

Settimana della Scienza, Gallarate, Teatro del Popolo, 17 febbraio 2018
Luca G Molinari - UniMi & Soc. Astr. G. V. Schiaparelli

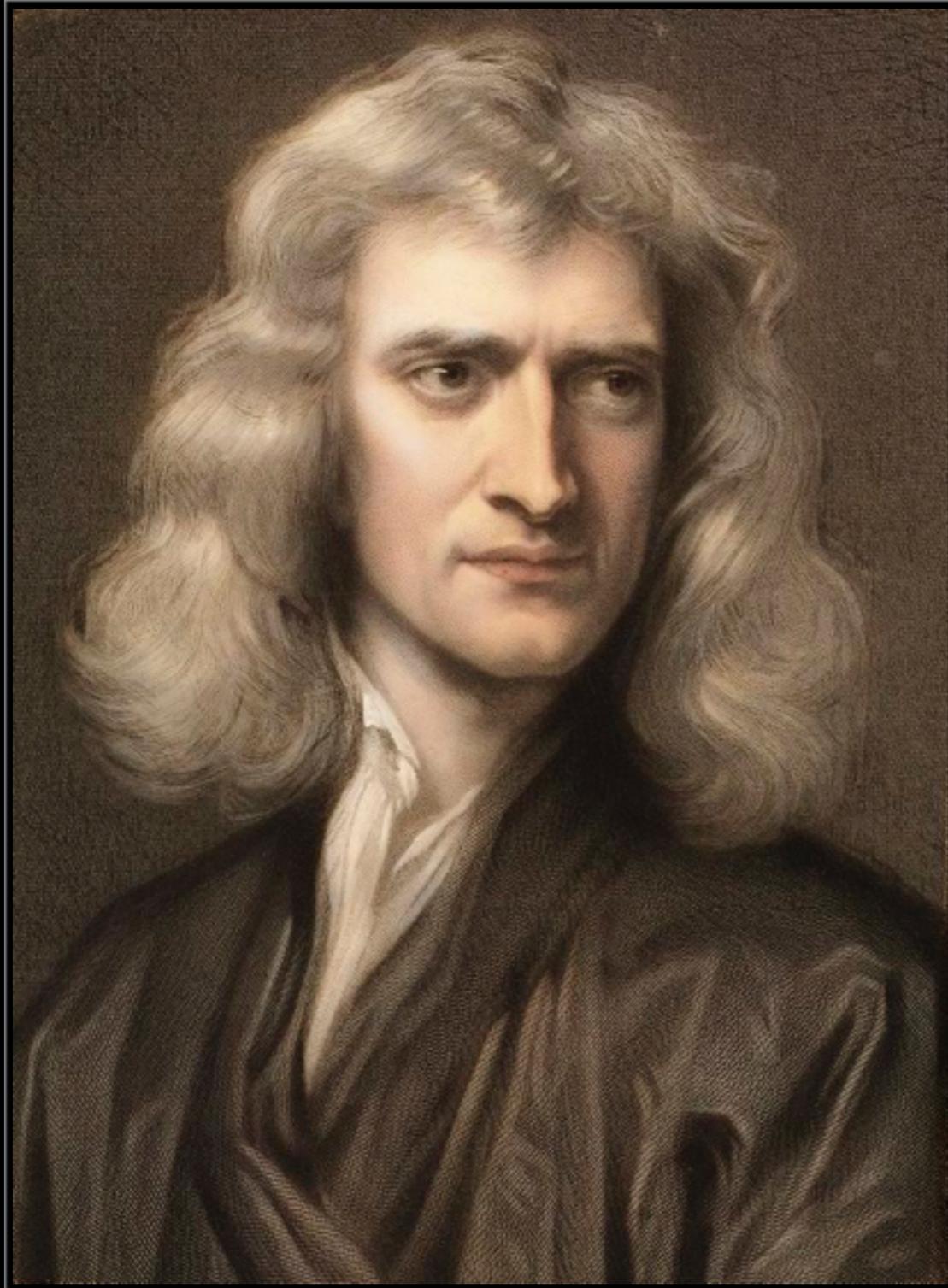
GRAVITA

da Newton a oggi

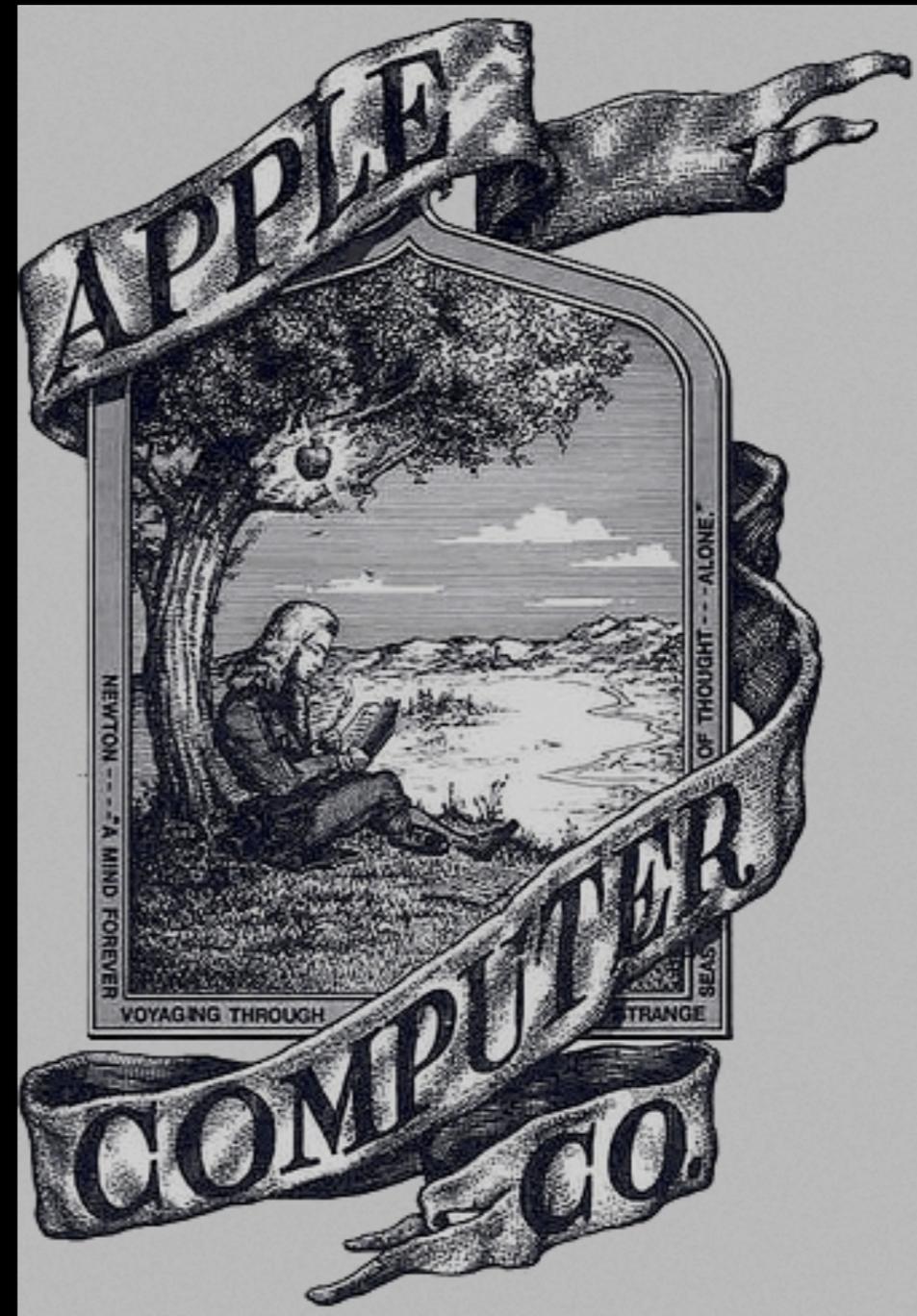


ISAAC NEWTON (1642 - 1727)

Lucasian professor of Mathematics, Cambridge



(Kneller 1689)



Newton ... a mind voyaging through
strange seas of thought ... alone

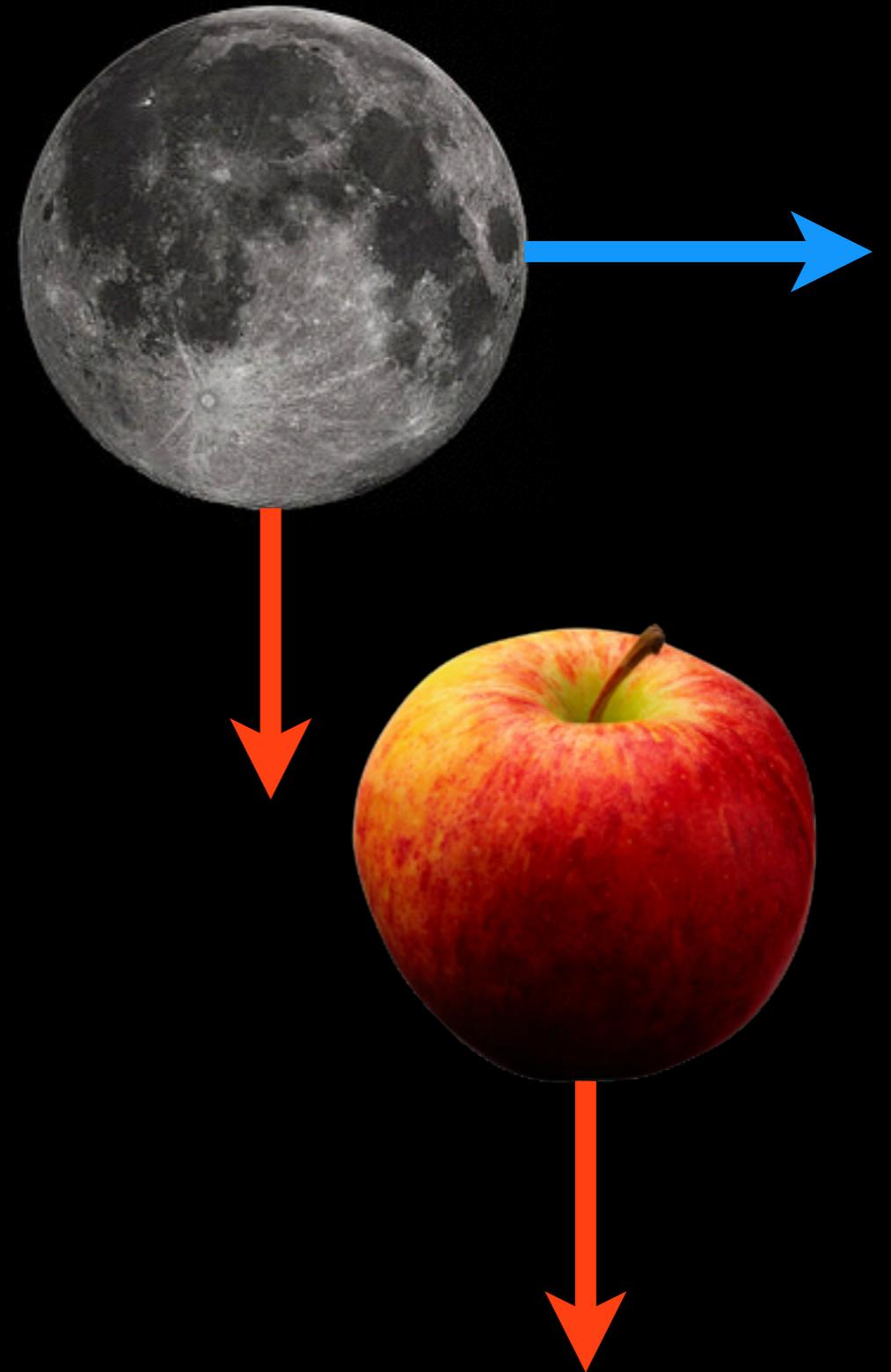
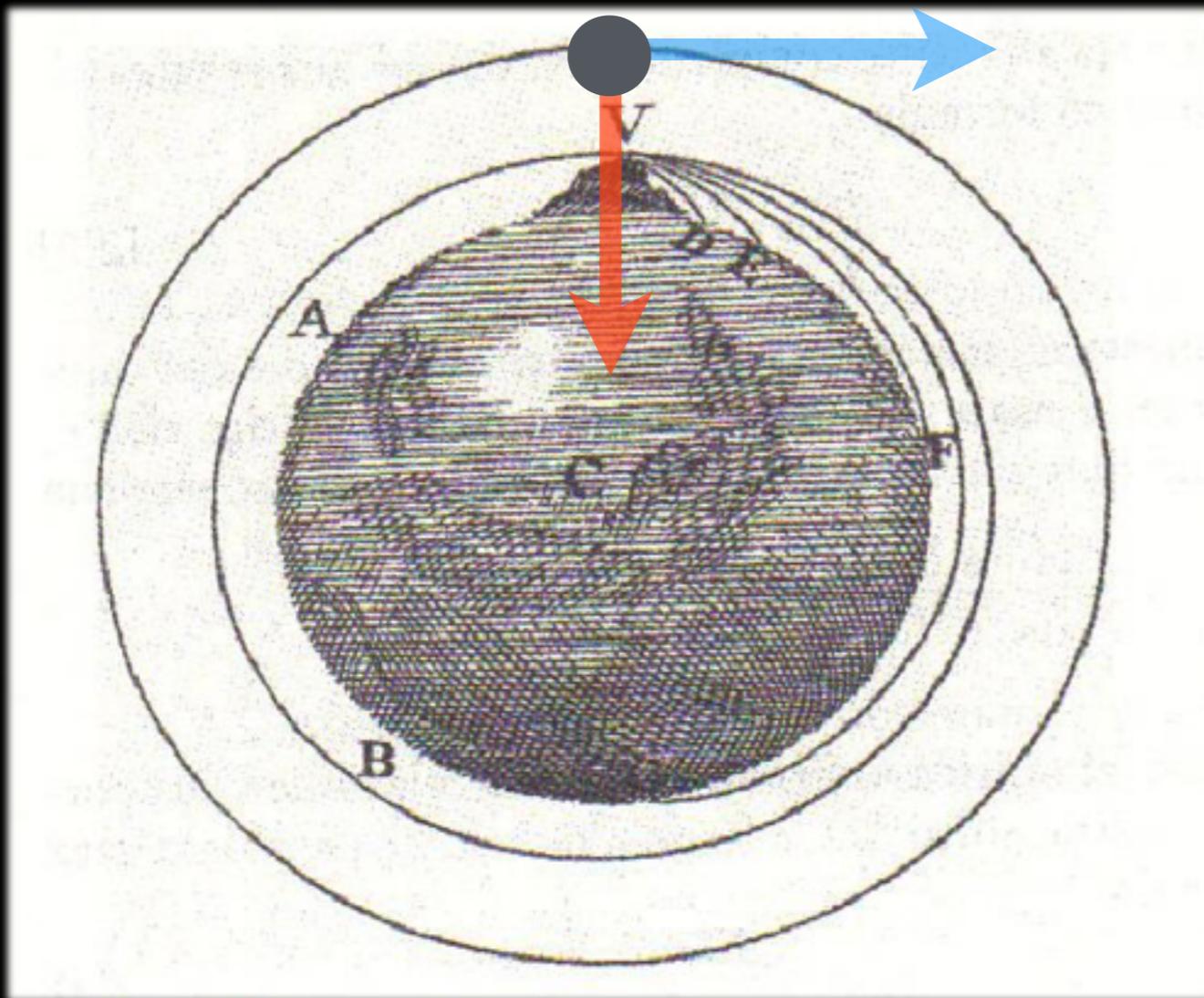


La casa di Newton
a Woolsthorpe Manor
e l'antica pianta di melo

"Dopo pranzo, andammo in giardino per il the all'ombra di alcuni meli ... mi racconto' che era nella stessa situazione quando **l'idea di gravita` si formo' nella sua mente.** Perché una mela cade sempre perpendicolare al terreno? Perché non di lato o verso l'alto? La Terra la guida. Deve esserci un potere di attrazione nella materia, e la somma delle attrazioni della materia terrestre punta al centro della Terra. Se la materia attrae la materia, deve farlo proporzionalmente alla quantita`. Pertanto la mela attira la Terra, così come la Terra attira la mela"

Memoria di William Stukeley, biografo di Newton (1752)

Come la mela cade
(e tocca il suolo)
cosi` anche la Luna cade
(ma non tocca il suolo)



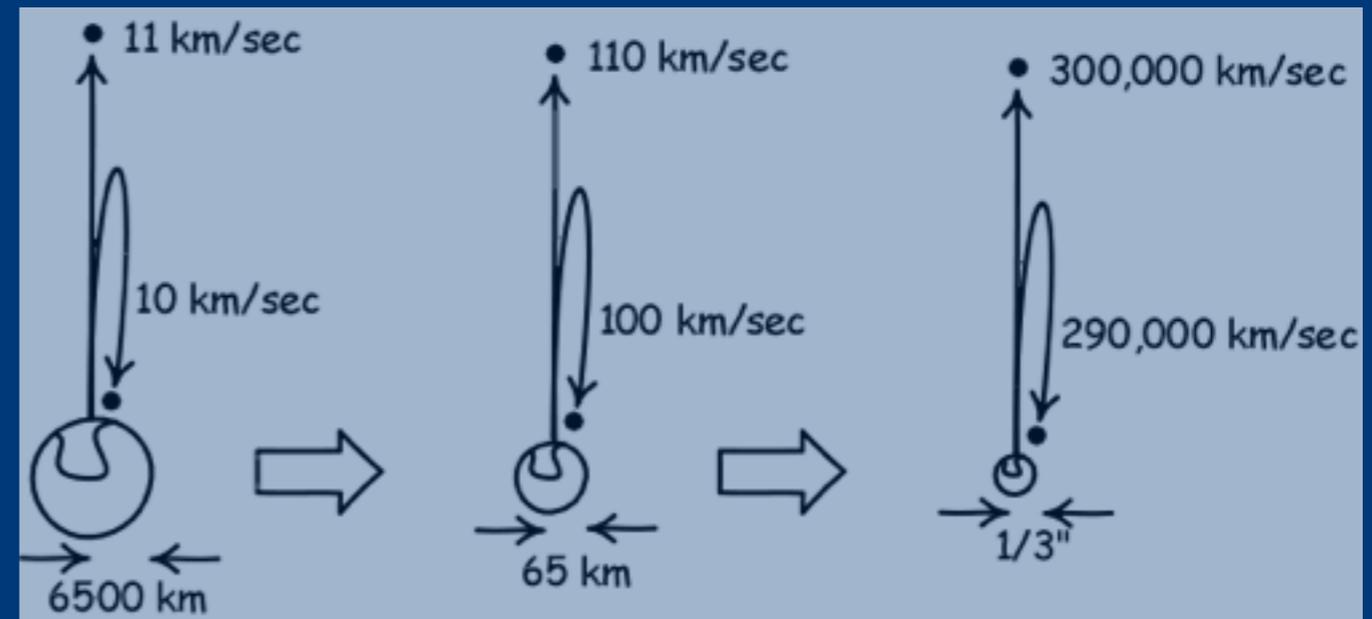
LA VELOCITA' DI FUGA

∞

11 km/s

($v=at$; $a=5g$, $t=220s$)

$$VF = \sqrt{2GM/R}$$



Vorb = $VF / \sqrt{2}$
ISS: 7.6 km/s

Nel marzo 1918 Parigi fu colpita da 2 cannoni a 120 km di distanza.
Il primo colpo cadde in Place de la République



LA GRANDE BERTA

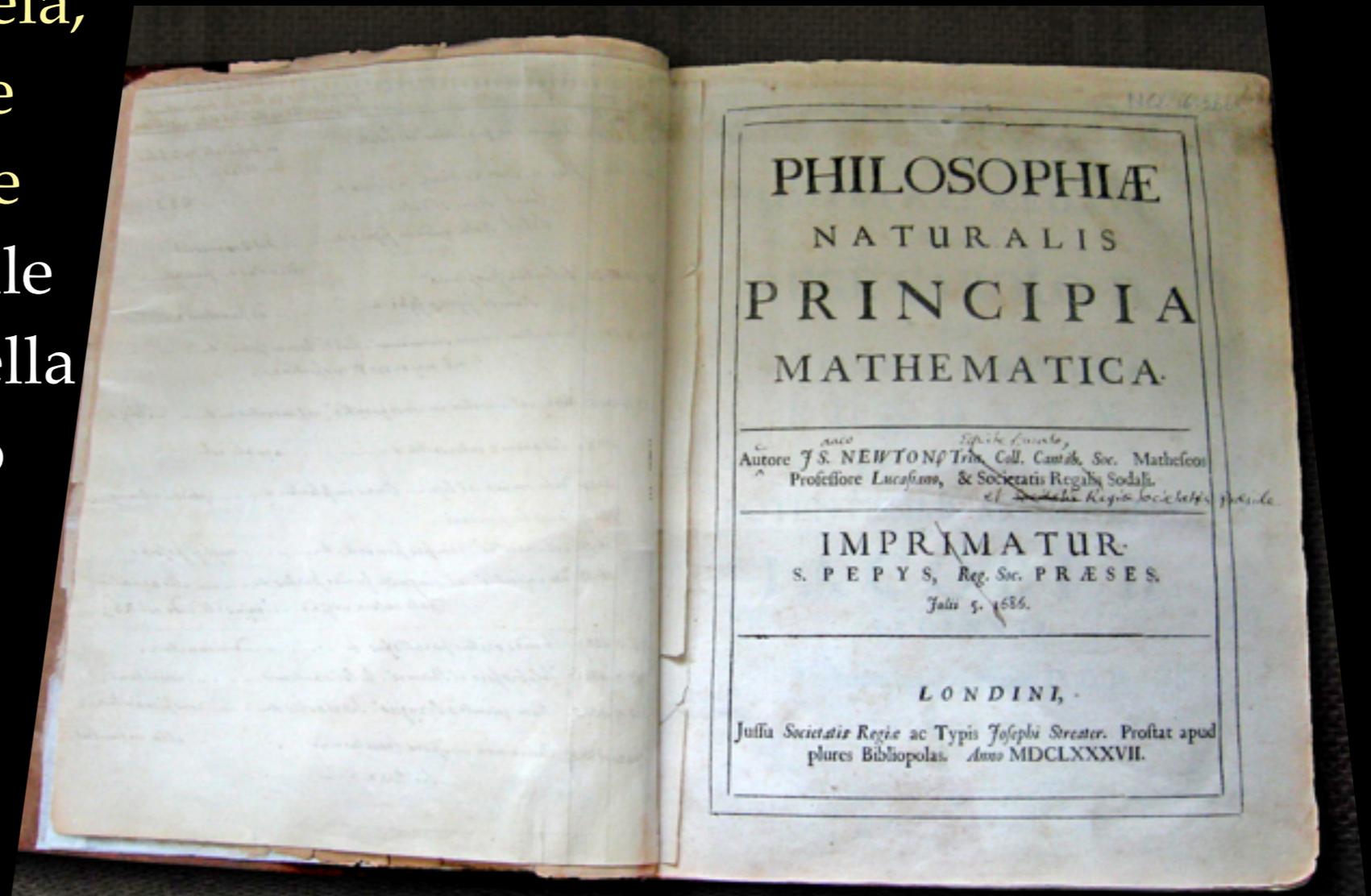
Il proiettile di mezzo metro pesava 106 kg, aveva velocità iniziale **1,6 km/s** e raggiungeva l'altezza di 29 km

Furono sparati 351 colpi
Per il logoramento le canne dovevano essere sostituite ogni 60-70 colpi.

Era l'anno 1666. Per sfuggire alla peste Newton aveva lasciato Cambridge per tornare alla casa natale.

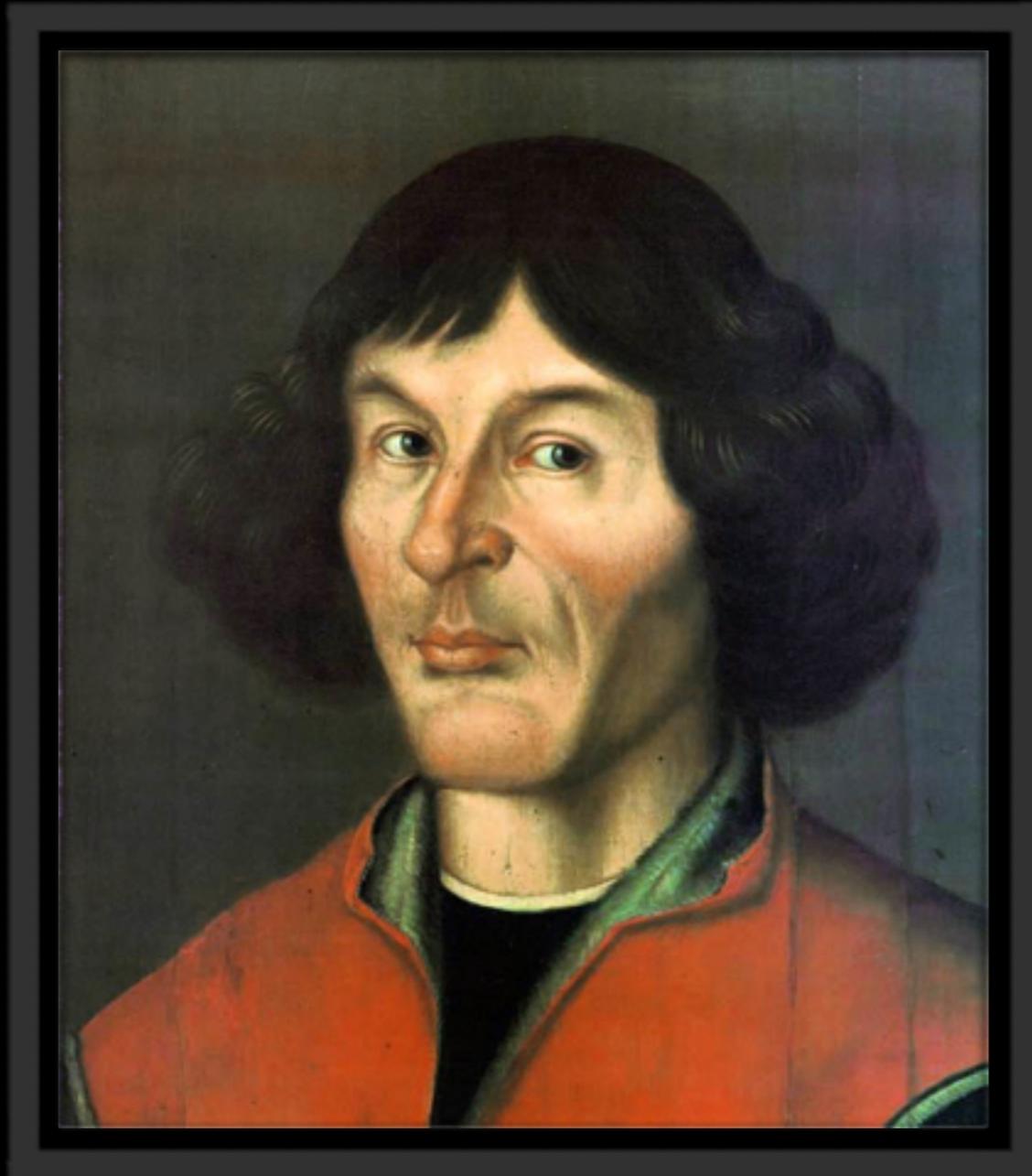
Dopo l'episodio della mela, trascorse molti anni sulle equazioni per dimostrare che la forza gravitazionale decresce col quadrato della distanza, e le orbite sono sezioni coniche.

Quest'ultima deduzione convinse Halley a spingerlo a pubblicare i PRINCIPIA (1687).



sulle spalle dei giganti

1543 De Revolutionibus Orbium Coelestium



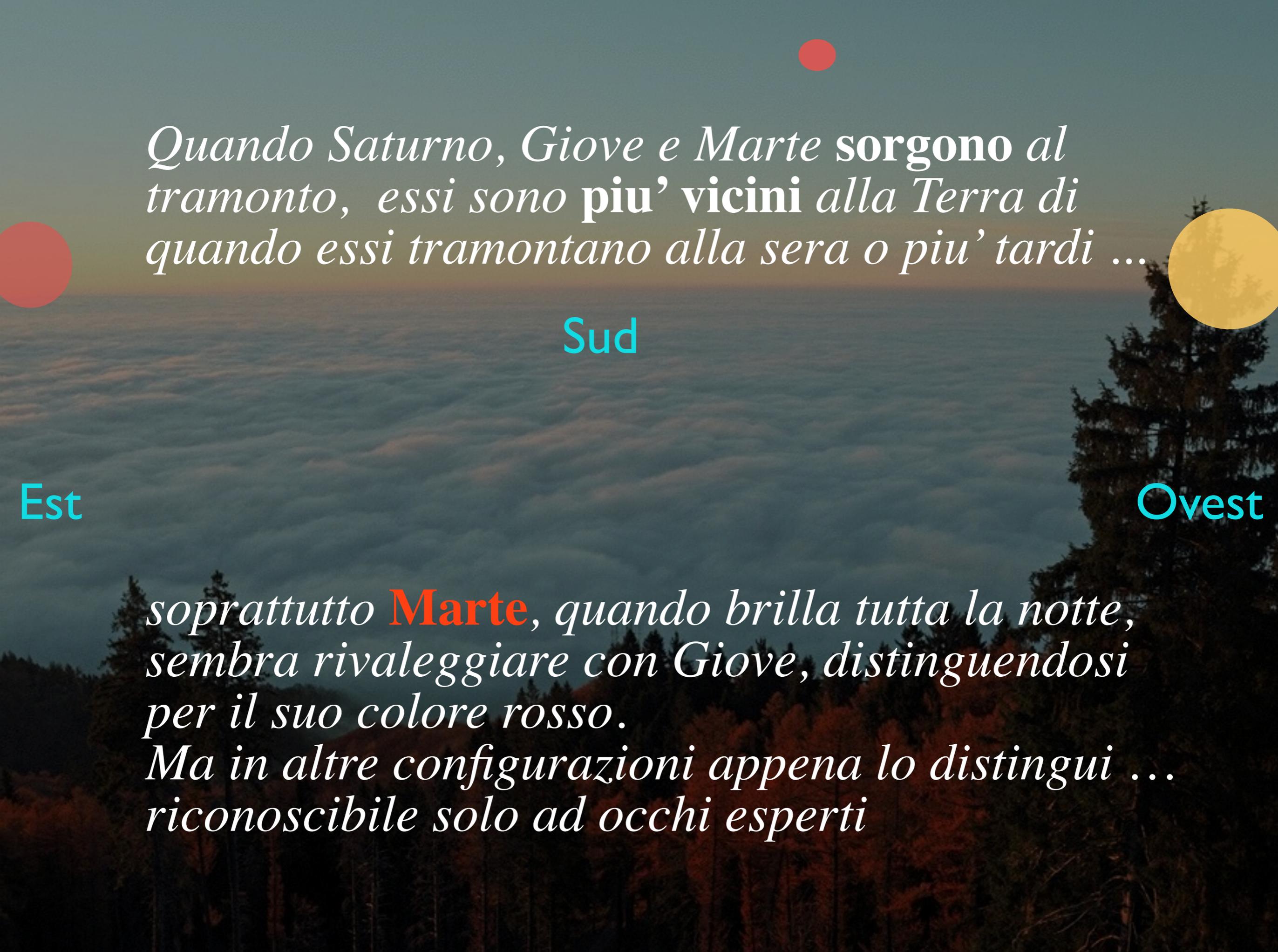
Nicolaus Copernicus
1473-1543



Il ediz, Basilea

Prima edizione: ne esistono 276 copie
(asta Christie: 2 M\$)

Marte era il problema



*Quando Saturno, Giove e Marte sorgono al tramonto, essi sono **piu'** vicini alla Terra di quando essi tramontano alla sera o piu' tardi ...*

Sud

Est

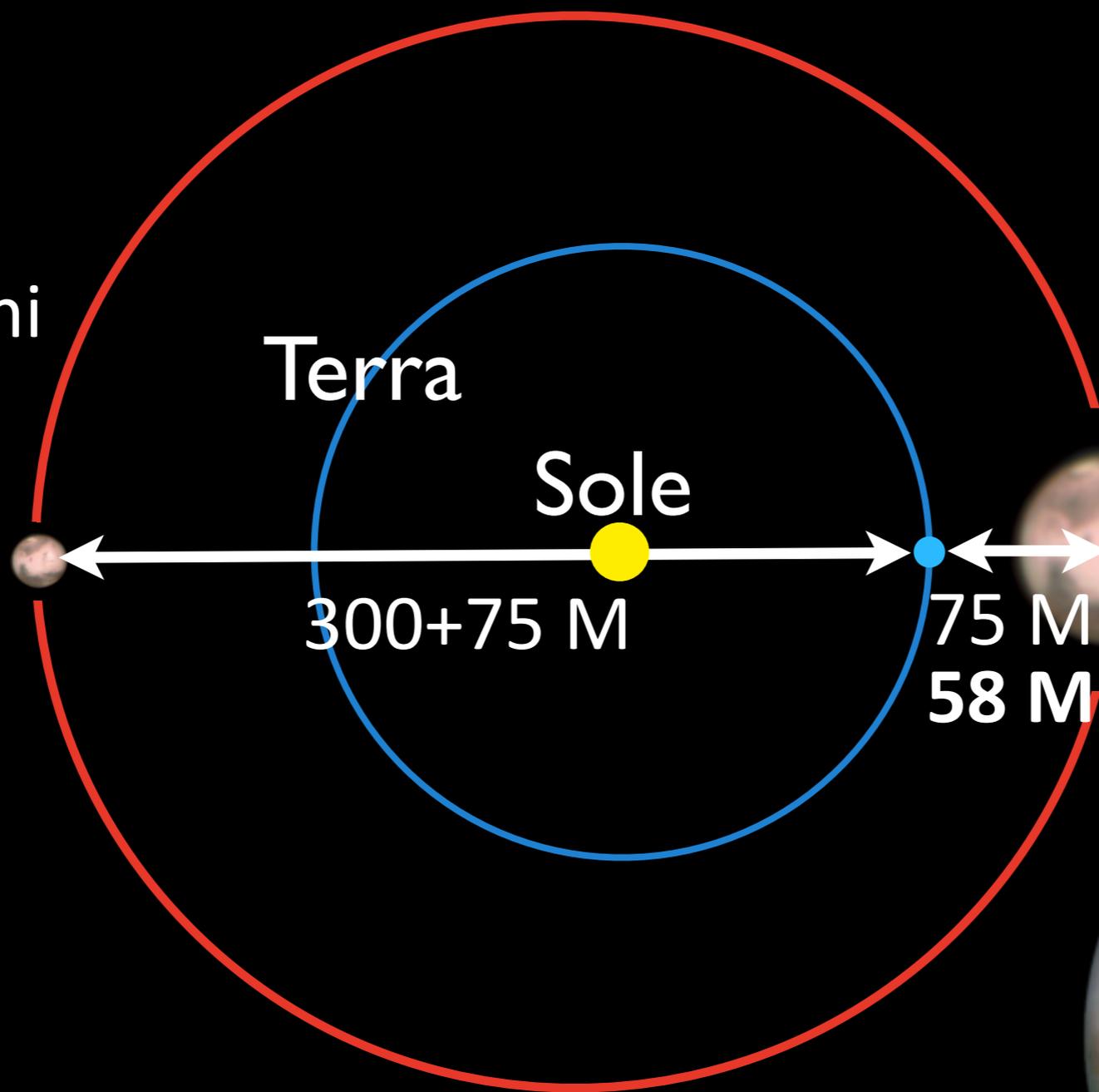
Ovest

*soprattutto **Marte**, quando brilla tutta la notte, sembra rivaleggiare con Giove, distinguendosi per il suo colore rosso.*

Ma in altre configurazioni appena lo distingui ... riconoscibile solo ad occhi esperti



Marte
1.88 anni



Terra

Sole

300+75 M

75 M
58 M

Marte in
opposizione

1:5



27 luglio 2018: grande opposizione
(ogni 15 anni)

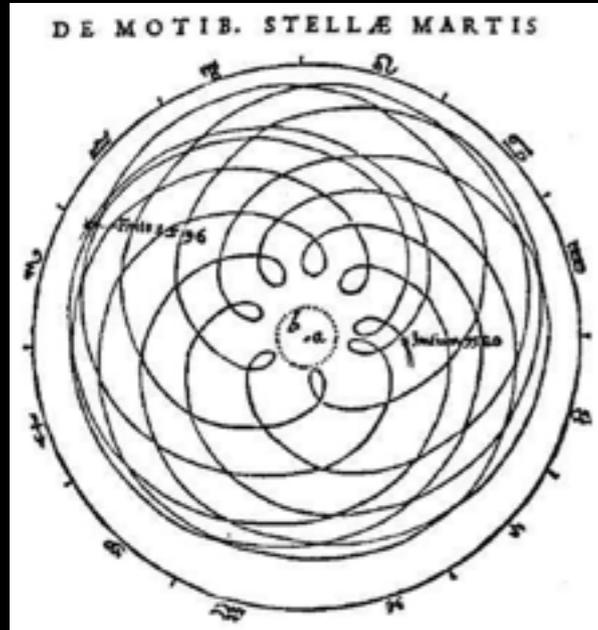


Ho misurato i cieli
ora misuro le ombre.
La mia mente
appartenne al cielo,
qui la mia ombra
ora giace.

(Epitaffio di Keplero, Regensburg)

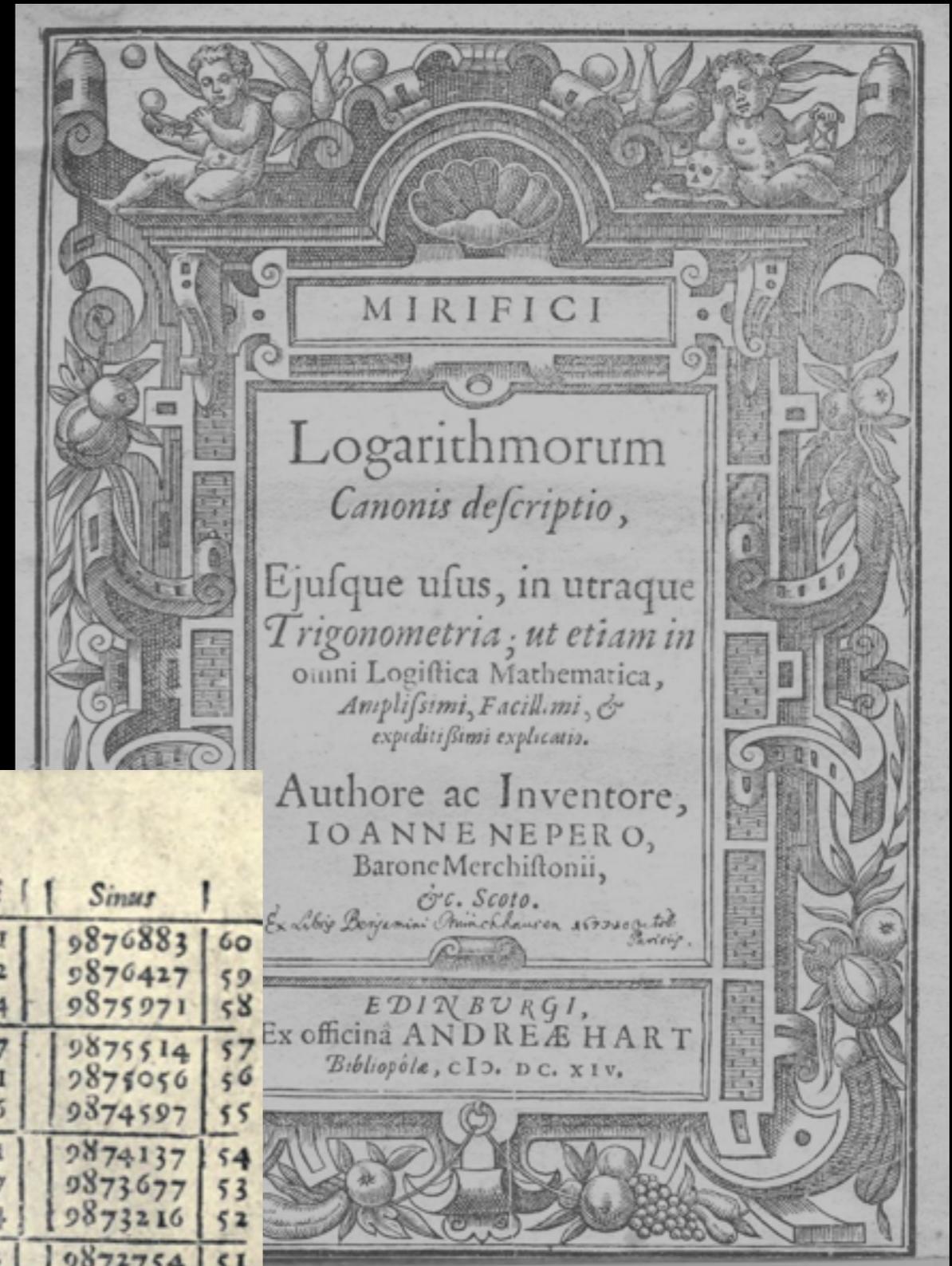
Giovanni Keplero
1571-1630

per 17 anni studio` i dati
su Marte raccolti con Tycho



9

min	Sinus	Logarithmi	Differentia	logarithmi	Sinus
0	1564345	18551174	18427293	123881	9876883
1	1567218	18532826	18408484	124342	9876427
2	1570091	18514511	18389707	124804	9875971
3	1572964	18496231	18370964	125267	9875514
4	1575837	18477984	18352253	125731	9875056
5	1578709	18459772	18333576	126196	9874597
6	1581581	18441594	18314933	126661	9874137
7	1584453	18423451	18296324	127127	9873677
8	1587325	18405341	18277747	127594	9873216
9	1590197	18387265	18259203	128062	9872754
10	1593069	18369223	18240692	128531	9872291
11	1595941	18351214	18222213	129001	9871827
12	1598812	18333237	18203765	129472	9871362
13	1601684	18315294	18185351	129943	9870897
14	1604555	18297384	18166969	130415	9870431
15	1607426	18279507	18148619	130888	9869964



Mirifici Logarithmorum
Canonis Descriptio, 1614

... pertanto, Fabricius,
ho ottenuto questo:
**l'orbita vera del pianeta
Marte e' un'ellisse**
che Durer chiama ovale, o
vi e' talmente vicina, che
la differenza e' insensibile.
(11 ottobre 1605)



Davide Fabricius

**L'area percorsa e' proporzionale
al tempo**

$$a^3 = kT^2$$

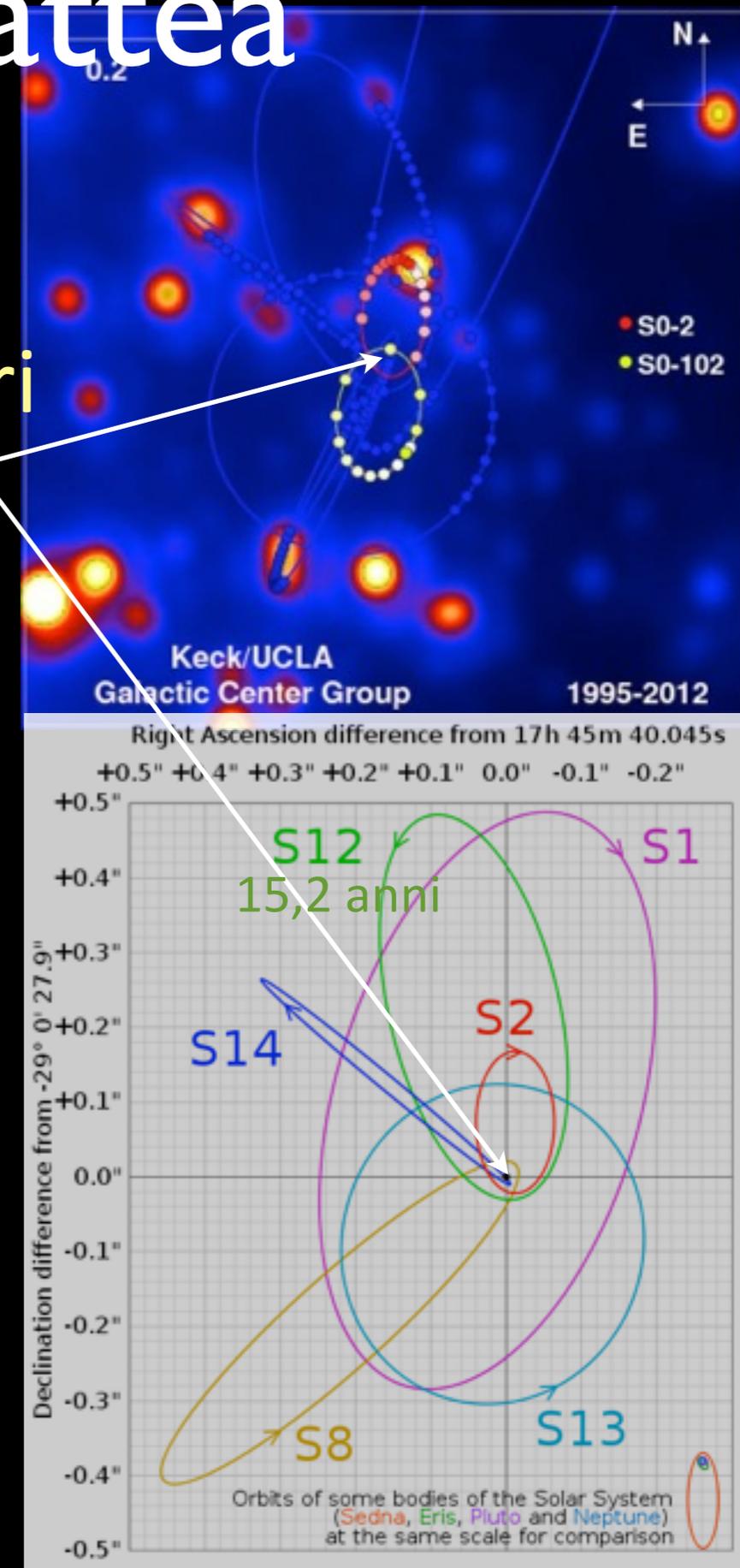
(1619)



Telescopi gemelli Keck, diam = 10 metri
Mauna Kea (alt. 4145 m)

Il buco nero della Via Lattea

~3 milioni di masse solari
nel raggio di 4 sec luce



La gravita` di Newton



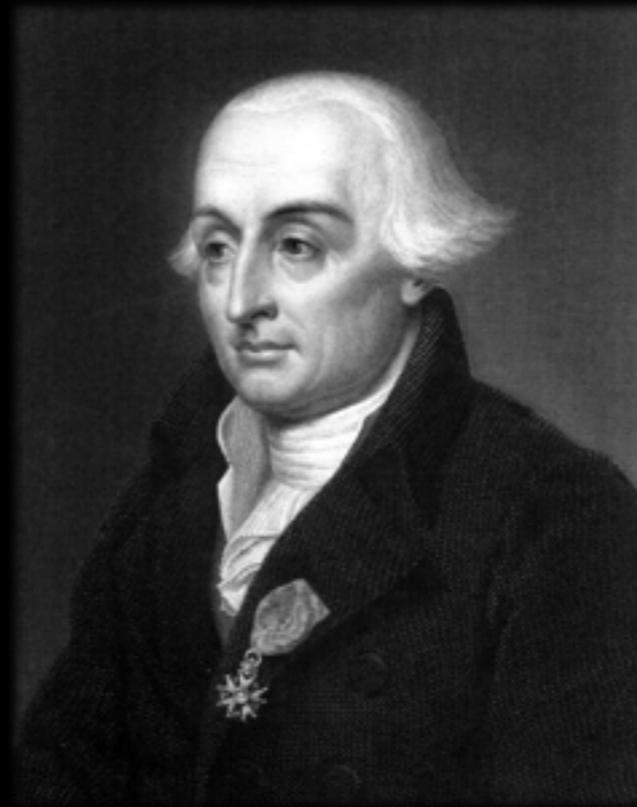
$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

**LA
MECCANICA
CELESTE**





Pierre Luis de Maupertuis
(St Malo 1698, Basilea 1759)



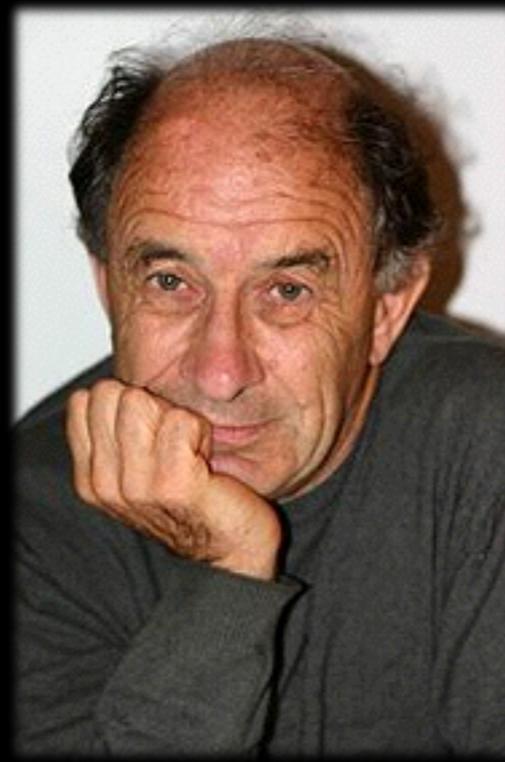
Giuseppe Luigi Lagrangia
(Torino 1736, Parigi 1813)



William Rowan Hamilton
(Dublino 1805, Dublino 1865)



Henri Poincaré
(Nancy 1854, Parigi 1912)

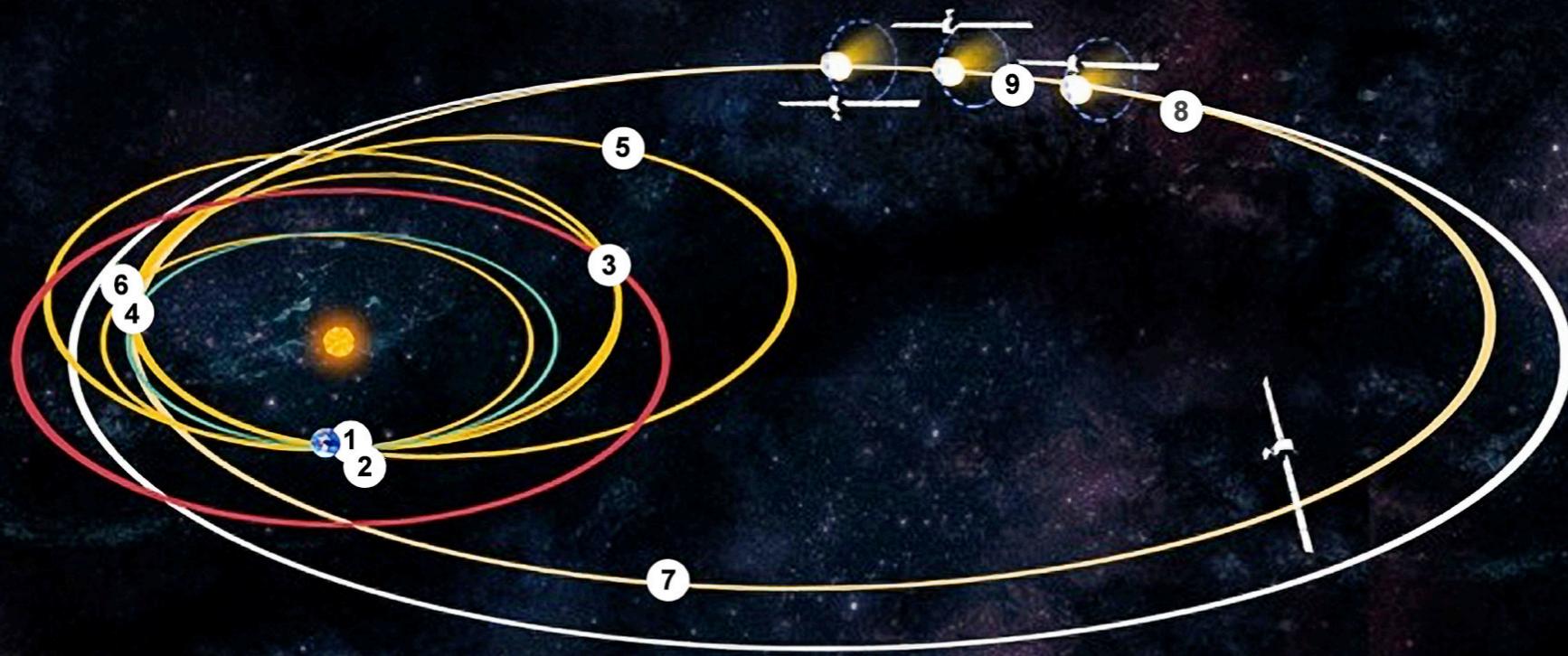


Vladimir Arnold
(Odessa 1937, Parigi 2010)



dalle perturbazioni di Urano (Herschel, 1781):
Nettuno (LeVerrier-Galle, 1846)
Plutone (Tombaugh, 1930)





- 1. Launch, March 2, 2004
- 2. First Earth flyby, March 3, 2005
- 3. Mars flyby, February 26, 2007
- 4. Second Earth flyby, November 14, 2007
- 5. Asteroid Steins flyby
- 6. Third Earth flyby, November 11, 2009
- 7. Asteroid Lutetia flyby
- 8. Arriving at the comet in 2014
- 9. Rosetta observes comet 67P/Churyumov-Gerasimenko

● Mars' Orbit ● Earth's Orbit ● Rosetta's Orbit ● Comet's Orbit

rosetta's trajectory



Lorenzo Quinn, Le forze della natura

La gravita' e' cieca
agisce su tutto, indistintamente.
Nulla sfugge alla gravita' ...



a meno di
lasciarsi cadere ...
allora la gravita`
si annulla !





Steven Hawking (Lucasian professor - Cambridge)
sul Boeing 727 - Zero Gravity Corp,
in volo parabolico per il suo 65 compleanno (2007)

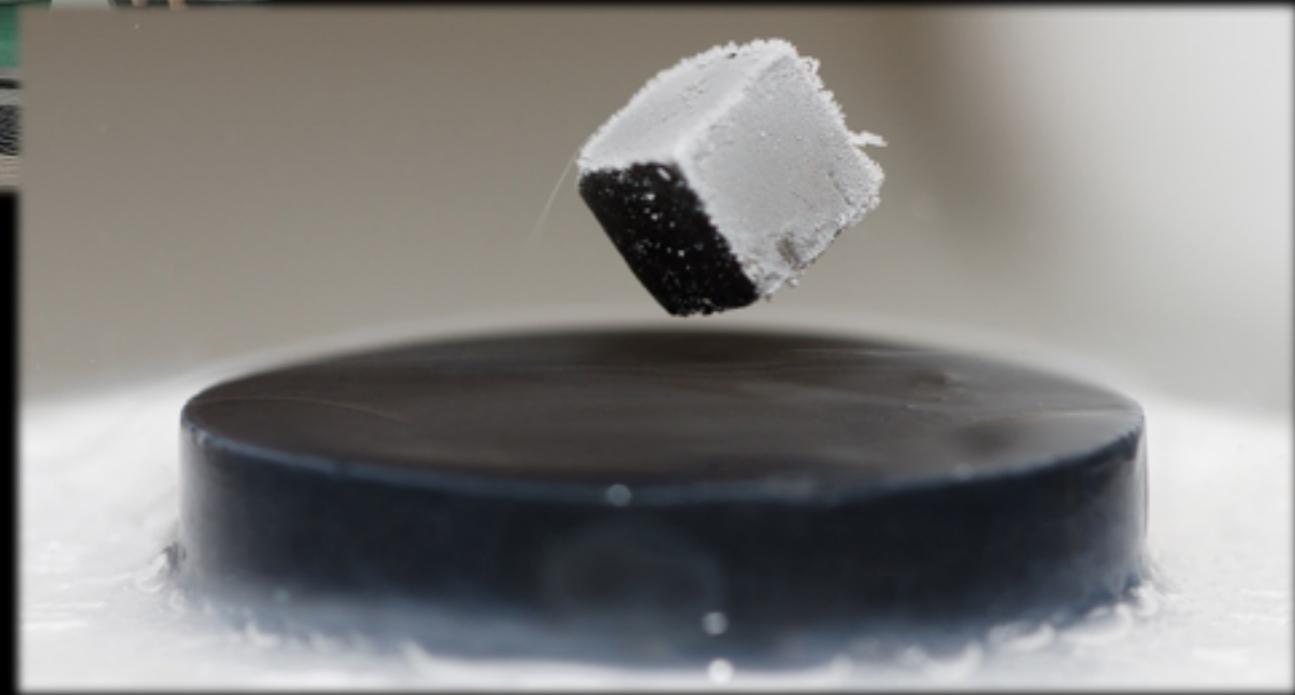


Zero Gravity (Pero, MI)
galleria del vento verticale

Qui cancello la gravita`
con altre forze



Levitazione
col trucco



Levitazione magnetica



Nessun esperimento in un “ascensore chiuso”
abbastanza piccolo e in caduta libera
puo` rivelarci che stiamo cadendo verso Terra

Galileo Galilei (Pisa 1564 -Firenze 1642)



... dove che tra palle d'oro, di piombo, di rame, di porfido, o di altre materie gravi, quasi del tutto insensibile sarà la disegualità del moto per aria, ché sicuramente una palla d'oro alla fine della scesa di cento braccia non preverrà una di rame di quattro dita; veduto, dico, questo, **cascai in opinione che se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie descenderebbero con eguali velocità.**

Galilei, Discorsi intorno a due nuove scienze, 1638



MASSA INERZIALE
UGUALE
CARICA GRAVITAZIONALE
principio di equivalenza debole

Sommergibile E. Toti, 2005, 1465 tonn.



$$F = M_i a$$

$$F = M_g g$$

BBC TWO



NASA GLENN RES. CENTER, OHIO
La camera a vuoto piu` grande del mondo



Apollo 15 - David Scott
caduta piuma e martello

PESARE LA TERRA



R=6371 km

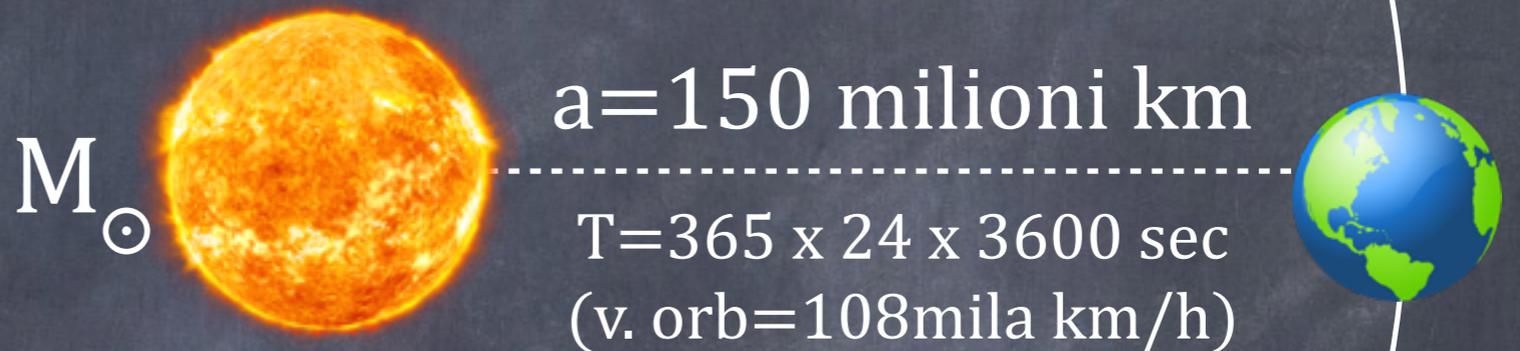


$$mg = GMm/R^2$$
$$G = ?$$

$$g=9,8 \text{ m/sec}^2$$

PESARE IL SOLE

(e le stelle)

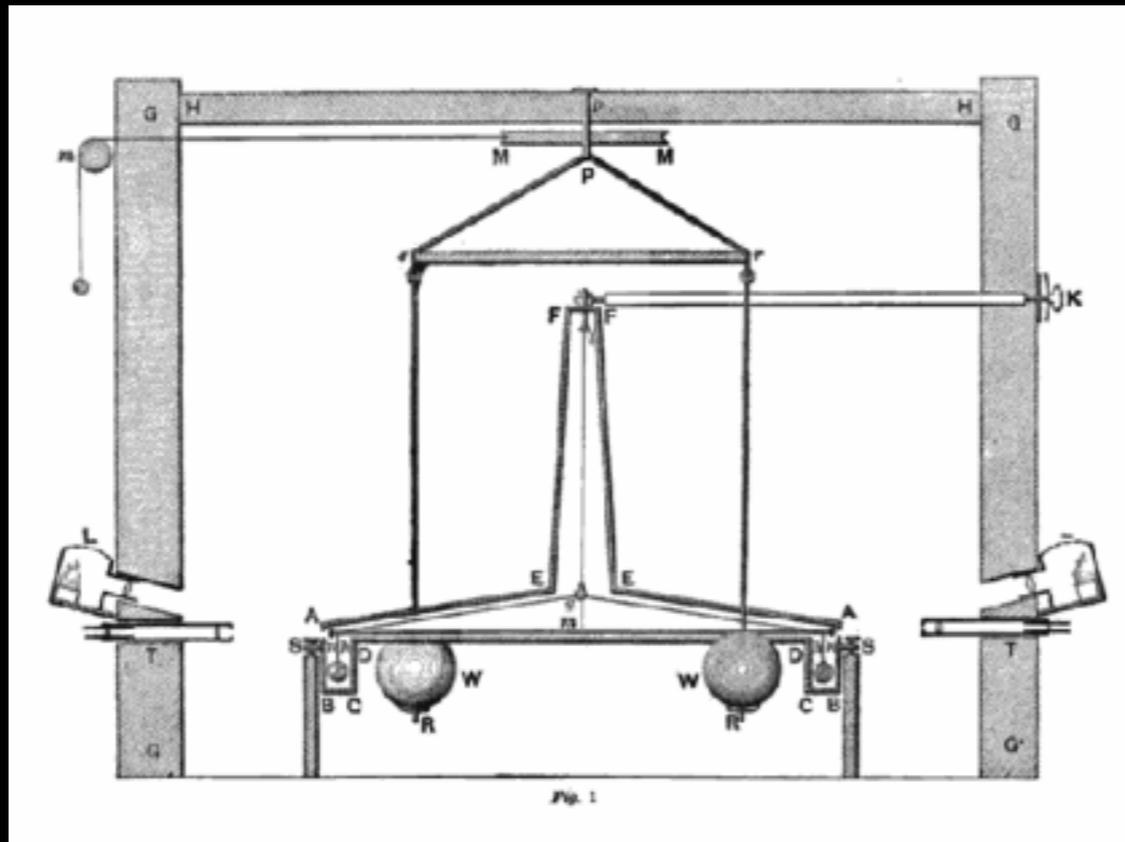


$$a^3 / T^2 = G M_{\odot} / 4\pi^2$$

$$M_{\odot} \sim 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

La bilancia di Cavendish

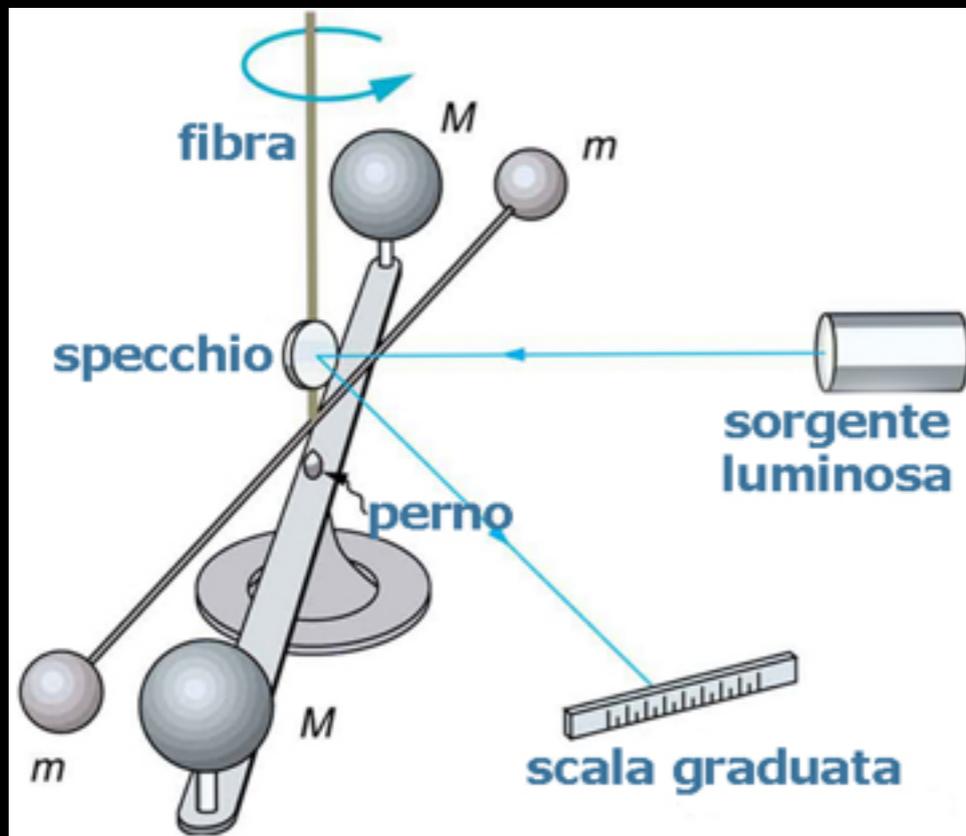
JOHN MICHELL (1724-1793) amico di **Henry Cavendish** e del musicista tedesco **William Herschel** (che divenne famoso astronomo) ideò e costruì un apparato per misurare la massa della Terra. Malato, lo lasciò a Cavendish che fu il primo a fare la misura.



H. Cavendish

1731-1810

Un'asta di 2 m e` sospesa al centro a una sottile fibra. Le estremita` portano due sfere di piombo da 1 kg.



Accanto a ciascuna e` posta una grossa sfera di piombo. La loro attrazione torce l'asta. Dopo ore, le sfere grosse sono portate presso la faccia opposta delle sfere piccole, causando la torsione dell'asta in altro senso.

Misurando l'angolo formato dall'asta nelle due posizioni, Cavendish calcolo` la debolissima forza attrattiva esercitata dalla sfera grande su quella piccola.

Calcolo` la massa della Terra: 6×10^{24} kg (prossimo al valore odierno)



The Cavendish Laboratory

29 premi Nobel

James C. Maxwell
elettromagnetismo (1850)

Lord J. Rayleigh (1904)

Argon, teoria del suono, diffusione della luce

Sir Joseph Thompson (1906)
elettrone, spettroscopia di massa, isotopi

Lord Ernest Rutherford (1908)
struttura dell'atomo, radioattività

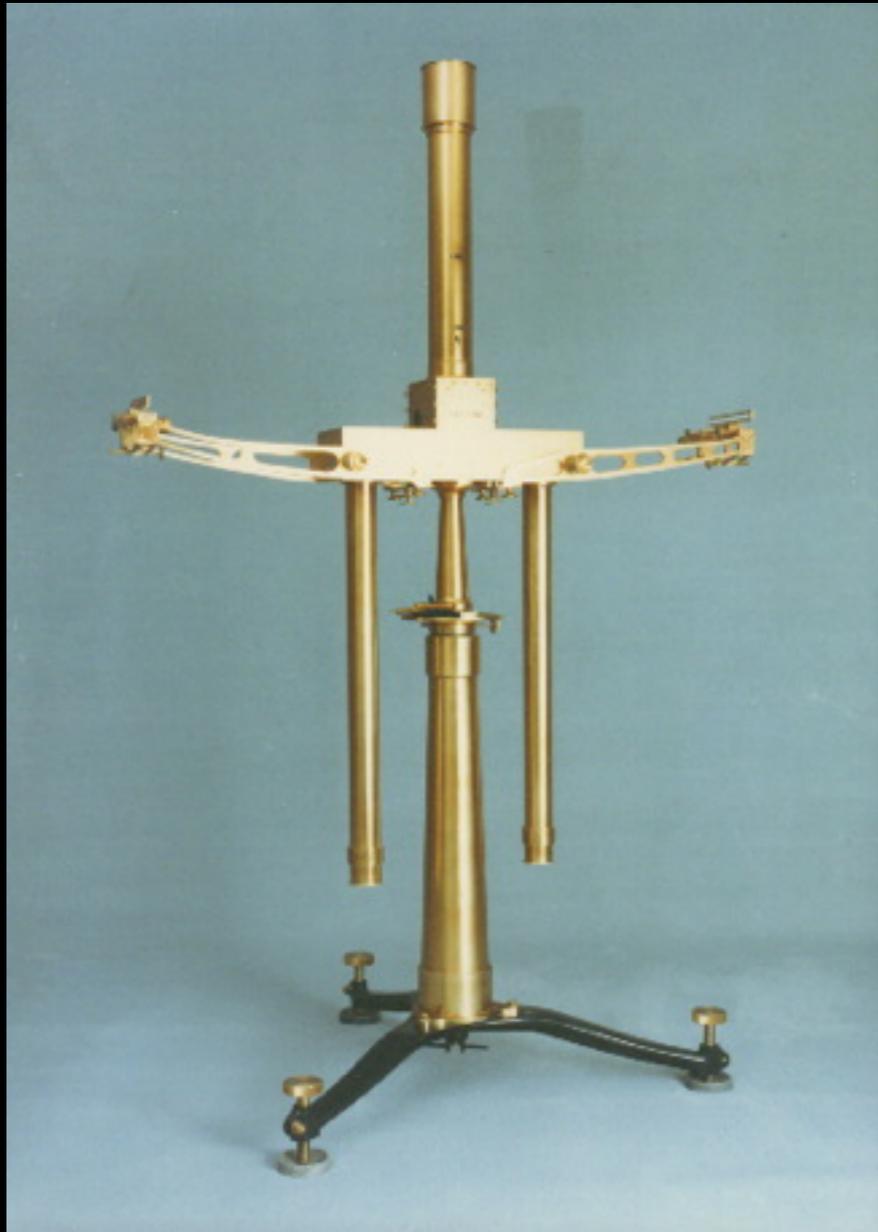
Sir Lawrence Bragg (1915)
raggi X (DNA)

Sir Nevill Mott (1977)
fisica dello stato solido



La bilancia del barone Lorand Eotvos

(Pest 1848 - Budapest 1919)



Come strumento ho usato una semplice asta, appesantita alle due estremità ...

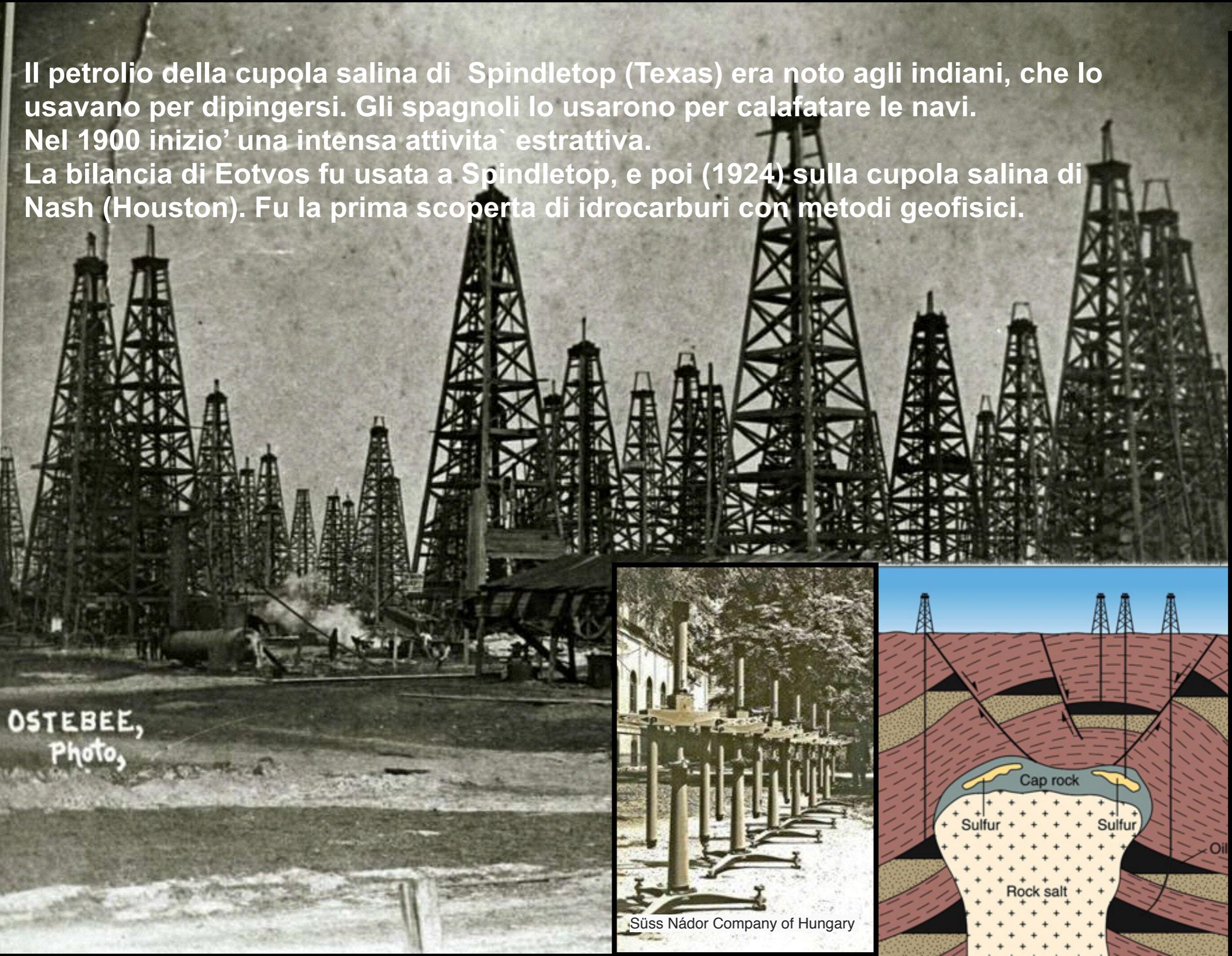
Una massa, vicino o lontana, esercita una forza sull'asta, e la fibra a cui essa è appesa, vi resiste, torcendosi, con un angolo che misura direttamente l'intensità della forza ...

È semplice, come il flauto di Amleto, devi solo sapere come suonarlo ...

In questo modo possiamo sondare la crosta terrestre, dove né occhi né le più profonde trivellazioni potrebbero vedere.

La massa inerziale e gravitazionale differiscono meno di 1 parte per 20milioni

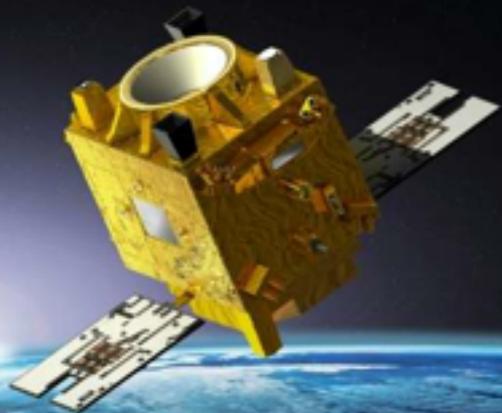
Il petrolio della cupola salina di Spindletop (Texas) era noto agli indiani, che lo usavano per dipingersi. Gli spagnoli lo usarono per calafatare le navi. Nel 1900 inizio' una intensa attivita` estrattiva. La bilancia di Eotvos fu usata a Spindletop, e poi (1924) sulla cupola salina di Nash (Houston). Fu la prima scoperta di idrocarburi con metodi geofisici.



OSTEBEE,
Photo,

Süss Nádor Company of Hungary

La missione MICROSCOPE
e' dedicata al test del
principio d'equivalenza.
consiste nel solo strumento
T-SAGE (Twin Space
Accelerometre for Space
Gravity Experiment).



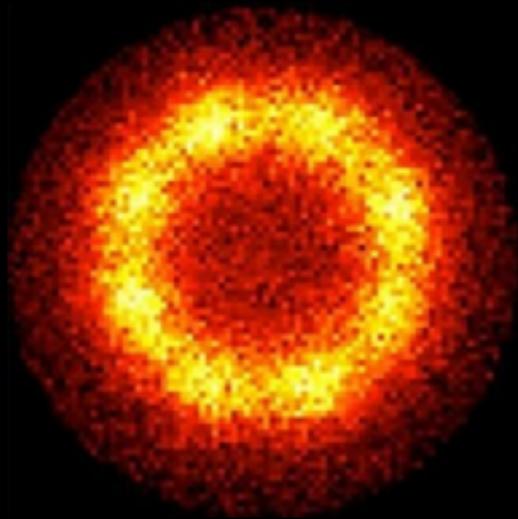
La sfida e' migliorare di un
fattore 100 la precisione di
esperimenti terrestri.

I due accelerometri
elettrostatici differiscono
solo per la composizione
della massa metallica:
Titanio o Platino-Rhodio.

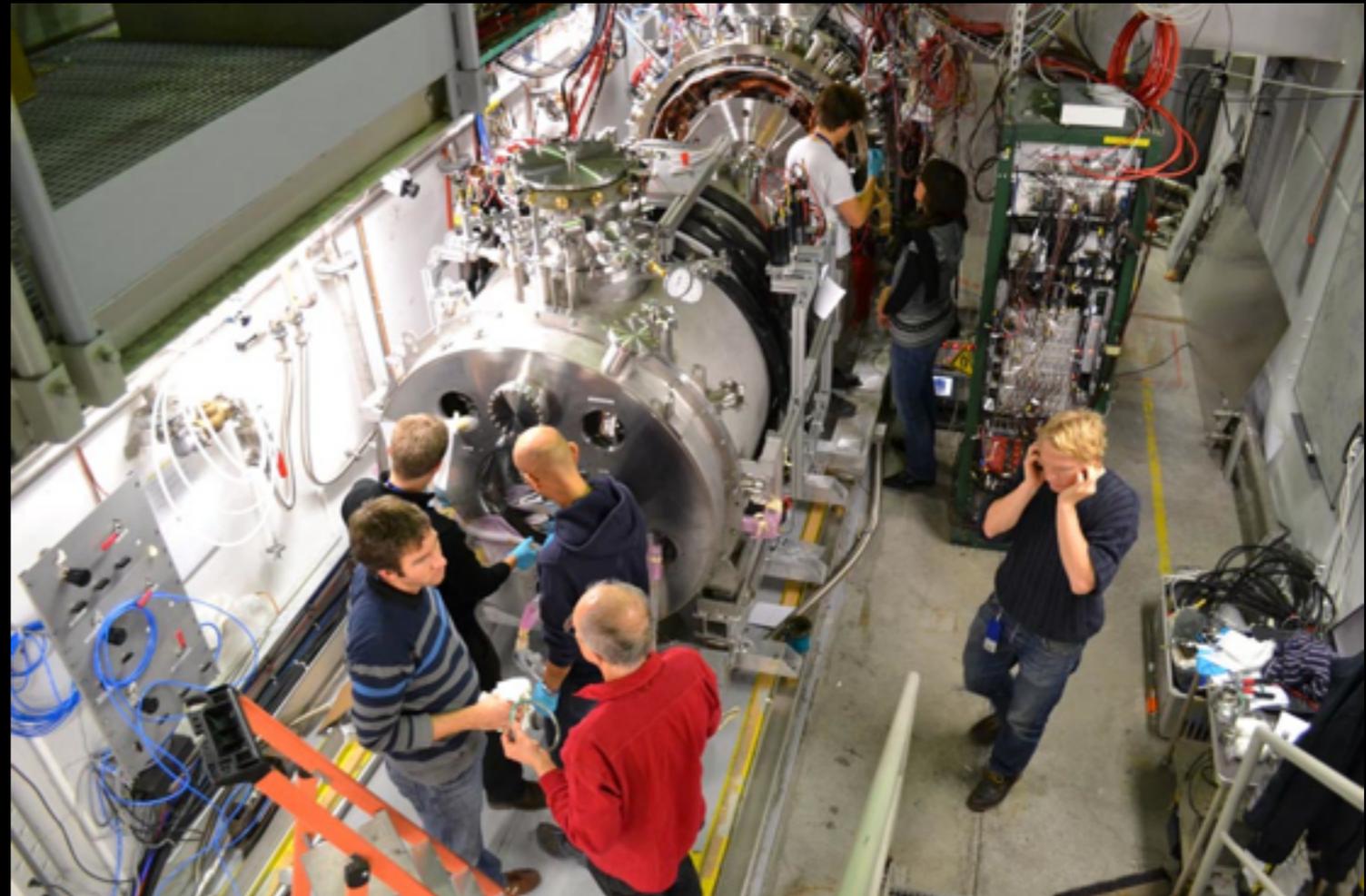
Ciascuna massa e'
sospesa mediante forze
elettrostatiche, ed e'
attornata da elettrodi
che compongono
condensatori sensibili
agli spostamenti

Come cade un fascio di antimateria ?

Antimatter Experiment: gravity, Interferometry, Spectroscopy
(AEGIS, presso il deceleratore di antiprotoni al CERN)

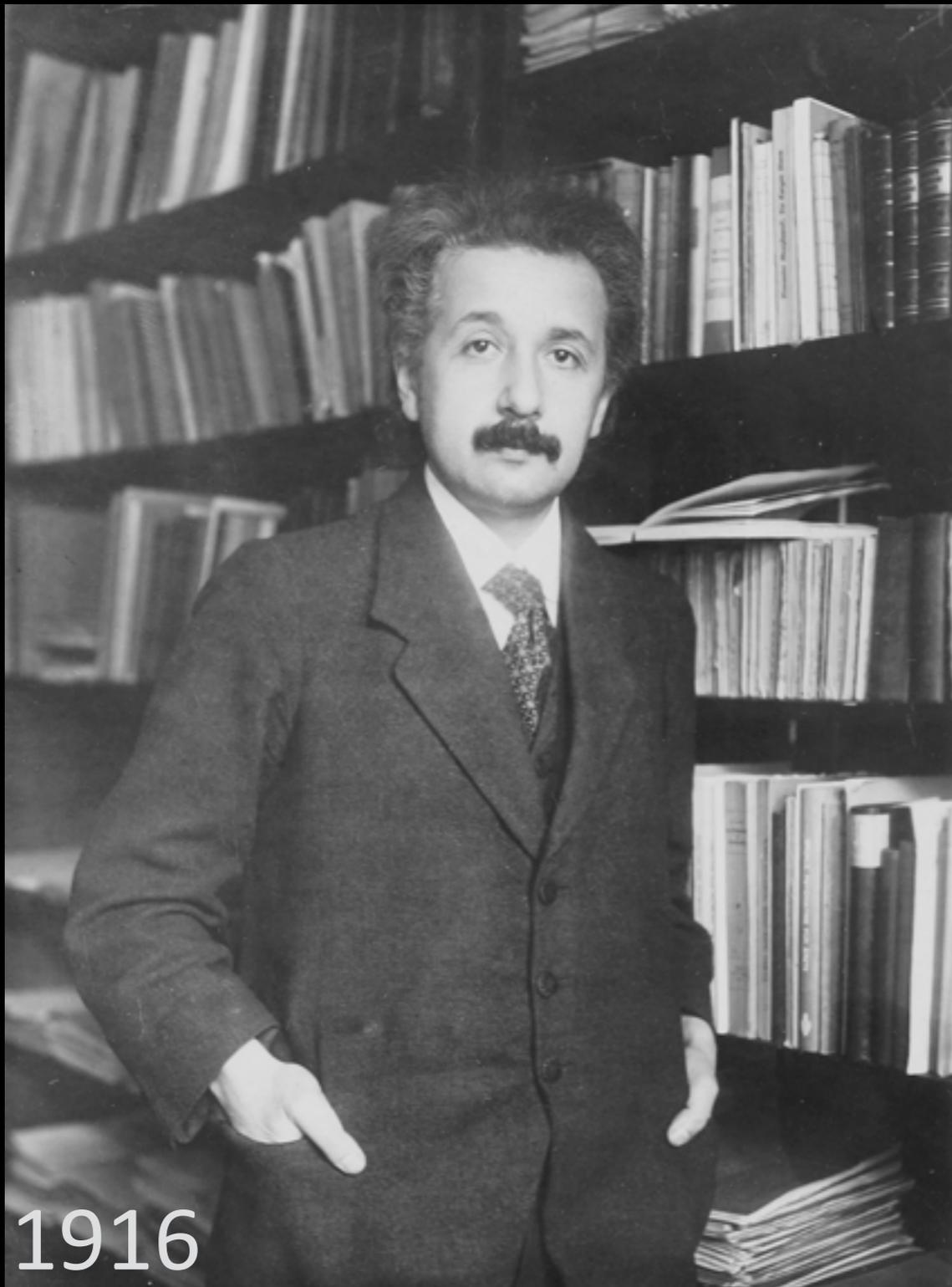


ANTI-IDROGENO, 2016
exp alpha, CERN



Inviando un fascio di anti-H su una serie di reticoli di diffrazione, la frange luminose dovrebbero consentire la misura precisa della posizione del fascio entro un errore dell'1%. L'esperimento fu proposto nel 2007.

1916: Relativita` Generale



1916

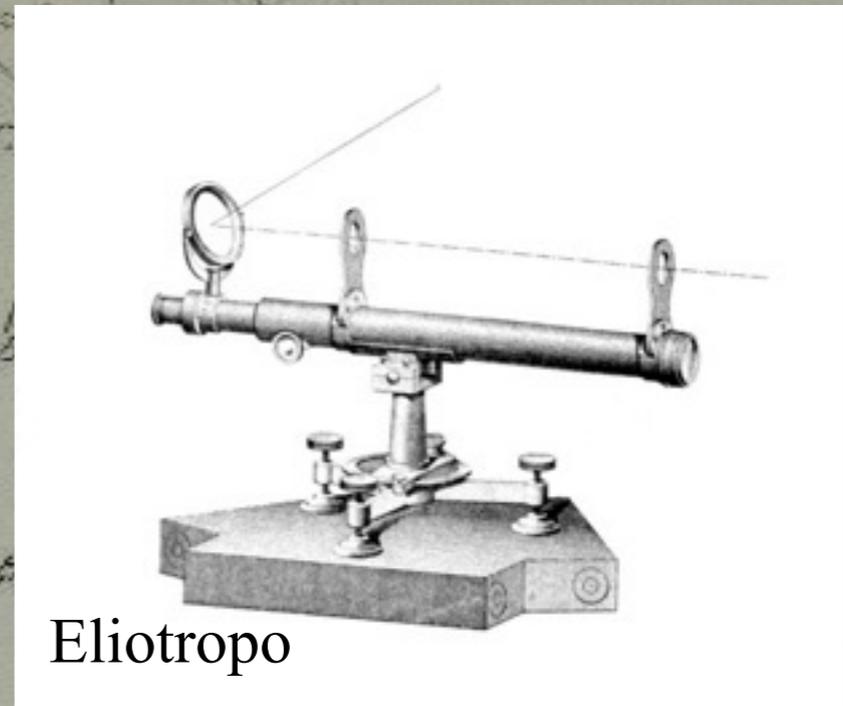
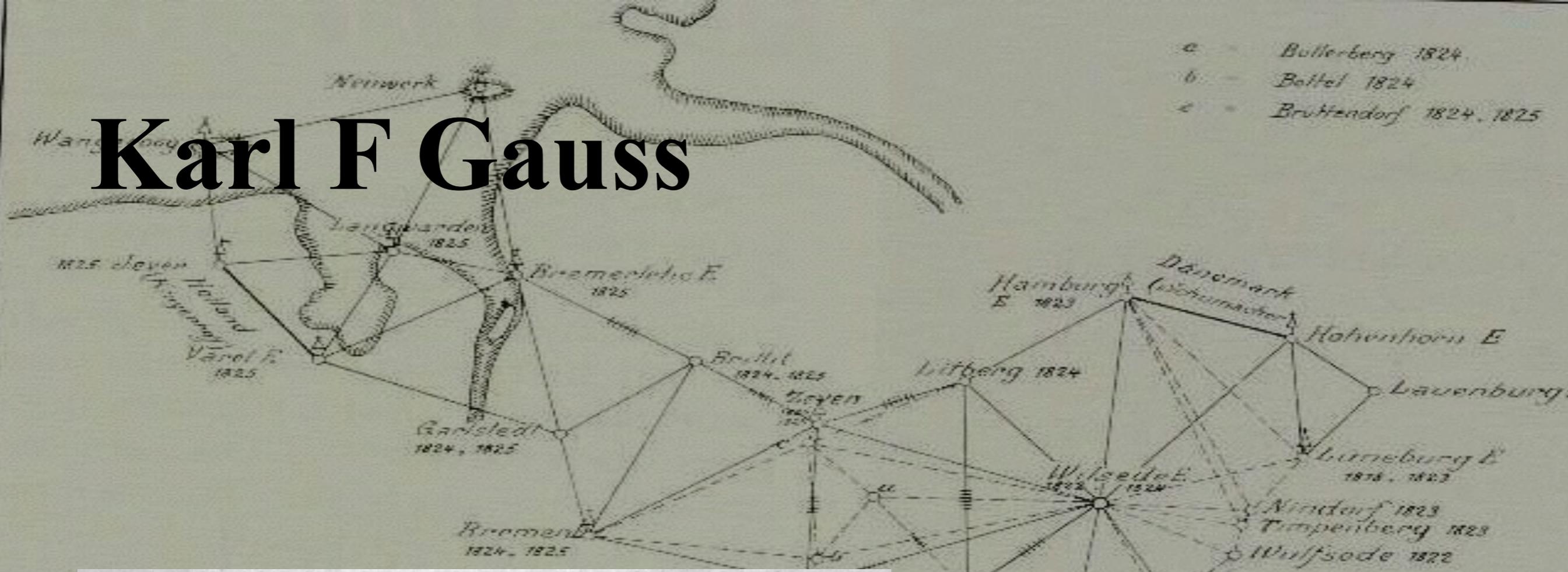


Gravita` e geometria
intrinseca dello sp-tempo
(indipendente dalle
coordinate)

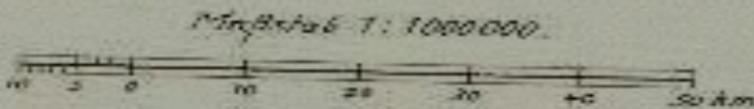
Gauss

Karl F Gauss

- a - Buttenberg 1824
- b - Bittel 1824
- c - Bruttendorf 1824, 1825



Eliotropo



curvatura

I punti dello spazio-tempo sono variamente descritti da 4 coordinate: x^a , $a=0,1,2,3$.

La geometria e' specificata dalla legge per la distanza tra due punti x e $x+dx$

$$ds^2 = g(x)_{\{ab\}} dx^a dx^b$$

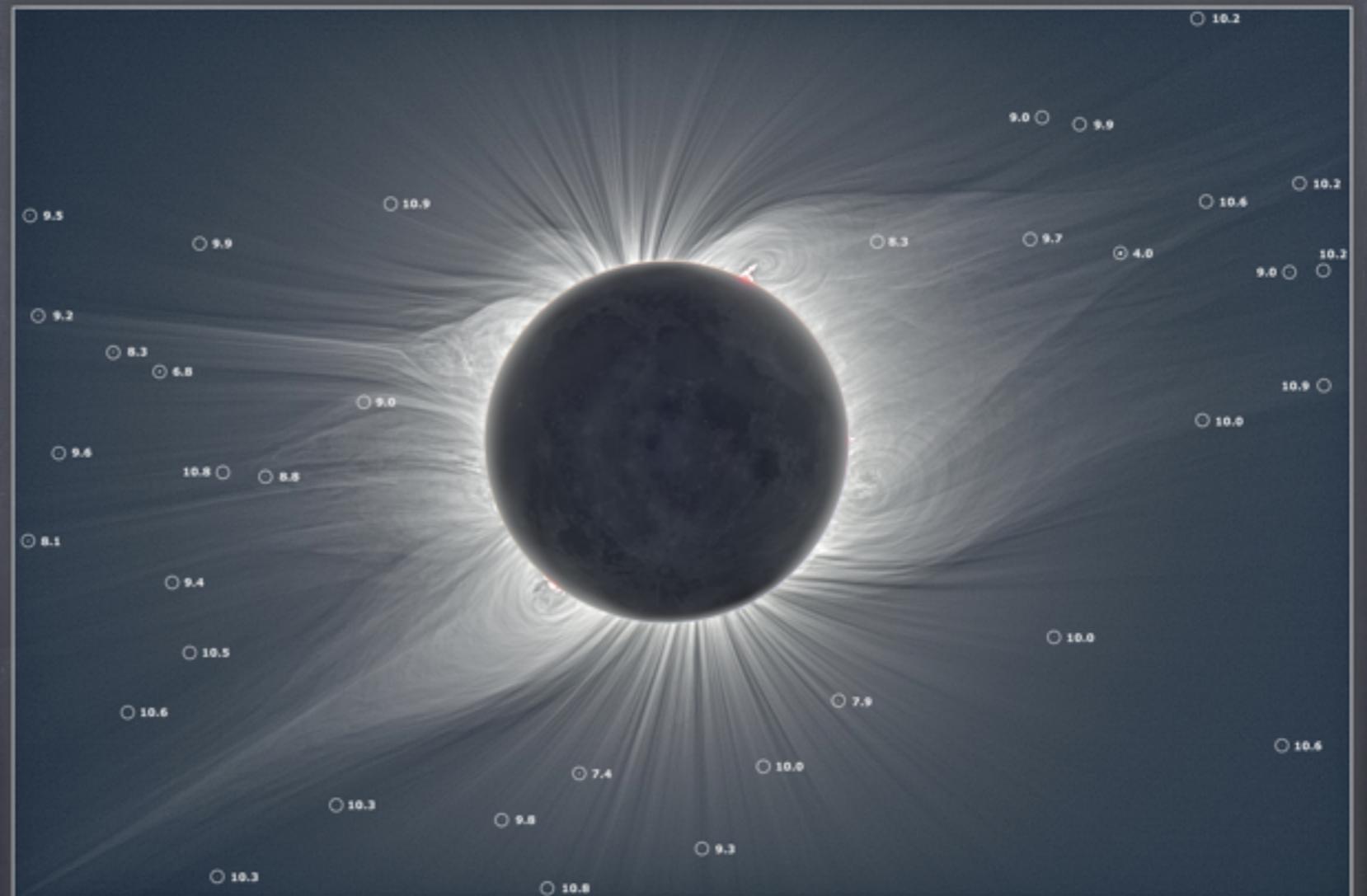
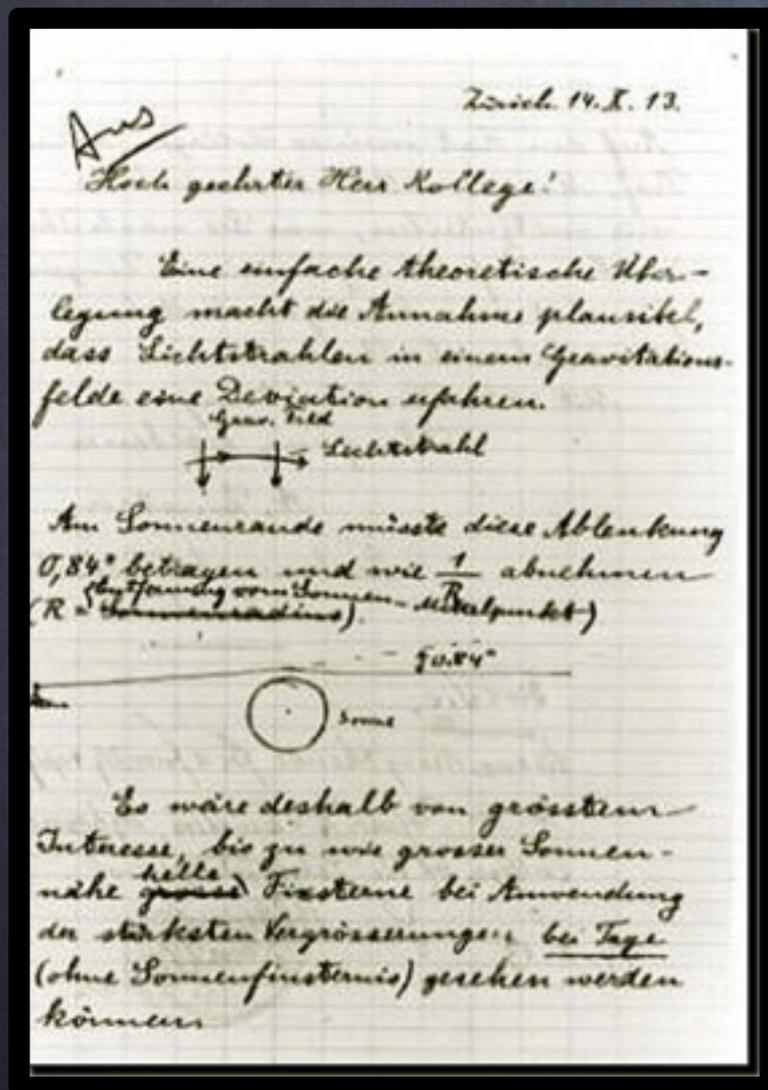
L'assenza di gravita` in una regione corrisponde alla situazione in esistono coordinate x in cui g non dipende da x

La gravita` e` descritta dalle derivate seconde di $g(x)$ (curvatura)

$$ds = \text{SQRT} [A(x,y)dx^2 + B(x,y)dy^2 + C(x,y)dx dy]$$

LA GEOMETRIA DIRIGE LA MATERIA LA MATERIA DETTA LA GEOMETRIA

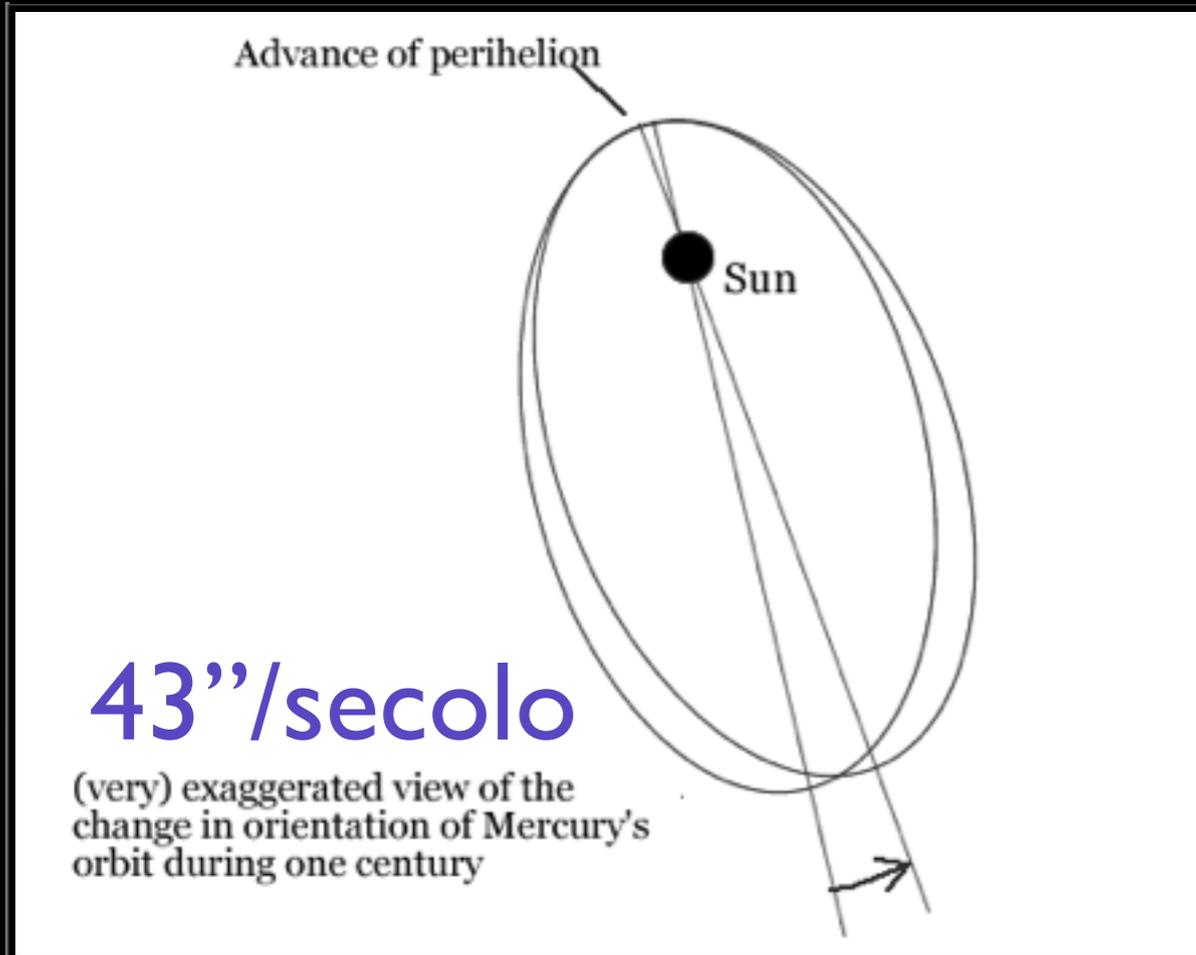
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R - \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$



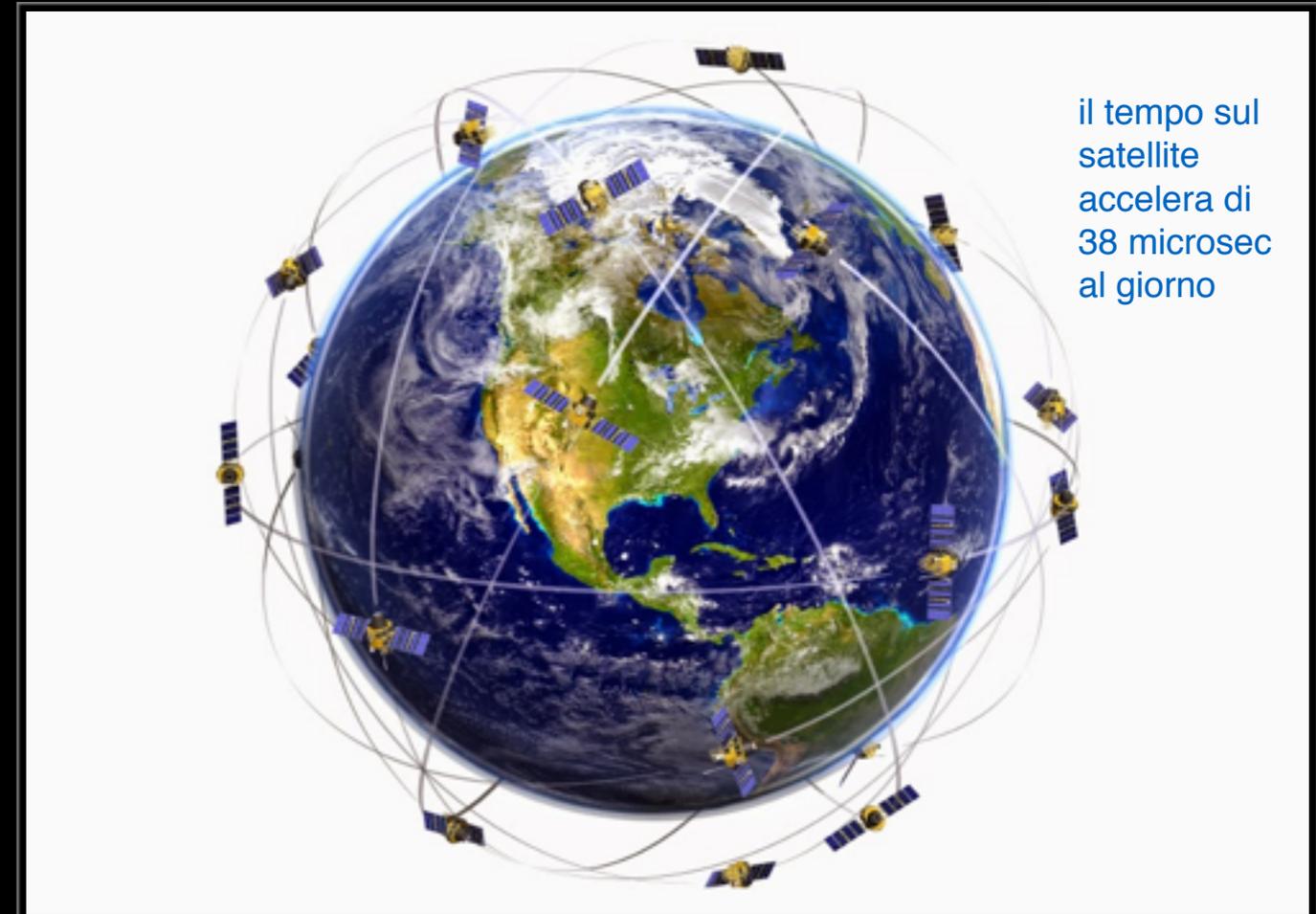
Total Solar Eclipse 2008

© 2008 Miloslav Druckmüller, Peter Aniol, Vojtech Rušin

Precessione di Mercurio



Global Positioning System

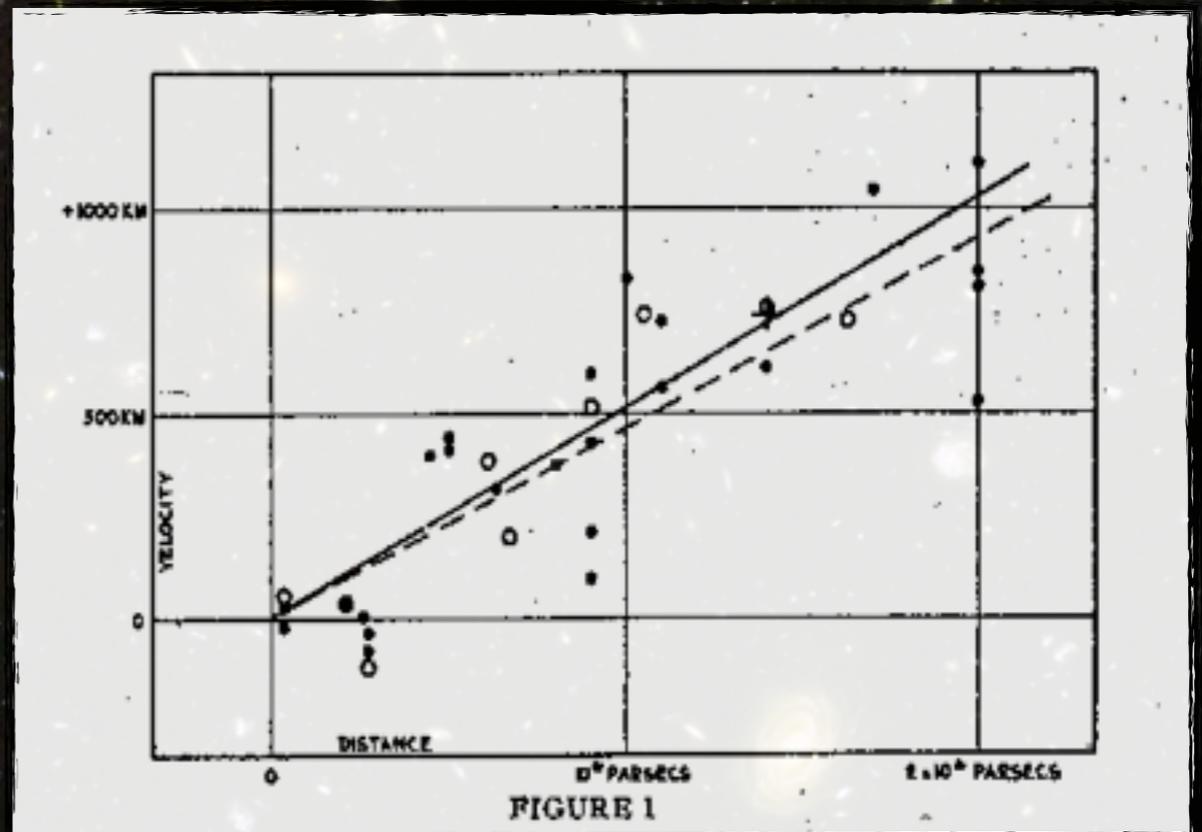


LA LEGGE DI HUBBLE

Le galassie si **allontanano** da noi
con velocità **proporzionale** alla distanza

$$v = H d$$

(1929)



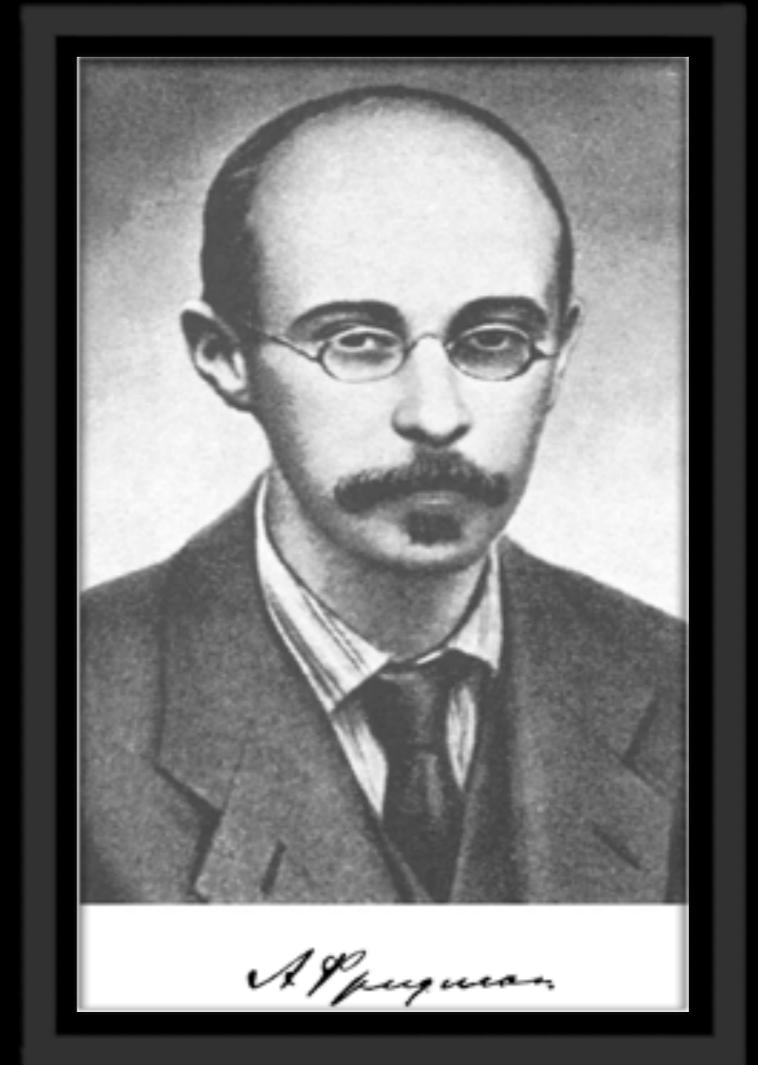
La soluzione di Friedmann (1922)

l'universo si espande

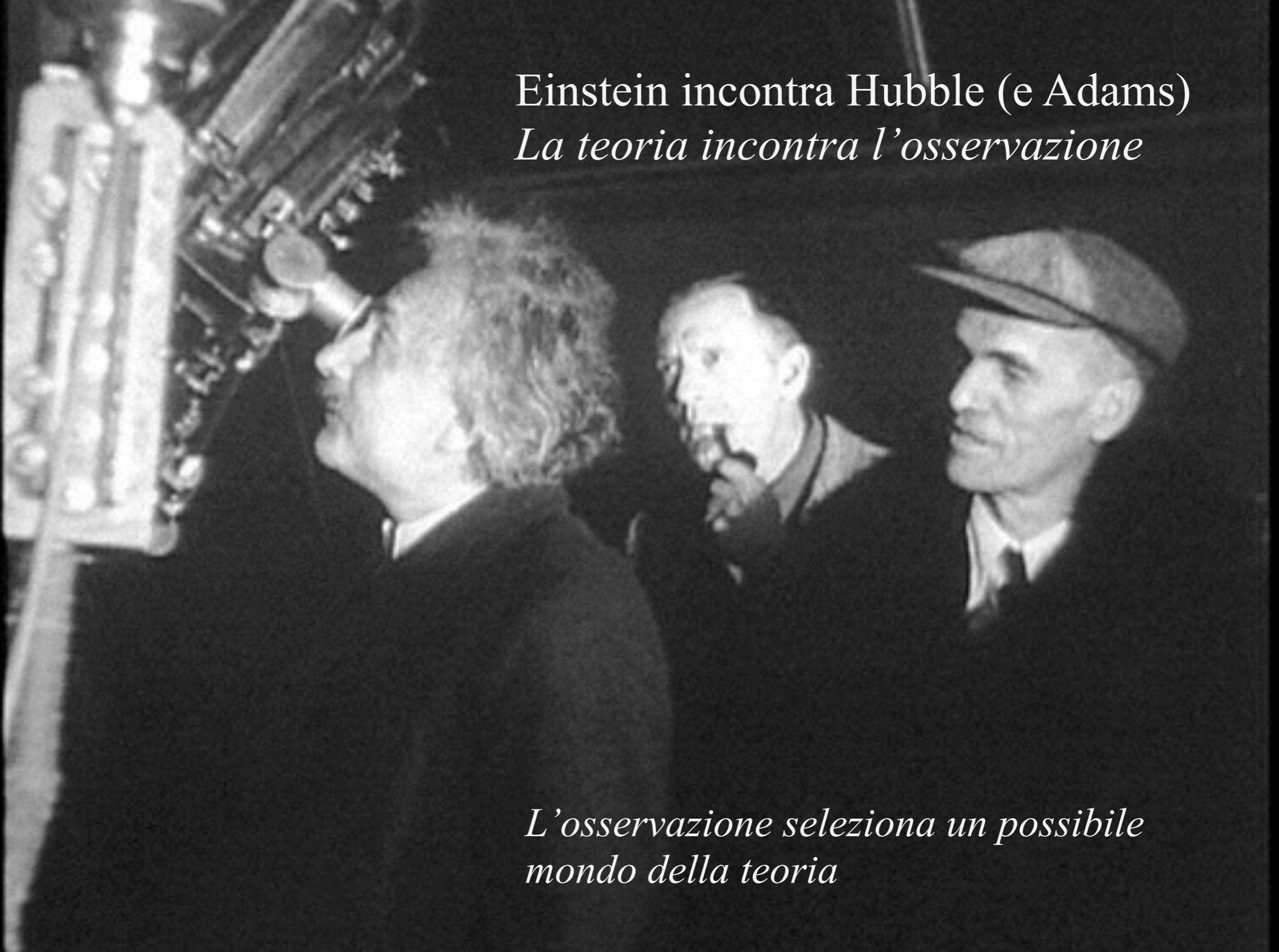
Nel **1922** Friedmann invio` il lavoro "Sulla curvatura dello spazio" alla rivista Zeitschrift für Physik.

Einstein giudico` il lavoro "matematicamente sbagliato" (egli pensava che l'universo dovesse essere stazionario ed eterno).

Dopo mesi Einstein ammise il proprio errore e la correttezza dei risultati di Friedmann.



Alexander Friedmann
1888 - 1925



Einstein incontra Hubble (e Adams)
La teoria incontra l'osservazione

*L'osservazione seleziona un possibile
mondo della teoria*

LA COSMOLOGIA DEL BIG BANG

L'evoluzione su grande scala
dell'universo e` oggi descritta
dalle equazioni di
Friedmann - Lemaitre -
Robertson - Walker

Einstein e Lemaitra
Pasadena (Cal) nel 1936

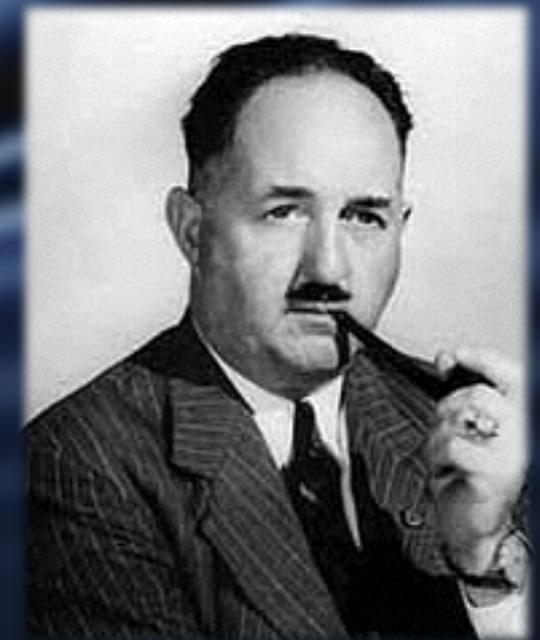


1916: Le onde gravitazionali

Vent'anni dopo, Einstein riprese l'argomento:
Con un giovane collaboratore, sono giunto all'interessante
risultato che le onde gravitazionali non esistono

Espose le nuove idee nell'articolo
"Do gravitational waves exist ?"
che invio` al Physical Review.

Il revisore anonimo (H. Robinson)
dimostro` che la tesi era sbagliata.
Einstein, si arrabbio' molto ...
poi si ricredette

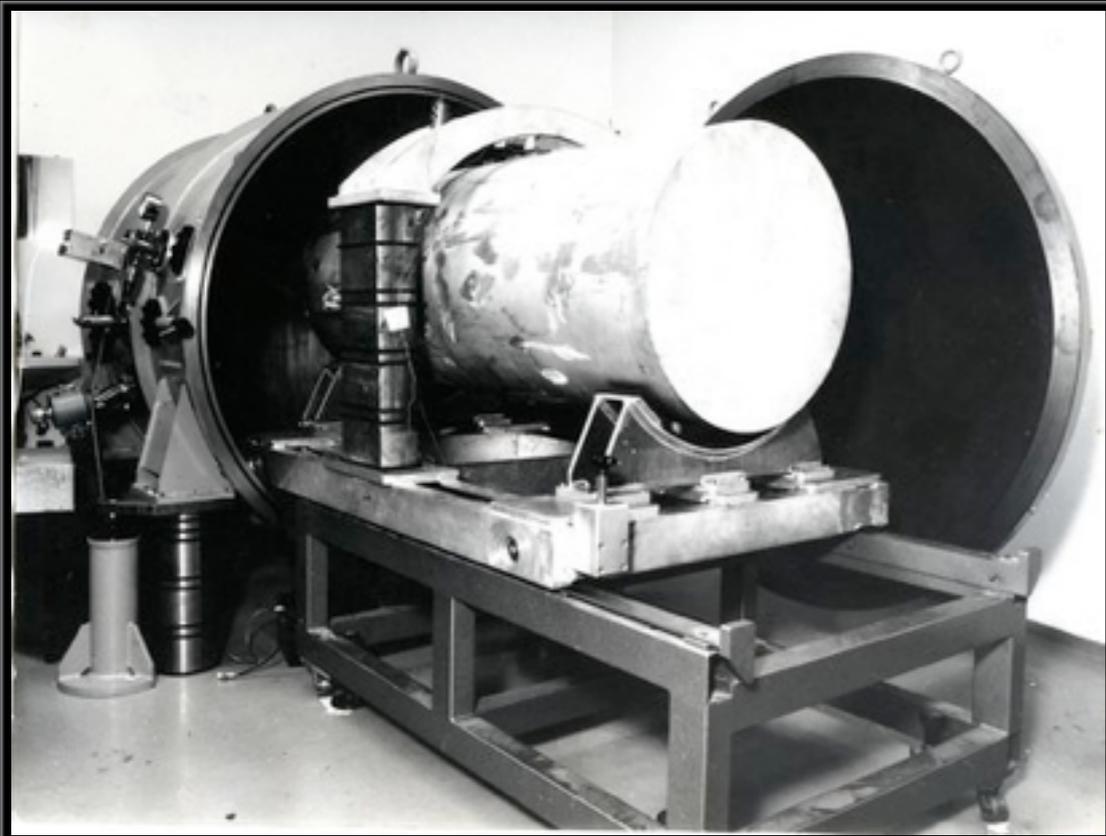


Il pioniere della ricerca delle onde gravitazionali

Joseph Weber

(1919-2000)

Barra di 1 tonno di Alluminio, sospesa a un filo e isolata dall'ambiente.
I sensori sulla barra avrebbero rivelato le vibrazioni indotte dal passaggio dell'onda.



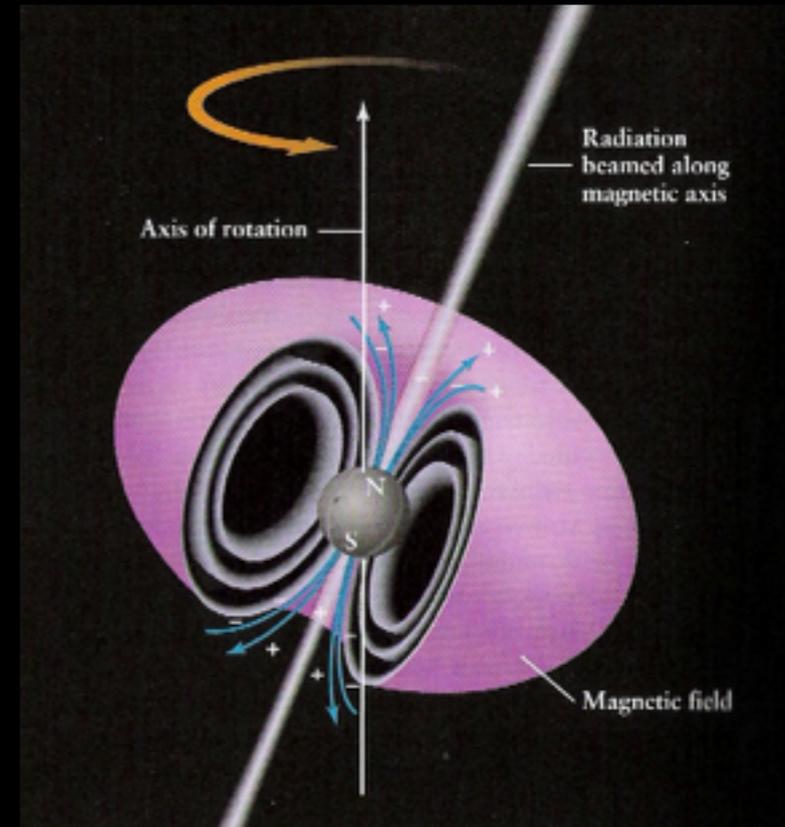
La pulsar binaria Hulse-Taylor (1974)



Russel A. Hulse



Joseph Taylor



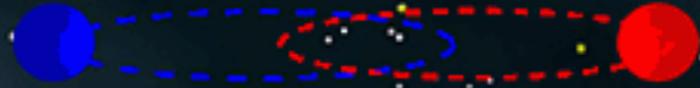
NOBEL 1993

per la scoperta di un nuovo tipo di pulsar, che apre nuove strade per lo studio della gravita'

La pulsar e` in orbita con un'altra stella.
La RG ci dice che un sistema binario emette onde gravitazionali e che il periodo orbitale lentamente diminuisce, fino alla collisione finale.

PSR B1913+16

1.9 Mill. km



unseen

$$M_C = 1.39 M_\odot$$

$$P_b = 7.8h$$

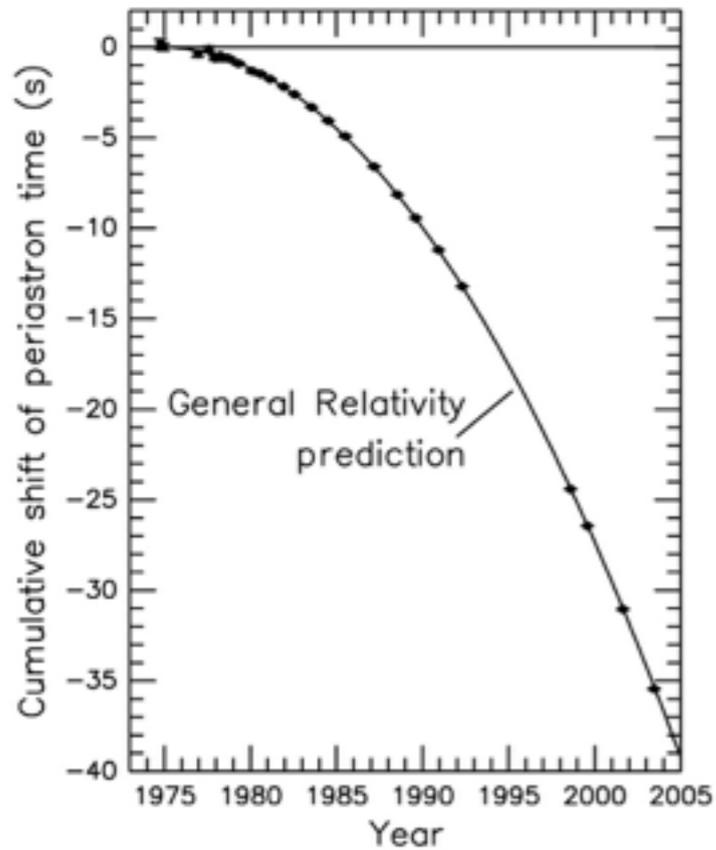
$$P = 59ms$$

$$M_p = 1.44 M_\odot$$

$$e = 0.617$$

ARECIBO (305 m) - USA

$\lambda = 3 - 100 \text{ cm}$





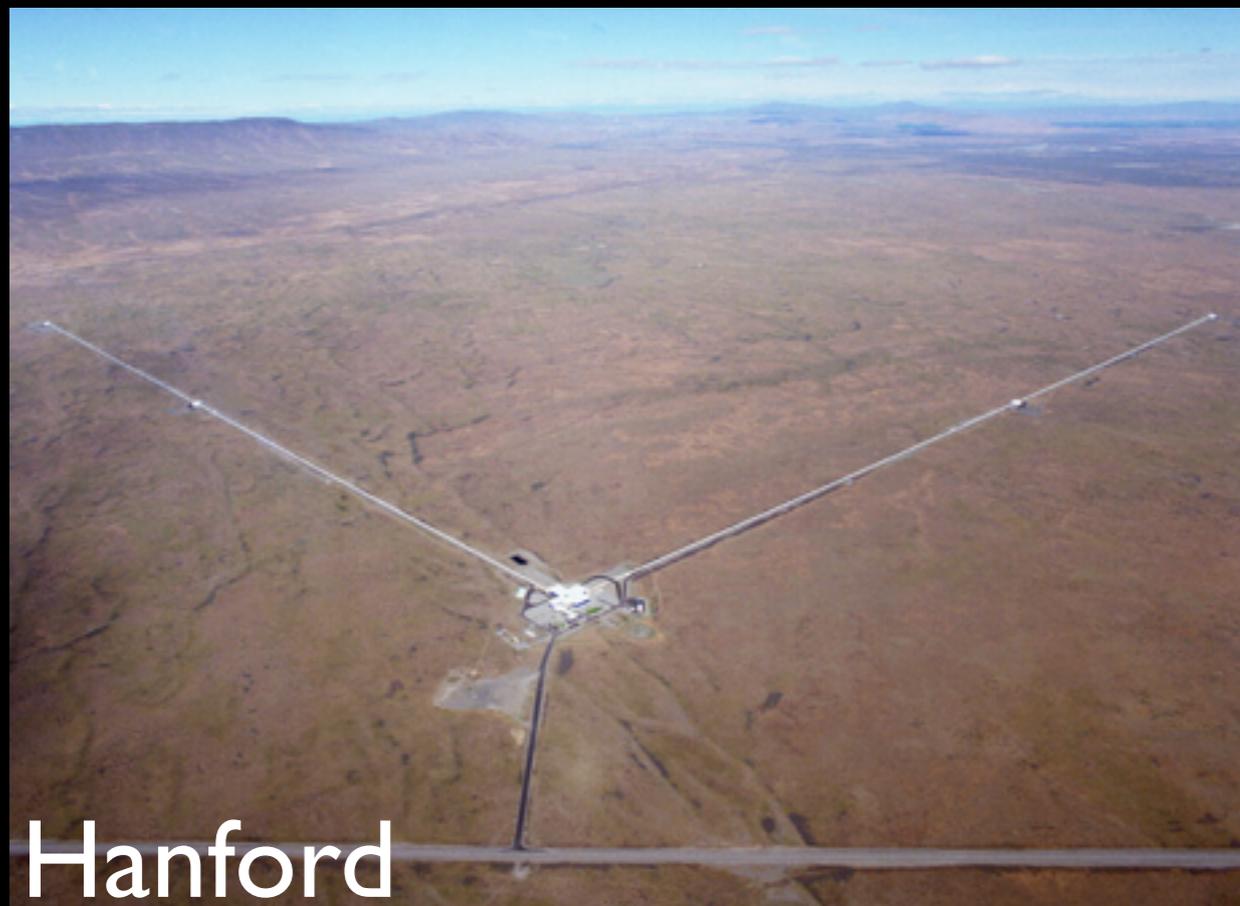
Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.**

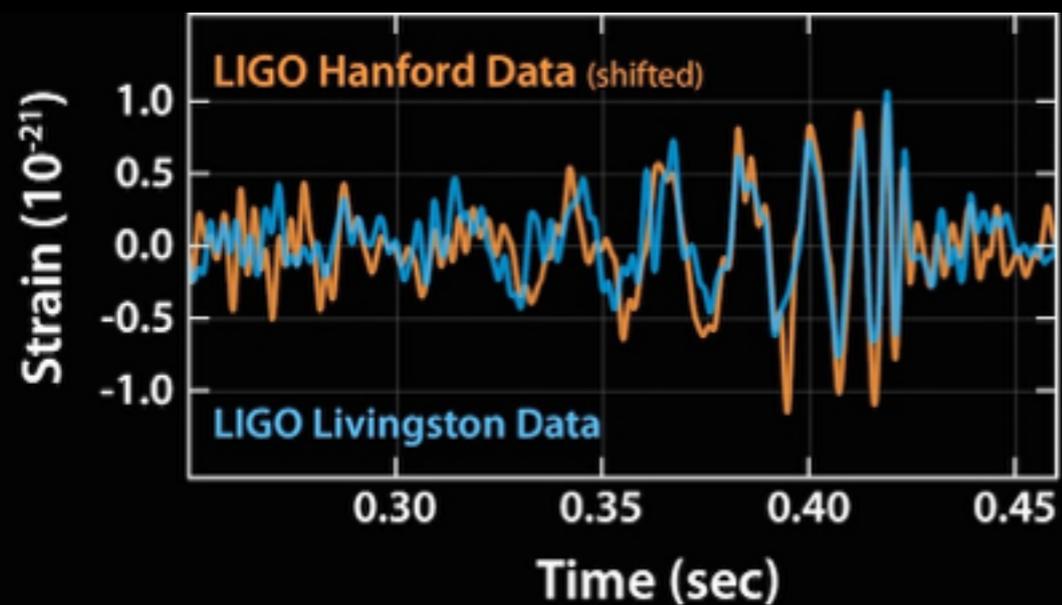
(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

On September 14, 2015 at 09:50:45 UTC the two detectors of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory simultaneously observed a transient gravitational-wave signal. The signal sweeps upwards in frequency from 35 to 250 Hz with a peak gravitational-wave strain of 1.0×10^{-21} . It matches the waveform predicted by general relativity for the inspiral and merger of a pair of black holes and the ringdown of the resulting single black hole. The signal was observed with a matched-filter signal-to-noise ratio of 24 and a false alarm rate estimated to be less than 1 event per 203 000 years, equivalent to a significance greater than 5.1σ . The source lies at a luminosity distance of 410_{-180}^{+160} Mpc corresponding to a redshift $z = 0.09_{-0.04}^{+0.03}$. In the source frame, the initial black hole masses are $36_{-4}^{+5} M_{\odot}$ and $29_{-4}^{+4} M_{\odot}$, and the final black hole mass is $62_{-4}^{+4} M_{\odot}$, with $3.0_{-0.5}^{+0.5} M_{\odot} c^2$ radiated in gravitational waves. All uncertainties define 90% credible intervals. These observations demonstrate the existence of binary stellar-mass black hole systems. This is the first direct detection of gravitational waves and the first observation of a binary black hole merger.

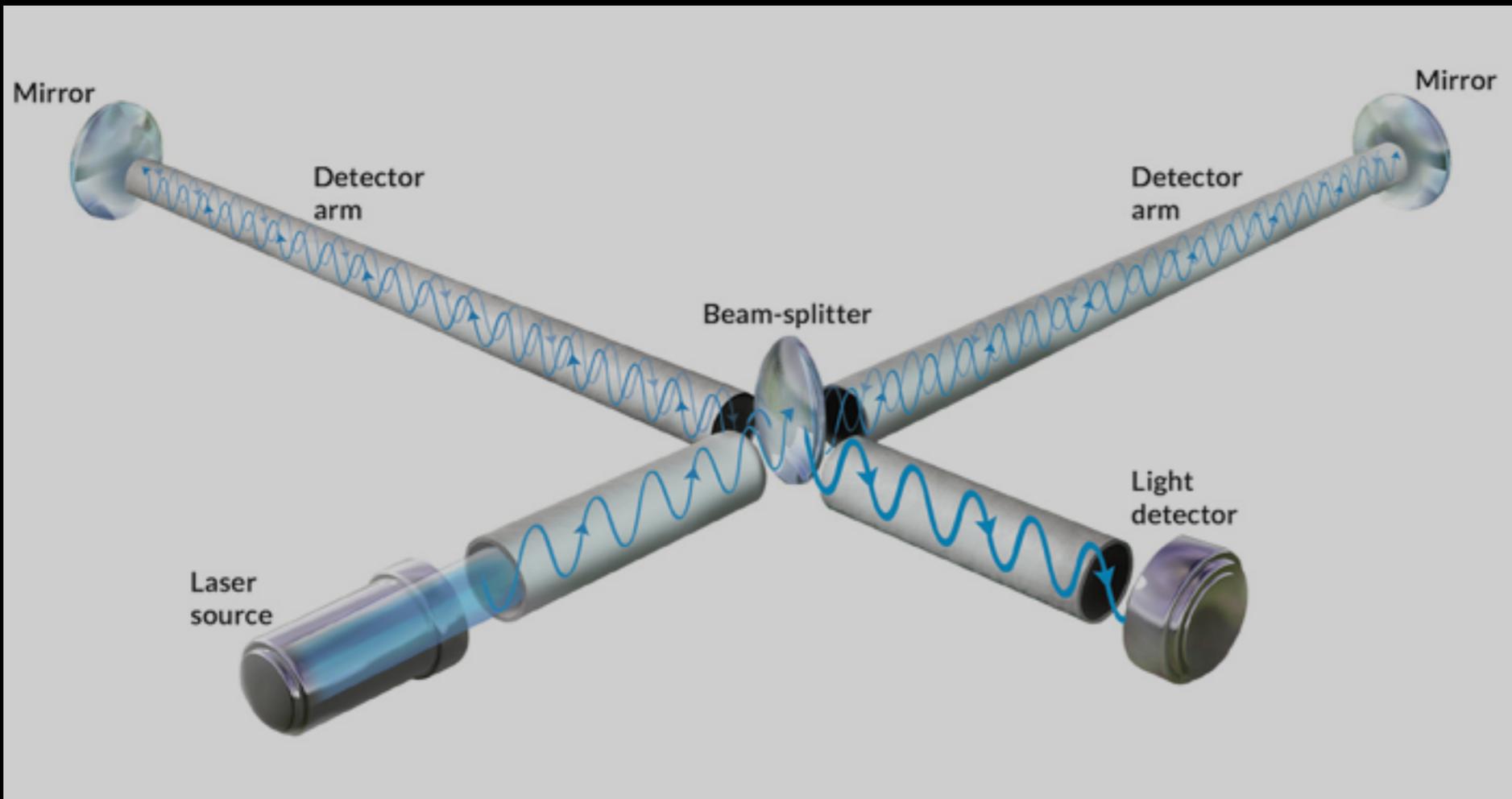


Laser
Interferometer
Gravitational Wave
Observatory
MIT & Caltech



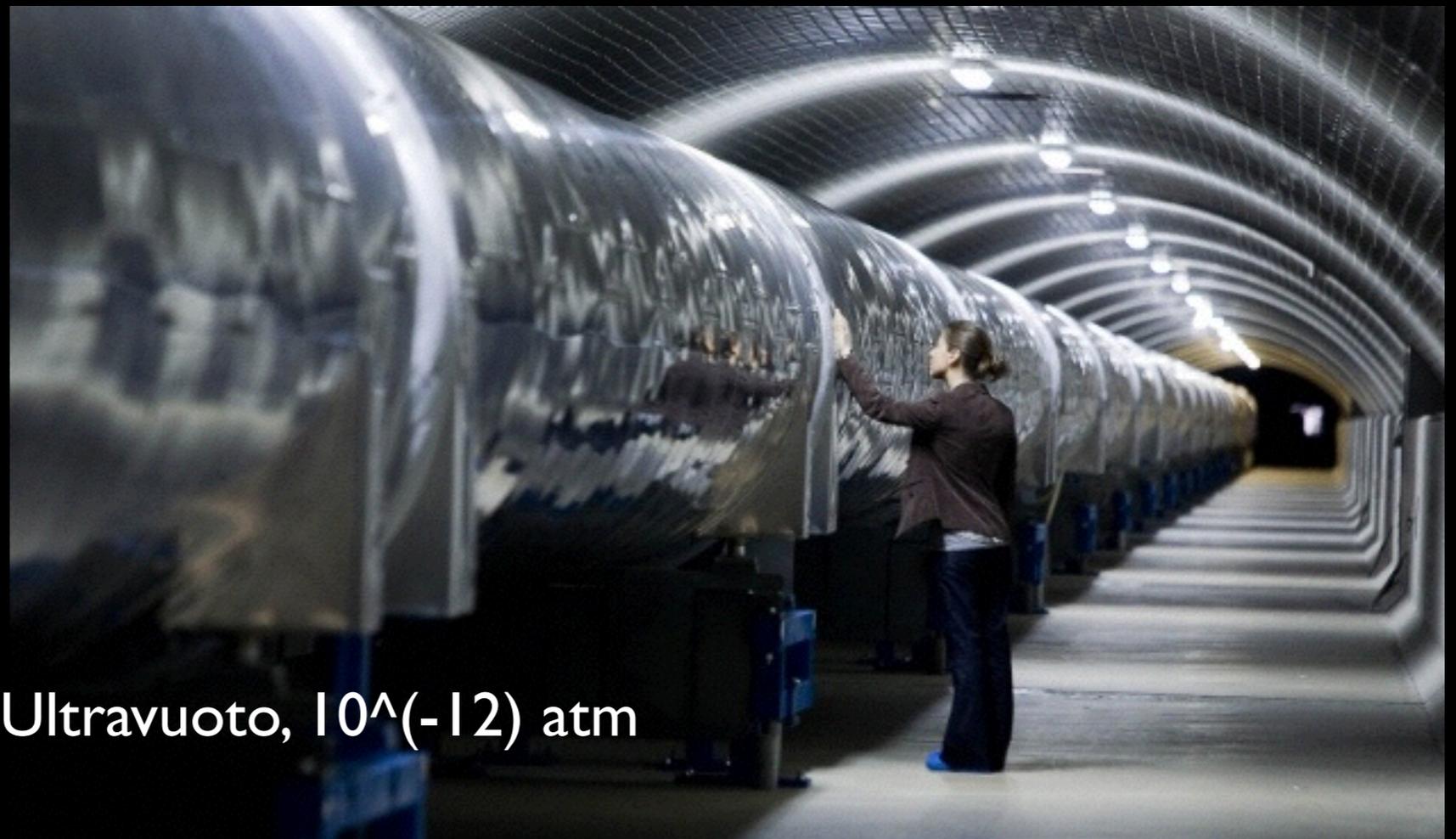
VIRGO (Cascina - Pisa)





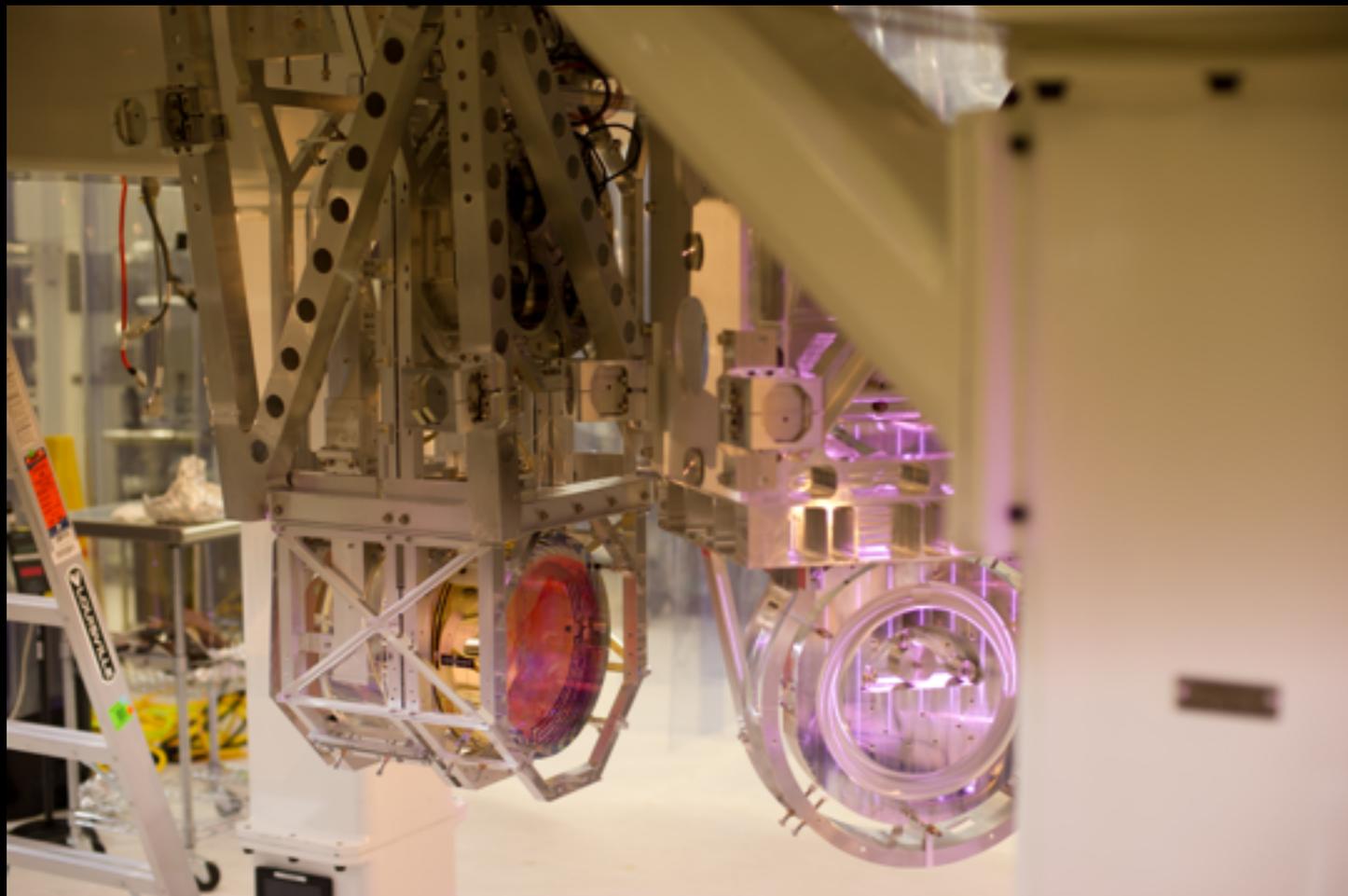
L'onda gravitazionale modifica la lunghezza del braccio di circa 1/1000 del diametro di un protone

I bracci di 3 km sono percorsi 50 volte dai fasci laser prima di combinarsi, dove la figura di interferenza rivela le variazioni di lunghezza

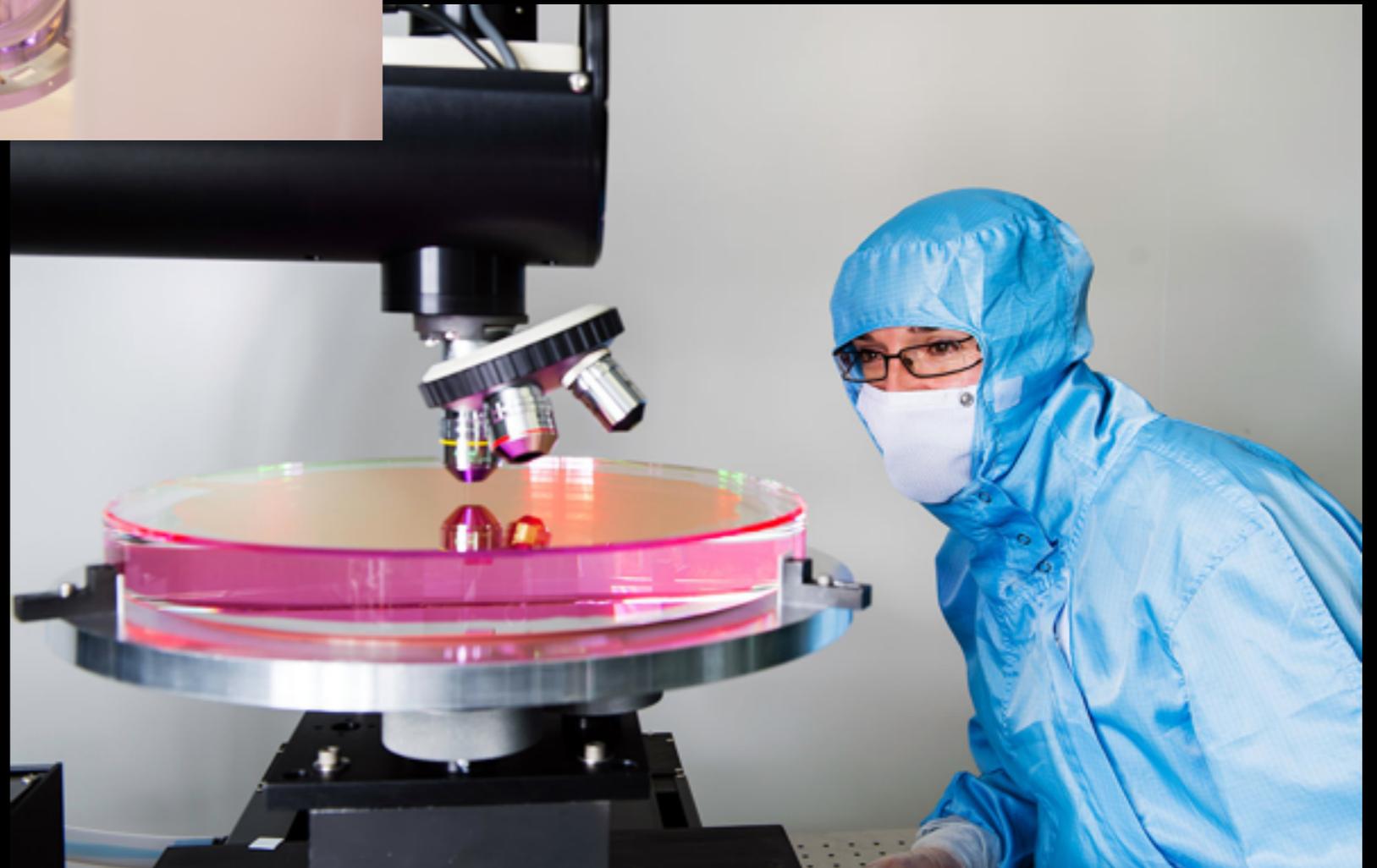


Laser 1064 nm (IR), 200 W

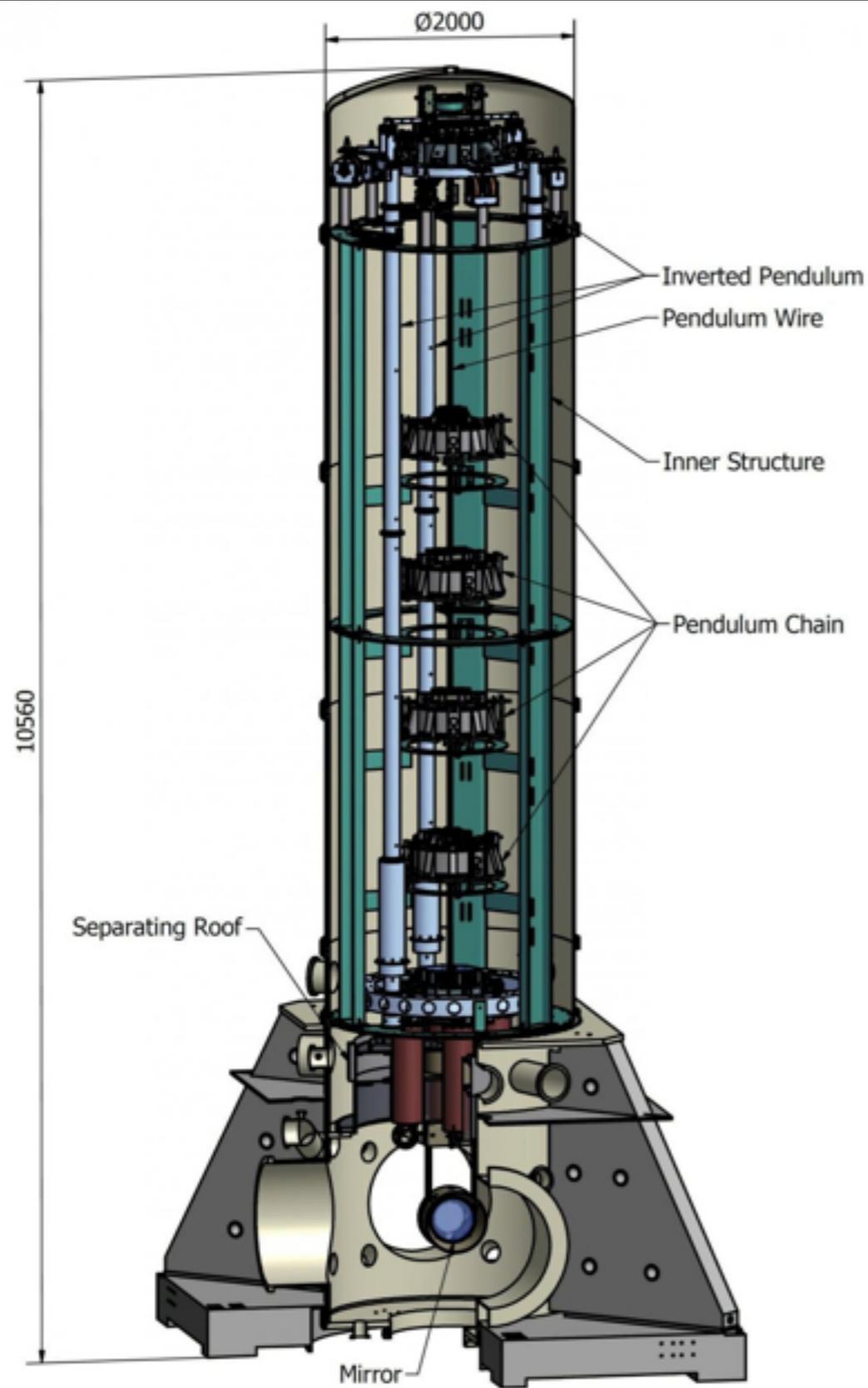
Ultravuoto, 10^{-12} atm

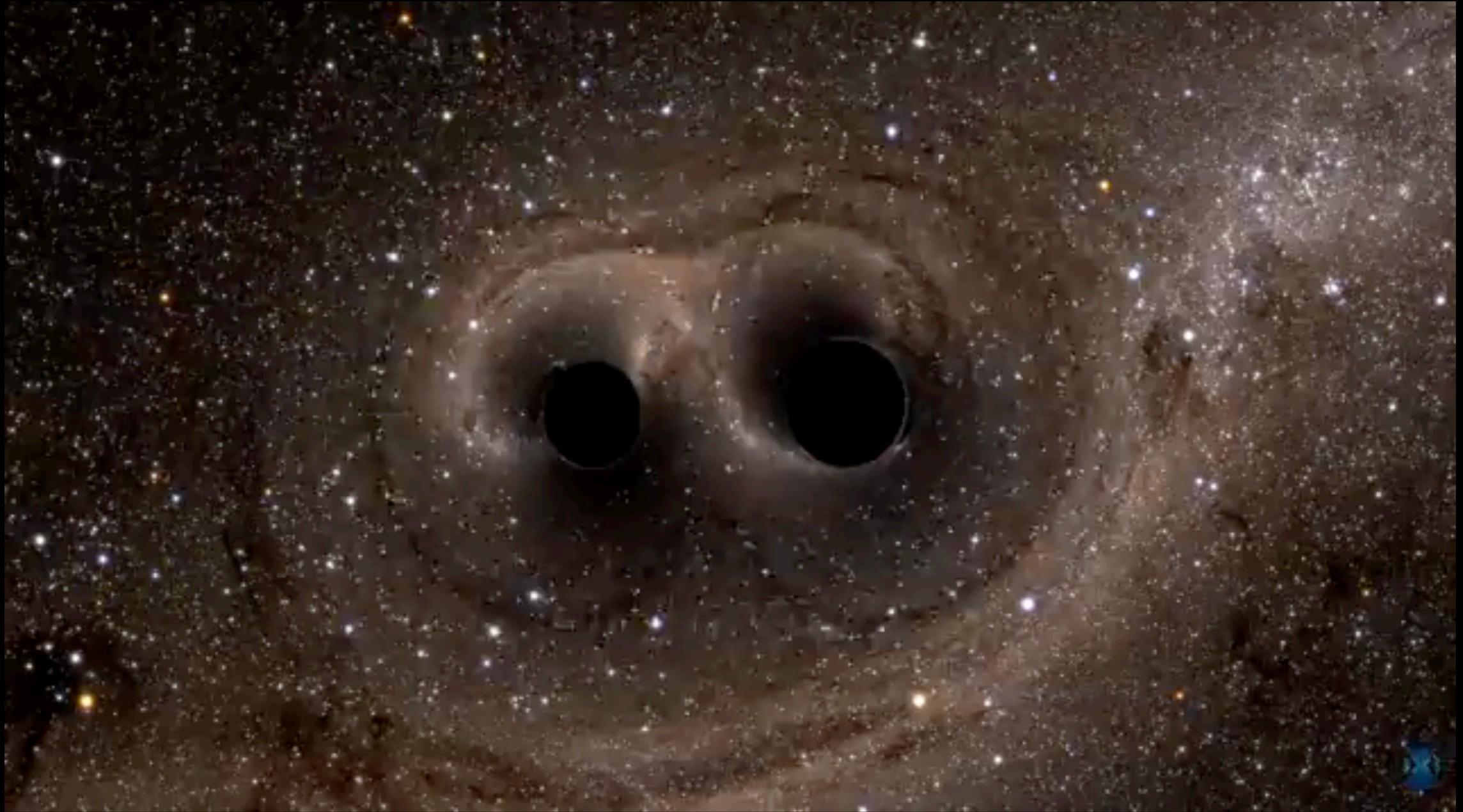


Gli specchi, diametro 35 cm e 40 kg,
sono lavorati con precisione atomica
ultrariflettenti 99.99 %
sospesi a fili dello stesso vetro
L'ultra vuoto limita gli urti molecolari

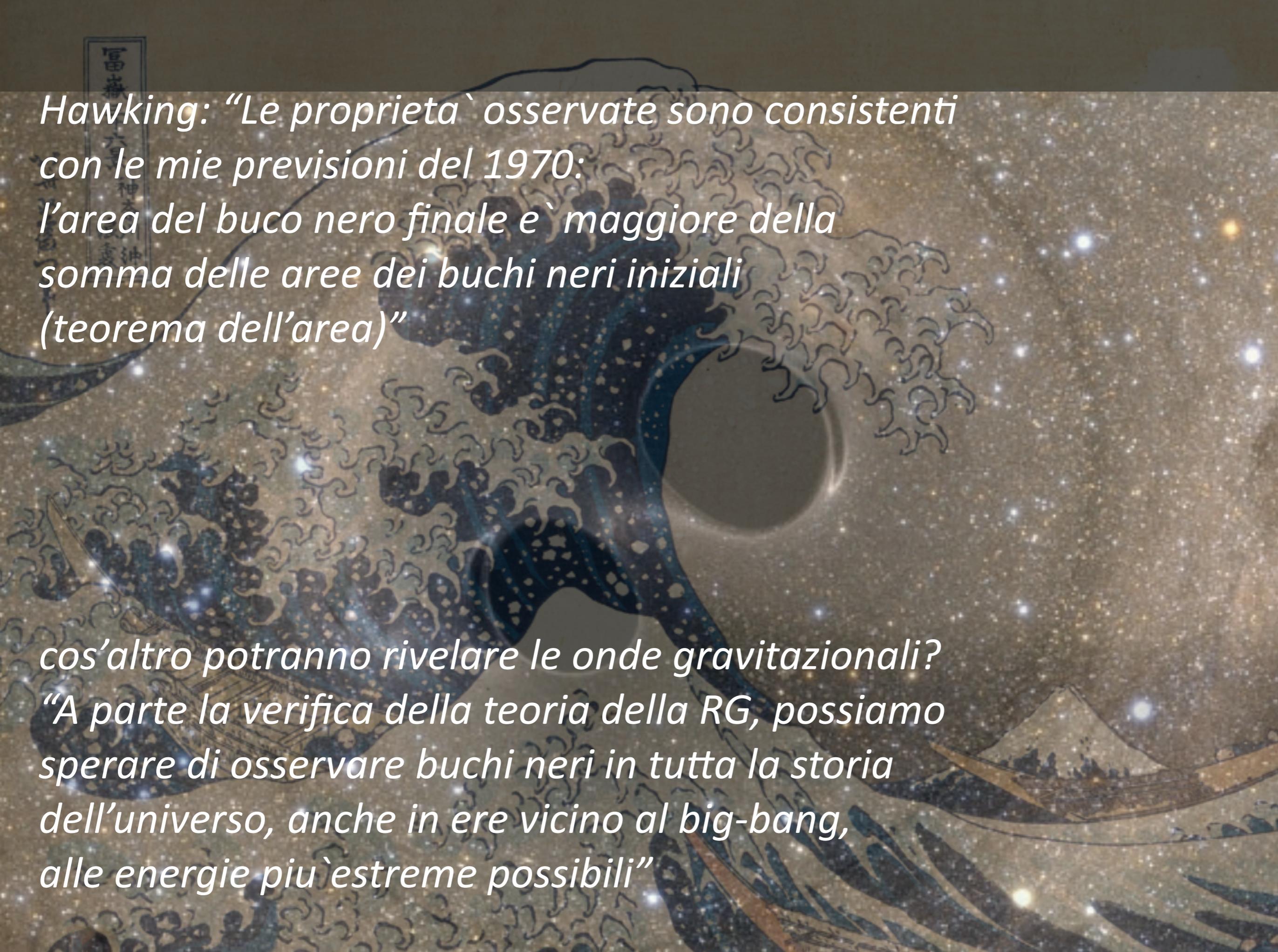


attenuatori sismici di Virgo





VIDEO BH MERGING



Hawking: "Le proprietà osservate sono consistenti con le mie previsioni del 1970: l'area del buco nero finale è maggiore della somma delle aree dei buchi neri iniziali (teorema dell'area)"

*cos'altro potranno rivelare le onde gravitazionali?
"A parte la verifica della teoria della RG, possiamo sperare di osservare buchi neri in tutta la storia dell'universo, anche in ere vicino al big-bang, alle energie più estreme possibili"*

August 17, 2017

August 21, 2017

Fermi Gamma ray
space-telescope

L'alba del'astronomia *multimessenger*

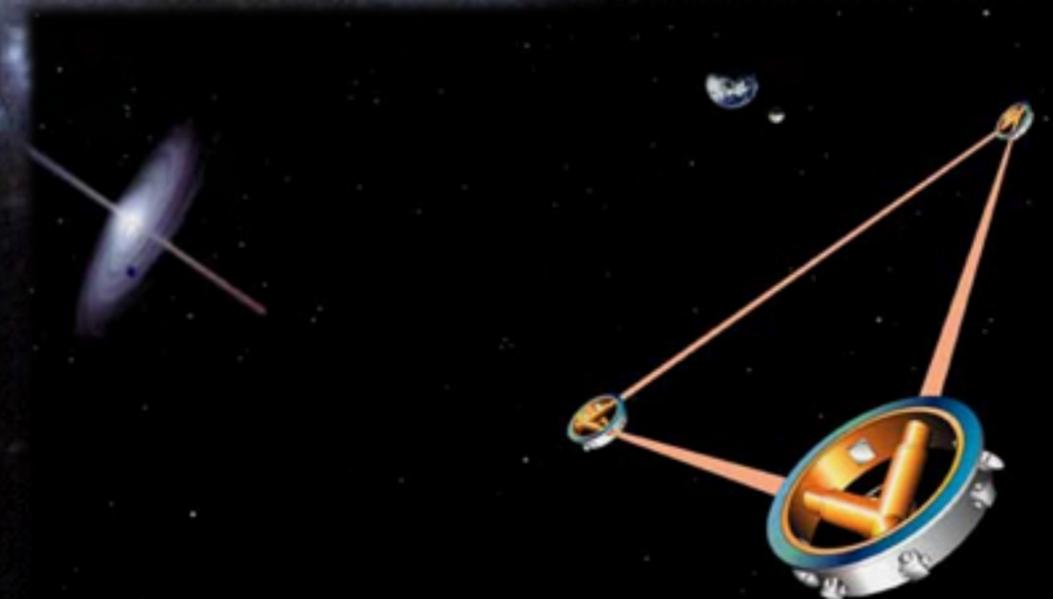
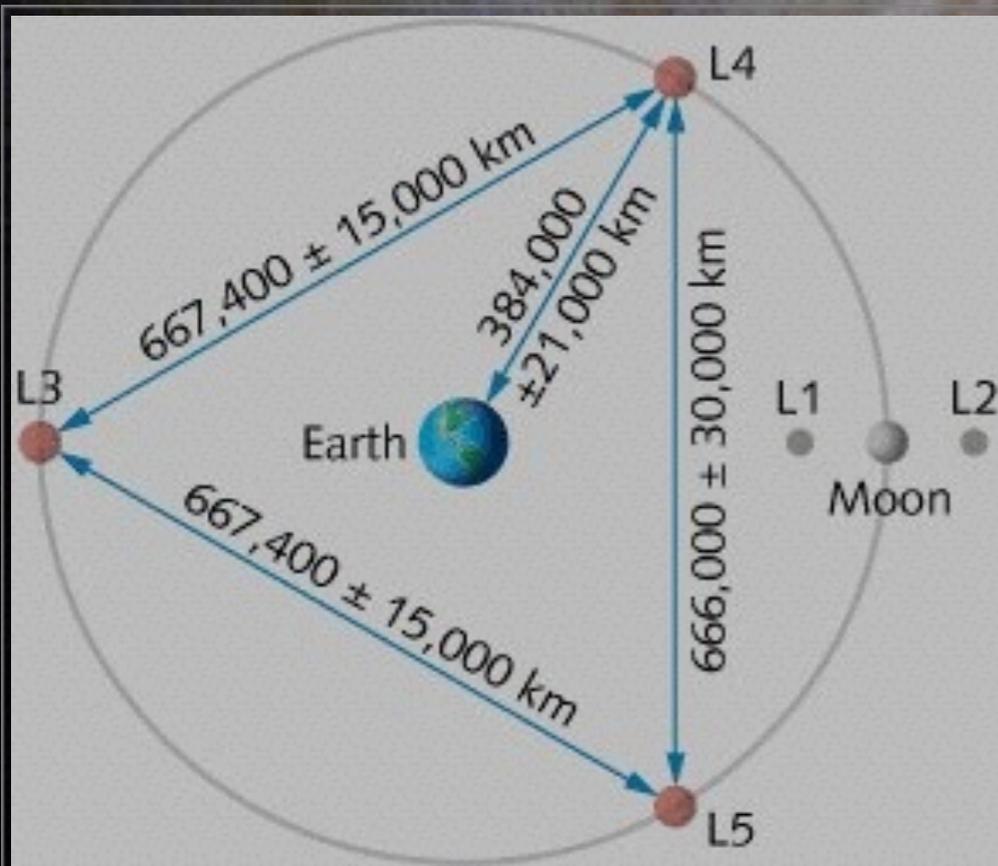
Il 17 agosto 2017 le antenne gravitazionali LIGO and VIRGO captarono onde gravitazionali per circa 90 sec. Dopo 2 secondi il FERMI *Gamma-Ray Space Telescope* registro` un lampo gamma nel cielo australe: la collisione di due stelle di neutroni \rightarrow BH ? Nelle settimane successive, 70 telescopi nello spazio e a terra raccolsero dati sulla sorgente in tutto lo spettro e.m. Il lampo avvenne a circa 130 million A.L. di distanza, nella galassia ellittica NGC 4993, nella costellazione dell'Hydra.



ESO/H.H. Heyer

LAGRANGE

stelle binarie, BN super massicci
(galassie), fusione di BN superm.



GRAZIE PER
L'ATTENZIONE

Lorenzo Quinn
le forze della natura

