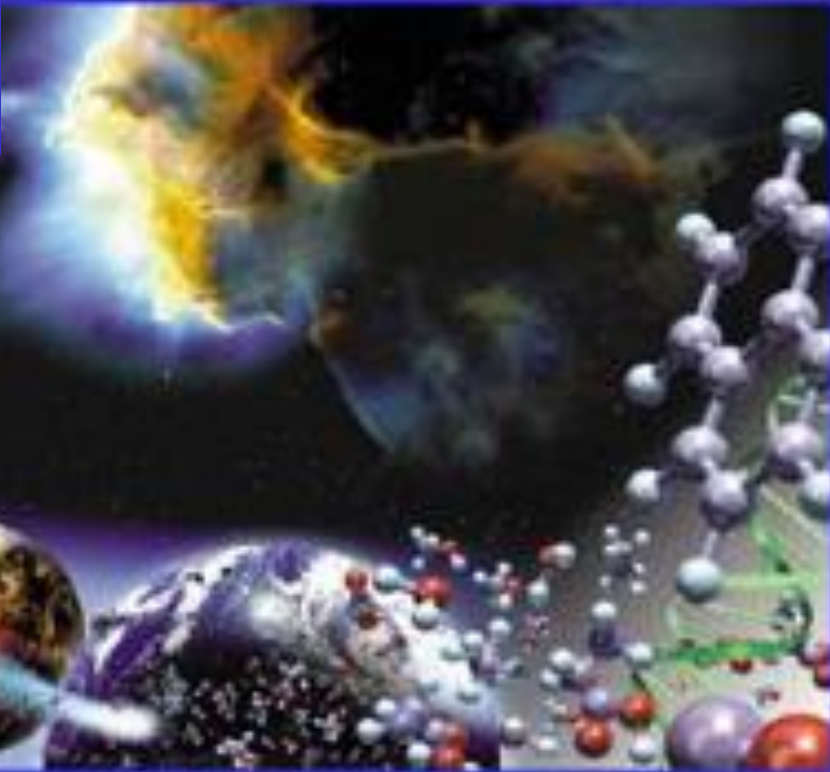
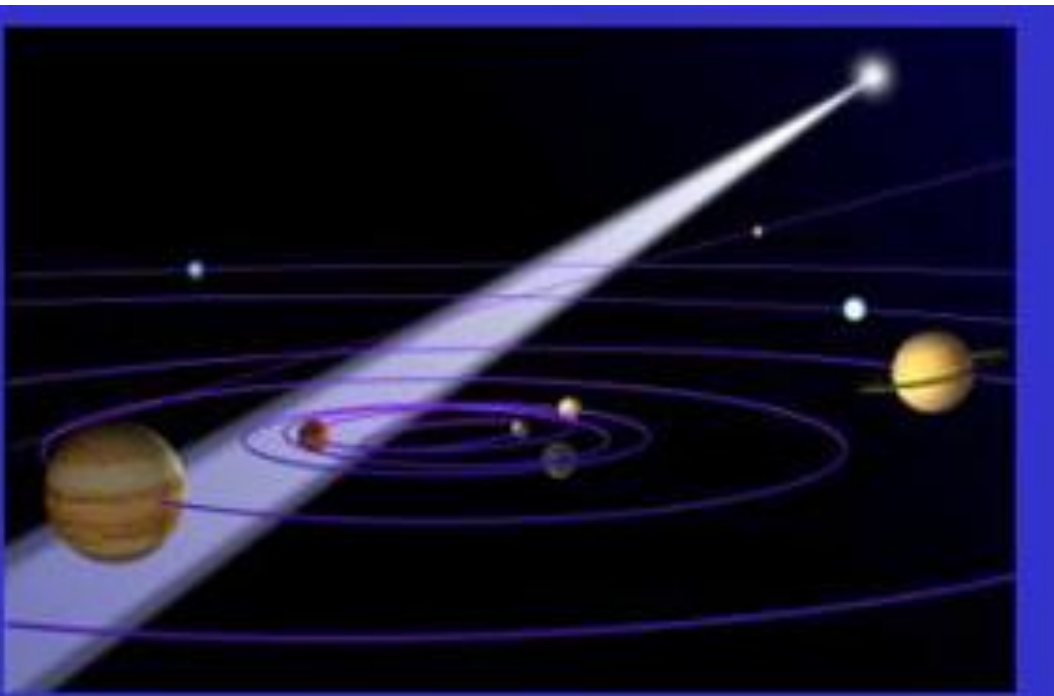




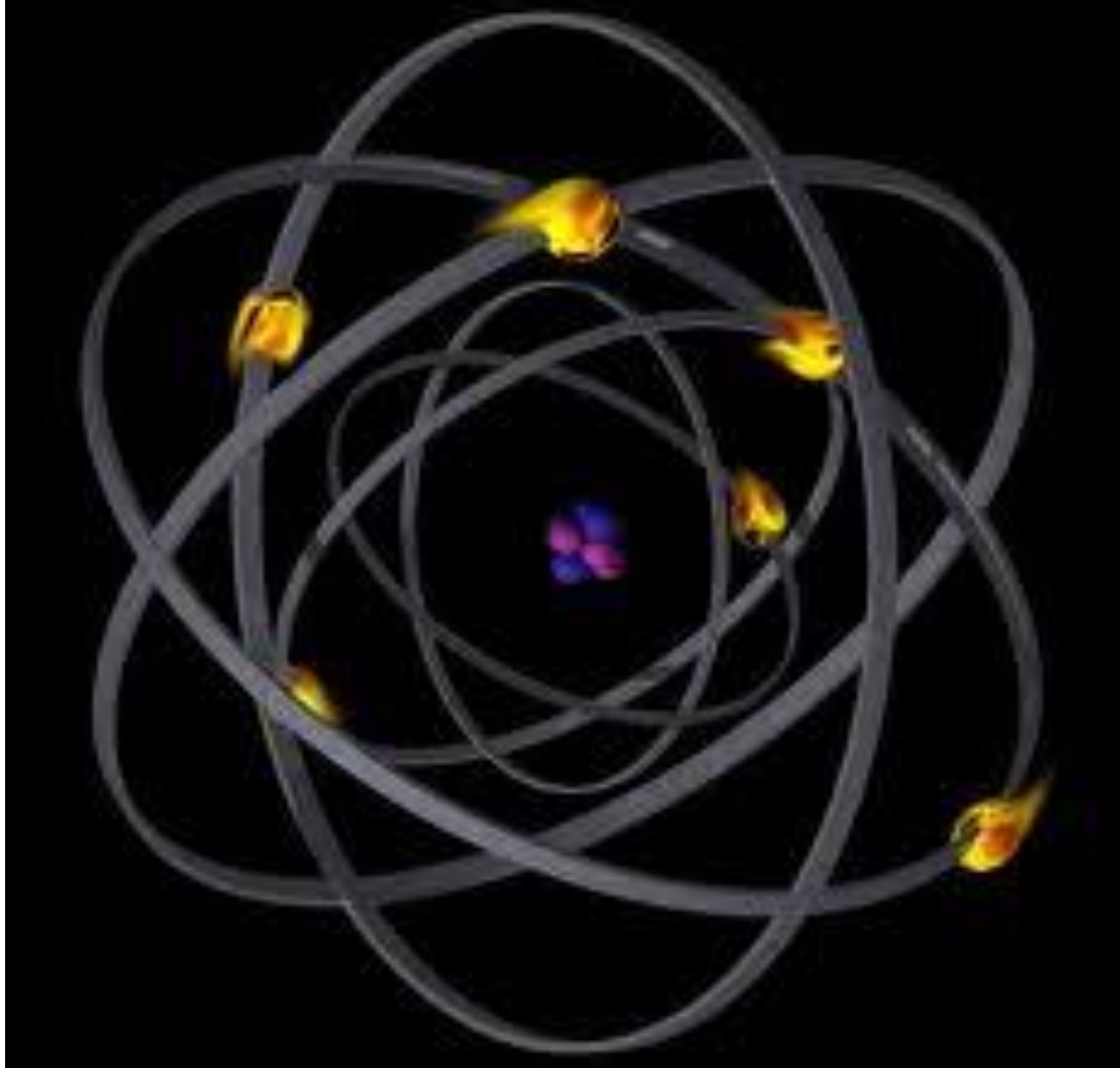
**Dal Big Bang a oggi: atomi,
bosoni di Higgs, materia ed
energia oscure.
Quo Vadis Fisica?**

**Catalina Curceanu, LNF-INFN
Telesì@, Telesse Terme, 13 Dicembre 2014**





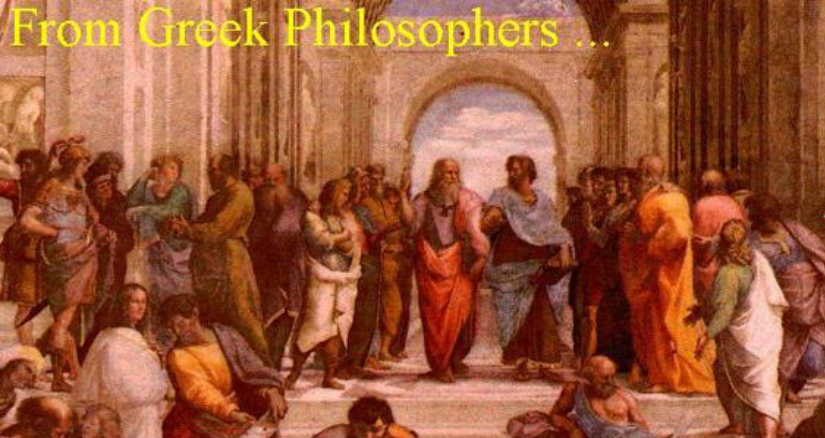




“Se in un cataclisma andasse distrutta tutta la conoscenza scientifica, e soltanto una frase potesse essere trasmessa alle generazioni successive, **quale affermazione conterrebbe la massima quantità di informazioni nel numero minimo di parole?** Io credo che sarebbe **l'ipotesi atomica** (o dato di fatto atomico, o comunque vogliamo chiamarlo) secondo cui tutte le cose sono fatte di atomi, piccole particelle che si agitano con un moto perpetuo, attraendosi quando sono un po' distanti una dall'altra, ma respingendosi quando sono schiacciate una contro l'altra. **In questa singola frase c'è un'enorme quantità di informazione sul mondo che ci circonda, se soltanto ci si riflette sopra con un po' di immaginazione.**”

Richard Feynman, *Sei pezzi facili*

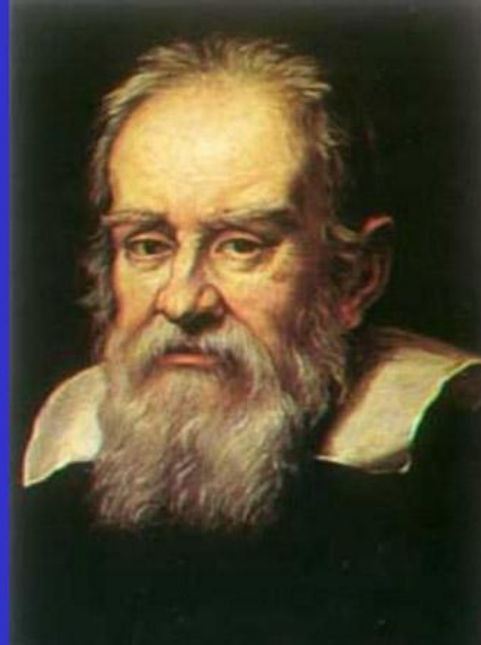
From Greek Philosophers ...



"There are infinite worlds both like and unlike this world of ours... We must believe that in all worlds there are living creatures and plants and other things we see in this world." --- Epicurus (c. 300 B.C)

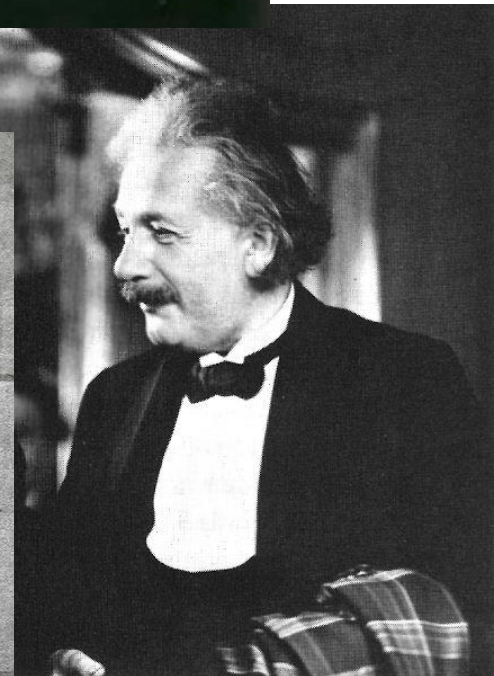
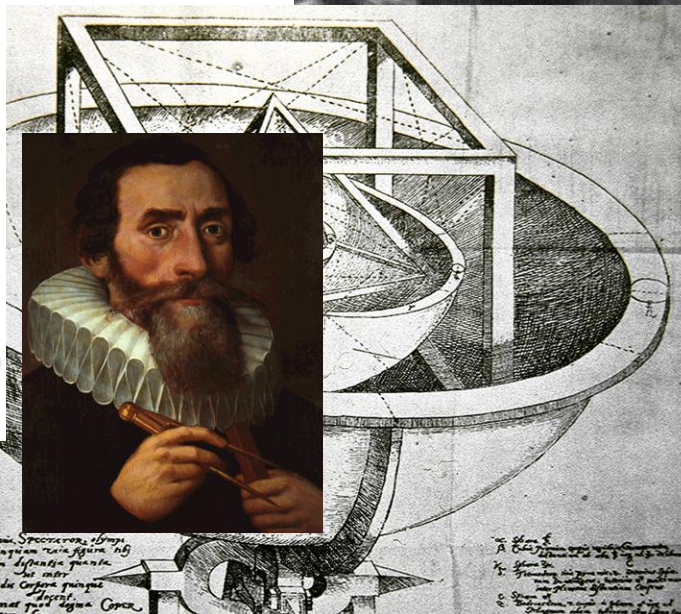
...to Medieval Scholars...

"I [regard] ... as false and damnable the view of those who would put inhabitants on Jupiter, Venus, and Saturn, and the moon, meaning by 'inhabitants' animals like ours and men in particular."

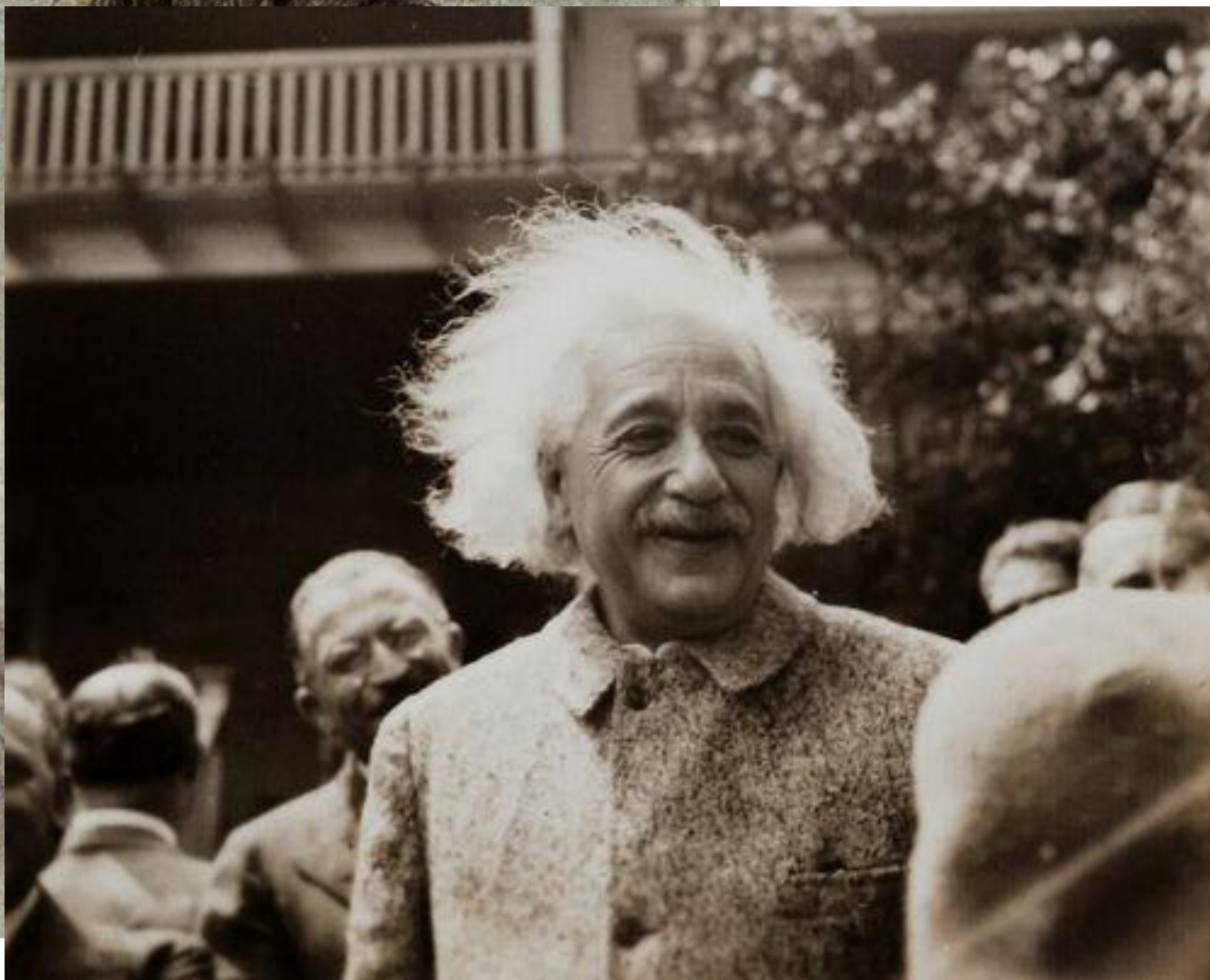


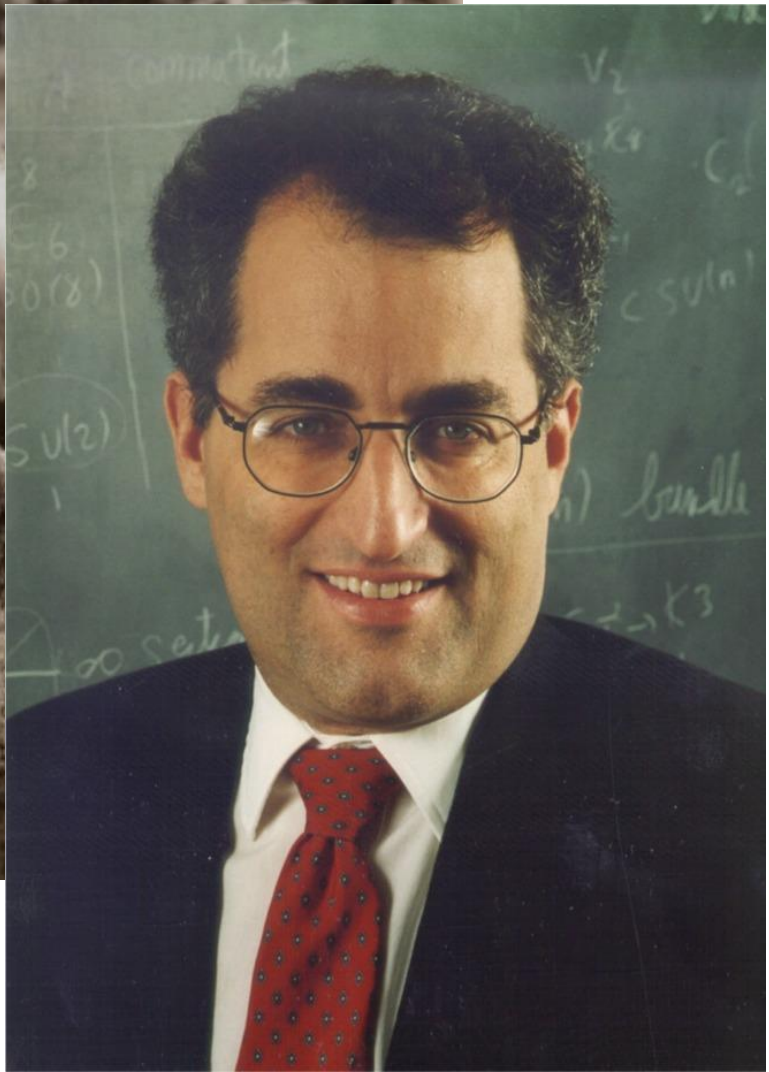
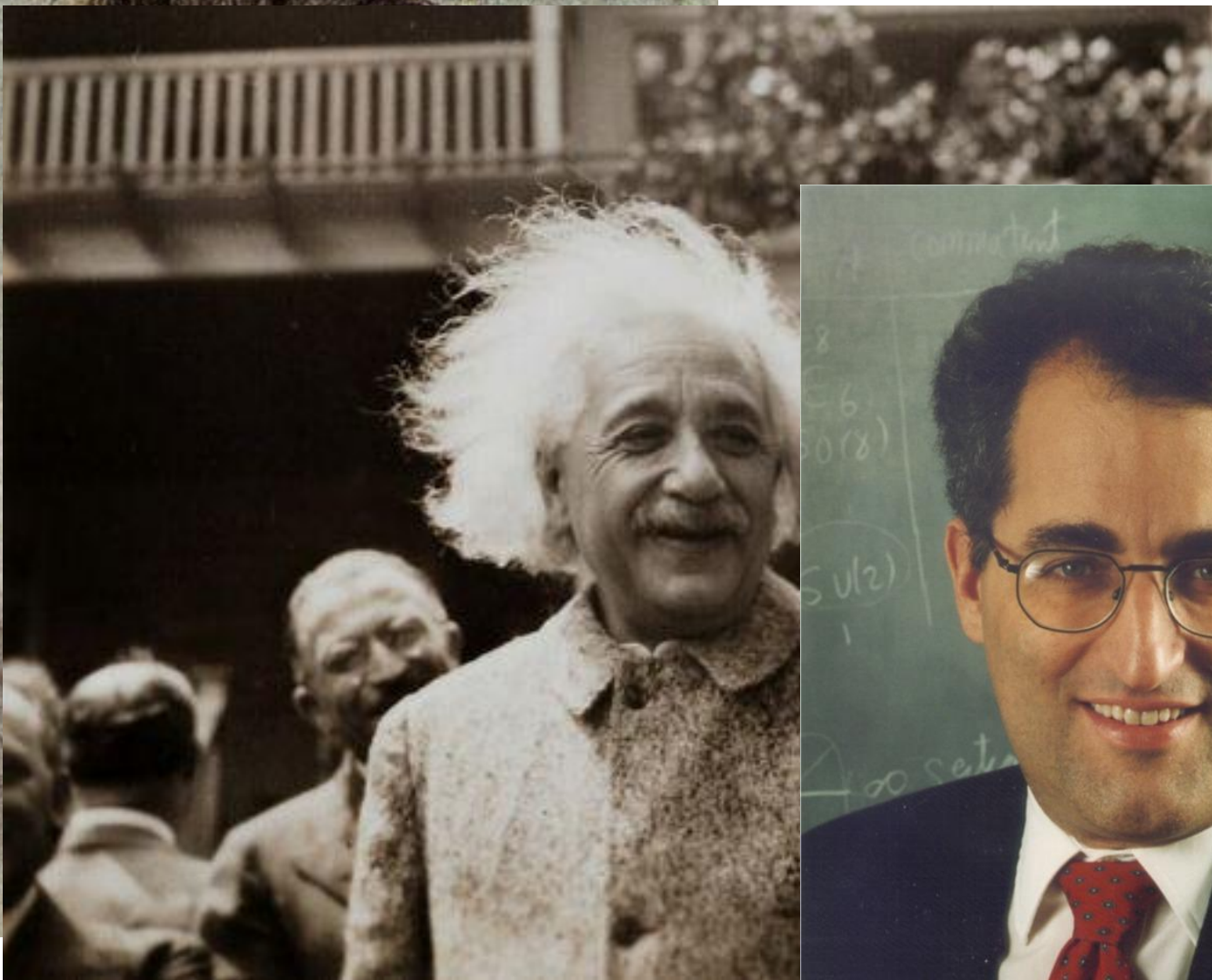
...and Medieval Martyrs...

"There are countless suns and countless earths all rotating around their suns in exactly the same way as the seven planets of our system. We see only the suns because they are the largest bodies and are luminous but their planets remain invisible to us because they are smaller and non-luminous. The countless worlds in the universe are no worse and no less inhabited than our Earth"
Giordano Bruno (1584)
in *De L'infinito Universo E Mondi*











$$(\mathcal{D}_\mu \phi)^\dagger \mathcal{D}^\mu \phi - \mathcal{V}(\phi) - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

$$\mathcal{D}_\mu \phi = \partial_\mu \phi - ie A_\mu \phi$$

$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$$

$$\mathcal{V}(\phi) = \alpha \phi^\dagger \phi + \beta (\phi^\dagger \phi)^2$$

$$\alpha < 0, \beta \geq 0$$

Fisica Moderna:

Due **“rivoluzioni scientifiche”** stanno alla base della FISICA MODERNA – entrambe occorse nella prima metà’ del 20esimo secolo.

Tutto ciò e’ accaduto quando i fisici hanno provato (e riuscito) di estendere le leggi della fisica OLTRE l’esperienza di ogni giorno, oltre il senso comune

Hanno “partorito”:

- **La teoria della Relativita’**
- **La Meccanica Quantistica**

” Non troverai mai la verità se non sei disposto ad accettare anche ciò che non ti aspetti “. Eracrito

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

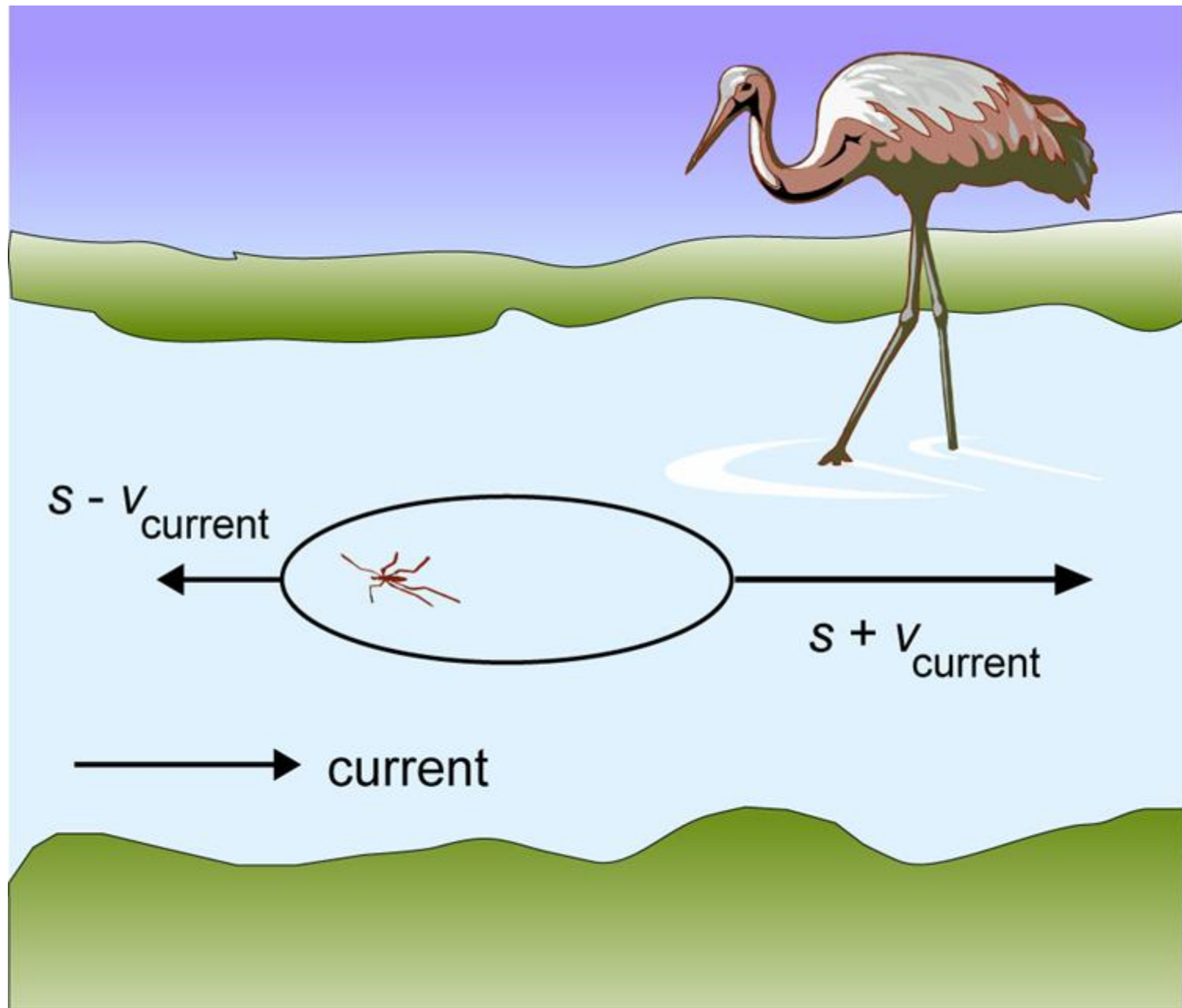
$$E = m c^2$$

La relativita' generale

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



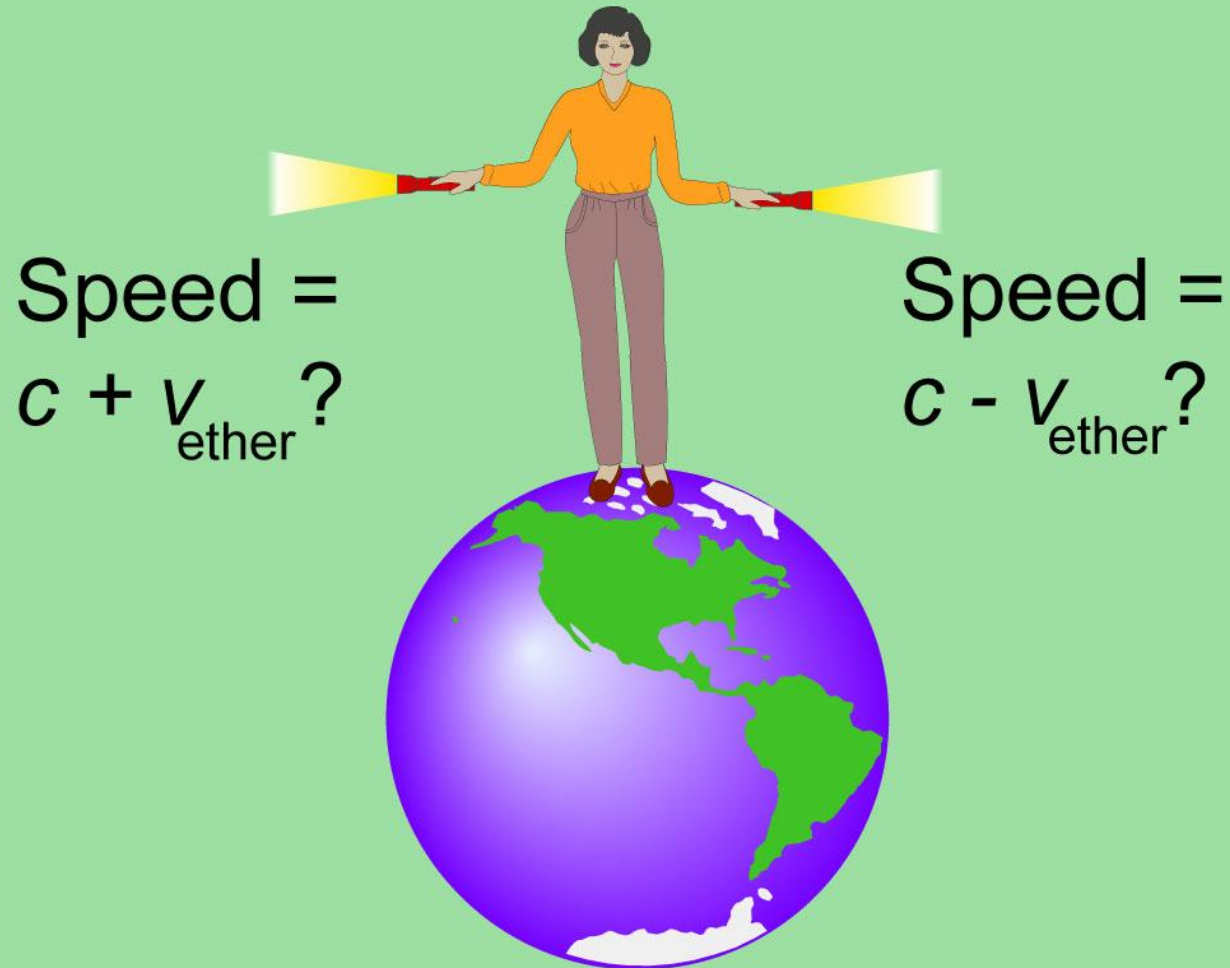
Einstein nel 1905, all'eta' di 26 anni



BUT at very high speed ($\rightarrow$ light speed)

Strange things happen....

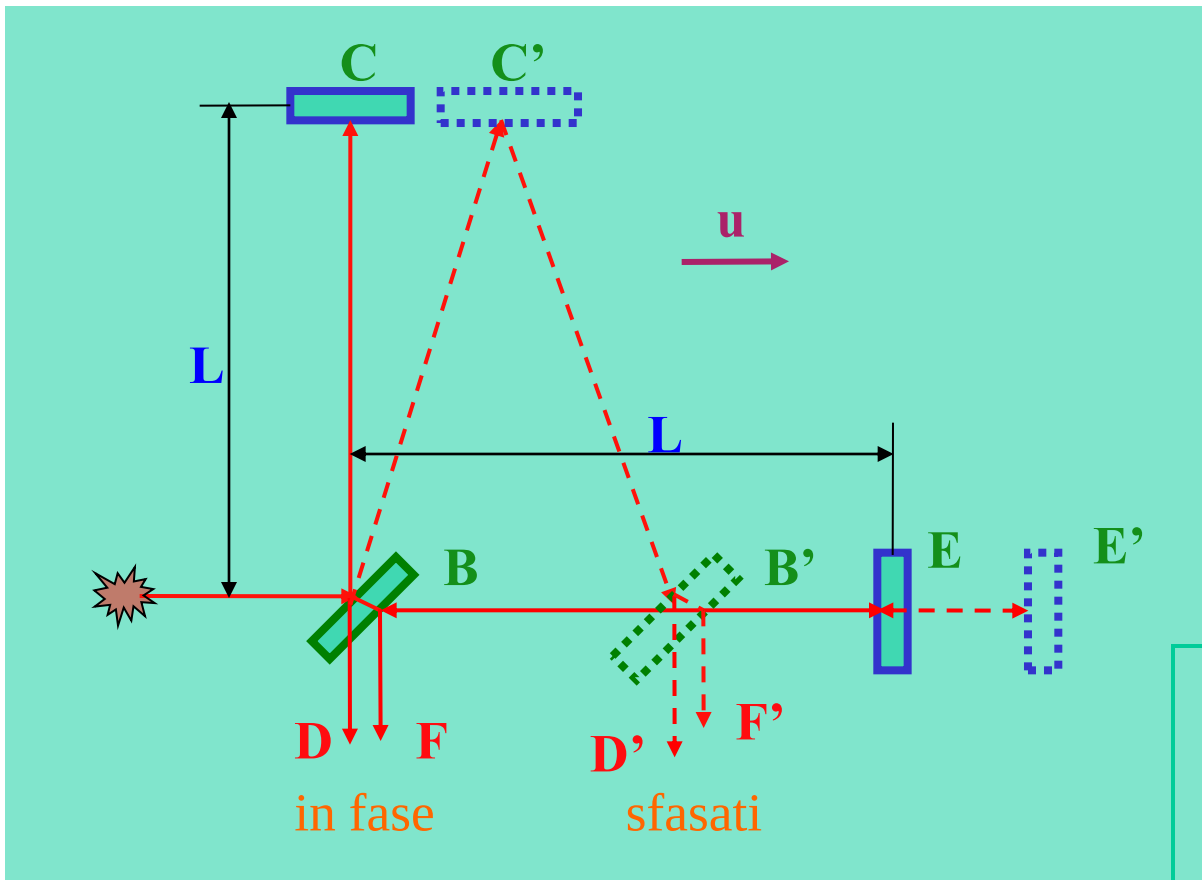
←
Ether?



Michelson & Morley

(1887)

Earth was supposed to move in ether



Interferometer

$$t_1 : B - E - B$$

$$t_2 : B - C - B$$

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

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

Michelson & Morley

Experimental observation:

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



Light speed is the same → no effect due to Earth moving in ether

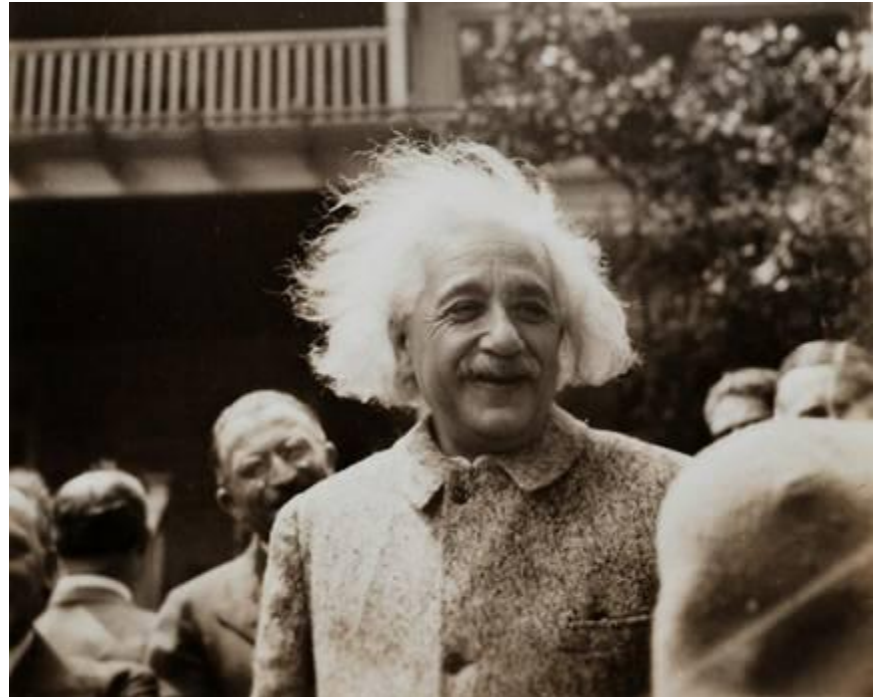


Two possible alternatives:

- 1) Light does not propagate in the same way in various reference systems – not same physics (Maxwewll laws)
- 2) Galileian transformations are not valid!

Einstein

(1905)



Einstein

(1905)



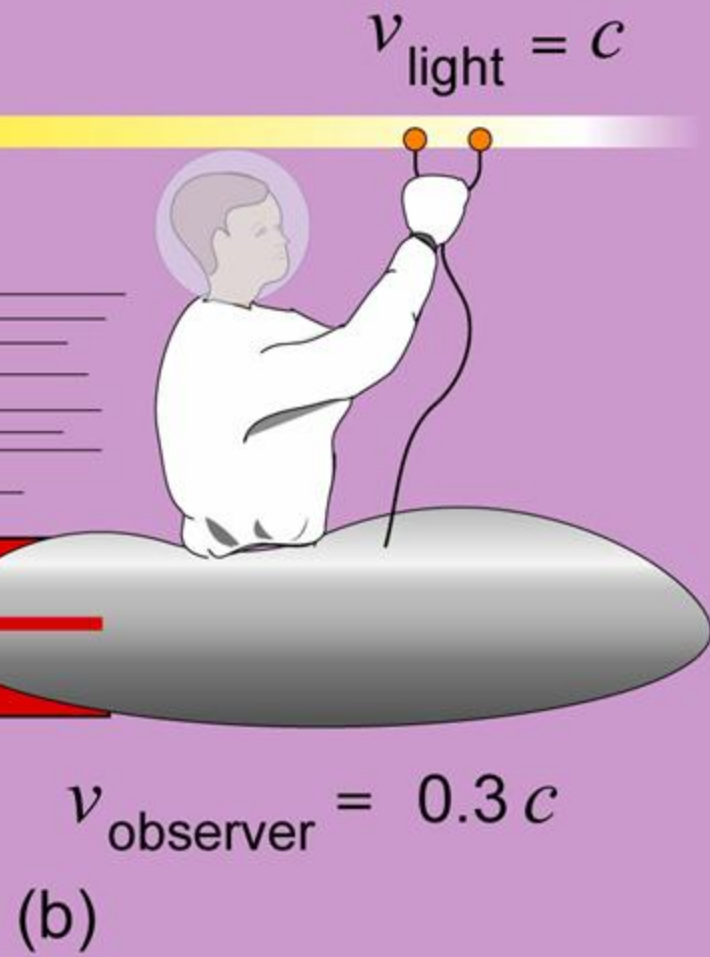
→ Theory of relativity – postulates:

P1 - laws of physics are the same in all inertial reference systems IRF

Than Maxwell eq. are ok if and only if:

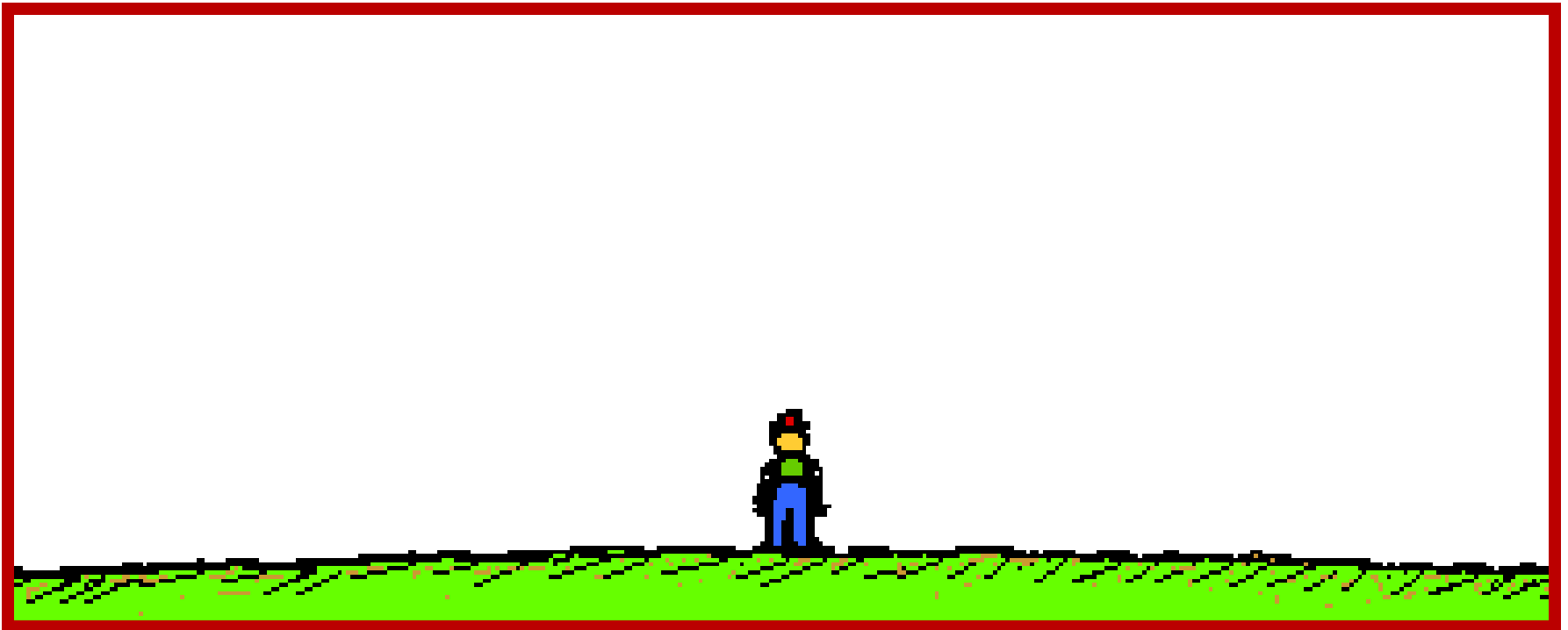
P2 - speed of light is the SAME in all IRS

→ Ether does not exist (not necessary)



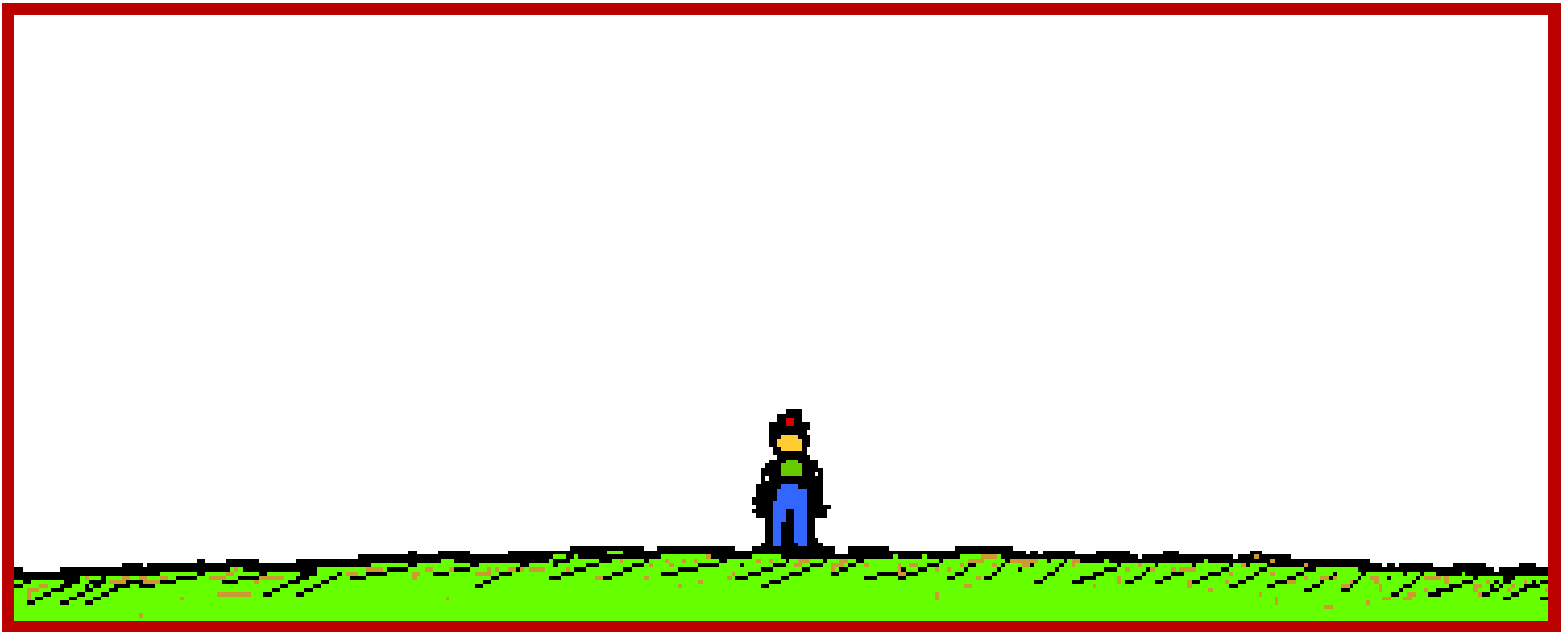
Contrazione delle lunghezze

- 10% velocità della luce



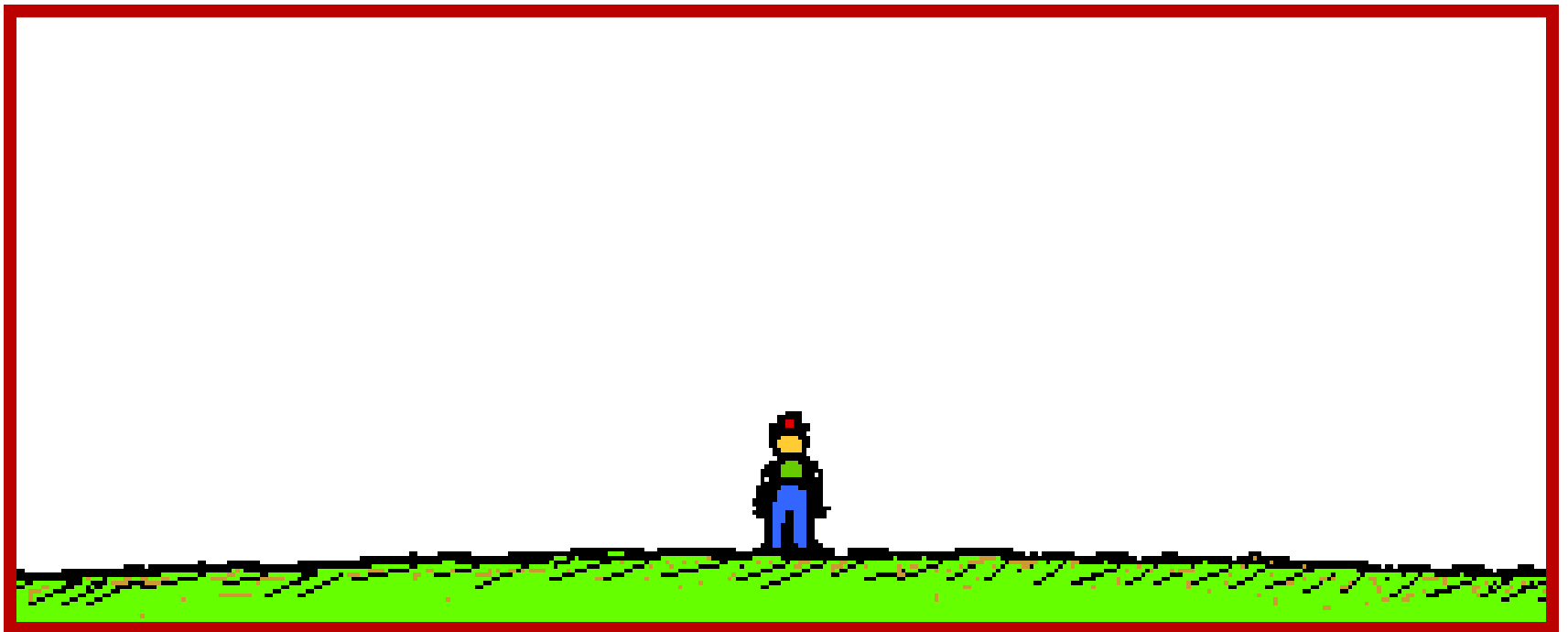
Contrazione delle lunghezze

- 86% velocità della luce



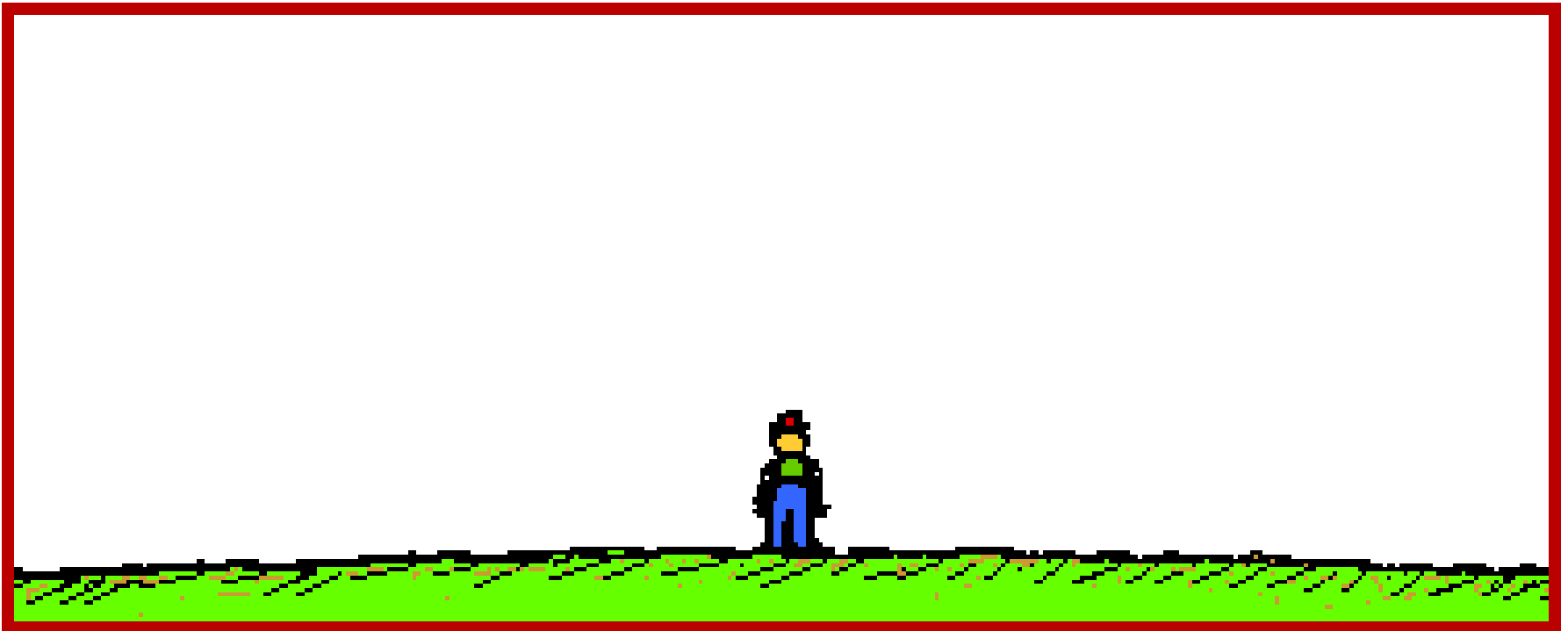
Contrazione delle lunghezze

- 99% velocità della luce



Contrazione delle lunghezze

- 99.99% velocità della luce



BACK TO THE FUTURE





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

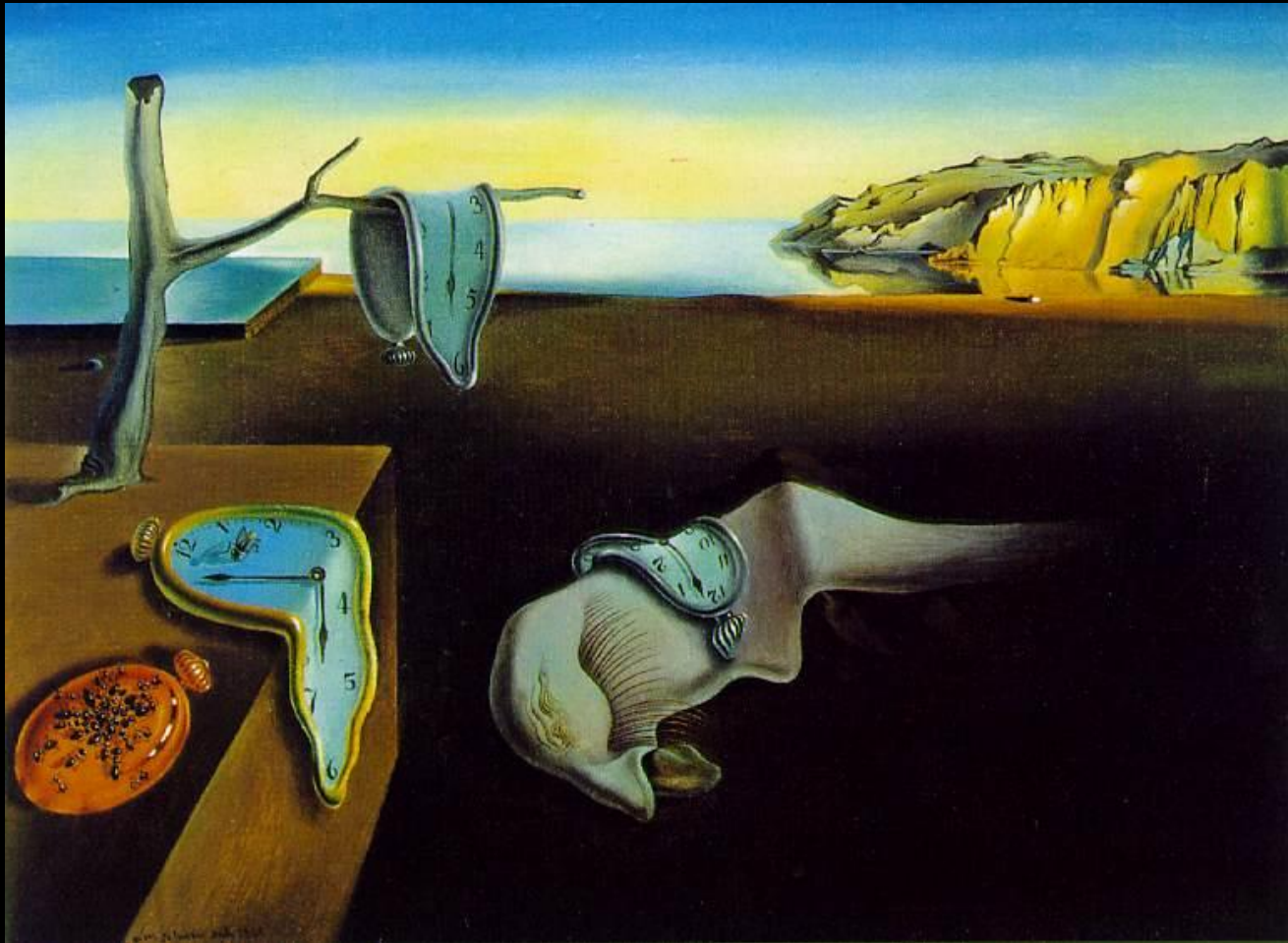
exc
a fou



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

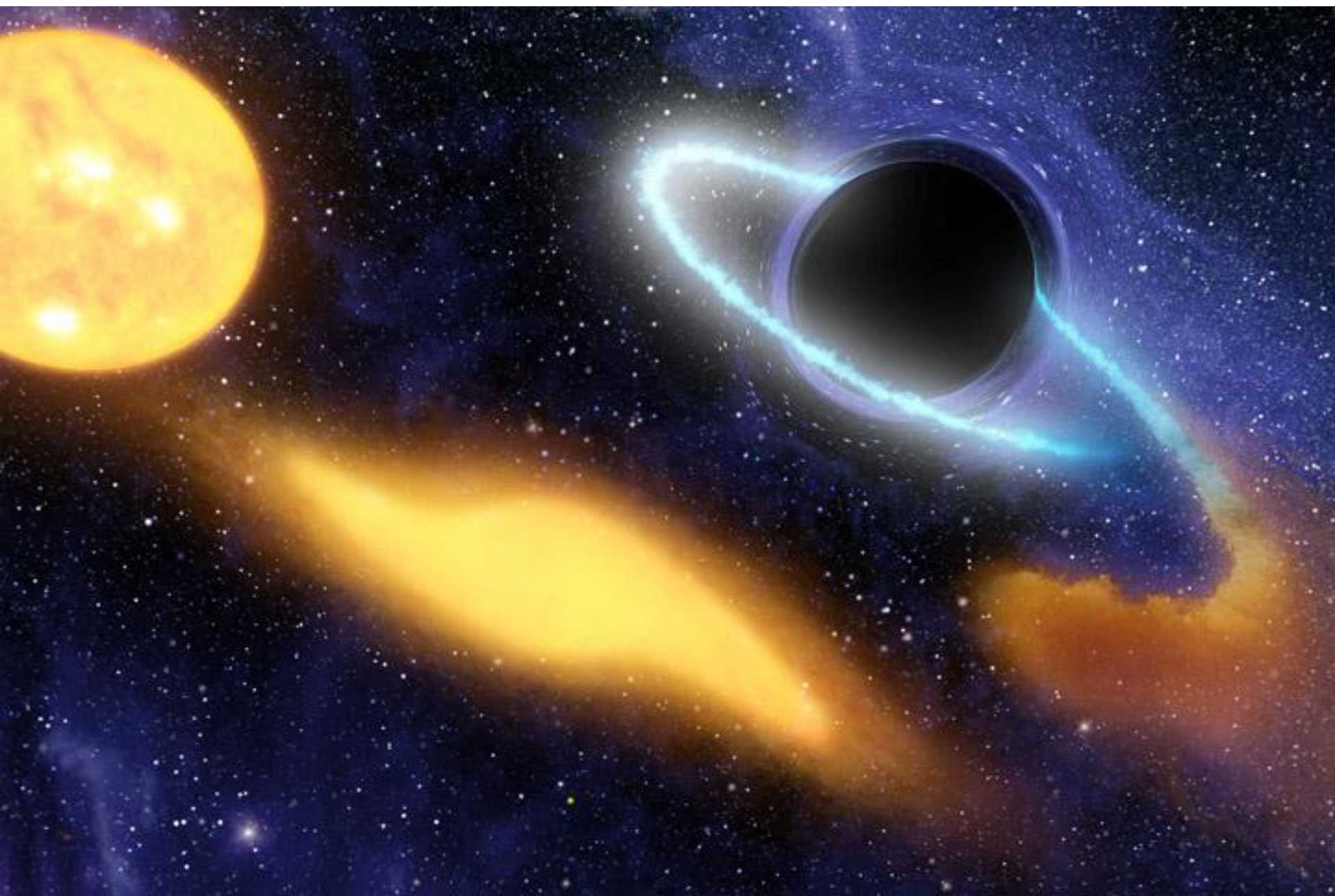


The Persistence of memory, Salvador Dali, 1931



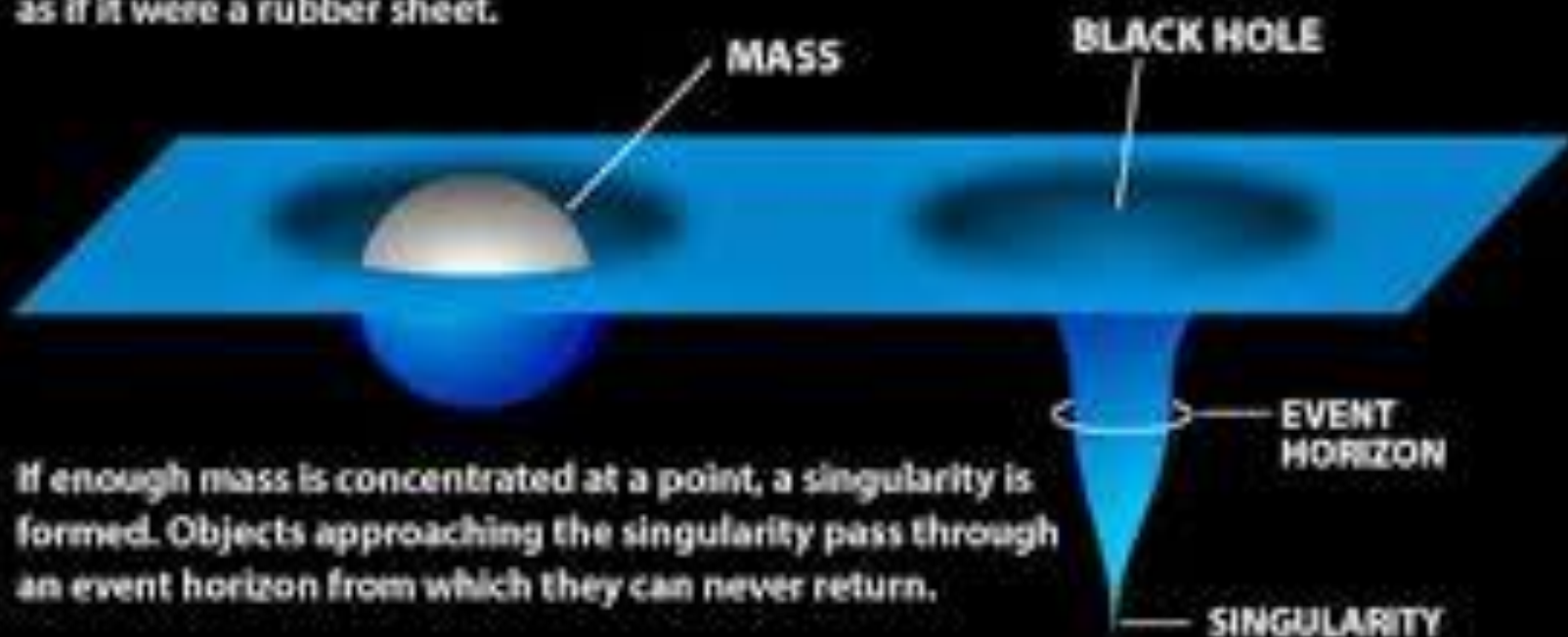






HOW TO MAKE A BLACK HOLE

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.



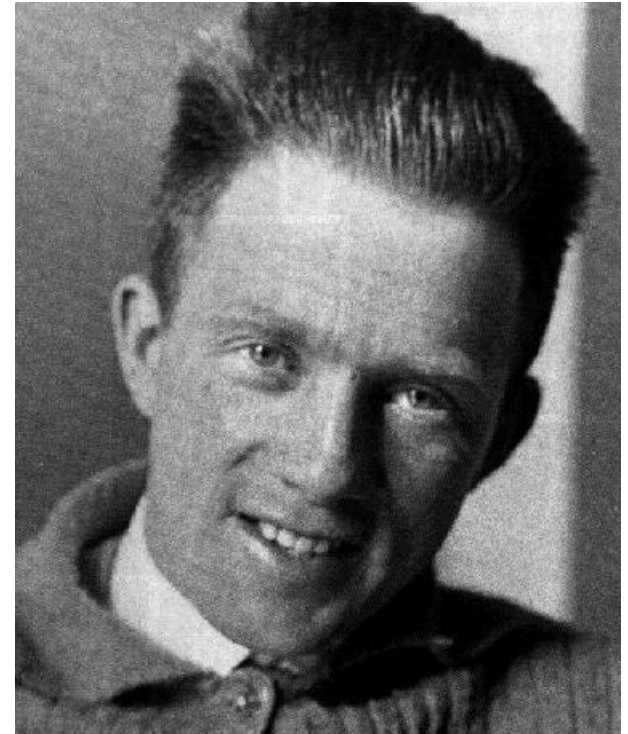
Meccanica Quantistica

Descrive il comportamento di
“oggetti” molto piccoli

Principio di indeterminazione
di Heisenberg:

- Tanto più precisamente conosciamo la posizione di un oggetto, tanto meno precisamente conosciamo il suo impulso

Per la descrizione di oggetti come l'atomo, e/o ancora più piccoli (particelle), c'è bisogno della meccanica quantistica.

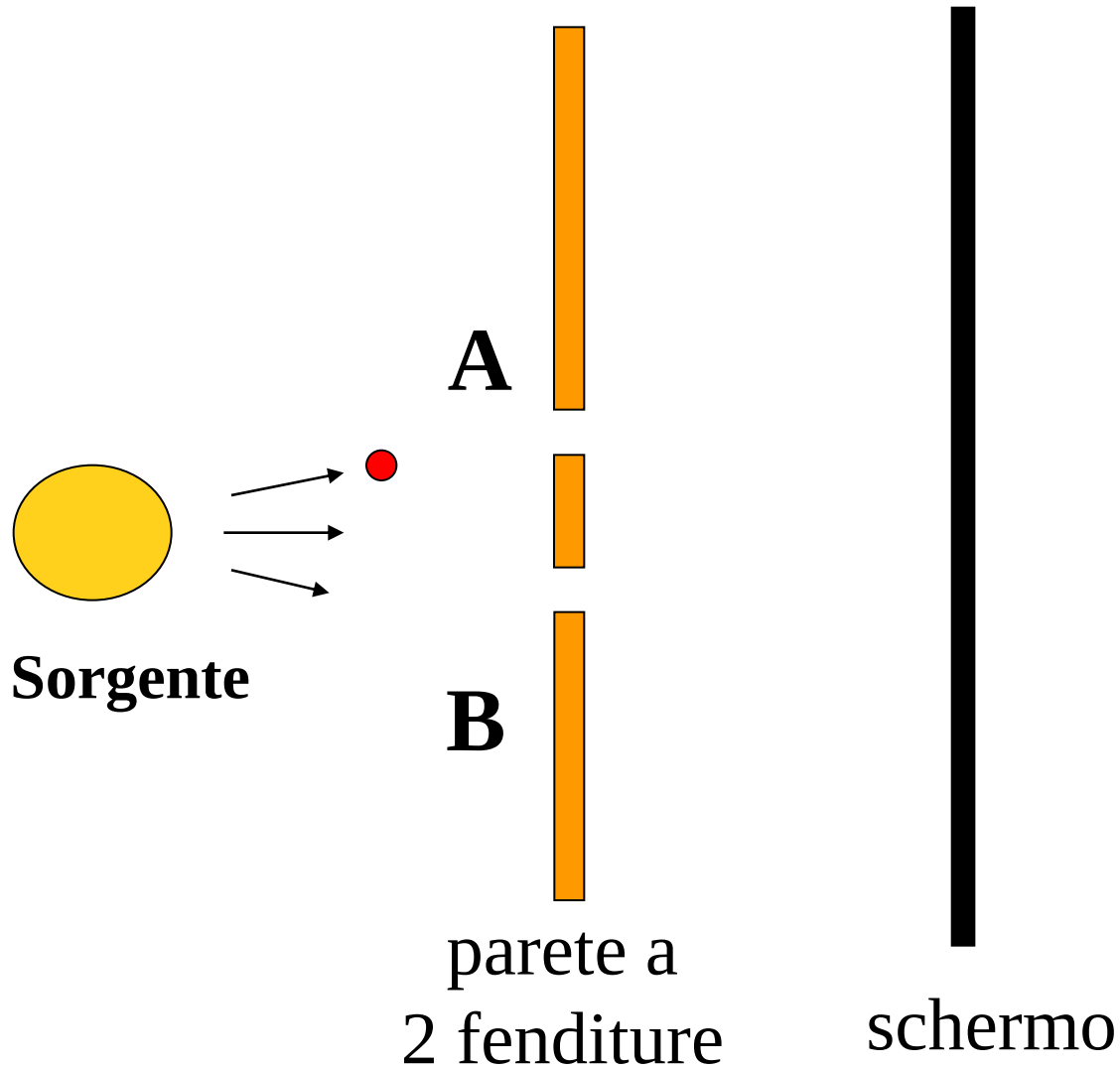


Heisenberg nel 1925, all'età di 24 anni

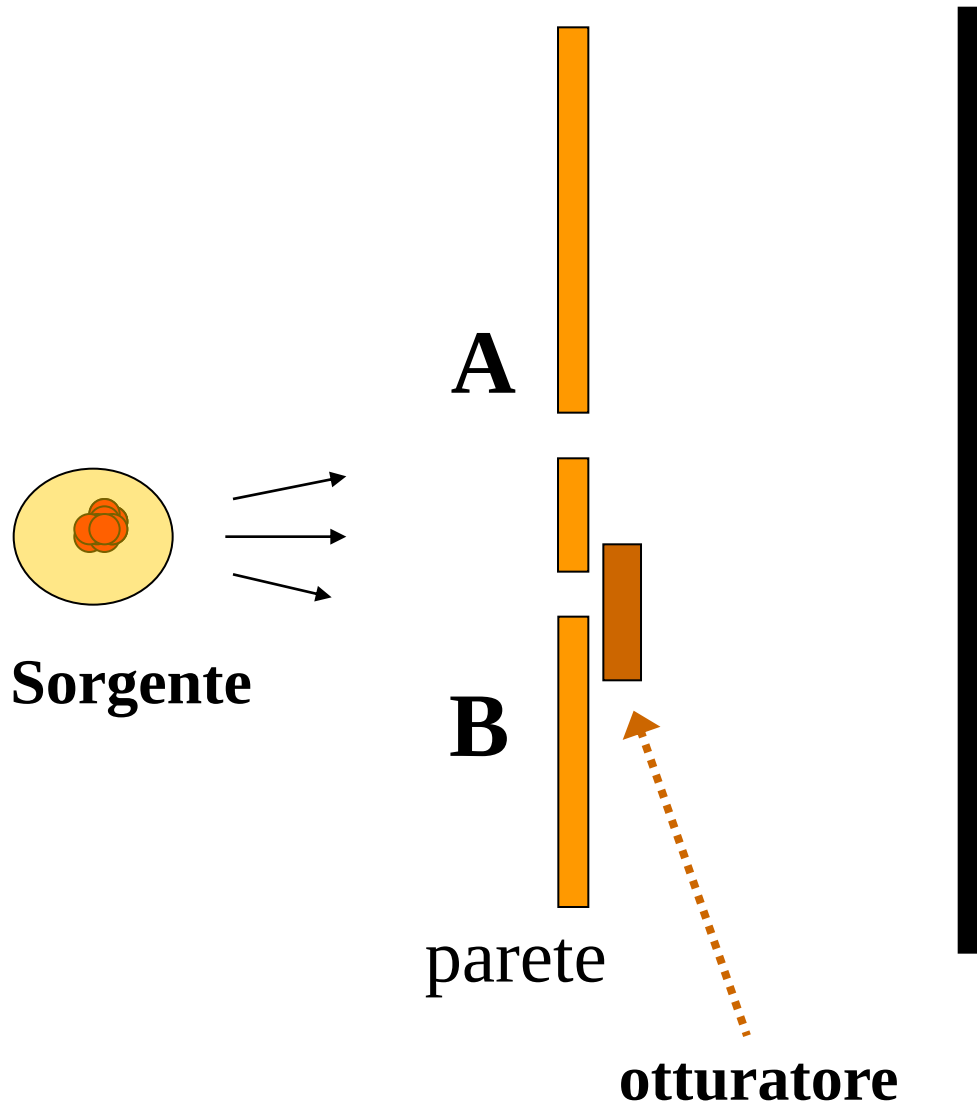


Conferenza di Solvay (1927)

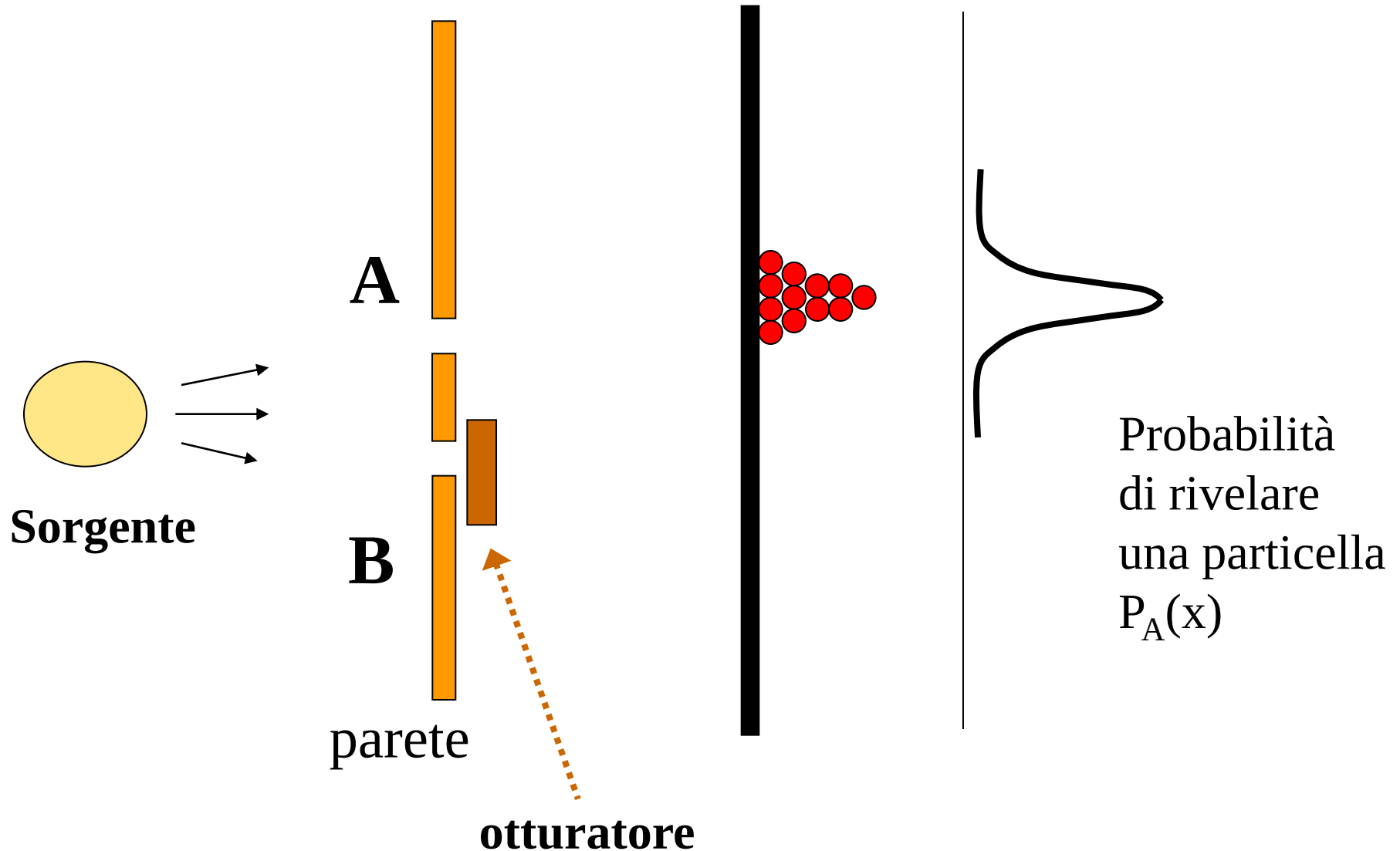
Interferenza a singola particella



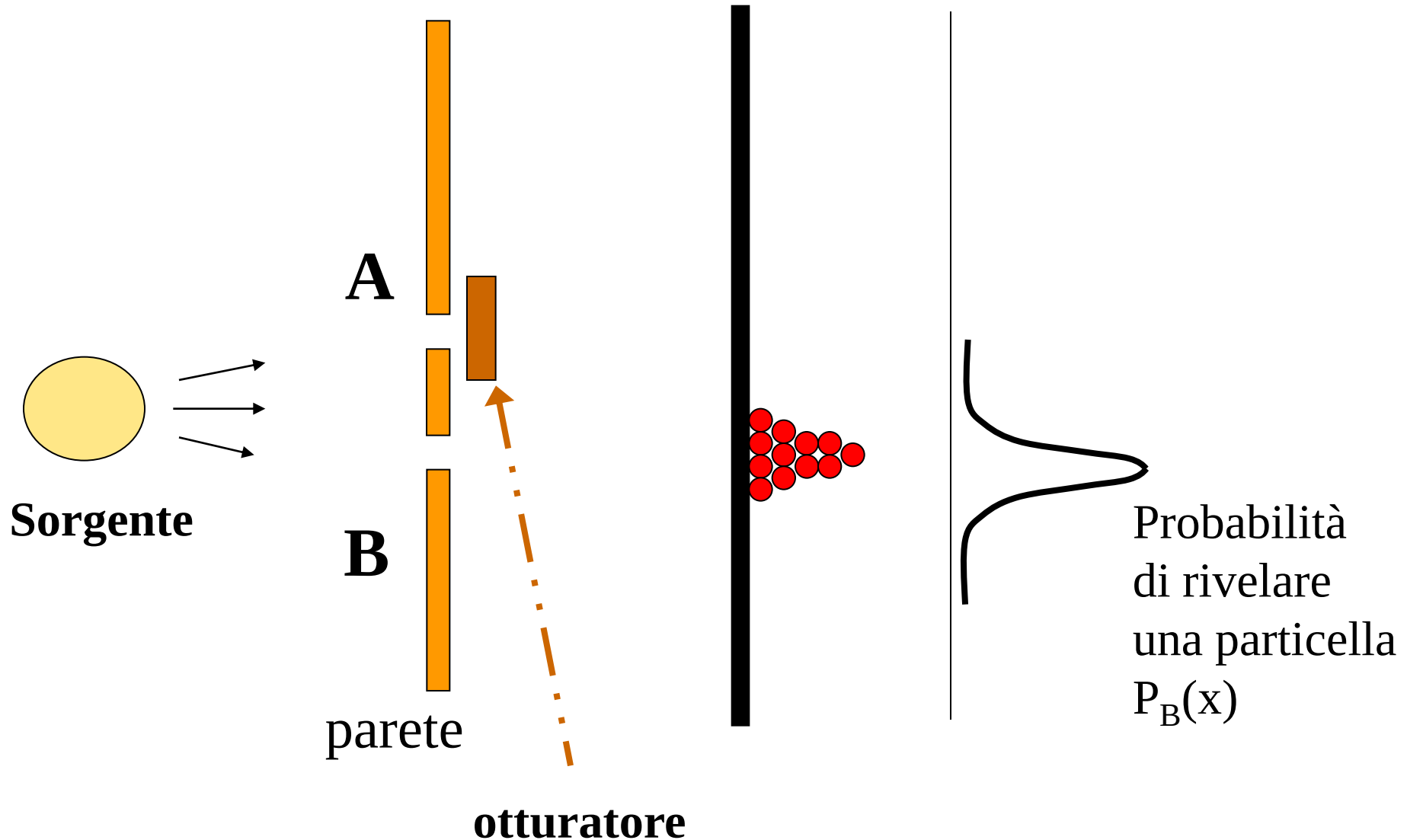
Interferenza a singola particella



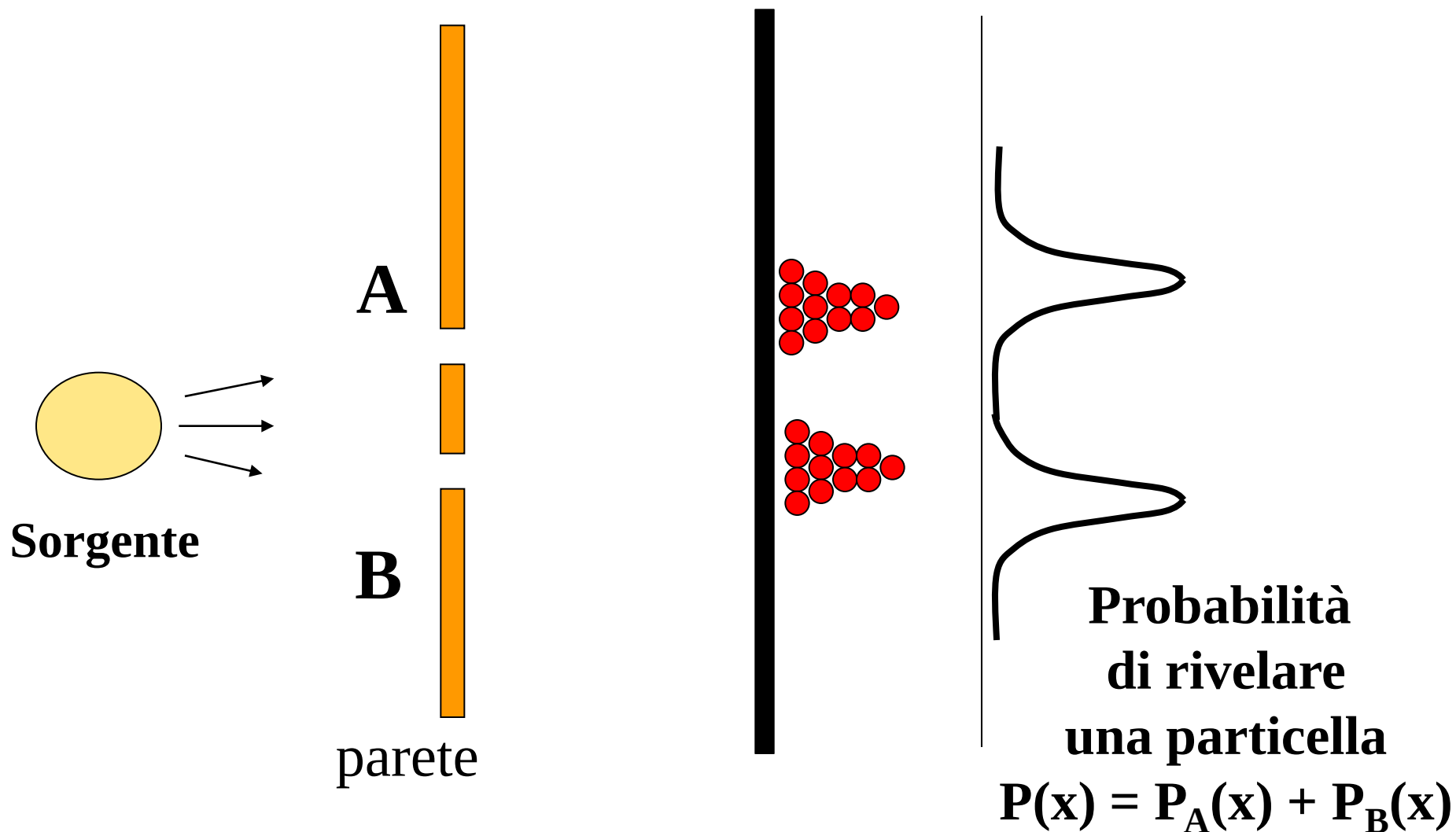
Interferenza a singola particella

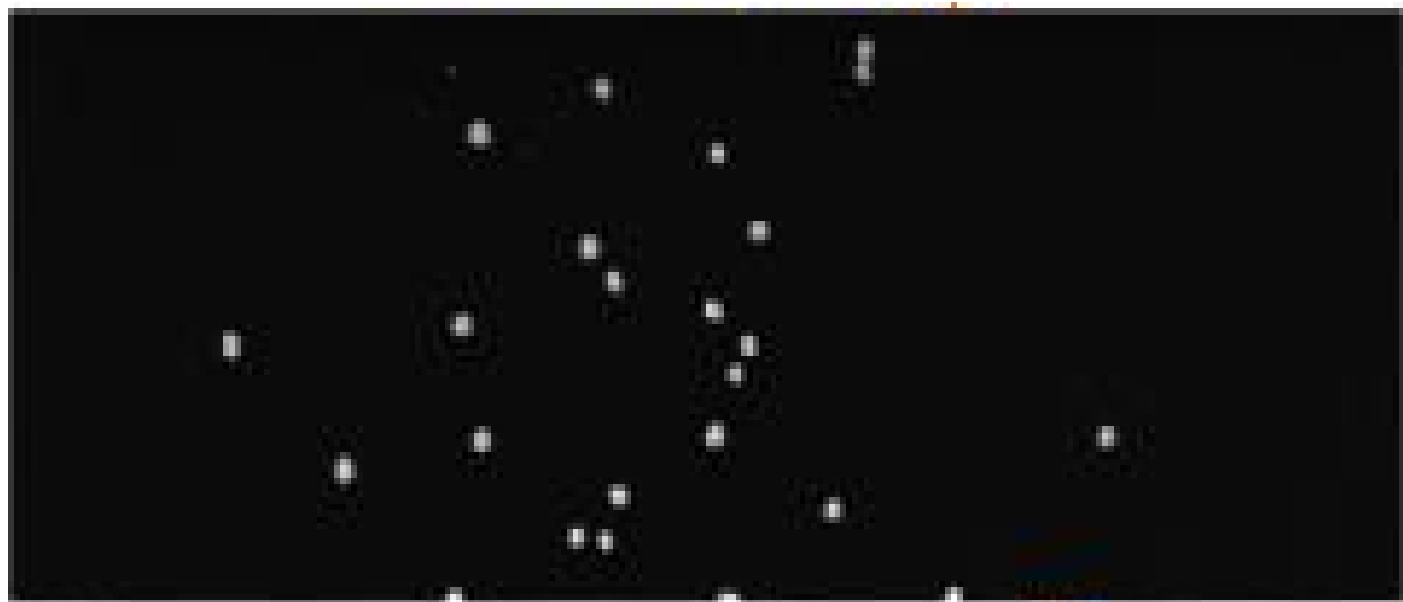


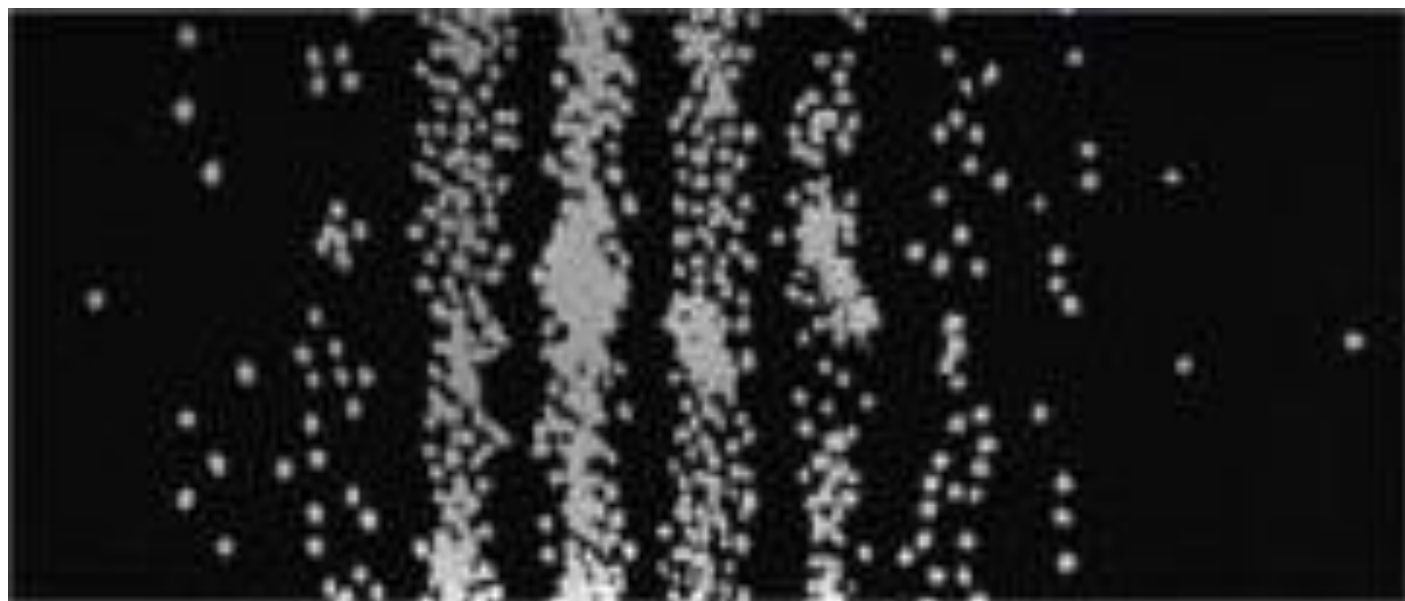
Interferenza a singola particella

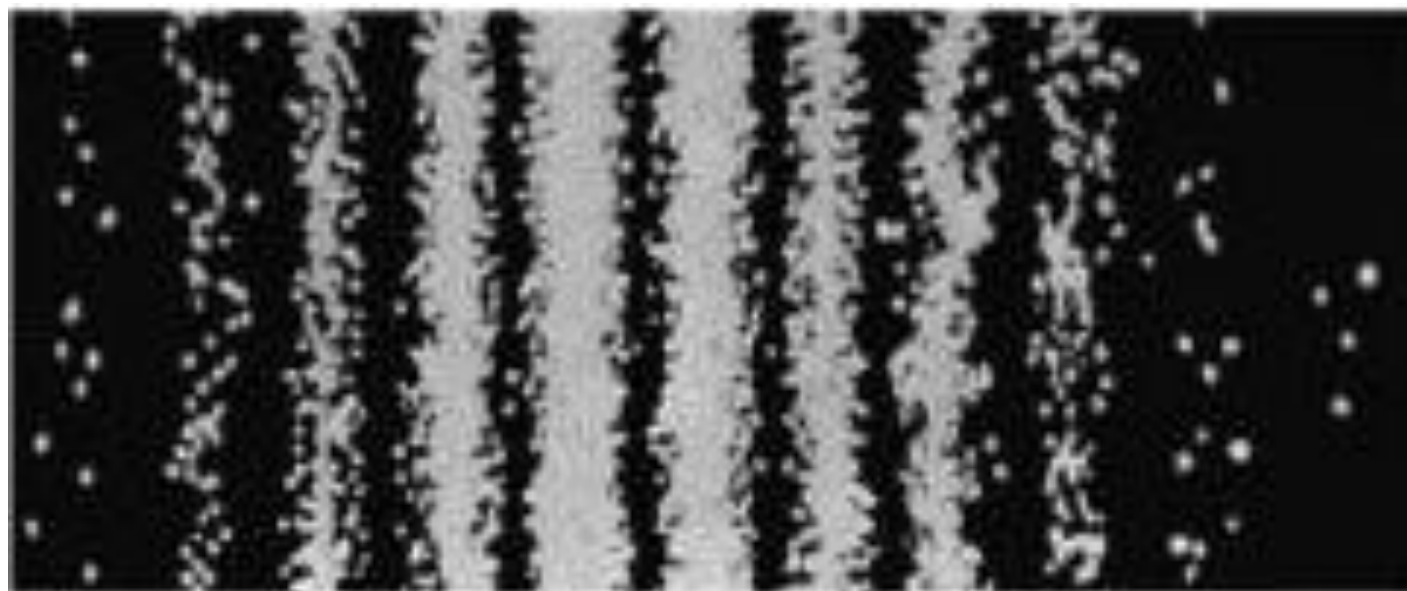


Comportamento “classico”

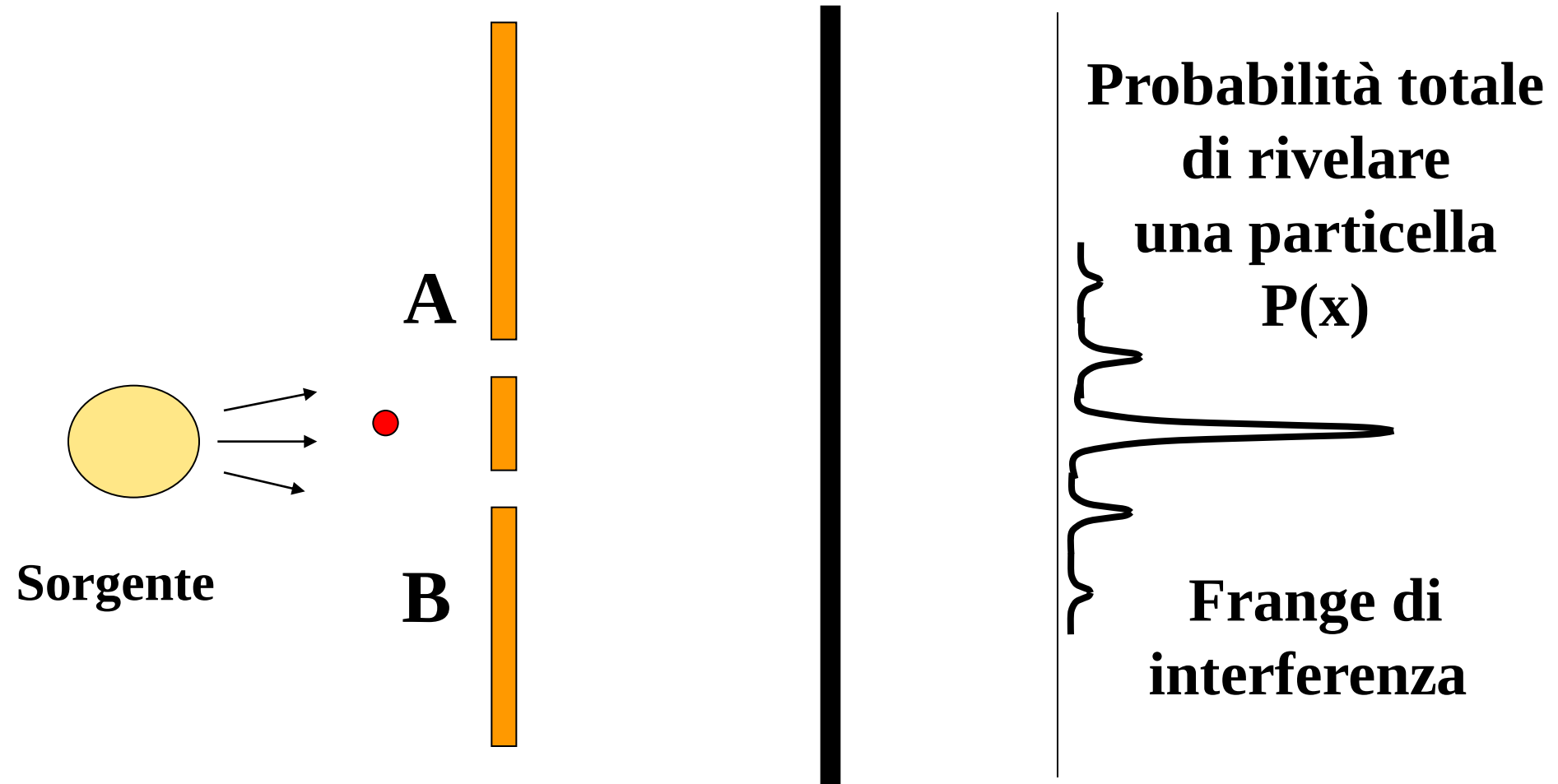




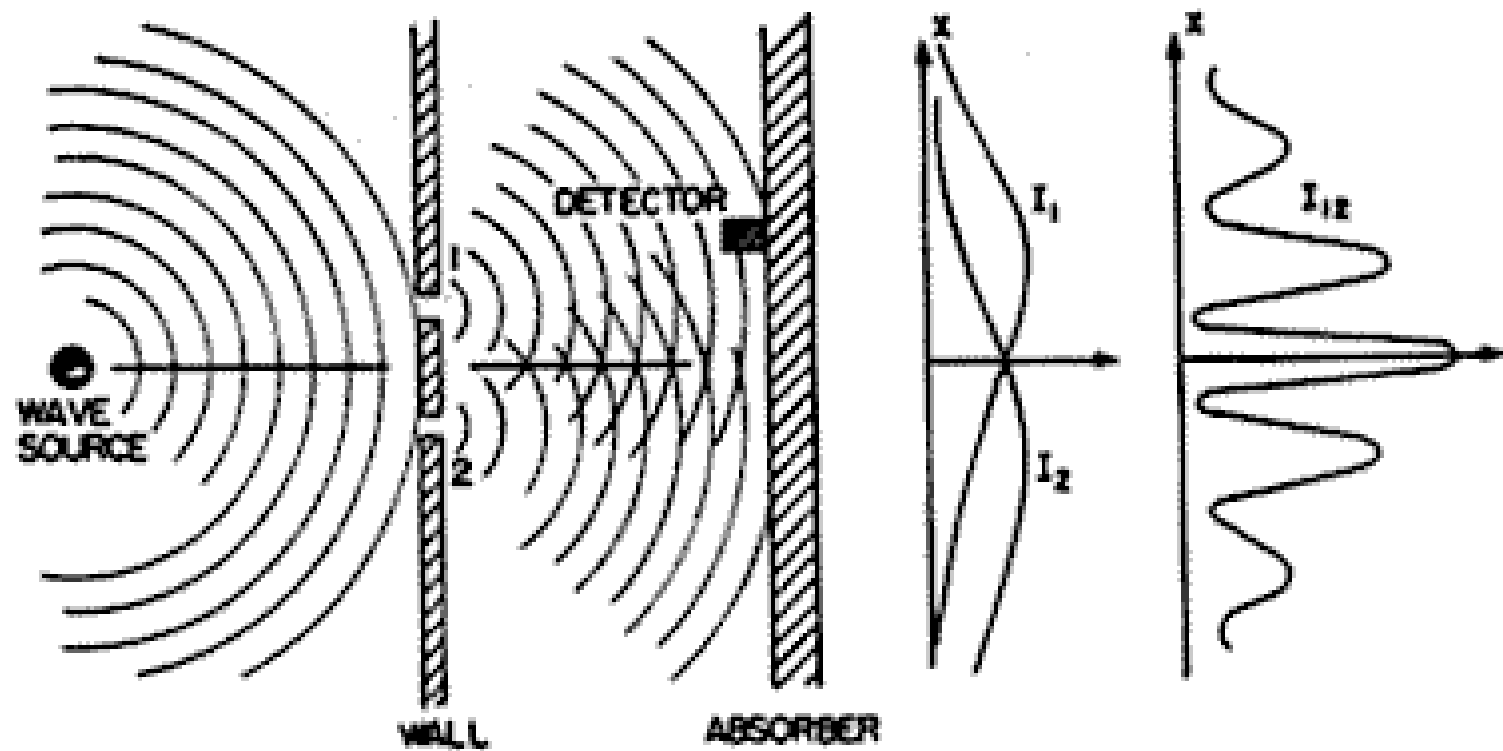


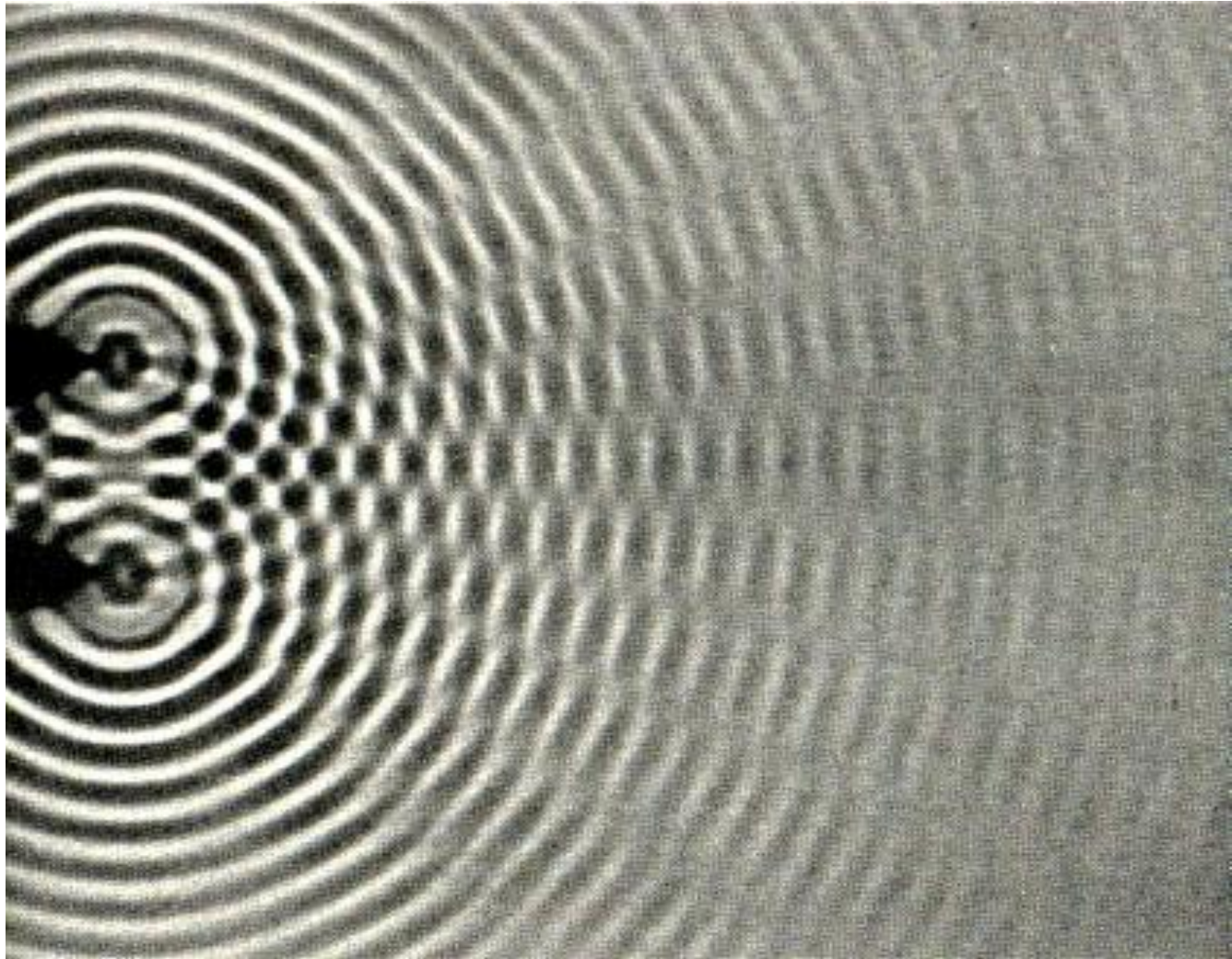


Interferenza quantistica



Da quale fenditura passa il fotone ? Da entrambe !







Onde & Particelle

- Onda come Particella → effetto fotoelettrico

Einstein (1905) : assorbimento di onde in pacchetti discreti di energia (fotoni)

- Particella come Onda → fenomeni d'interferenza

Davisson & Germer (1927) : esperimenti di interferenza e diffrazione con fasci di elettroni

LA FUNZIONE D'ONDA

Fisica classica: stato di una particella descritto dalla posizione r e dalla sua velocità v

Fisica quantistica: stato di una particella descritto dalla sua **FUNZIONE D'ONDA** $\psi(r)$, funzione a valori complessi delle tre coordinate spaziali, che fornisce la chiave per spiegare il dualismo onda-particella

Significato fisico: il suo modulo quadrato dà la **PROBABILITÀ** di trovare la particella nella posizione r .

La probabilità compare a livello fondamentale: la teoria quantistica fa previsioni sulla probabilità dei possibili risultati di una misura; non può predire quale sarà esattamente il risultato di tale misura. Le verifiche sperimentali devono essere sempre di natura statistica.

L' EQUAZIONE DI SCHRÖDINGER

IL CASO DELLA PARTICELLA LIBERA

Onda piana $\psi = A e^{i(kx - \omega t)}$

Schrödinger
1926



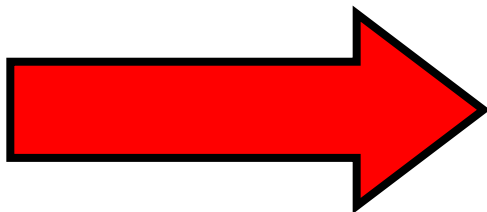
$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hbar \omega \psi = E \psi, \quad -i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial x} = \hbar k \psi = p \psi$$

$$\hat{E} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$$

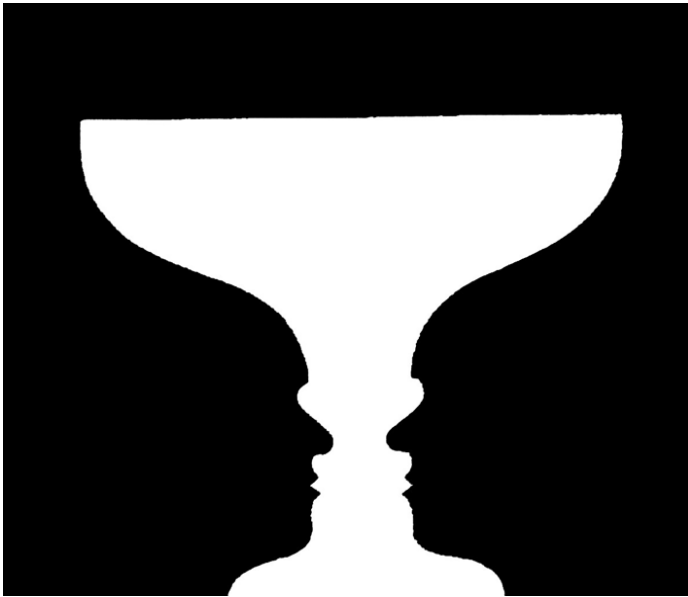
$$\hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$$

+

$$E = \frac{p^2}{2m}$$



$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$$



Complementarità e figure ambigue

Einstein pero'

➤ “Le nostre prospettive scientifiche sono ormai agli antipodi fra loro. **Tu ritieni che Dio giochi a dadi con il mondo: io credo invece che tutto obbedisca ad una legge, in un mondo di realtà obiettive, che cerco di afferrare per via totalmente speculativa.** Lo credo fermamente, ma spero che qualcuno scopra una strada più realistica o meglio un fondamento più tangibile di quanto non abbia saputo fare io. Nemmeno il grande successo iniziale della teoria dei quanti riesce a convincermi che alla base di tutto vi sia la casualità, anche se so bene che i colleghi più giovani considerano questo atteggiamento come un effetto di arteriosclerosi. **Un giorno si saprà quale di questi due atteggiamenti istintivi sarà stato quello giusto.**”

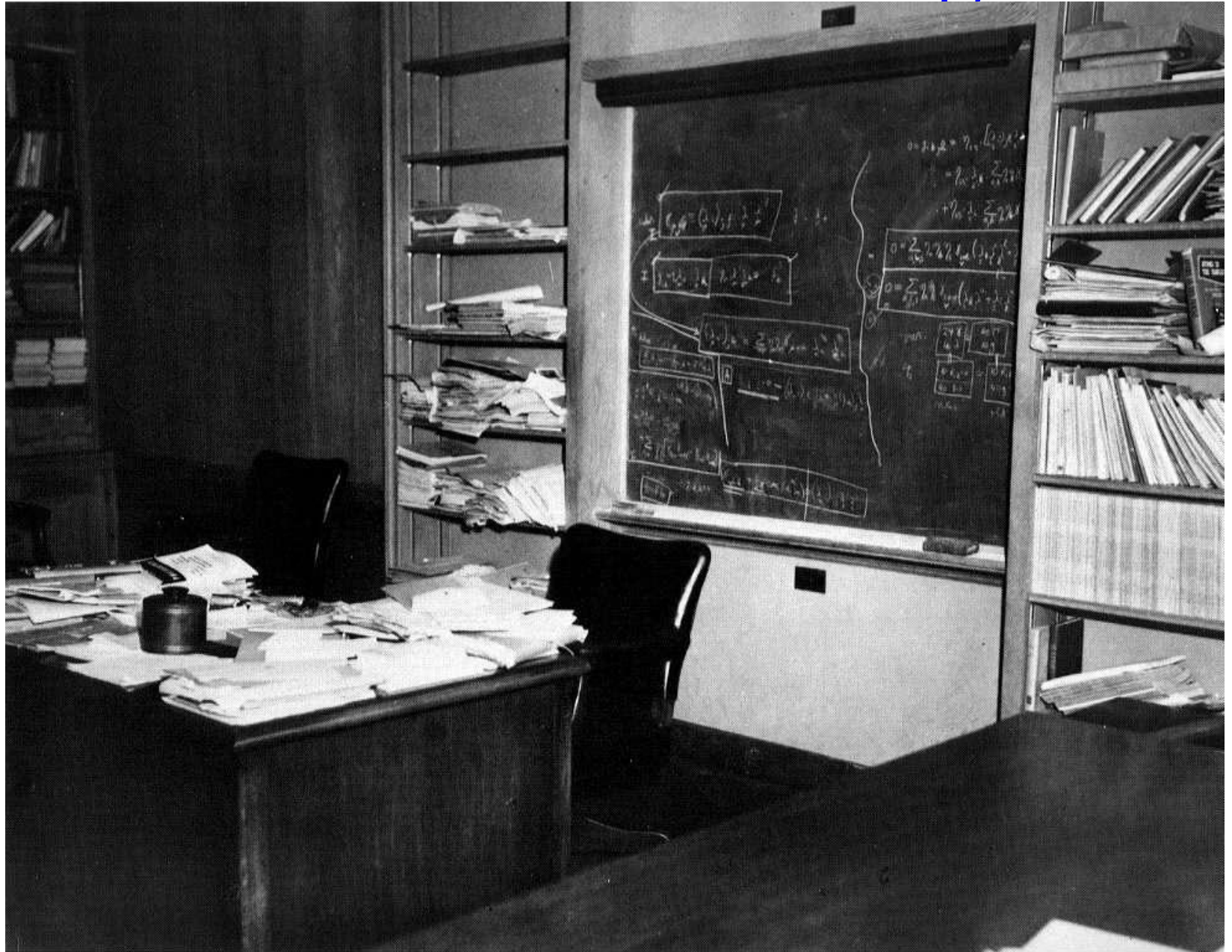


Tutta una serie di interpretazioni della meccanica quantistica:

- De Broglie - Bohm
- Many-World Interpretations
- Collasso della funzione d'onda
-



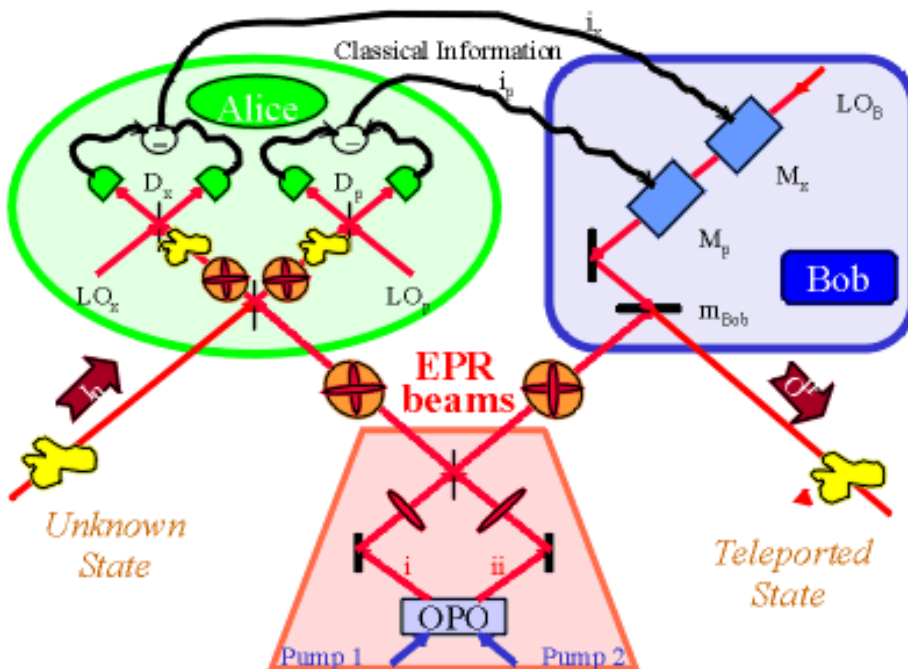
Einstein – l'ultima lavagna



Nel frattempo, le tecnologie basate sulla meccanica quantistica e i suoi aparenti paradossi, come e' stato ampiamente riconosciuto dall'assegnazione del premio Nobel per la Fisica nel 2012 a Serge Haroche e David Wineland, aprono la strada ai computer quantistici, al teletrasporto e, perche' no, a un mondo in cui il gatto di Schrodinger si comporta piu' come il gatto del Cheshire incontrato da Alice nel paese delle meraviglie



TELETRASPORTO: REALTA' O FANTASCIENZA? (Nobel Fisica 2012 - meccanica quantistica)

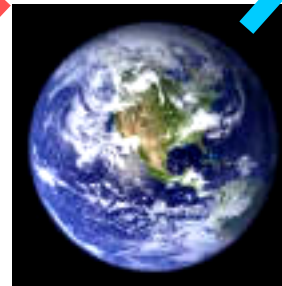




**Marte:
ALICE**

A

$$|H\rangle_A |V\rangle_B - |V\rangle_A |H\rangle_B$$

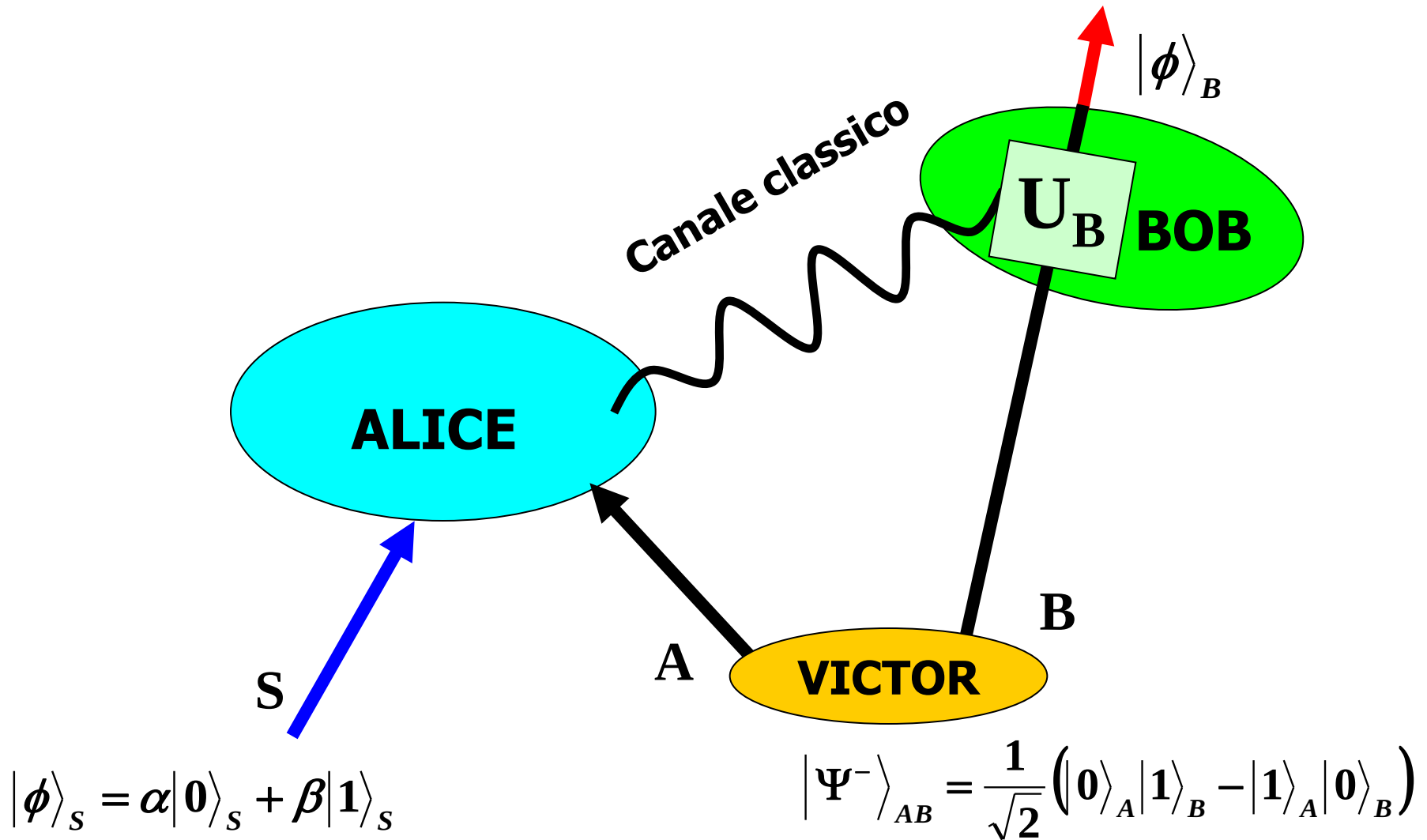


B

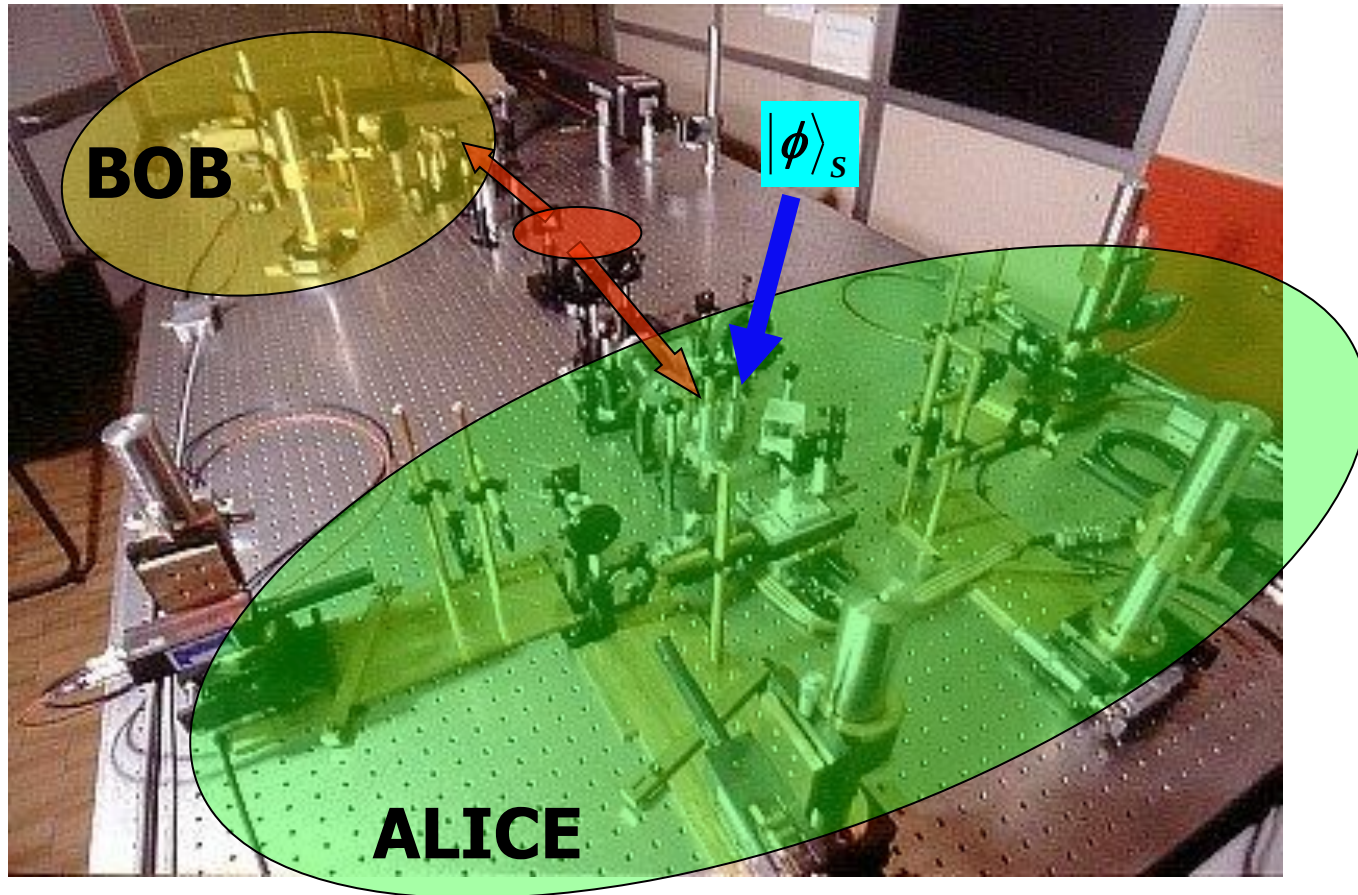


**Luna:
BOB**

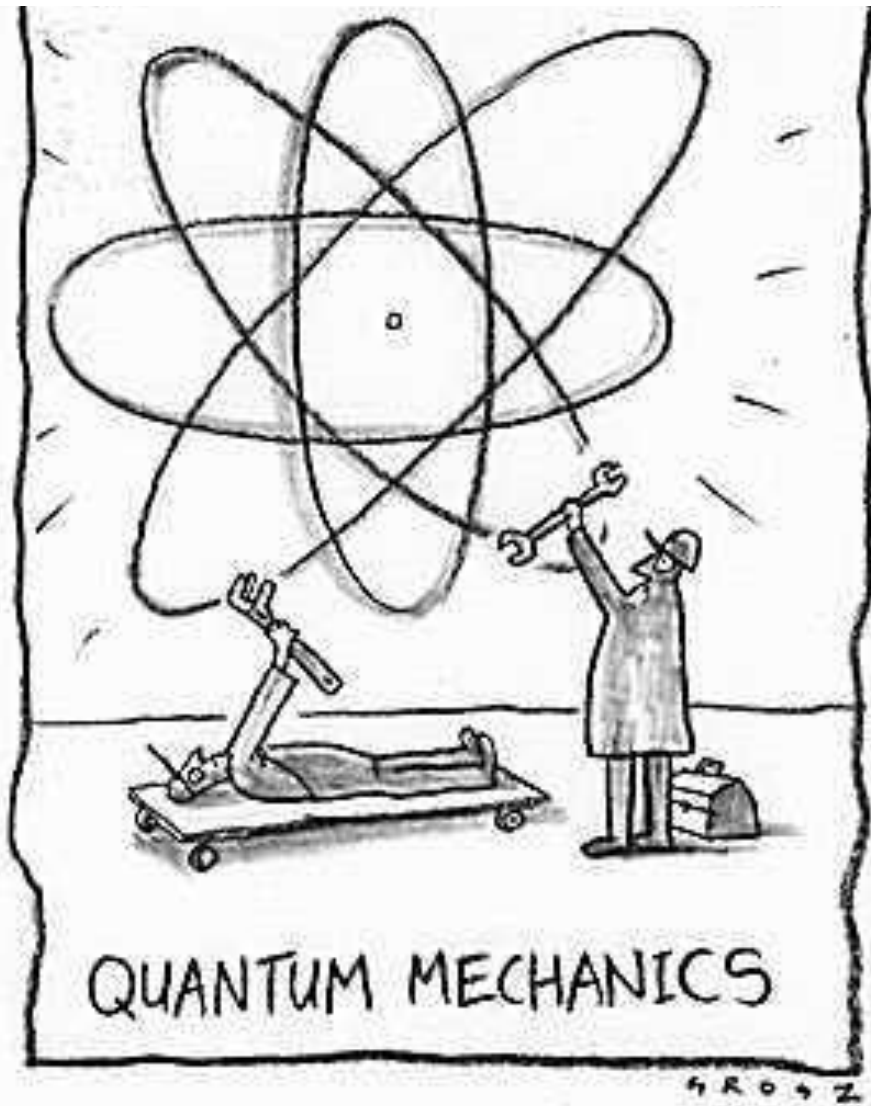
Teletrasporto quantistico



Teletrasporto dello stato di un fotone (Roma -1997)



Nobel 2012
Serge Haroche
David Wineland



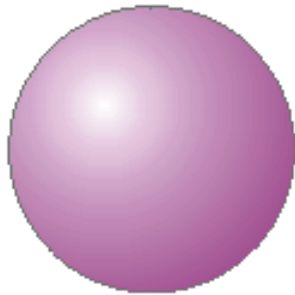
Opportunita' sfruttando meccanica quantistica: Teletrasporto, computer quantistici,...



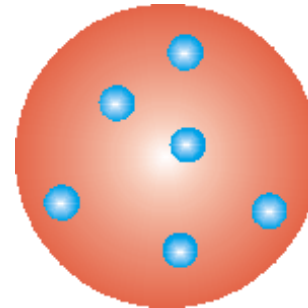
**"Chi non resta sbalordito dalla meccanica
quantistica evidentemente non la capisce"**

Niels Bohr, 1927

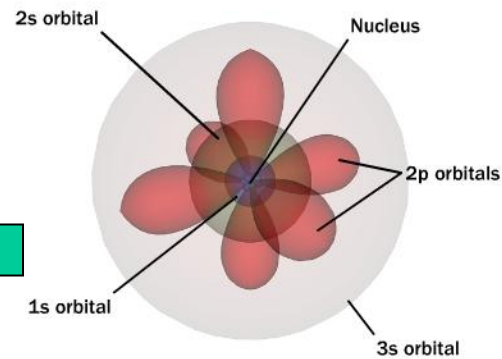
L'atomo all'inizio del '900



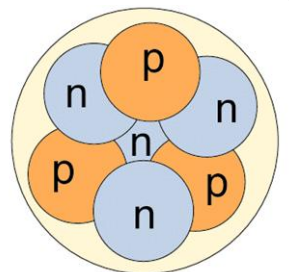
L'atomo di Thompson



L'atomo quantistico

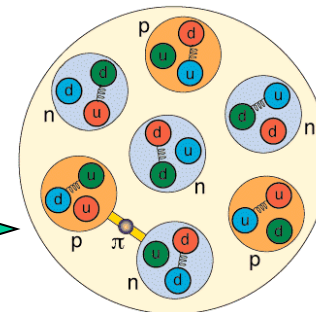


L'atomo di Rutherford e Bohr



1.6 fm
4.8 fm

La struttura del nucleo



Il nucleo oggi

The Standard Model

Fermions

Bosons

Quarks	u up	c charm	t top	g gluone
	d down	s strange	b bottom	γ fotone
	ν_e e-neutrino	ν_μ μ -neutrino	ν_τ τ -neutrino	W bosone
	e elettrone	μ muone	τ tau	Z bosone
Leptons	Families of matter			Higgs Boson !!!
	I	II	III	

Gravity



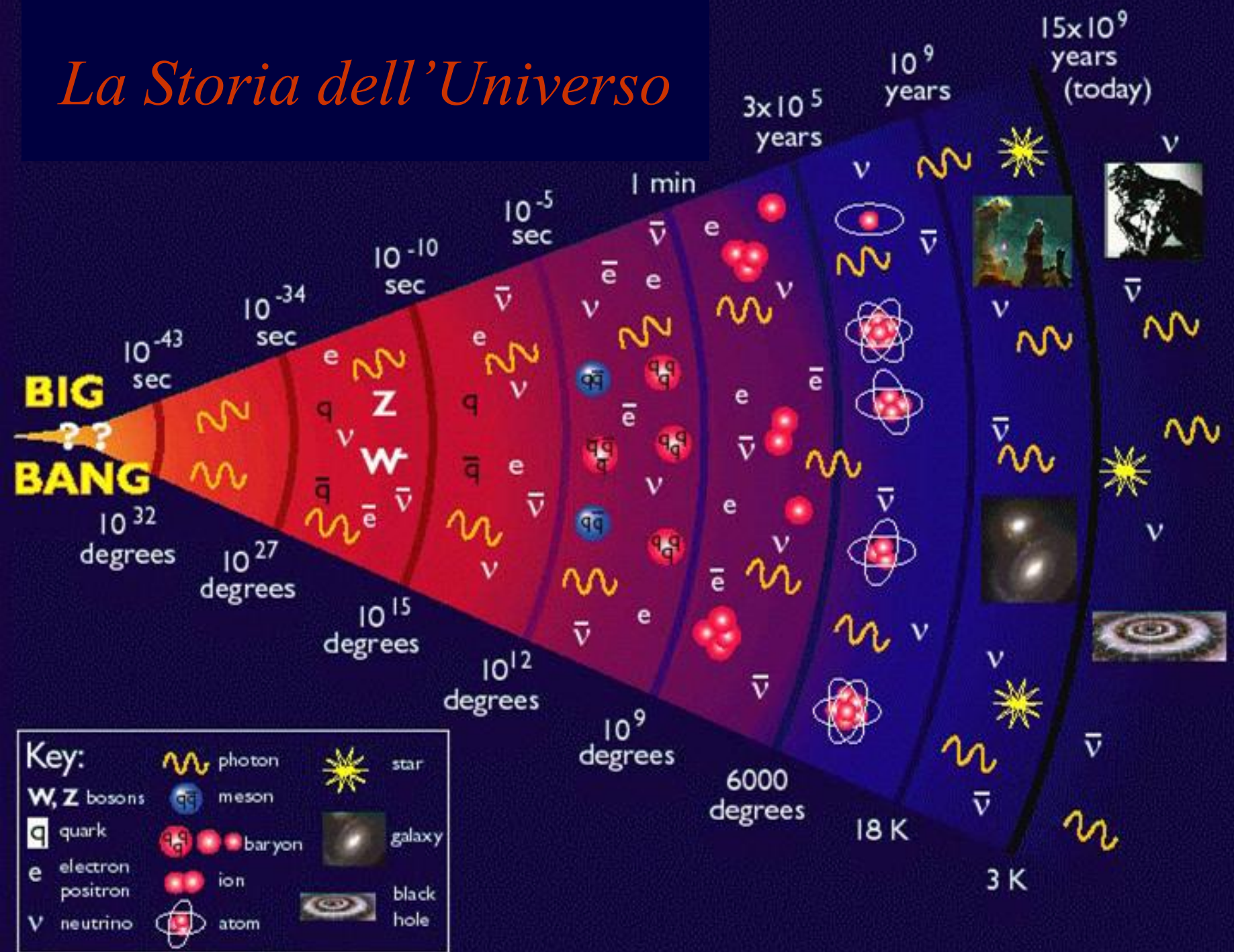
The...
“opera
Ghost”





Creation (Michelangelo Buonarroti, 1475 - 1564)

La Storia dell'Universo



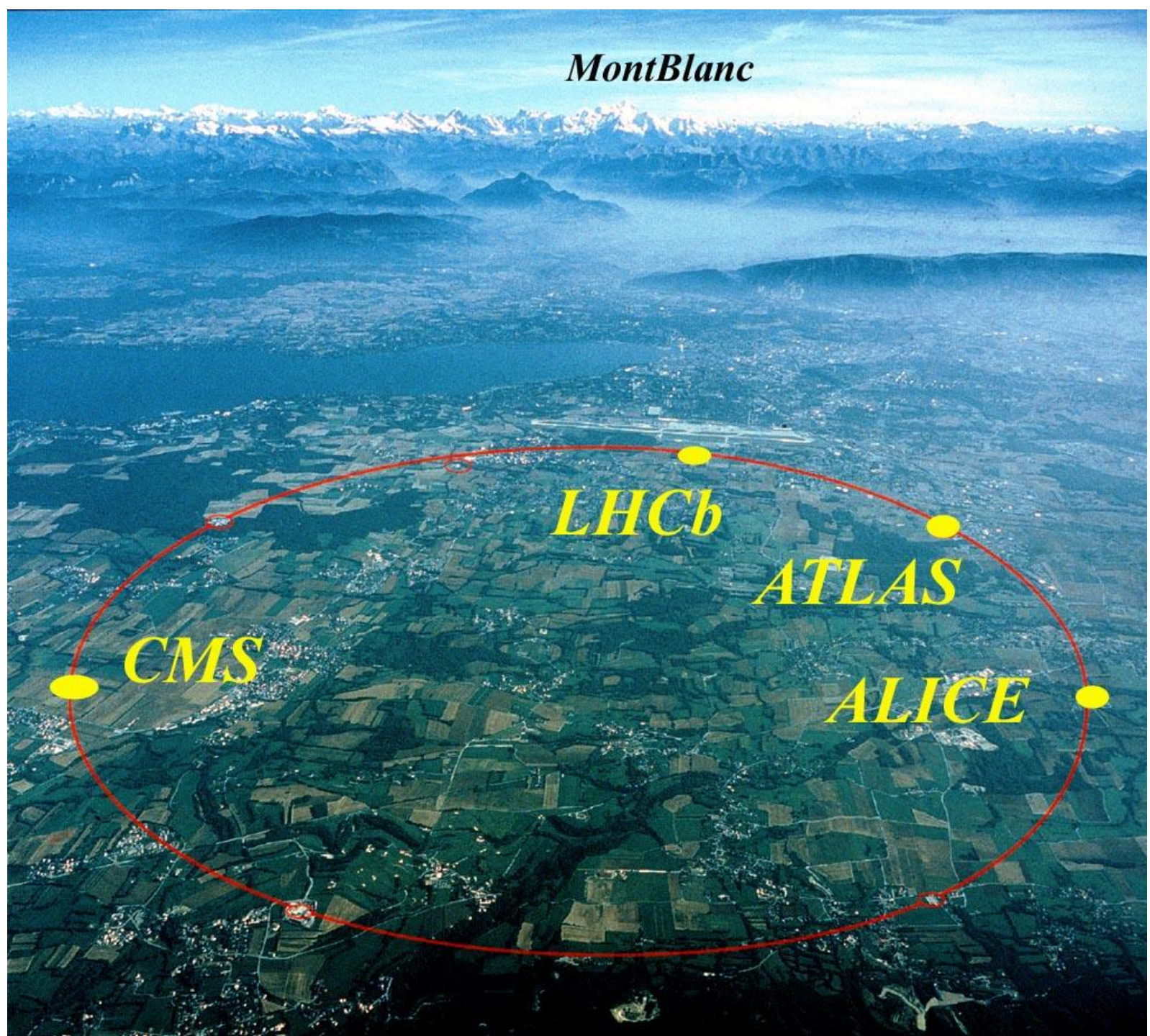
Nel principio di Primo Levi

**Fratelli umani a cui è lungo un anno,
Un secolo un venerando traguardo,
Affaticati per il vostro pane,
Stanchi, iracondi, illusi, malati, persi:
Udite, e vi sia consolazione e scherno:
Venti miliardi d'anni prima d'ora,
Splendido, liberato nello spazio e nel tempo,
Era un globo di fiamma, solitario, eterno,
Nostro padre comune e nostro carnefice,
Ed esplose, ed ogni mutamento prese inizio.
Ancora, di quest'una catastrofe rovescia
L'eco tenue risuona dagli ultimi confini.
Da quell'ultimo spasimo tutto è nato:
Lo stesso abisso che ci avvolge e ci sfida,
Lo stesso tempo che ci partorisce e travolge,
Ogni cosa che ognuno ha pensato,
Gli occhi di ogni donna che abbiamo amato,
E mille e mille soli, e questa
Mano che scrive.**

Fisica LHC (1)

- Cos'è la massa? Sappiamo come misurarla, ma da cosa è determinata?
- Qual è l'origine della massa? In particolare, esiste il bosono di Higgs??
- Qual è l'origine della massa dei barioni? Generando del plasma di quark e gluoni si verificherà l'origine non-perturbativa di una larga frazione della massa dell'universo?
- Perché le particelle elementari presentano masse diverse? In altri termini, le particelle interagiscono con il campo di Higgs?

MontBlanc



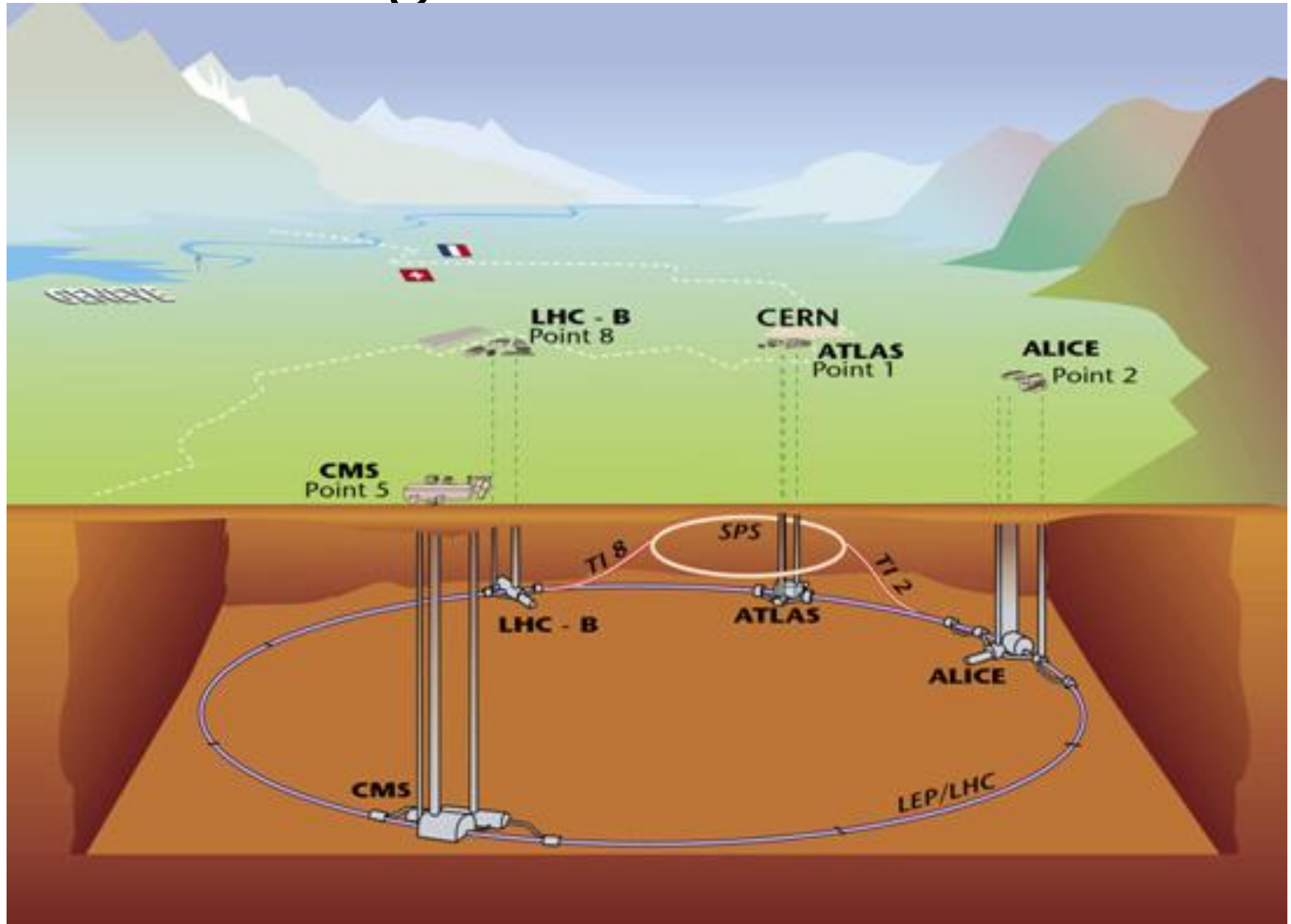
CMS

LHCb

ATLAS

ALICE

Large Hadron Collider



Large Hadron Collider

- ✓ Accelera e fa collidere protoni ad un energia di 7+7 TeV ($=14 \times 10^{12}$ eV)
- ✓ Accelera e fa collidere ioni pesanti (e.g. Pb) a 5.5 TeV
- ✓ Lunghezza totale > 27 Km. Profondita' ~ 100 m.
- ✓ Campo magnetico dei dipoli di 8.3 Tesla (piu' di 10^5 volte maggiore campo della Terra)
- ✓ Temperatura in regime superconduttivo di 2.3 K
- ✓ Frequenza di collisione per p-p = 40 MHz

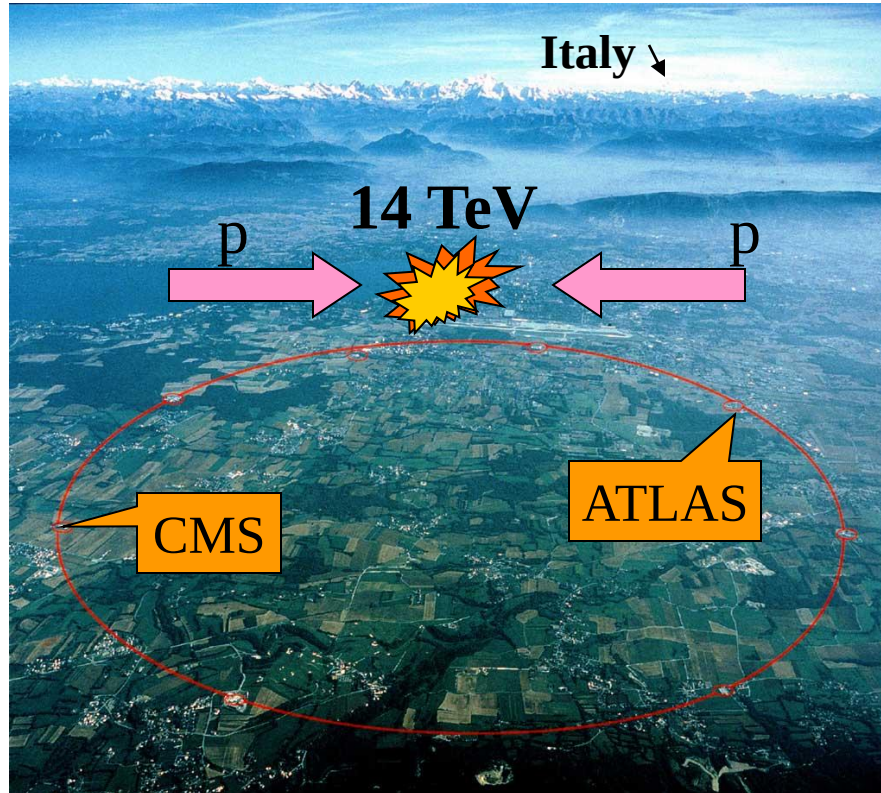
Nello stesso tunnel di LEP:

4 esperimenti:

- ATLAS, CMS “general purpose”
- ALICE ioni pesanti
- LHCb fisica del b



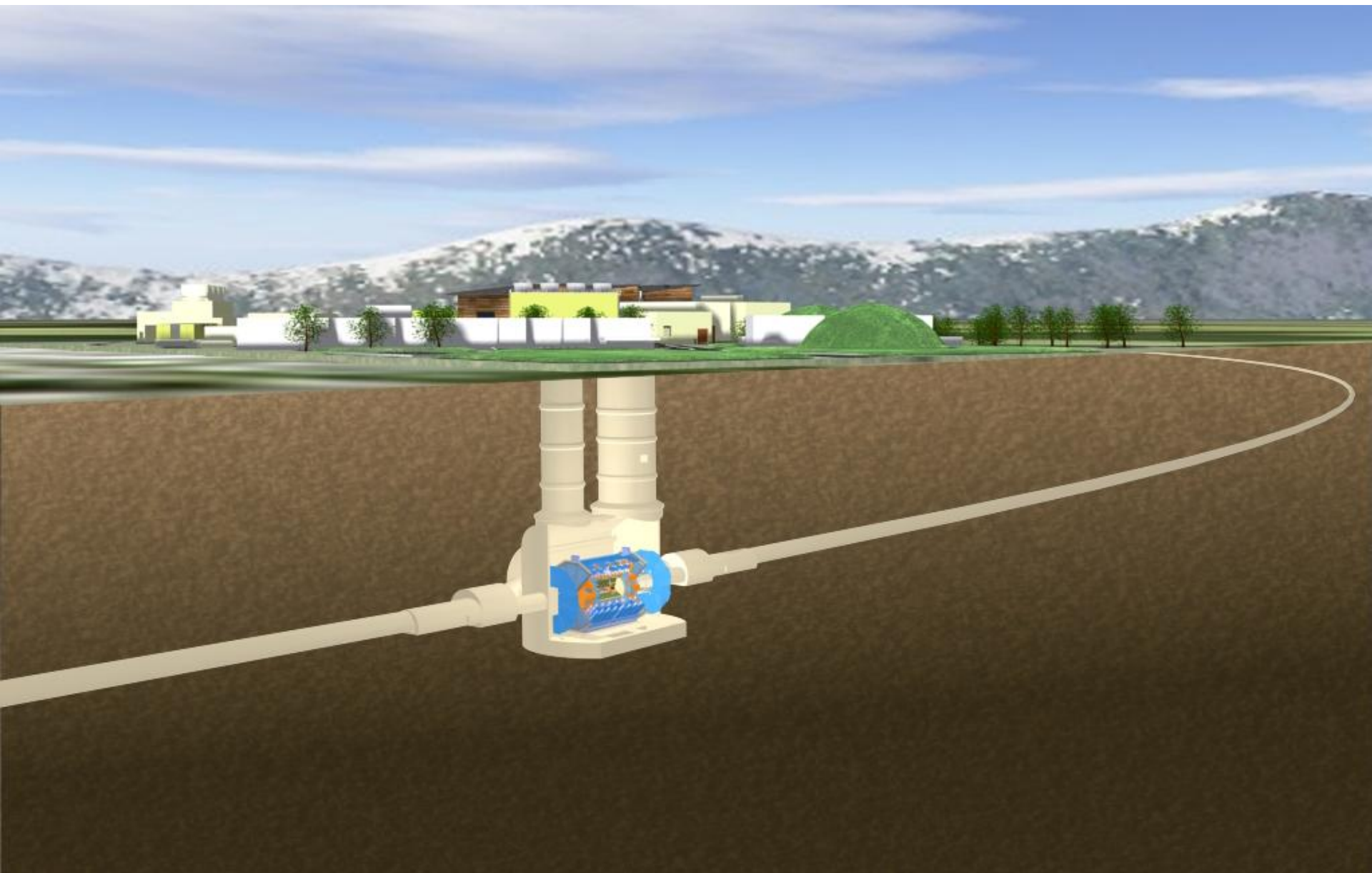
Large Hadron Collider at CERN



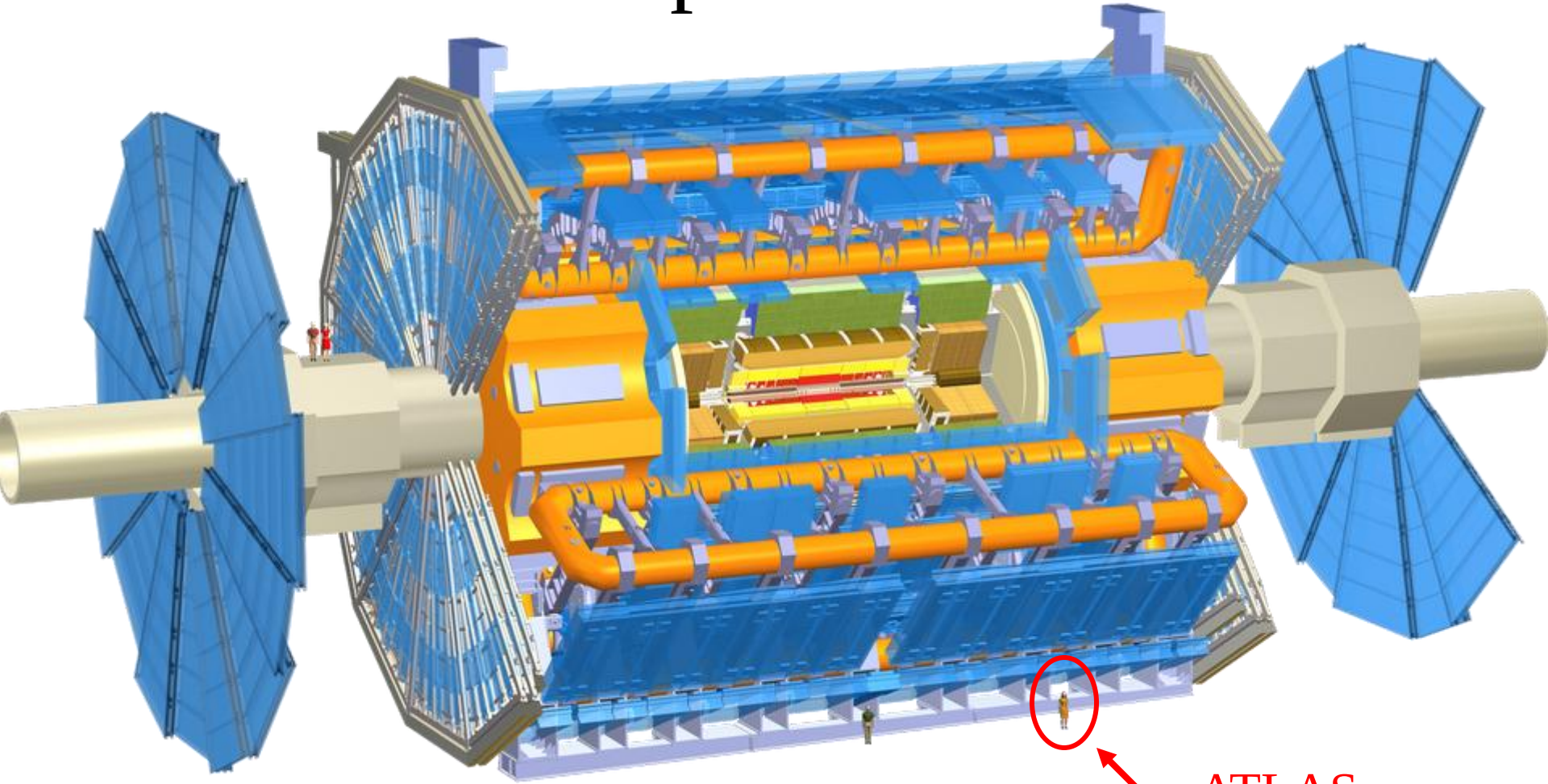
Luminosity target: $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

Increased production of heavy particles like Higgs, top quark

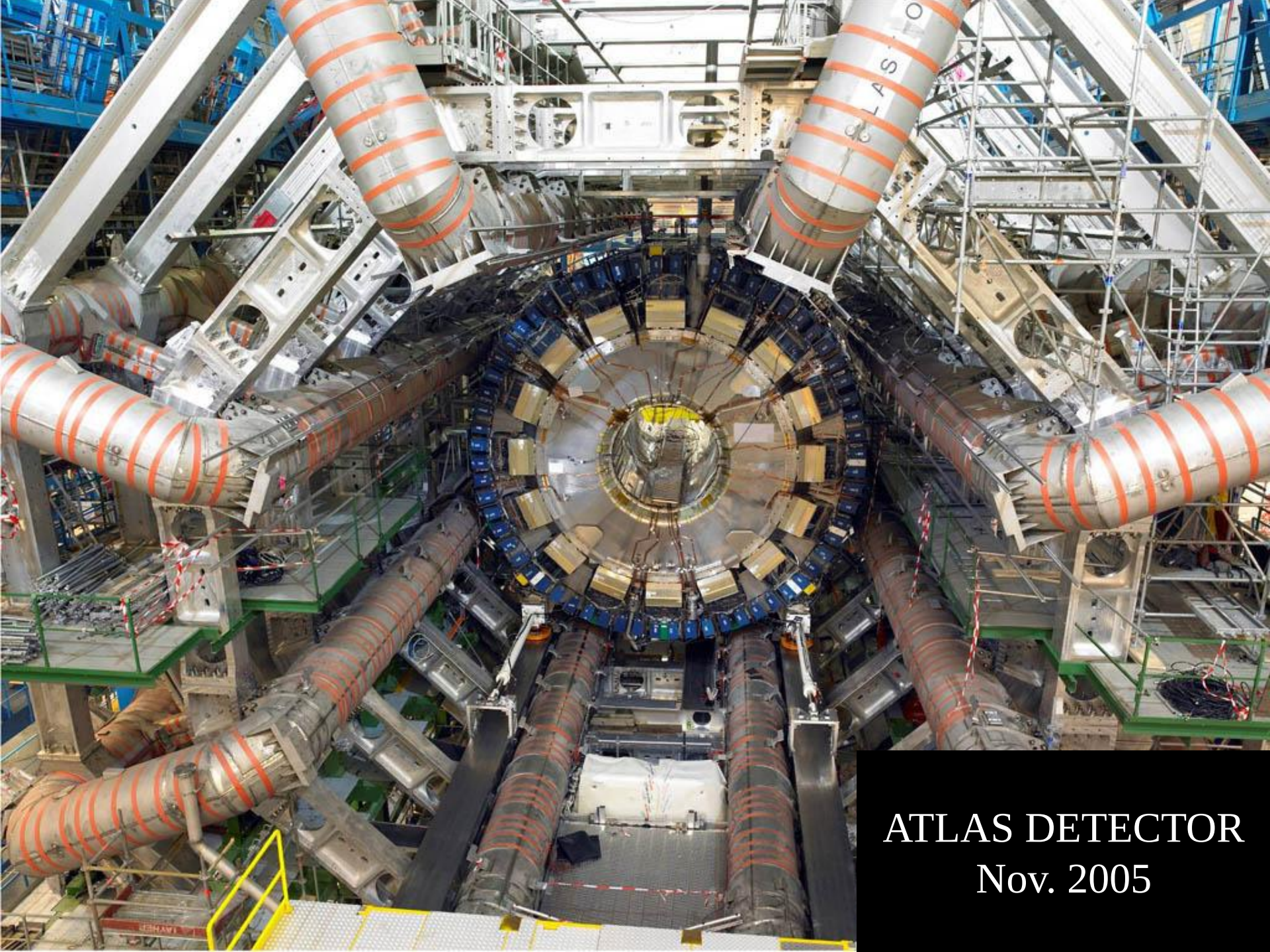
More particles at **higher** energy requires new detector design and technology



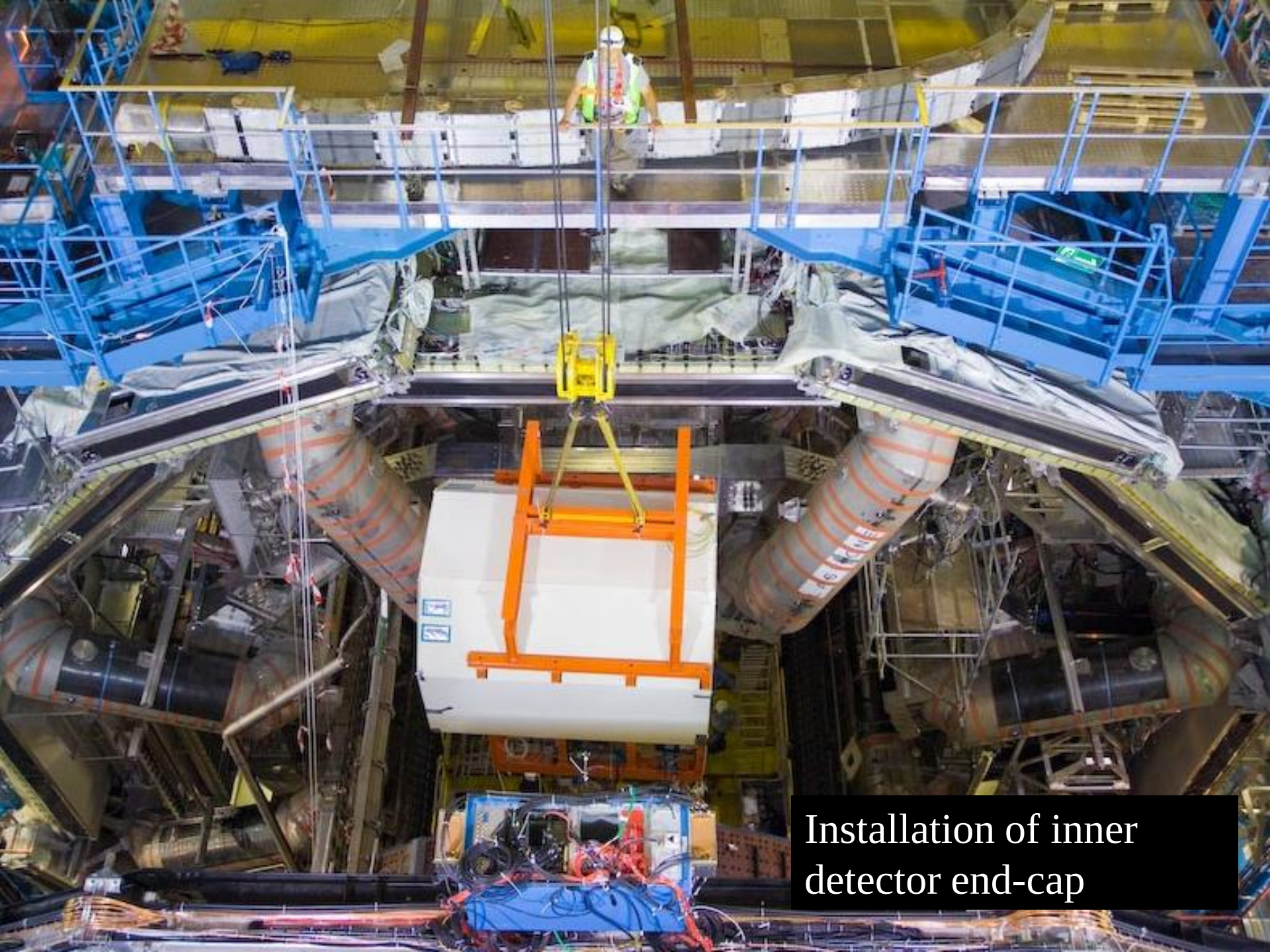
ATLAS Experiment at LHC



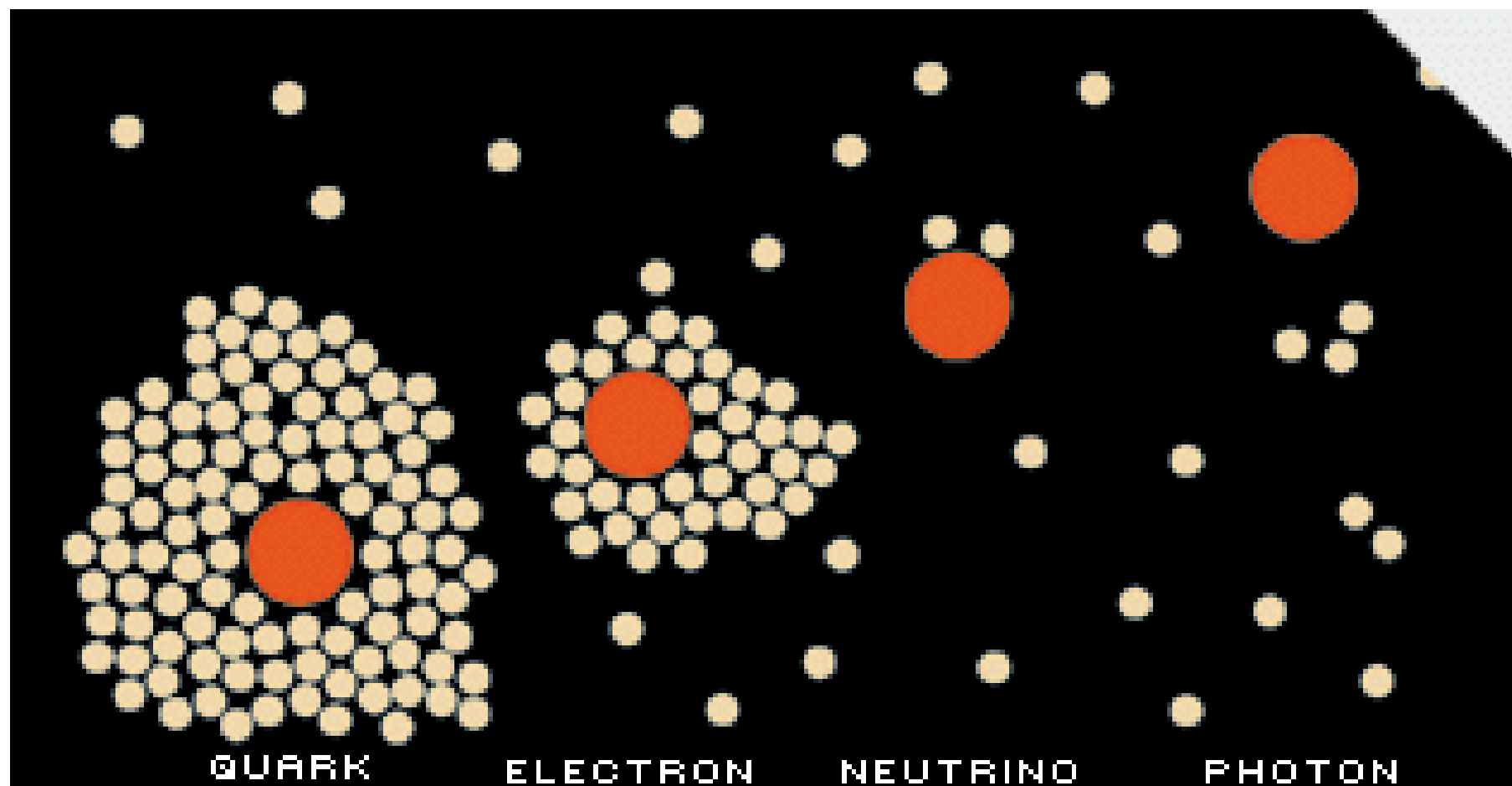
ATLAS
collaborator

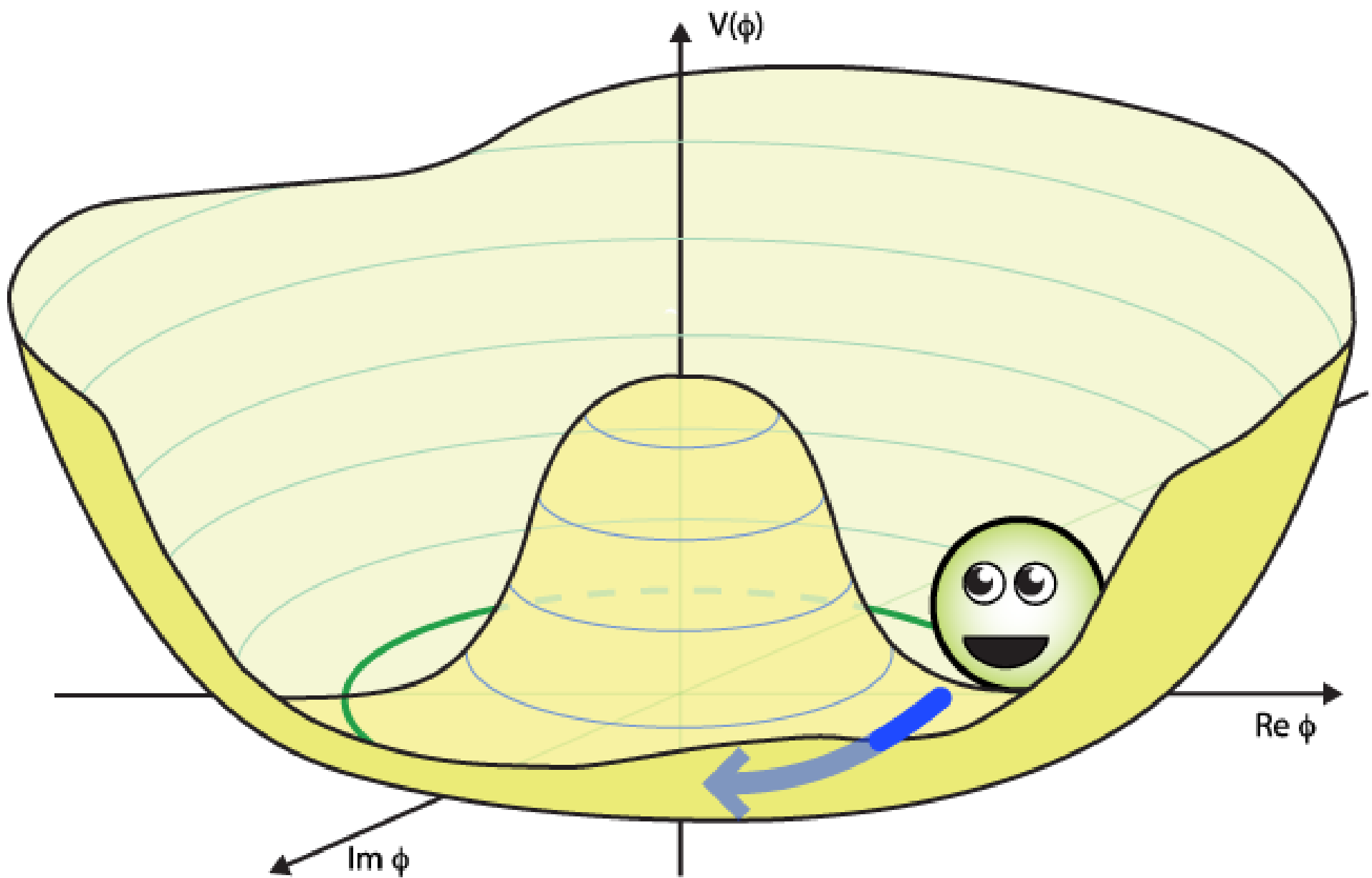


ATLAS DETECTOR
Nov. 2005

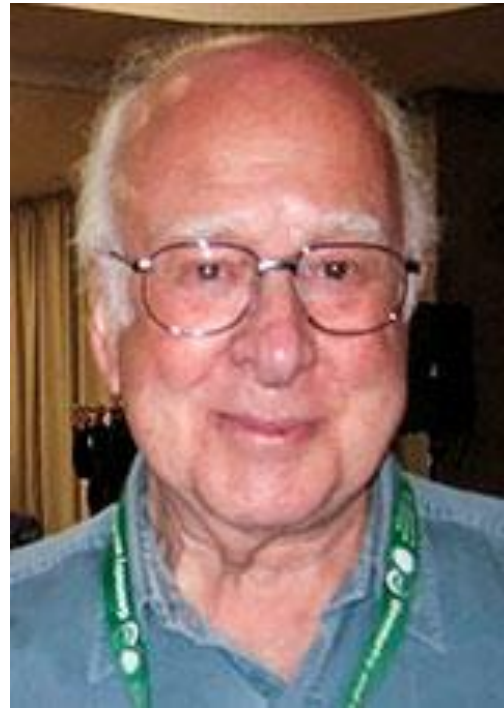
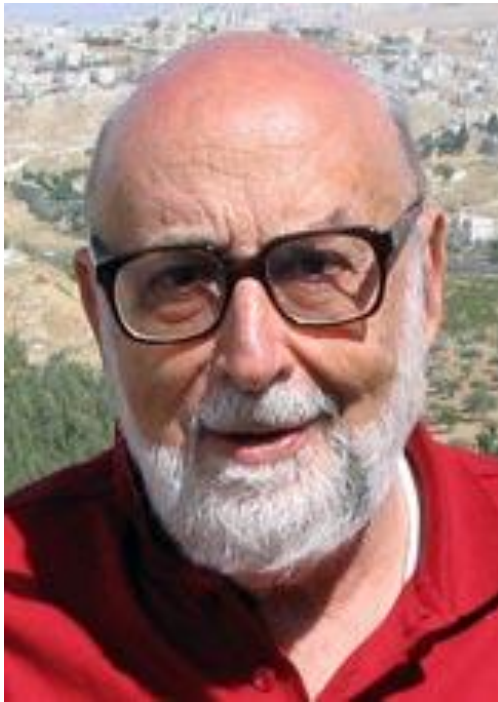


Installation of inner detector end-cap



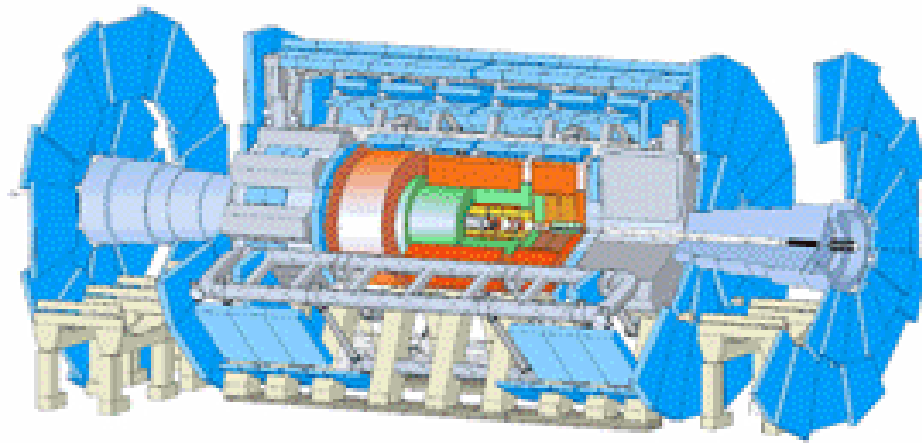


The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs "*for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider*" – *Francois Englert, Peter Higgs*

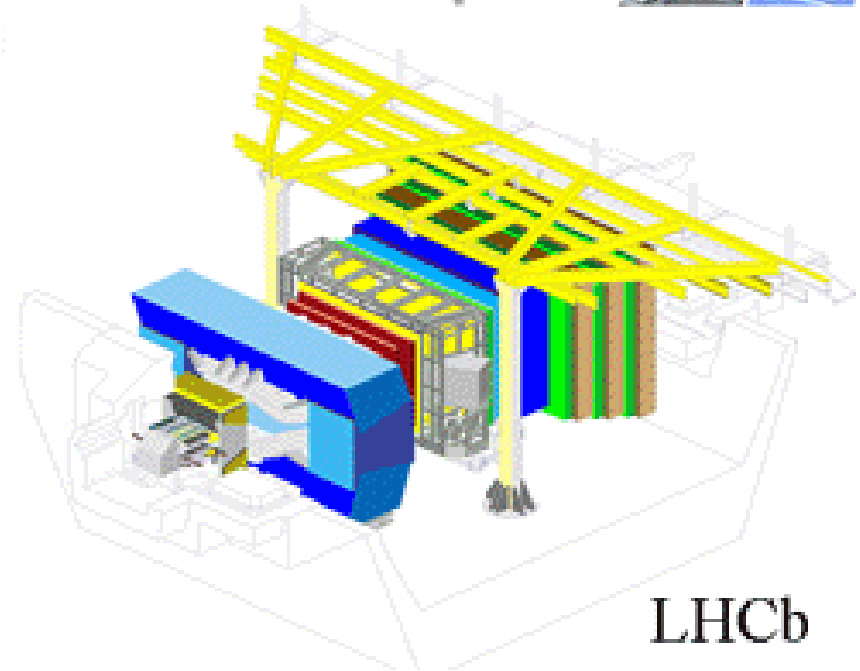
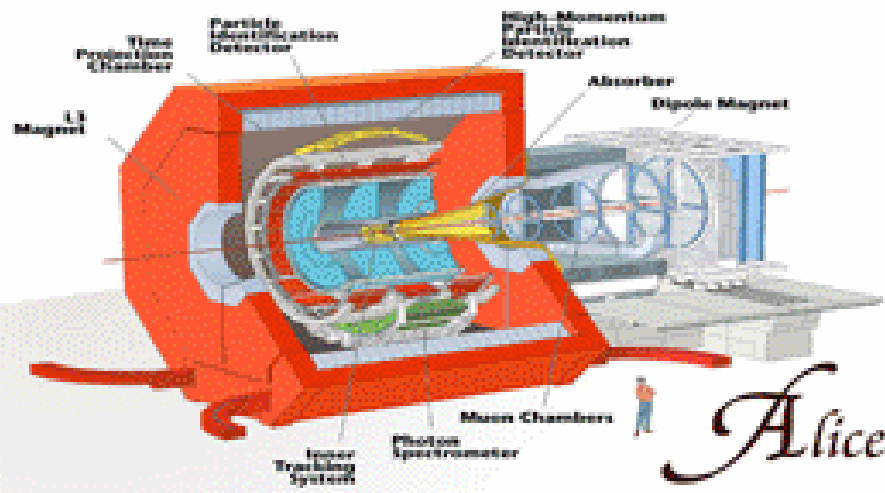
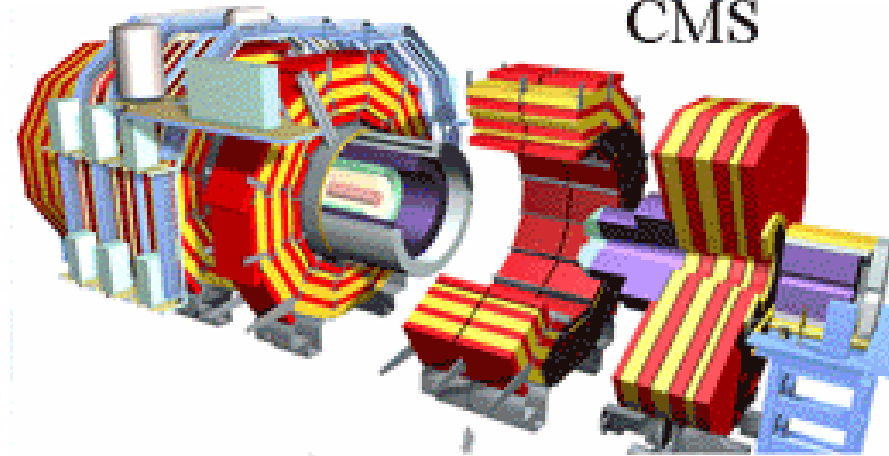


Large Hadron Collider

ATLAS

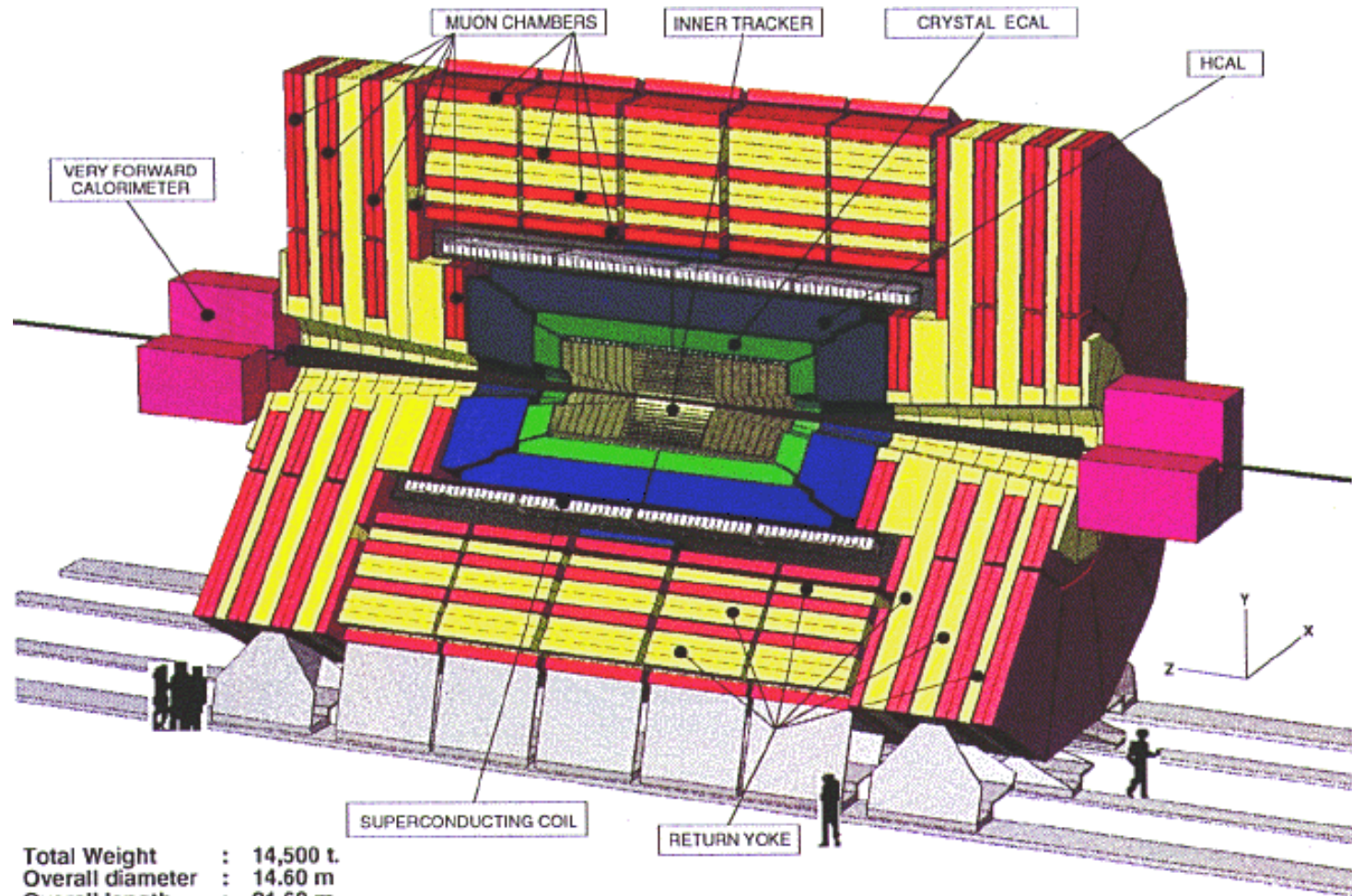


CMS

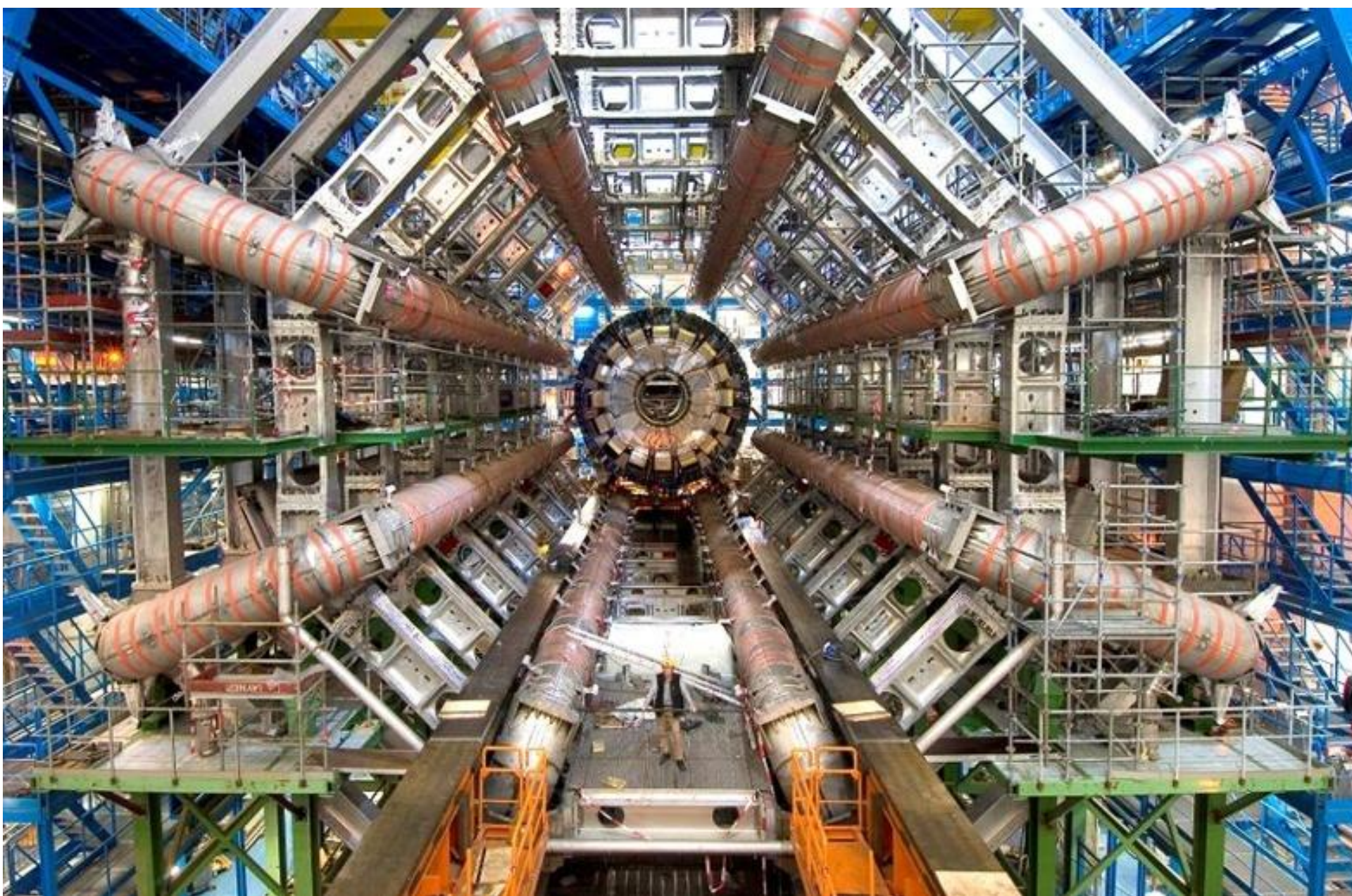


LHCb

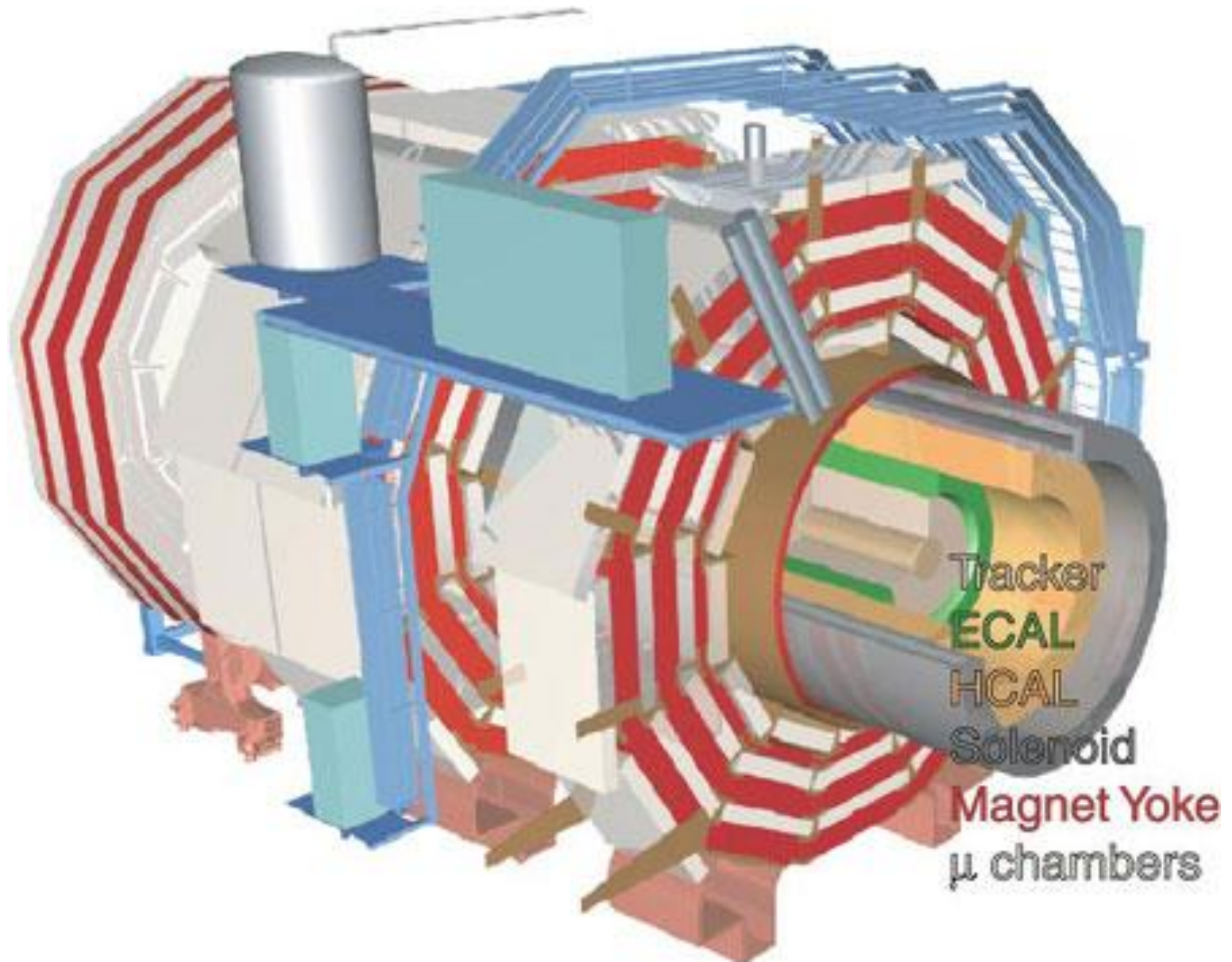
Large Hadron Collider - ATLAS



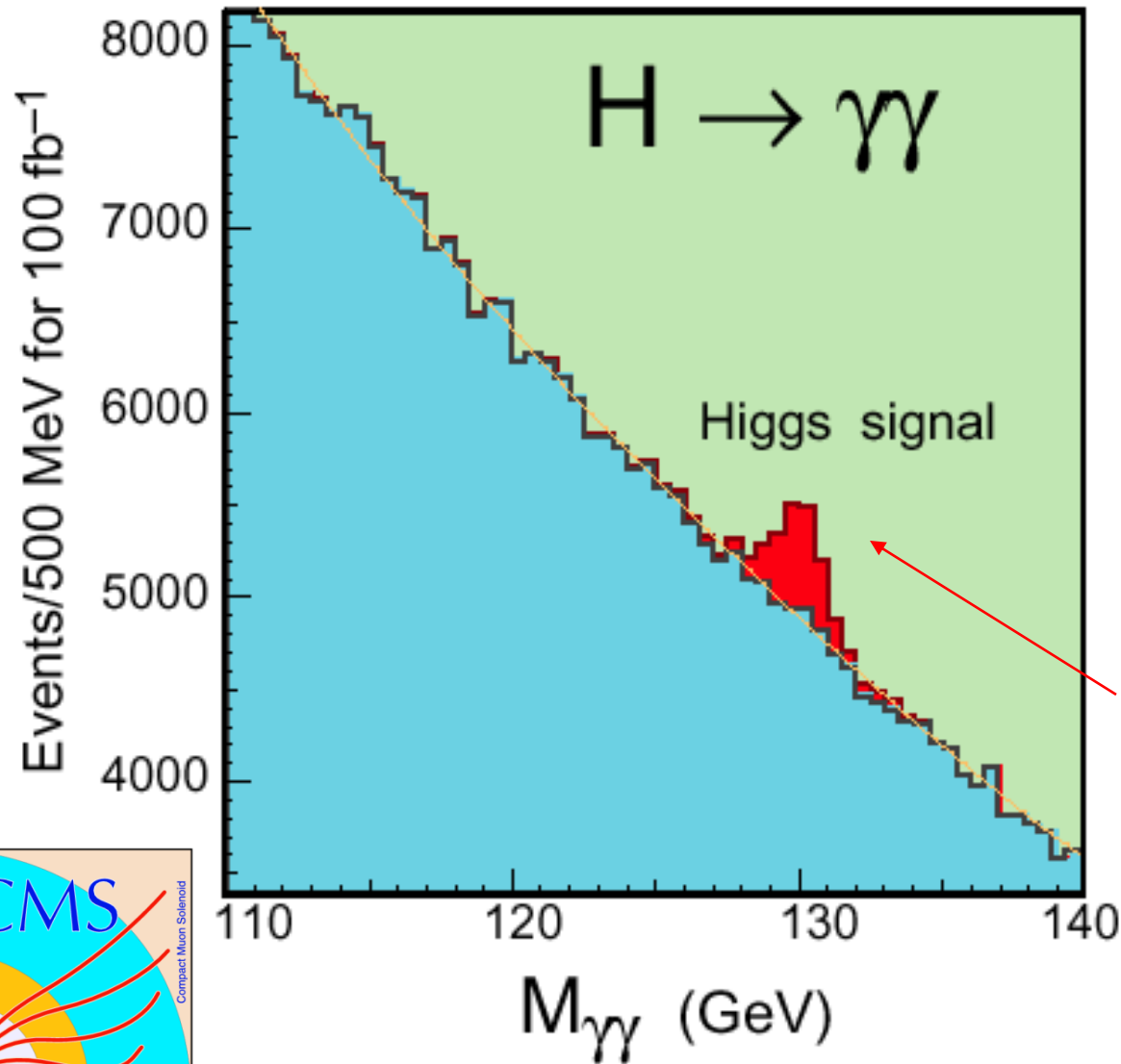
Total Weight : 14,500 t.
Overall diameter : 14.60 m
Overall length : 21.60 m
Magnetic field : 4 Tesla



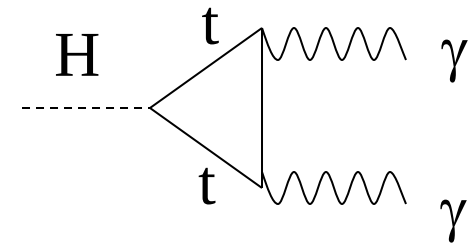
Large Hadron Collider - CMS



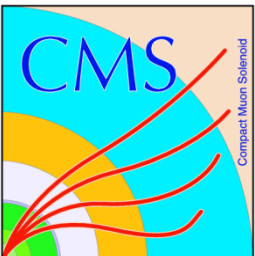
Higgs Decay to Photons



Rare decay in SM

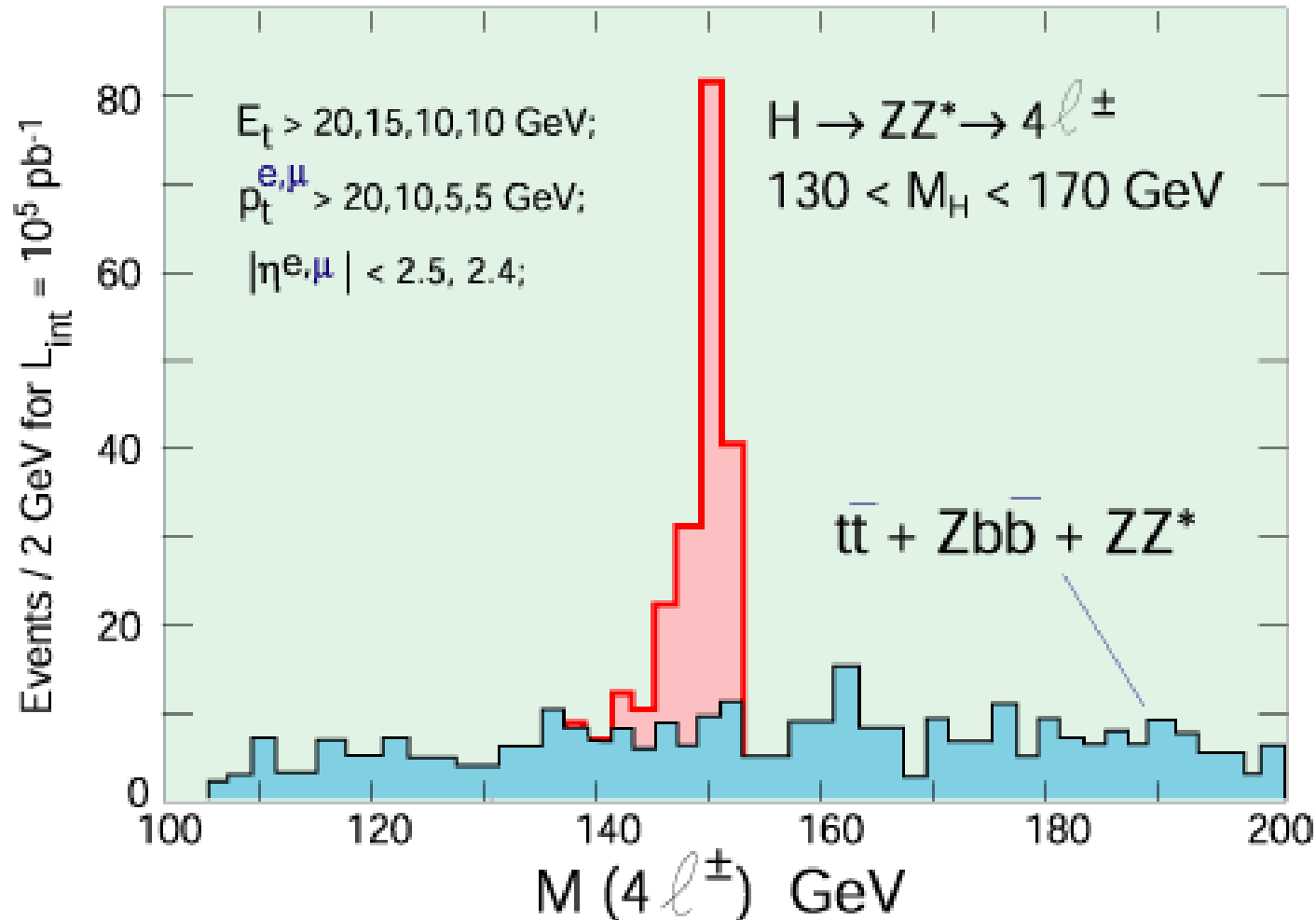


LHC detectors have been optimized to find **this peak!**

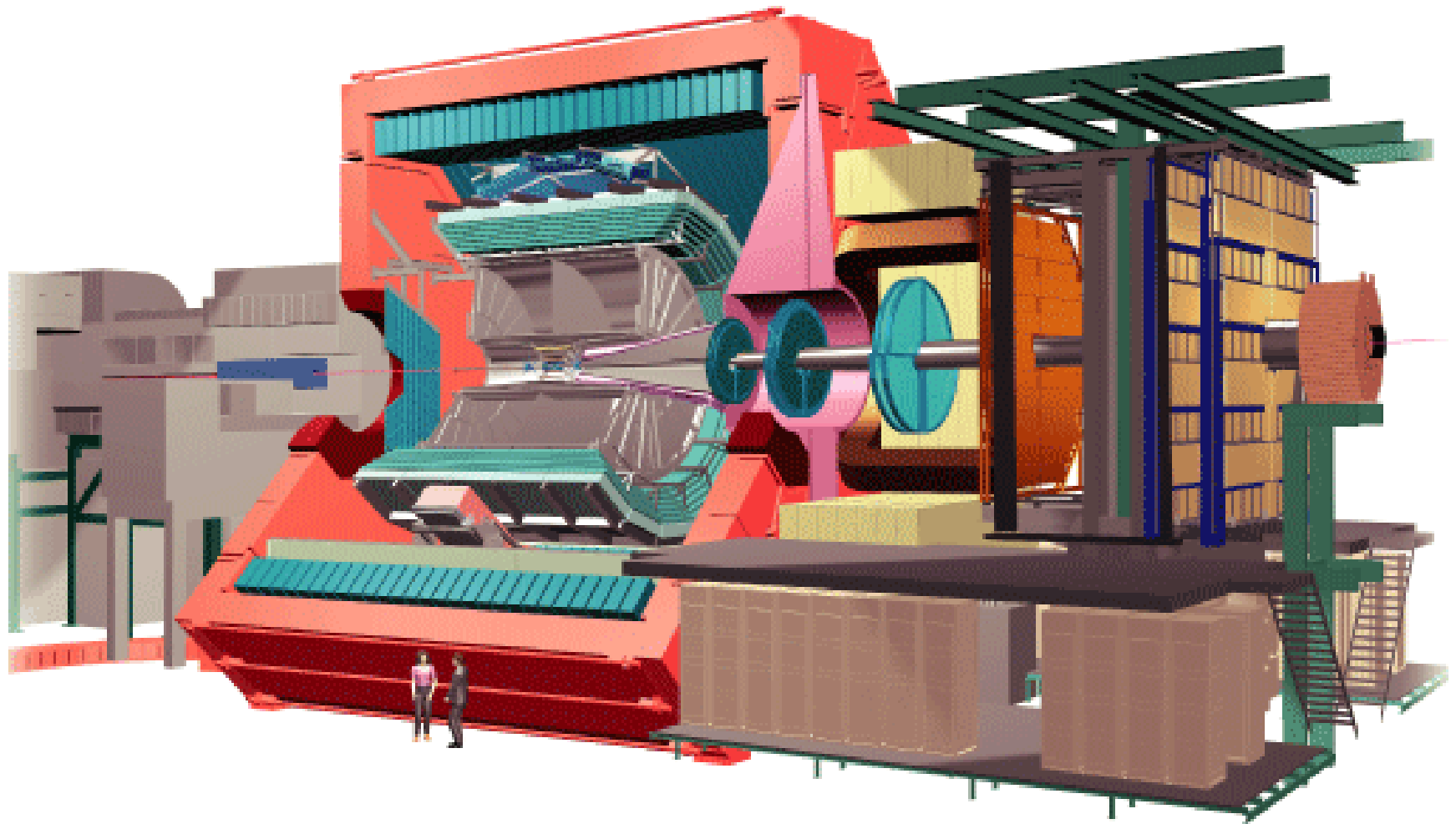


Higgs Decay to ZZ

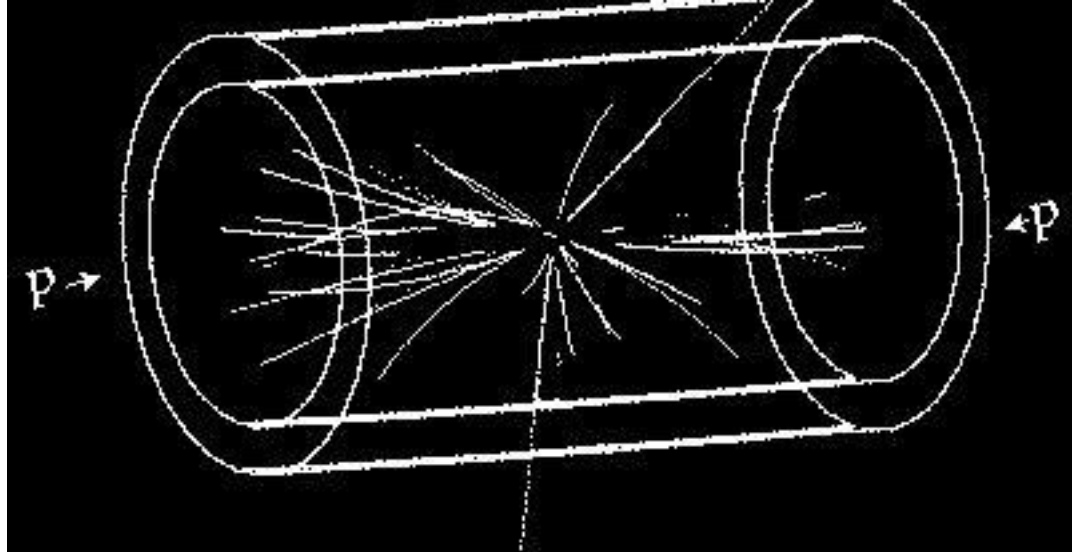
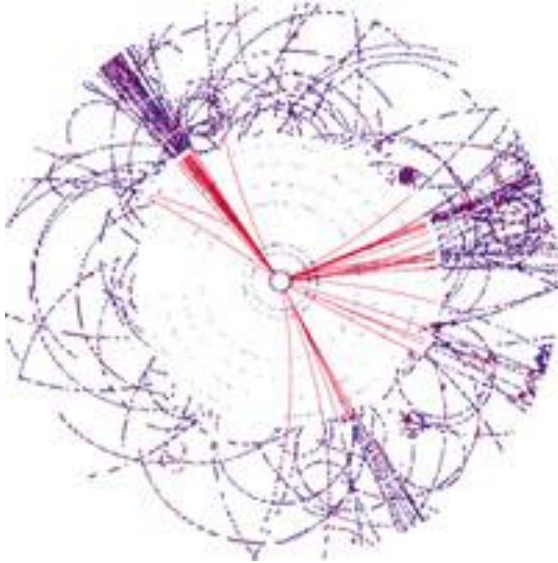
Requires precise measurement of muon curvature



Large Hadron Collider - ALICE



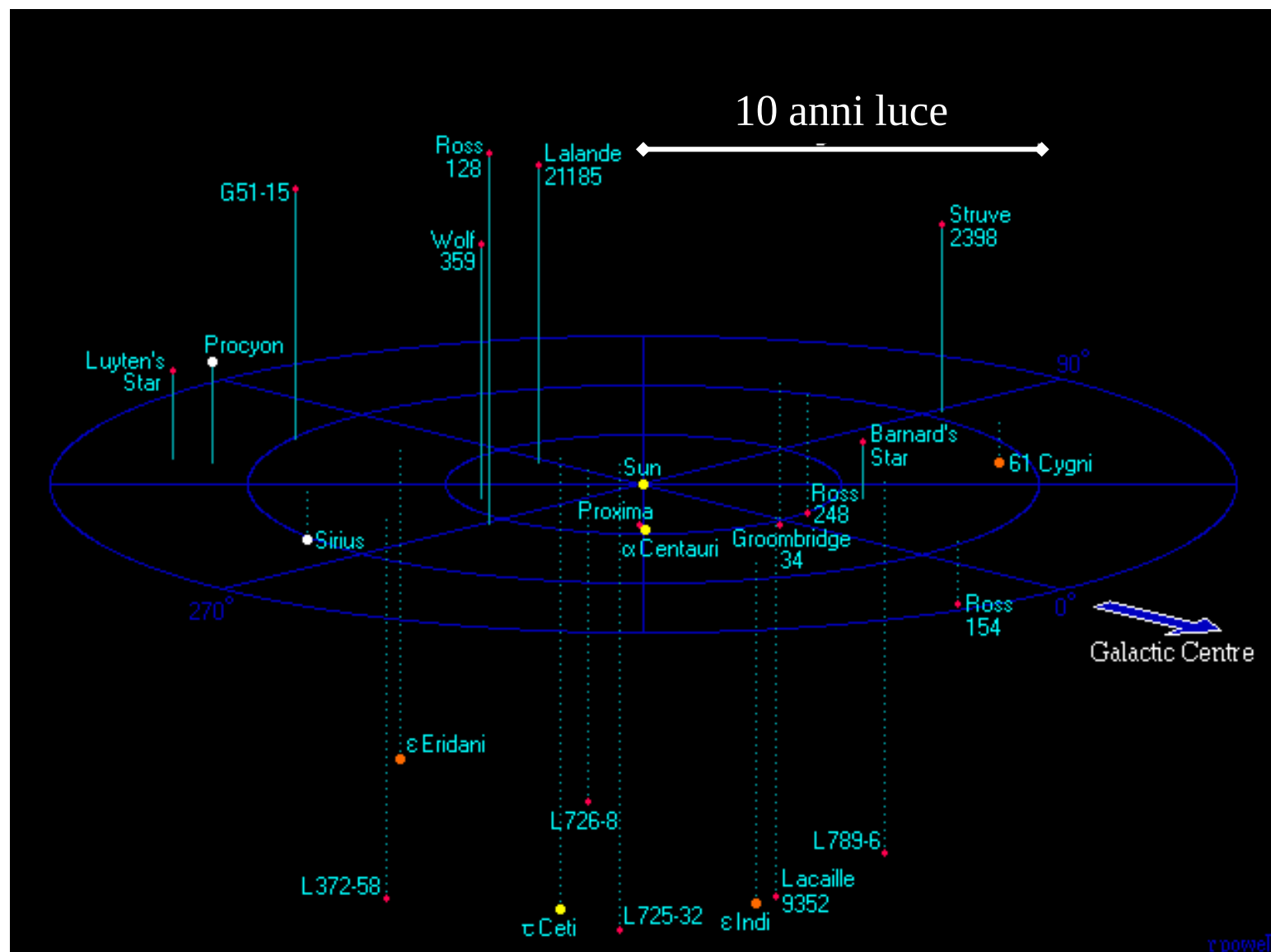
LHC e ATLAS: selezione eventi interessanti



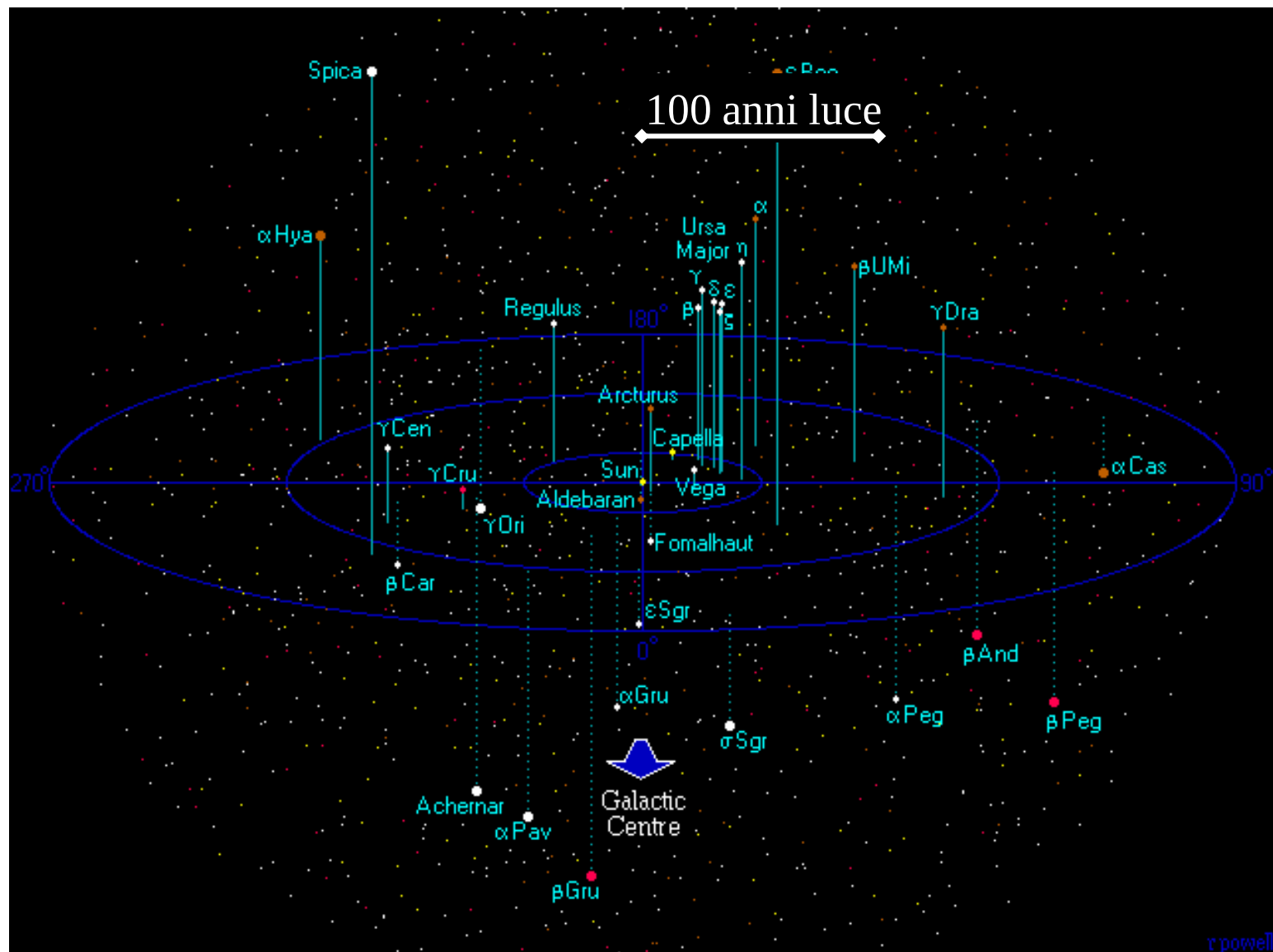
800 milioni di collisioni al secondo. Solo una decina con "lampi" interessanti.

E' come cercare un ago in un pagliaio.



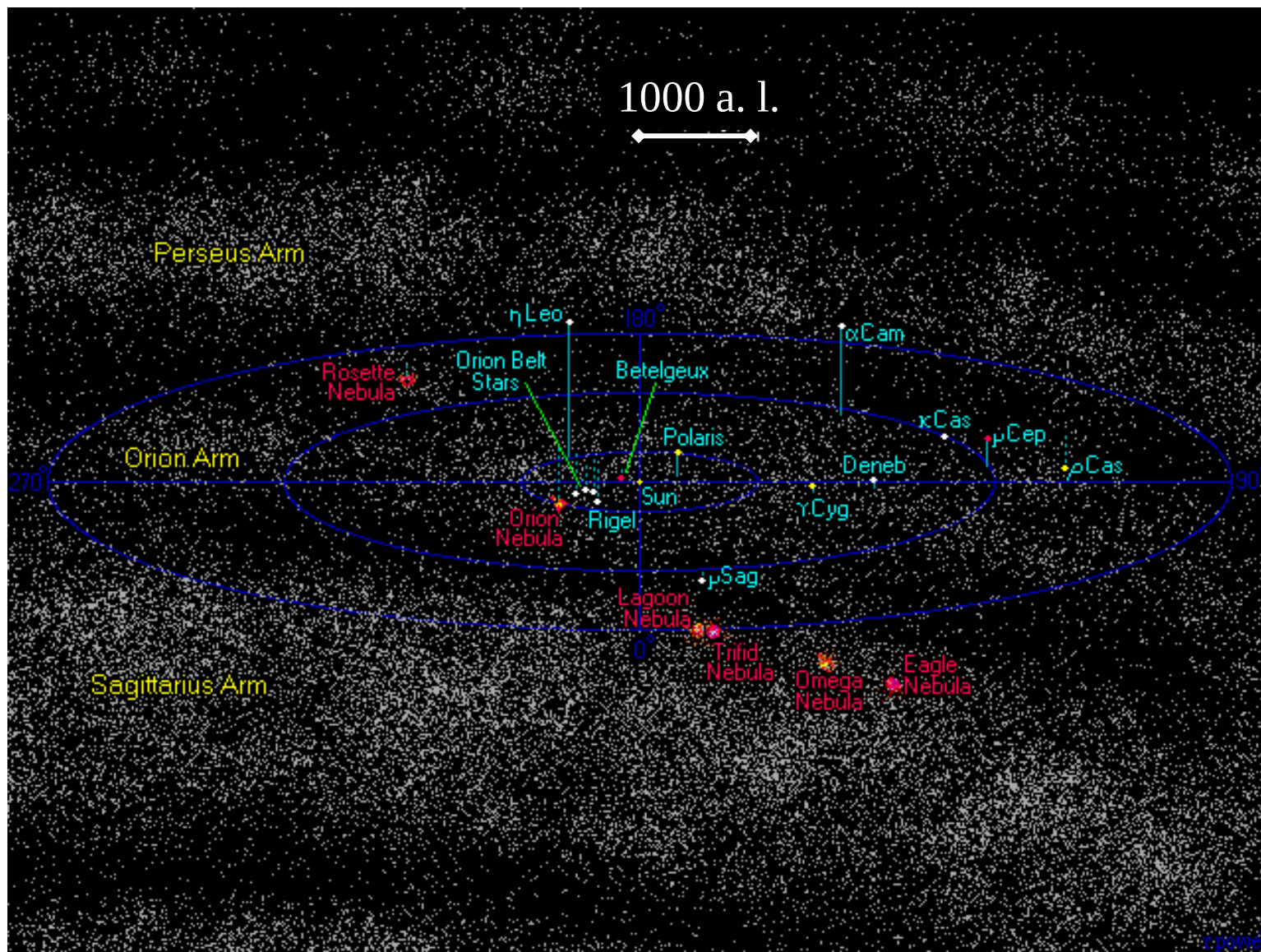


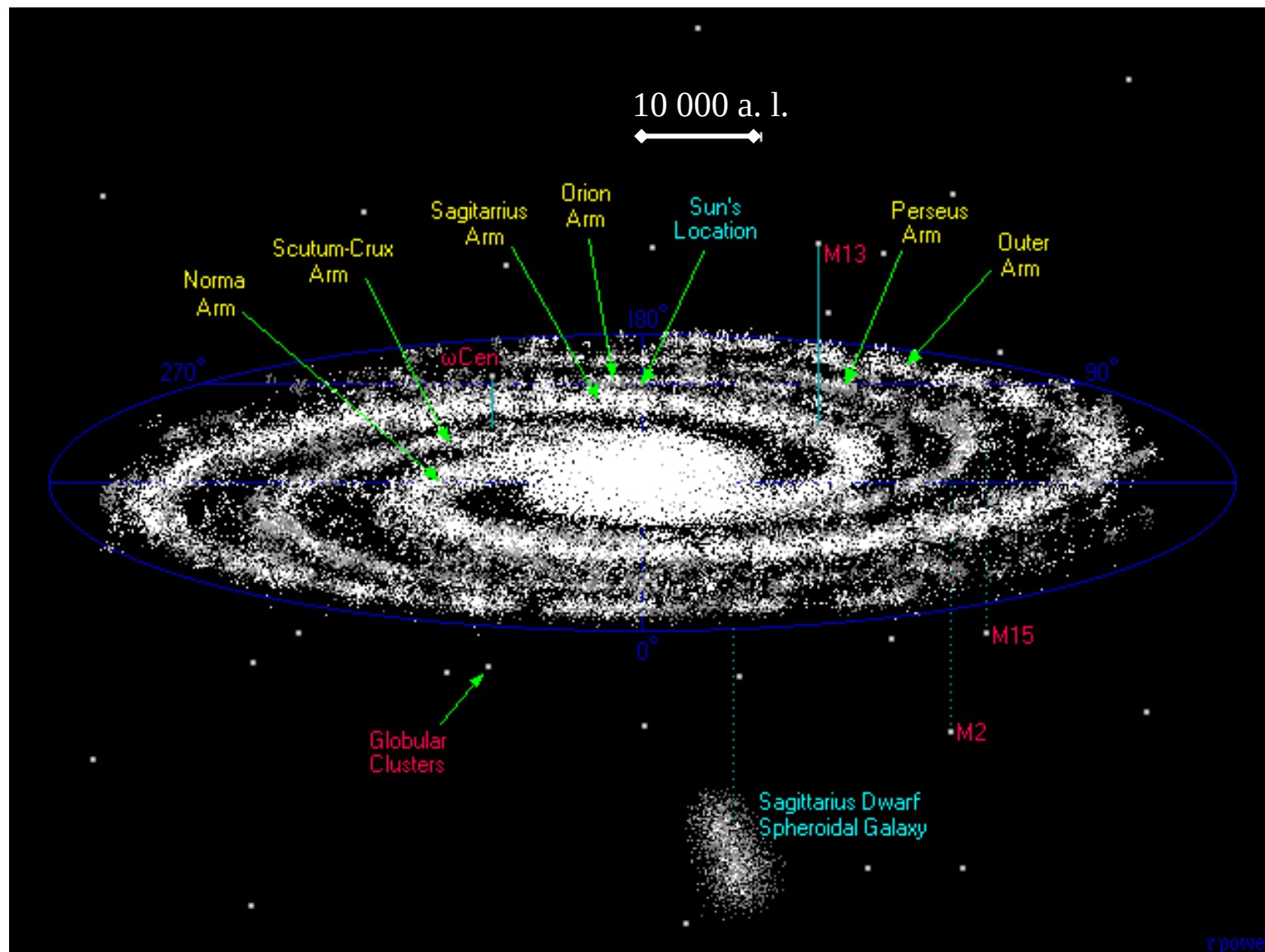
Zoom Out x20



Zoom In x20

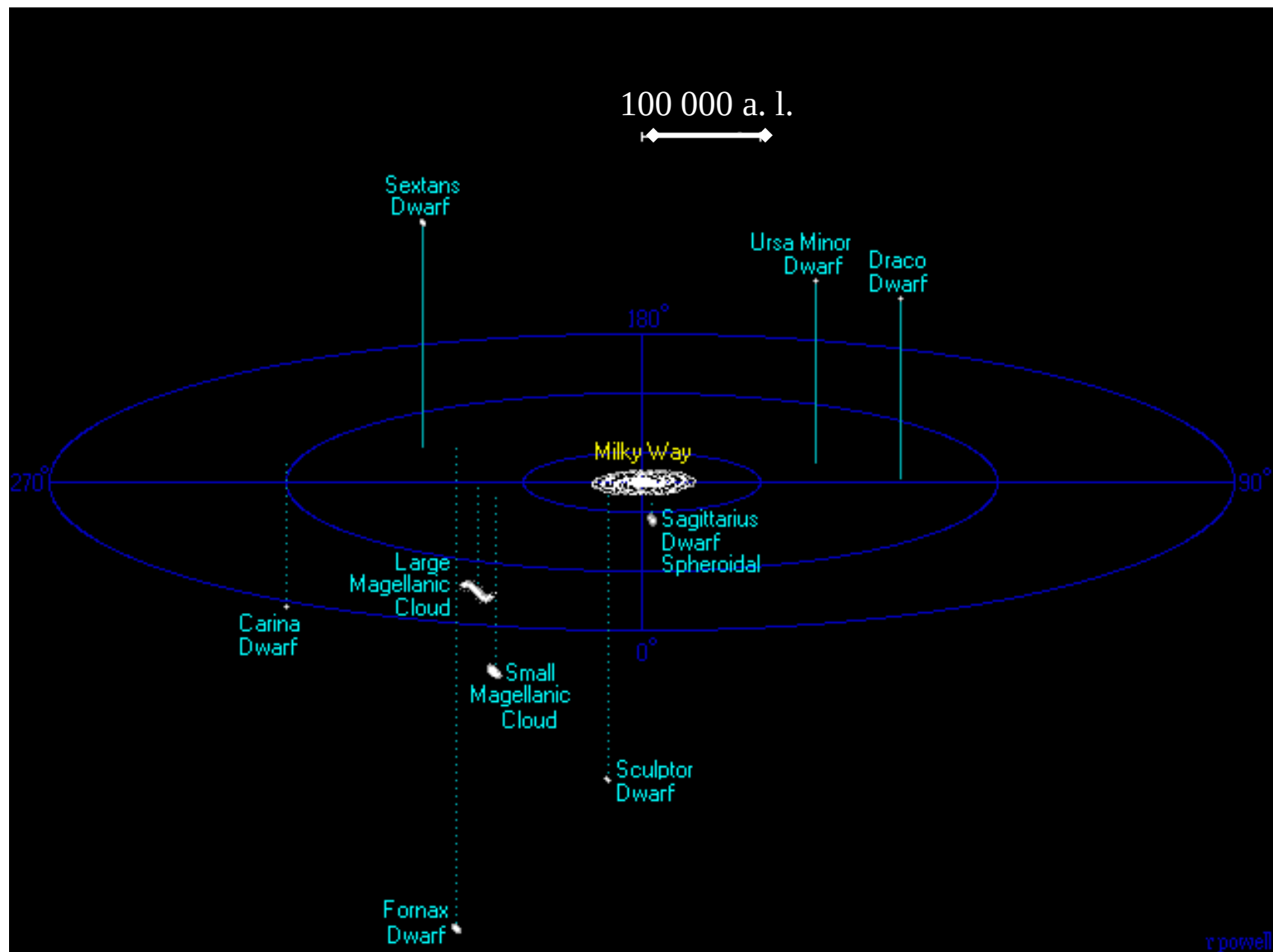
Zoom In x20





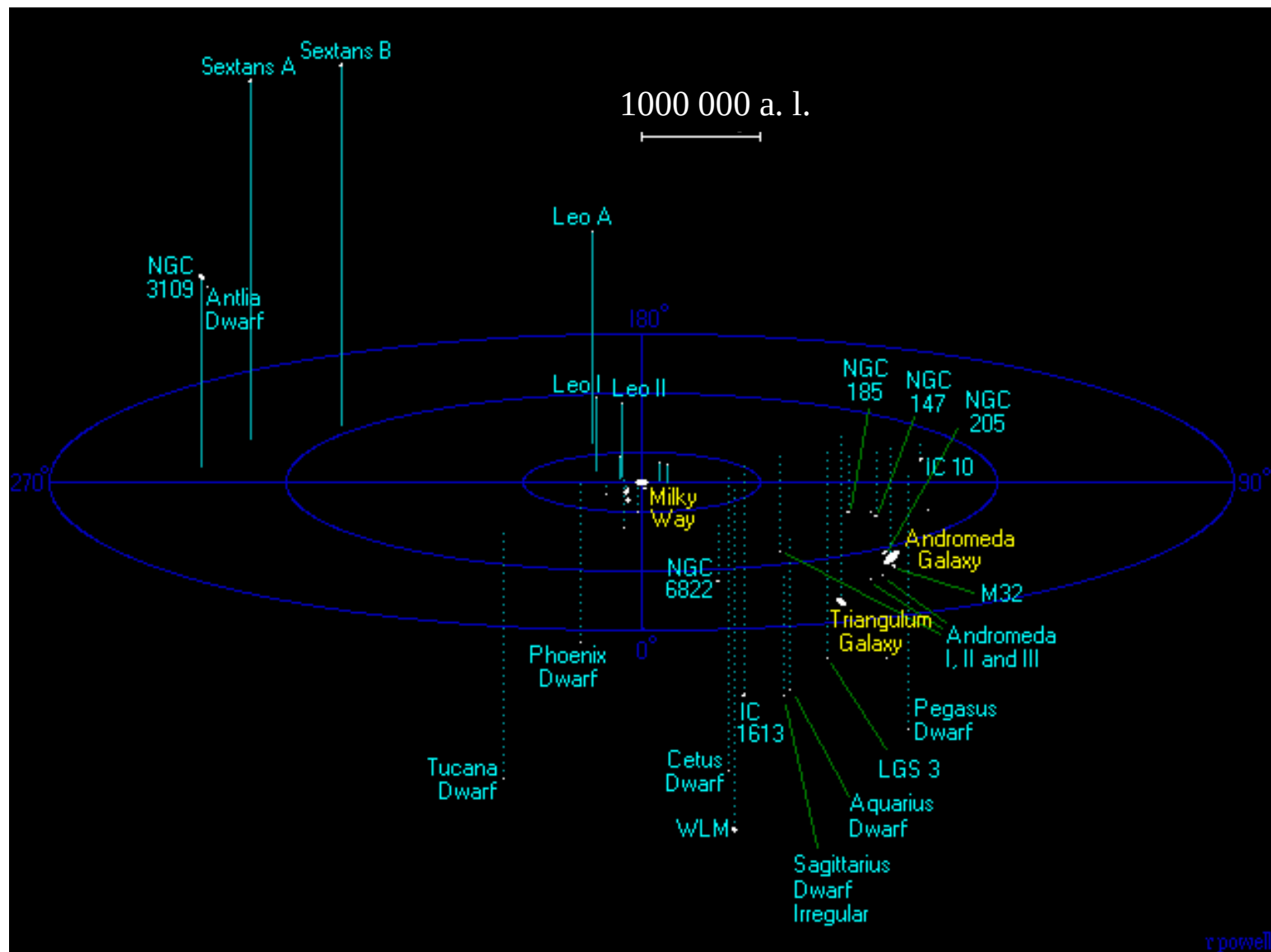
Zoom In x10

Zoom Out x10



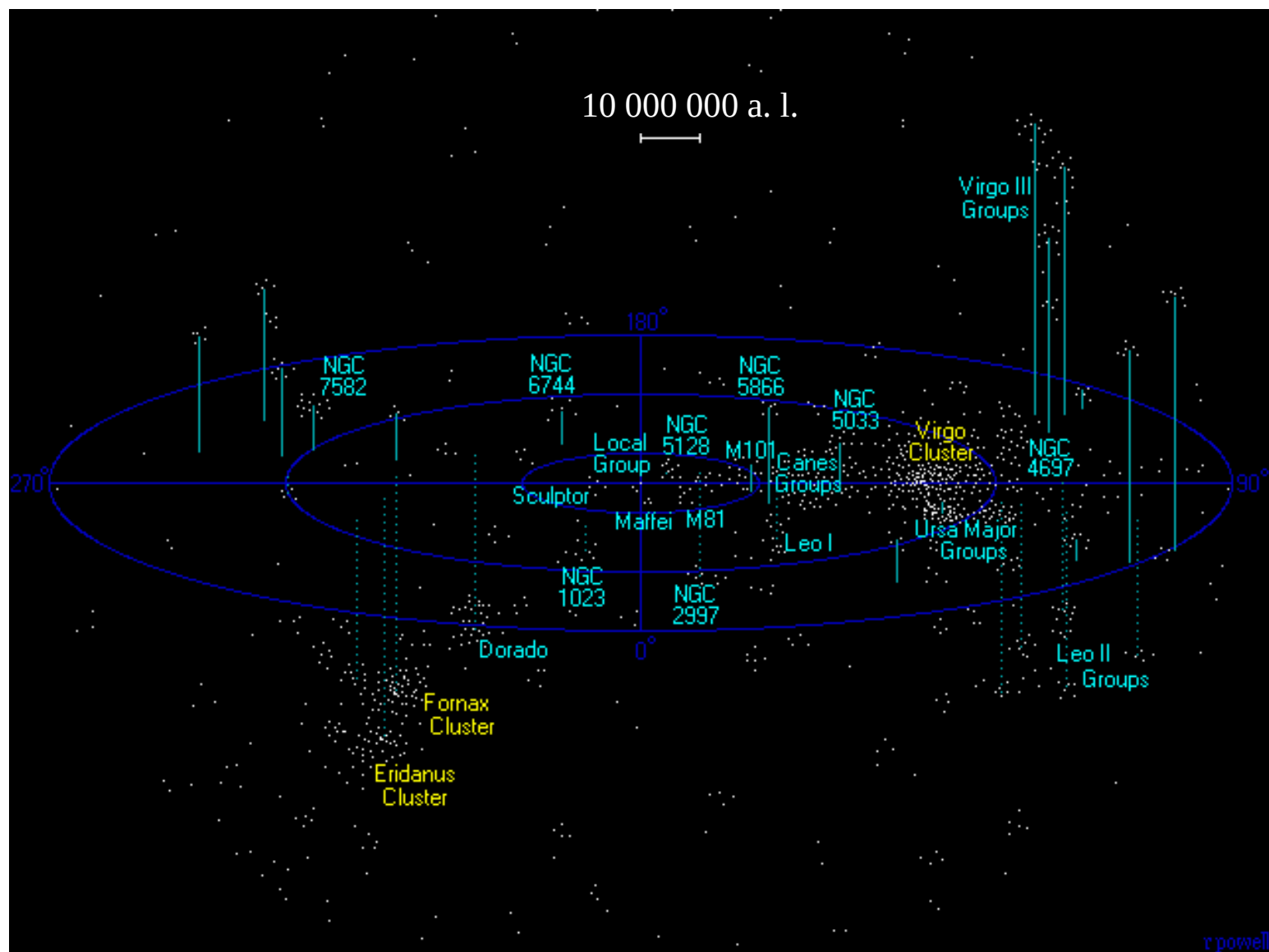
Zoom In x10

Zoom Out x10



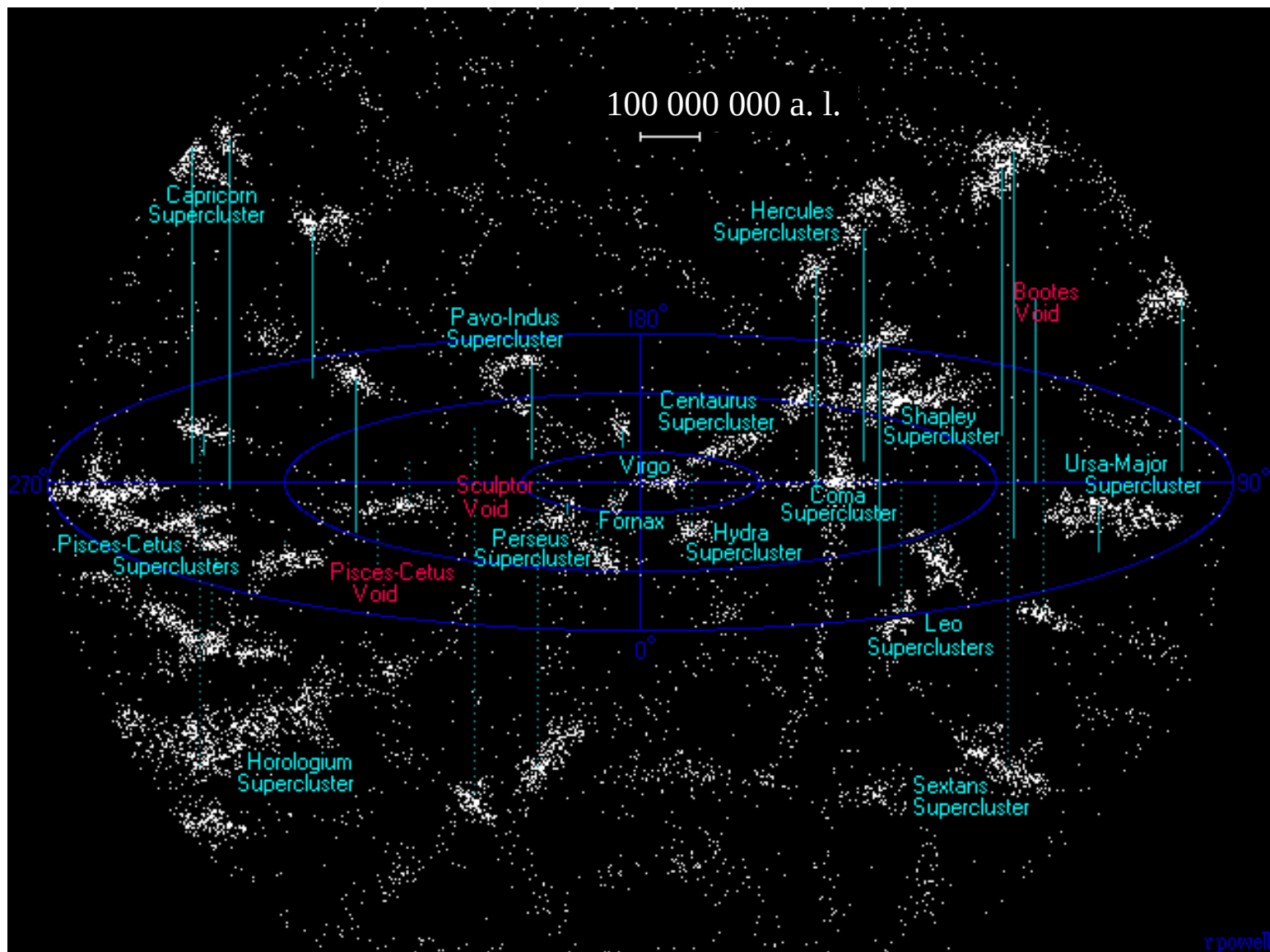
Zoom In x10

Zoom Out x20



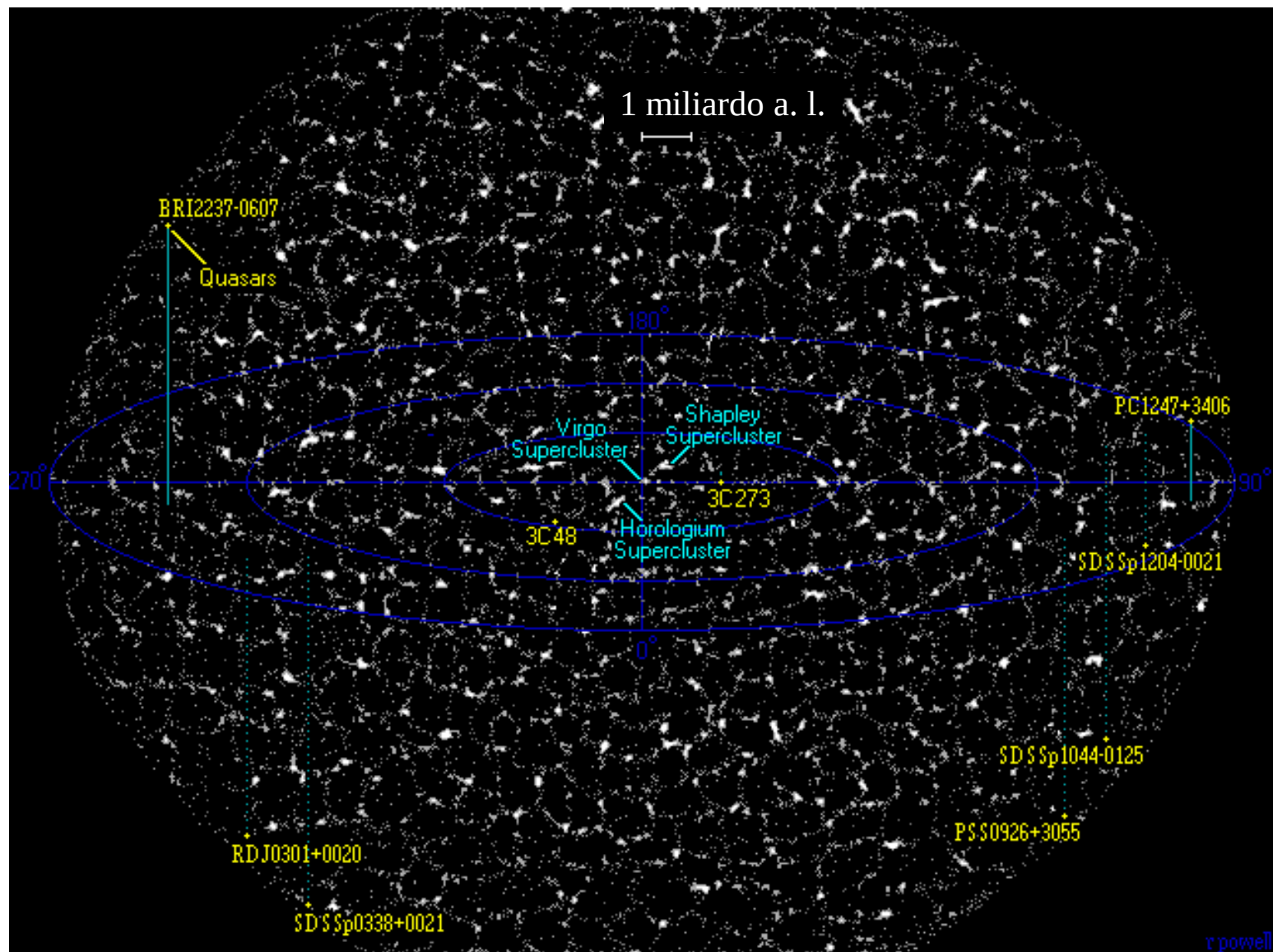
Zoom In x20

Zoom Out x10

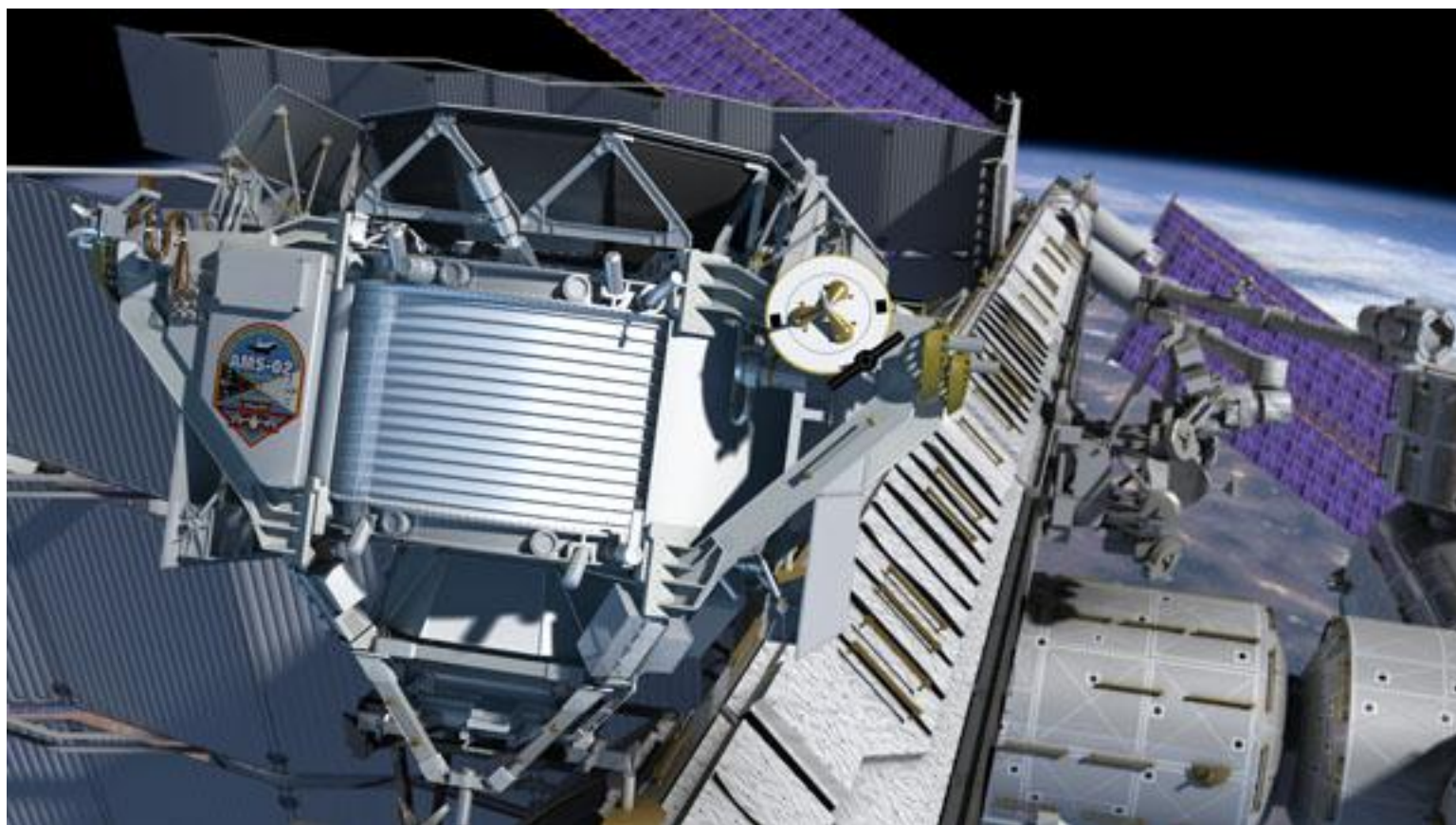


Zoom In x10

Zoom Out x15

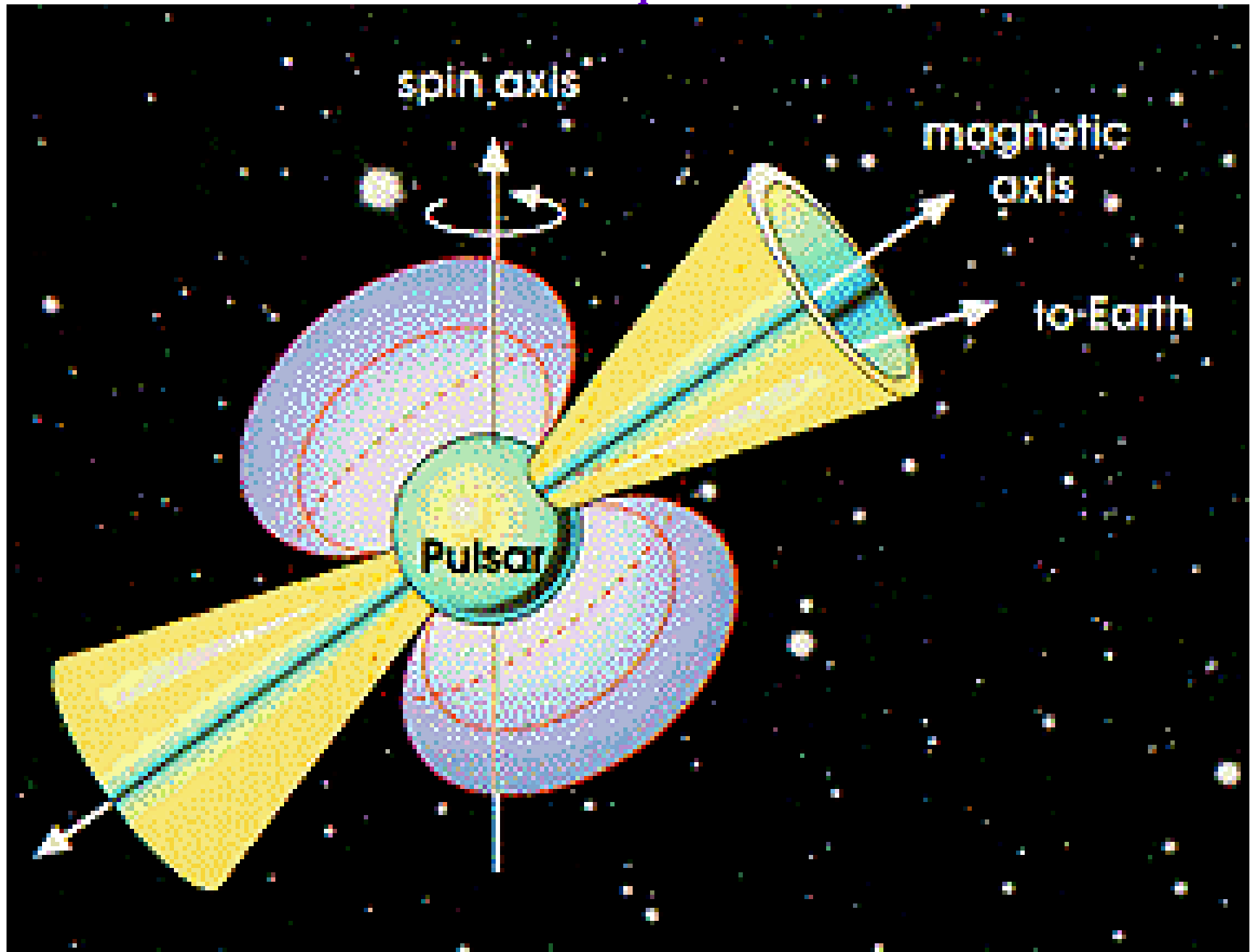


Zoom In x15

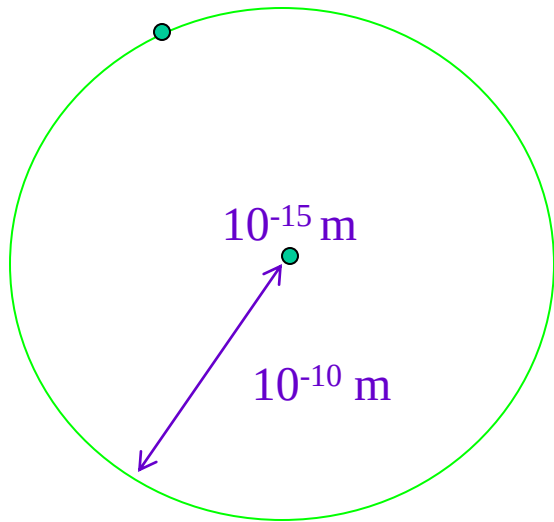
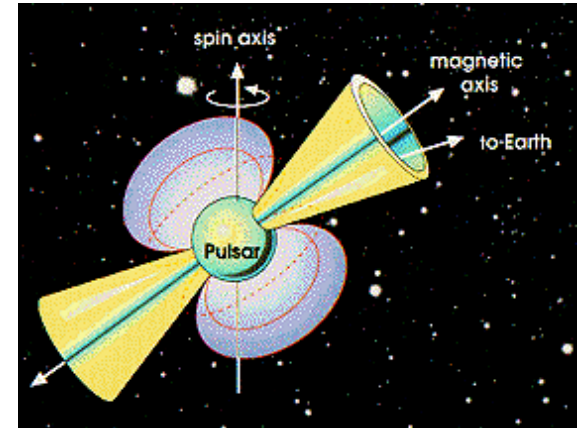




Differenza abissale tra
la materia ordinaria e quella collassata

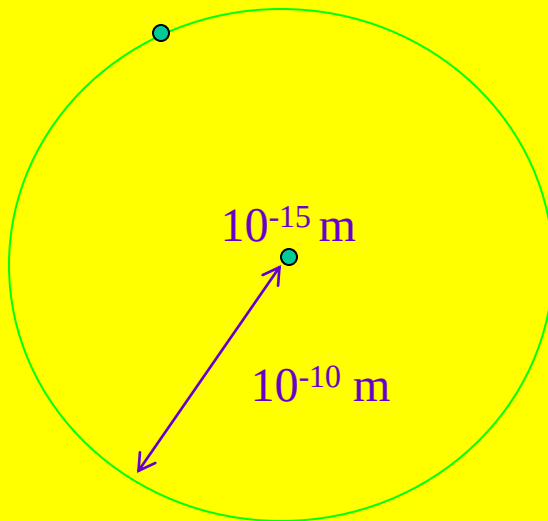
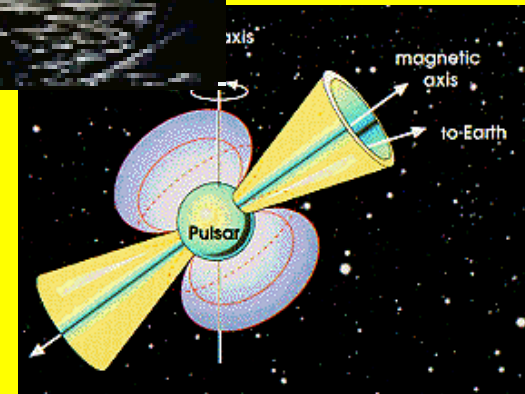


Differenza abissale tra la materia ordinaria e quella collassata



Se il nucleo atomico fosse grosso come me l'elettrone sarebbe una zanzara che ruota intorno a me su un cerchio con un diametro Firenze-Corsica. L'altro uomo-nucleo vivrebbe nel Lazio con una zanzara a 100 km..... La materia ordinaria è quindi VUOTA
(*Ordinary Matter is Empty*)

Differenza abissale tra la materia ordinaria e quella collassata



La materia collassata ha tutti i nuclei (o
meglio i neutroni – ma non importa)
uno accanto all'altro.....

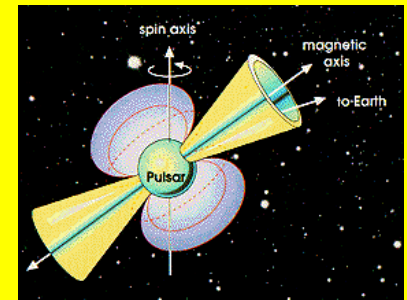
(Collapsed Matter is Full)

EXERCISE:

How much is the weight of a milk-shake made of collapsed matter?



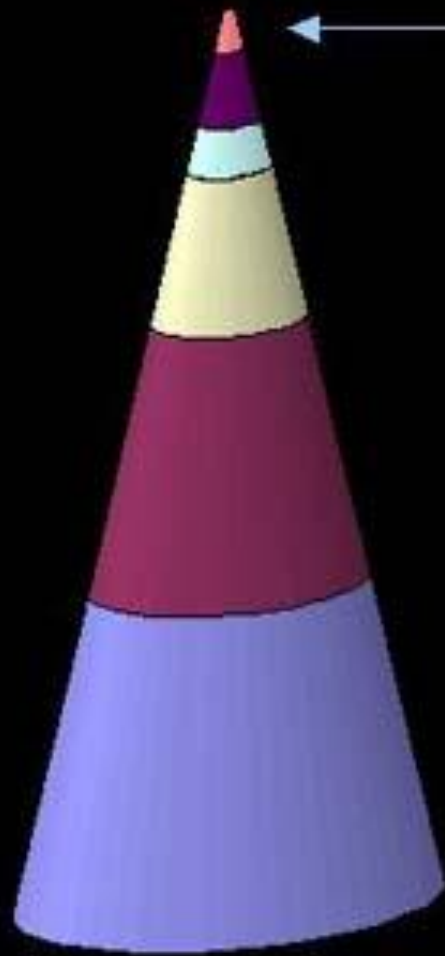
Pesa 100 Miliardi
di Tonnellate !!!



Le pulsar sono oggetti con queste densità con 20 km di raggio che
possono
compiere decine e centinaia di giri al secondo su loro stesse

Anche la velocità è un parametro da cui dipende l'emissione

Composizione dell'Universo



We are here

Other elements	0.03%
Neutrinos	0.3%
Stars	0.5%
Free H and He	4%
Dark matter	23%
Dark energy	72%

**Non sappiamo di cos'e' fatto
95% dell'Universo**

Fisica LHC (2)

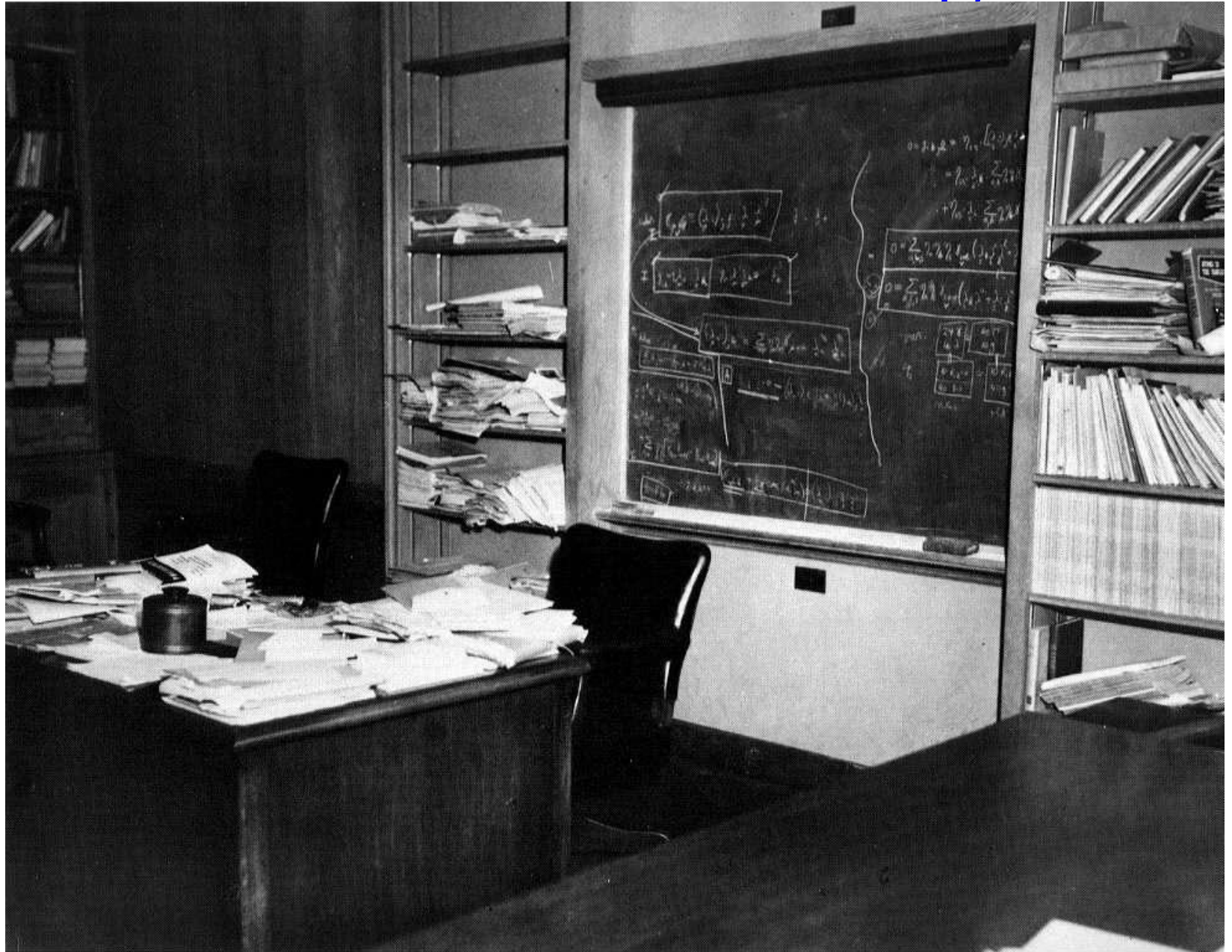
- Sappiamo ora che il 95% della massa dell'universo non è costituita da materia simile a quella che conosciamo da tempo. Di che si tratta? In altre parole, cosa sono la materia oscura e l'energia oscura?
- Esistono le particelle supersimmetriche (SUSY)?
- Esistono le extradimensioni previste da vari modelli emersi dalla teoria delle stringhe? E possiamo "vederle" in qualche modo? – si BUCHI NERI – per noi UN FATTO POSITIVO
- Quali sono le caratteristiche della violazione CP che possono spiegare la dissimmetria tra materia e antimateria, cioè la quasi assenza di antimateria nell'universo?
- Cosa si può conoscere con maggiori dettagli di oggetti già noti (come il quark top)?
- Verificare sperimentalmente la teoria delle stringhe?

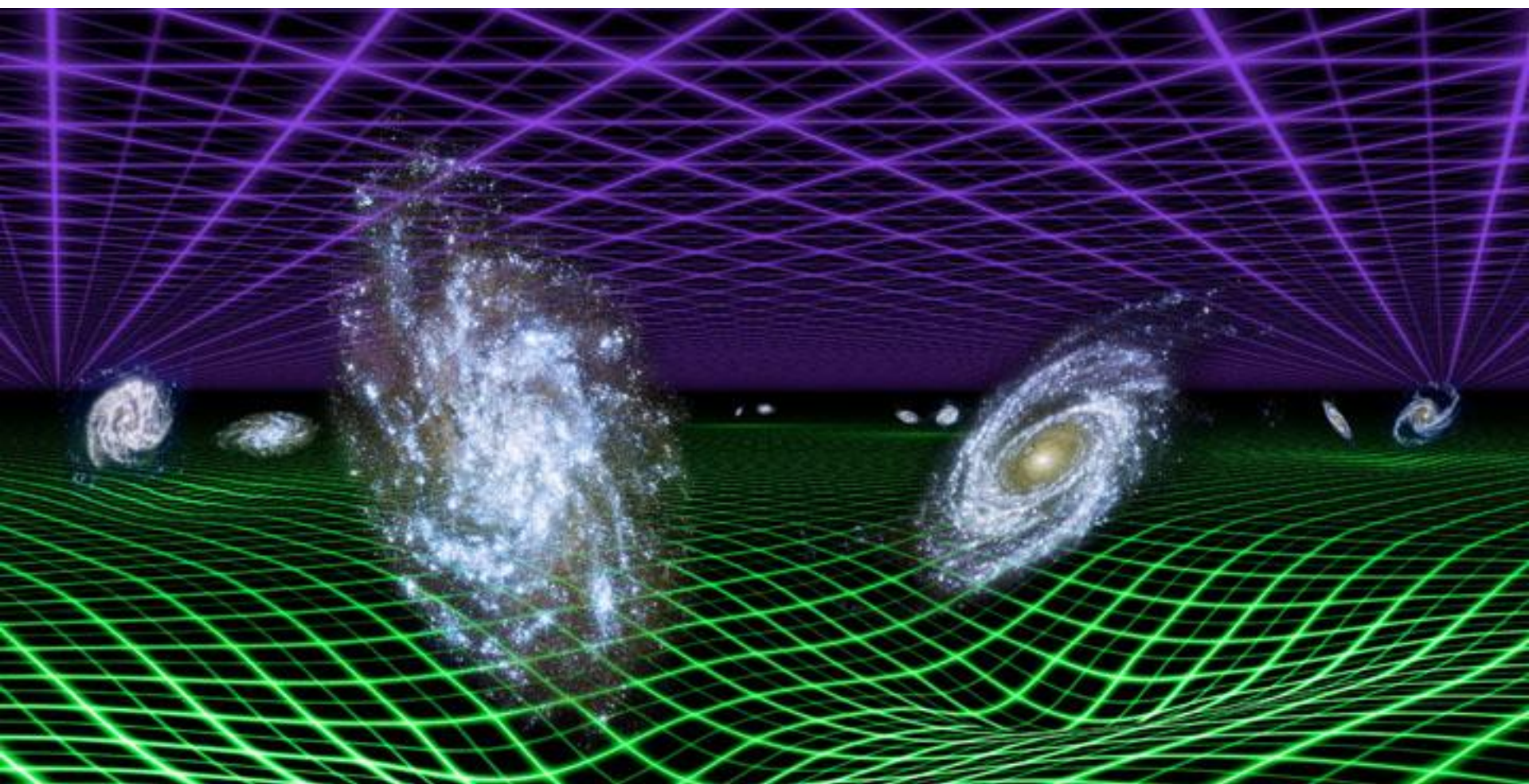
Fisica LHC (3)

Unexpected...



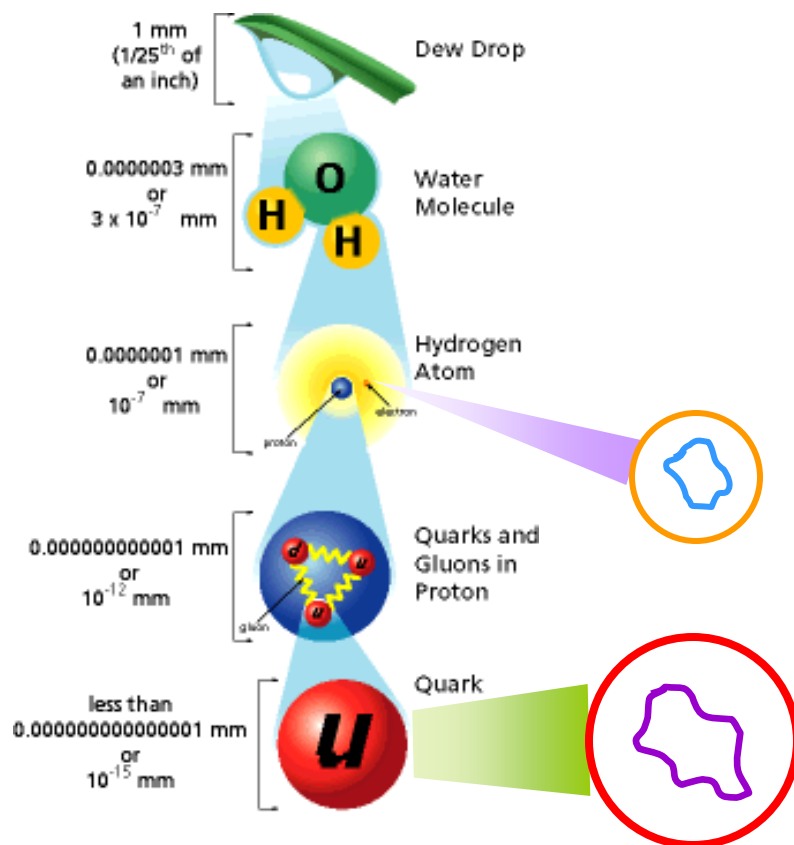
Einstein – l'ultima lavagna





Questioni Aperte

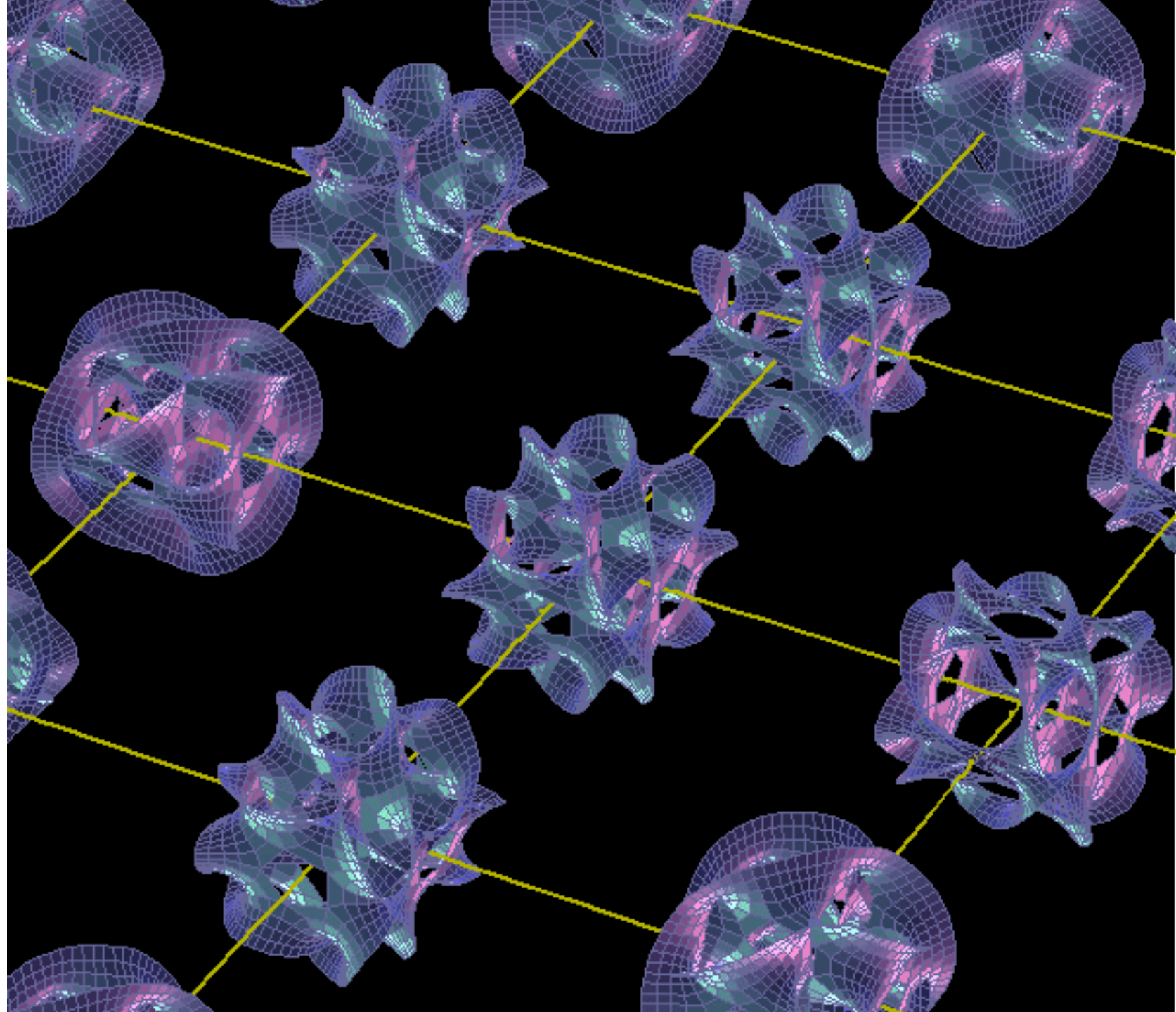
- Le particelle sono veramente puntiformi ?



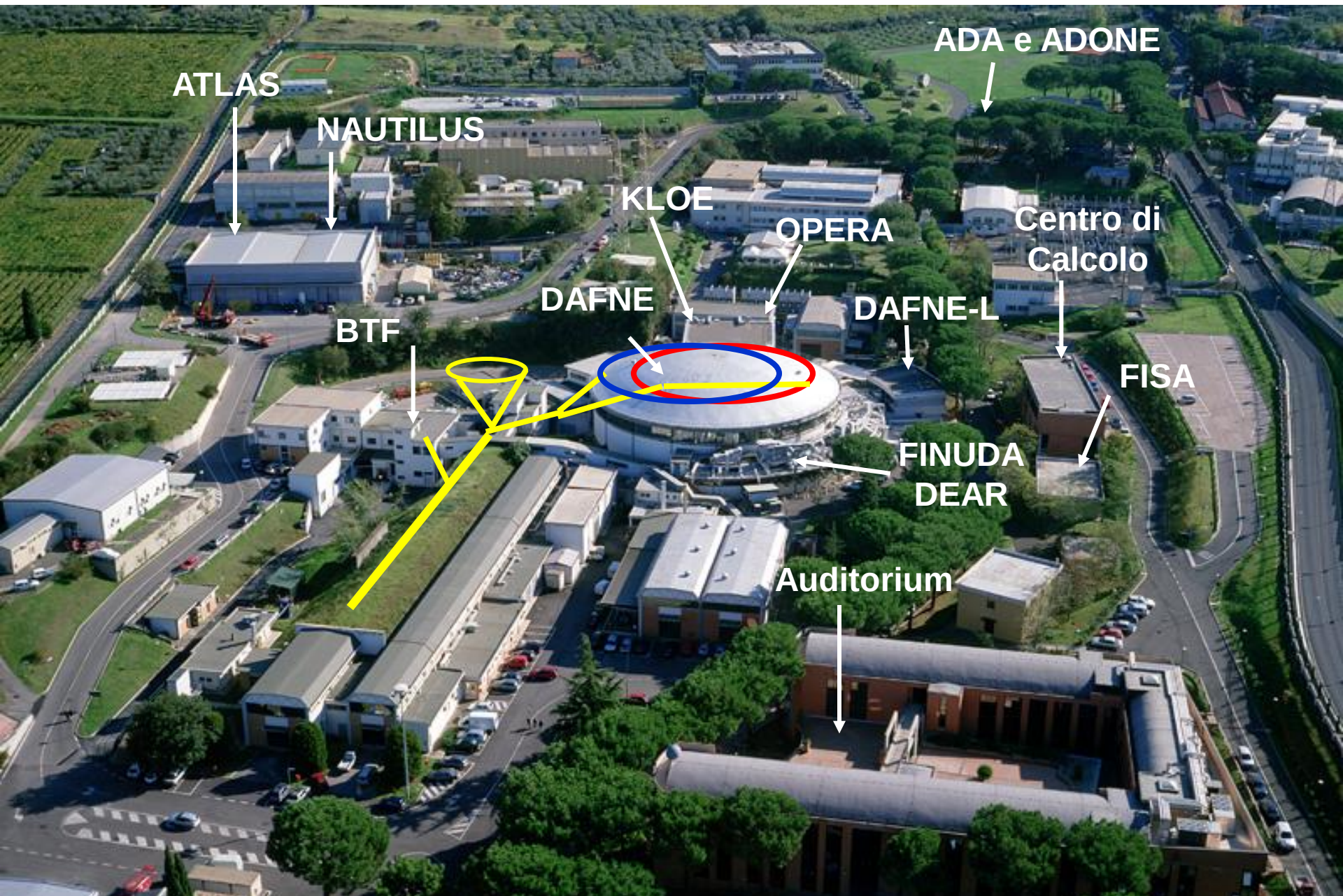
Teoria delle Stringhe

ulteriore livello
microscopico: particelle
non sono puntiformi, ma
piccoli (10^{-33} cm) anelli
oscillanti

diversi stati di oscillazione
della stringa →
particelle diverse



Laboratori Nazionali di Frascati, info: <http://www.lnf.infn.it/sis/>

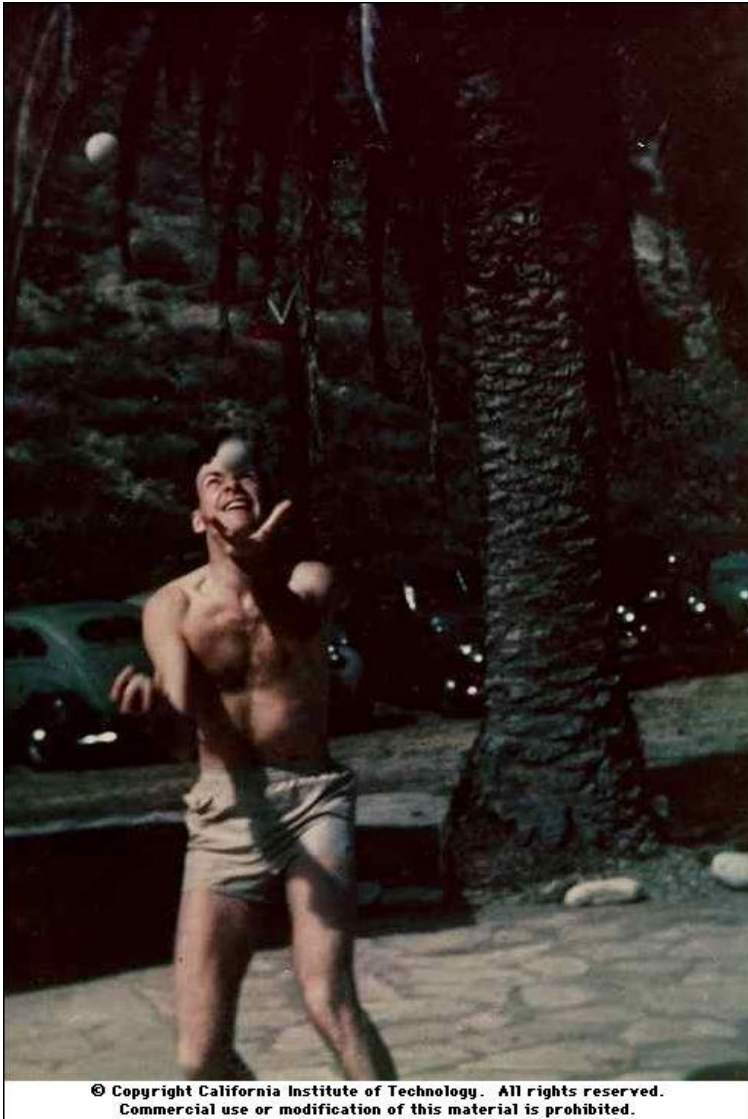




Science is beauty, in fact: the harmony
of some of its principles
is art

Feynman

Deep in the sea
all molecules repeat
the patterns of another
till complex new ones are formed.
They make others like themselves
and a new dance starts.
Growing in size and complexity
living things
masses of atoms
DNA, protein
dancing a pattern ever more intricate.
Out of the cradle
onto dry land
here it is
standing:
atoms with consciousness;
matter with curiosity.
Stands at the sea, wondering: I
a universe of atoms
an atom in the universe.



© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.
Commercial use or modification of this material is prohibited.

Einstein

“L’esperienza piu’ bella che possiamo avere e’ il mistero. E’ l’emozione fondamentale alla base della vera arte e della vera scienza. Chi non sa cos’e’ e non sa piu’ sognare o meravigliarsi, e’ come morto, e il suo sguardo e’ spento.”



Catalina Oana Curceanu

Dai buchi neri all'adroterapia

Un viaggio nella fisica moderna



Nata in Transilvania (Cluj-Napoca, 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 per vari giornali e riviste italiane e straniere. Ha la passione di spiegare a tutti quanto sia bello e affascinante il mondo della scienza.

 Springer

 abu

Libri

- Un'occhiata alle carte di Dio, Giancarlo Ghirardi
- Il velo di Einstein, Anton Zeilinger
- La Luna nel pozzo
- Personaggi e scoperte della fisica, Emilio Segre'
- Il libro degli Universi, John Barrow
- Bussando alle porte del cielo, Lisa Randall

