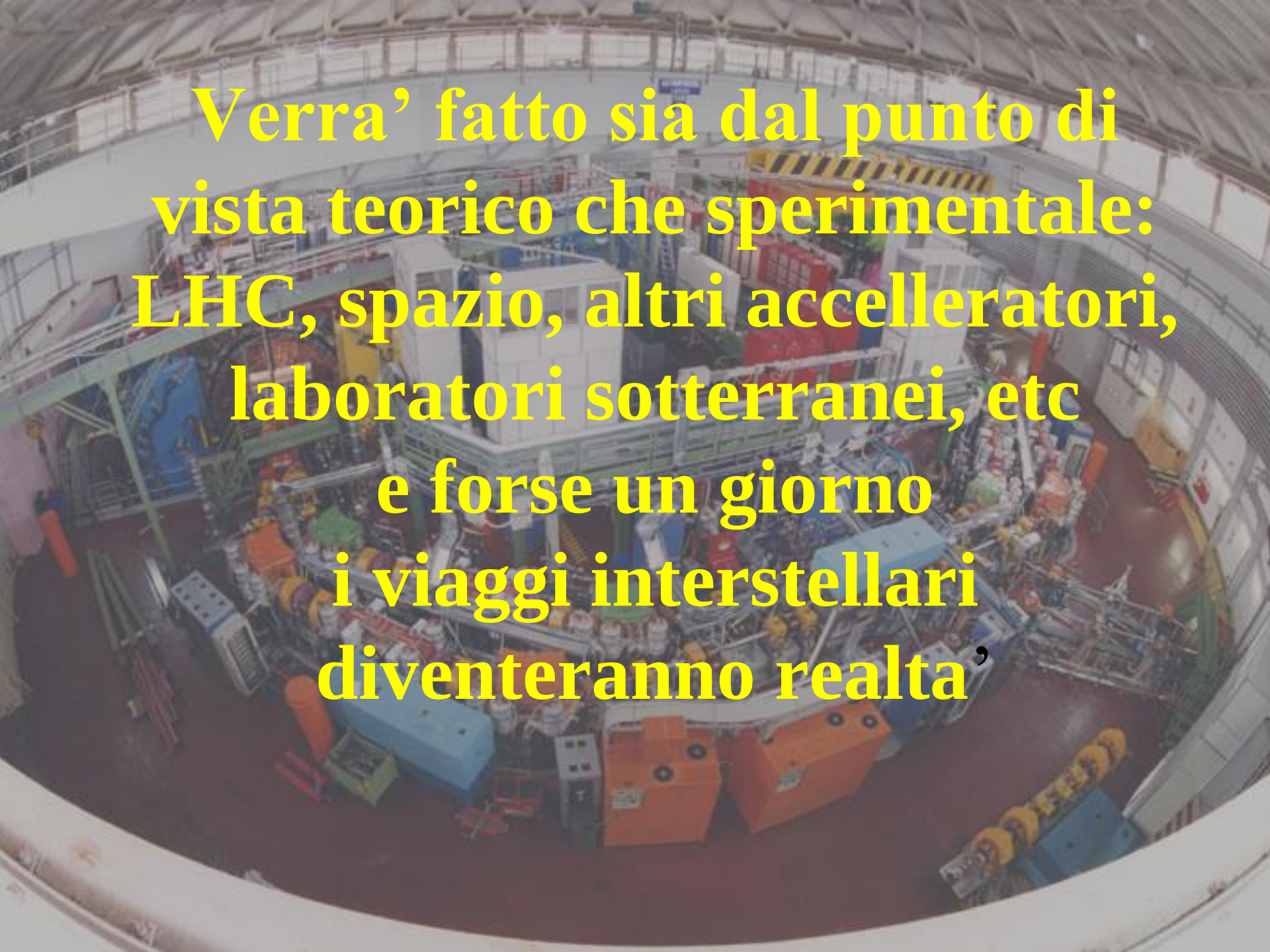


Serve capire meglio la struttura
dello spazio-tempo e la
gravita' quantistica
(ci sono alcune teorie: teoria delle
stringhe; loop quantum gravity...)

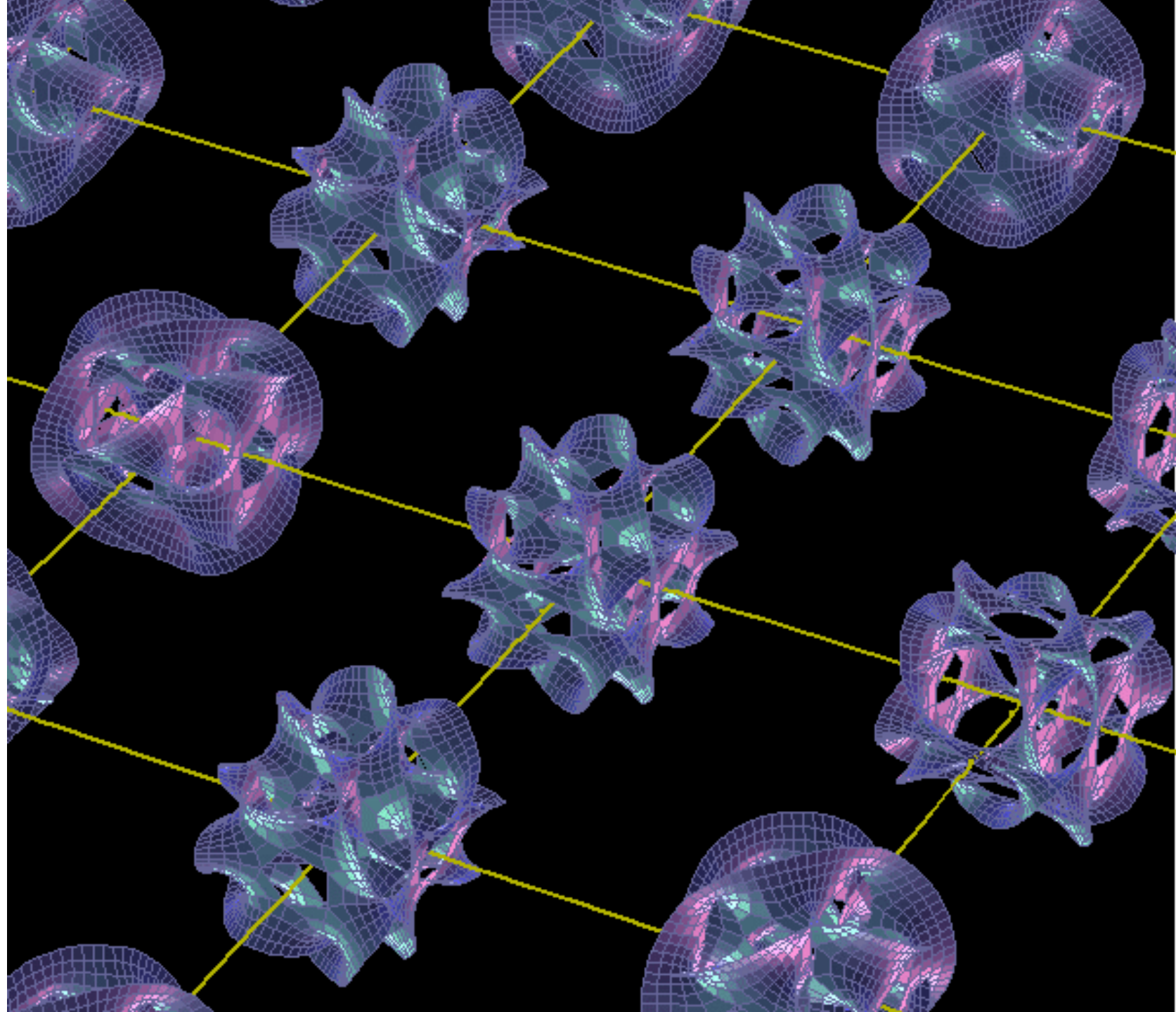


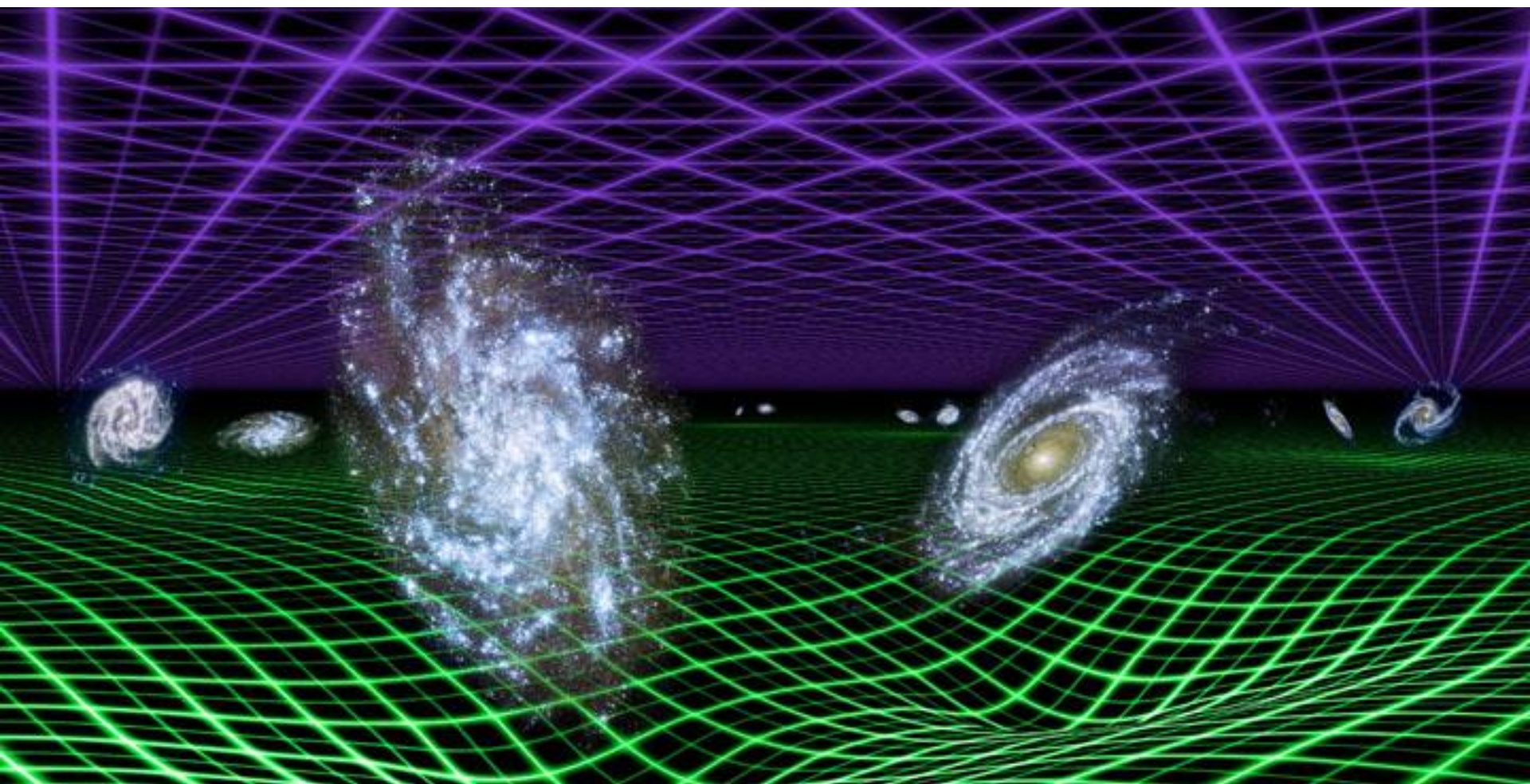
Einstein – l'ultima lavagna

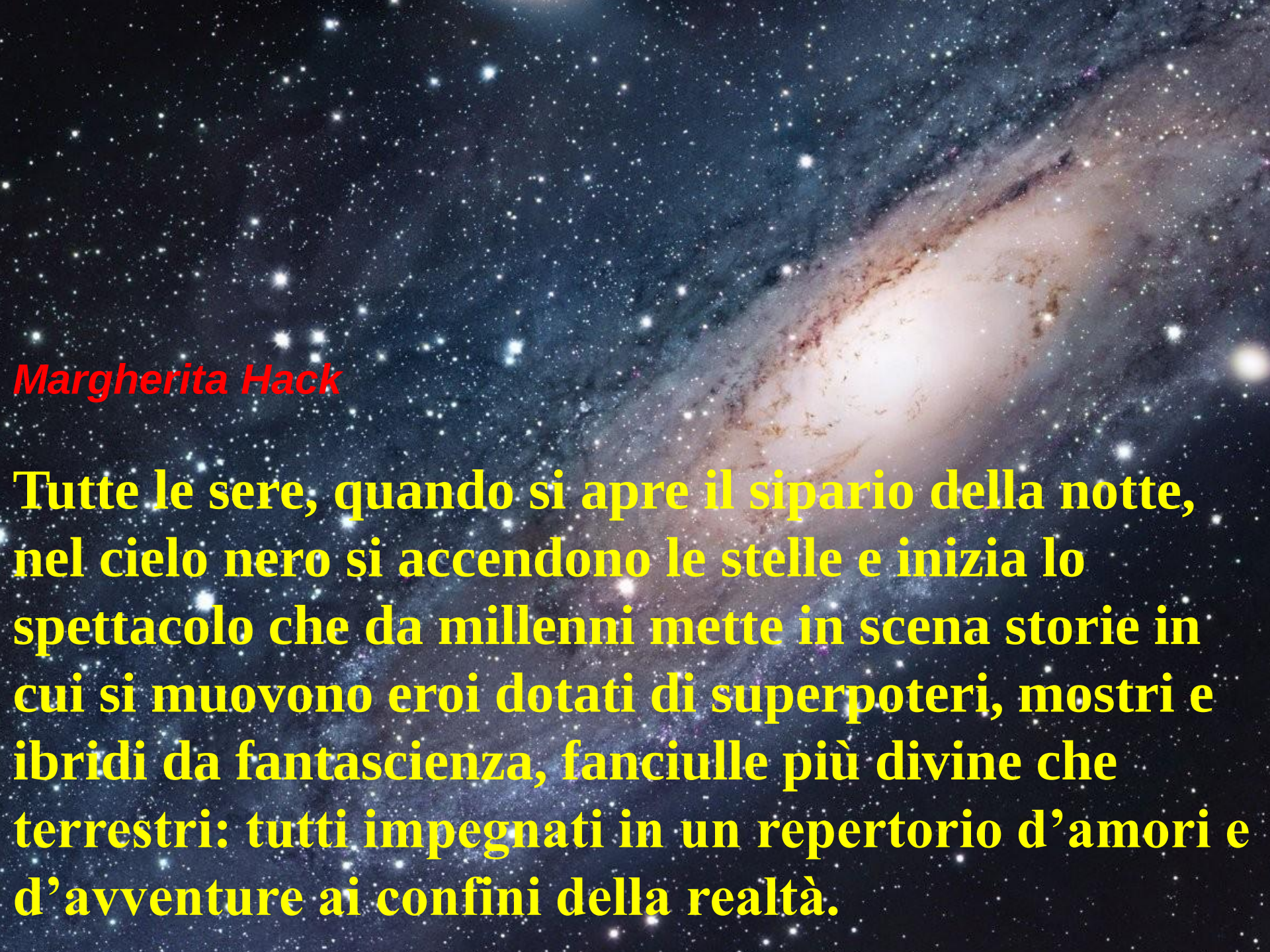




Verra' fatto sia dal punto di vista teorico che sperimentale: LHC, spazio, altri acceleratori, laboratori sotterranei, etc e forse un giorno i viaggi interstellari diventeranno realta',







Margherita Hack

Tutte le sere, quando si apre il sipario della notte, nel cielo nero si accendono le stelle e inizia lo spettacolo che da millenni mette in scena storie in cui si muovono eroi dotati di superpoteri, mostri e ibridi da fantascienza, fanciulle più divine che terrestri: tutti impegnati in un repertorio d'amori e d'avventure ai confini della realtà.

Catalina Oana Curceanu

Dai buchi neri all'adroterapia

Un viaggio nella fisica moderna

<http://www.springer.com/physics/applied+%26+technical+physics/book/978-88-470-5240-6>



Nata in Timisoara (Dinav, Romania) Catalina Oana Curceanu è Primo Ricercatore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Frascati. Dirige un gruppo di ricercatori che lavorano nel campo della fisica sperimentale adronica e nucleare, conducendo esperimenti sia in Italia sia all'estero, e coordina vari progetti europei. Ha organizzato varie conferenze internazionali ed è autrice di più di 200 pubblicazioni scientifiche in riviste internazionali. Svolge un'intensa attività di formazione e divulgazione scientifica e scrive