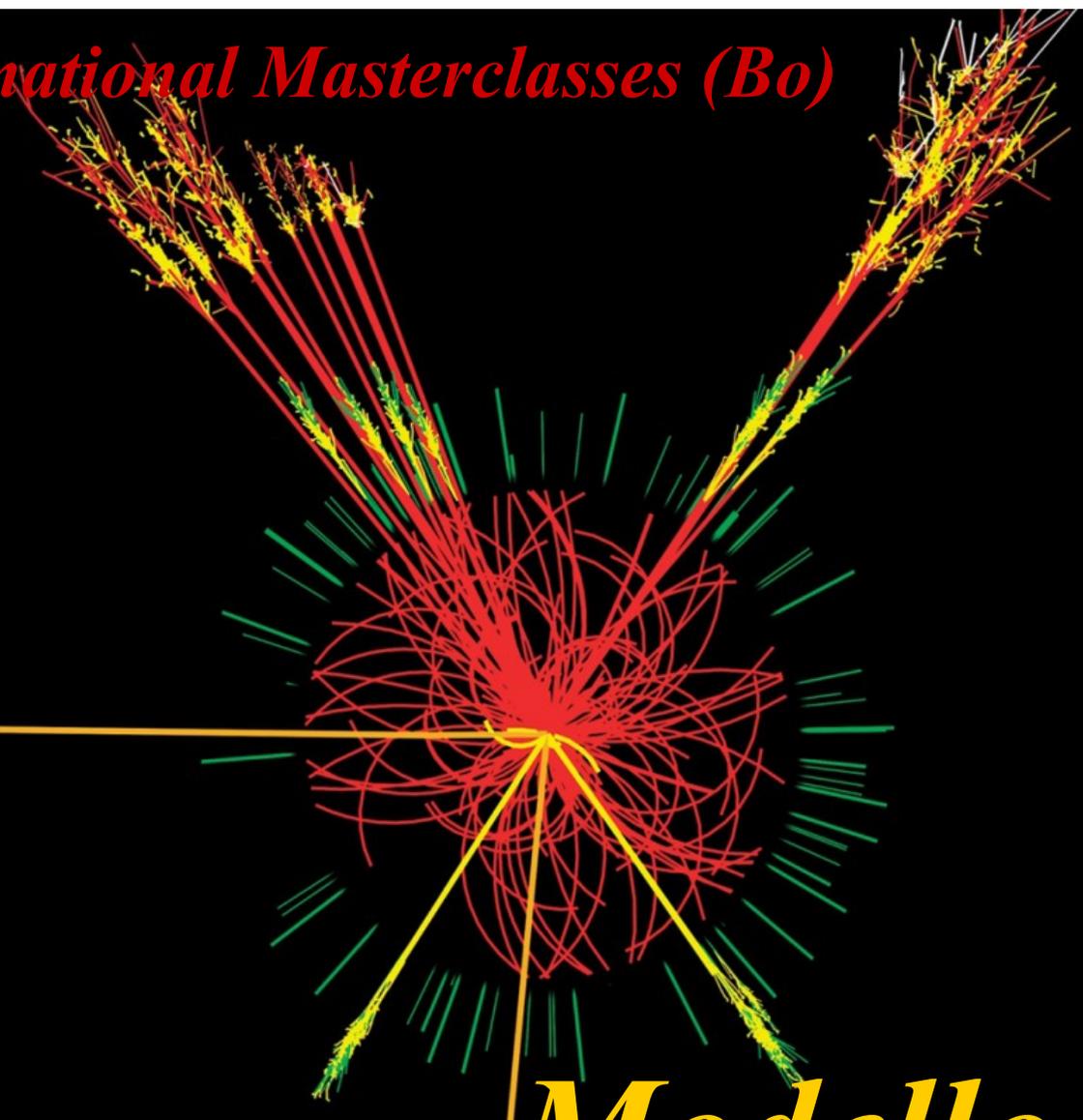


*International Masterclasses (Bo)*

*28 marzo 2014*



*idee attorno al*

***Modello Standard***

*delle particelle elementari*

*Barbara Sciascia LNF-INFN*



INTERNATIONAL  
**MASTERCLASSES**  
hands on particle physics

**Home**

- Participate!
- Schedule
- My Country
- Physics
- Local Organisation
- In the Media
- Teachers and Educators
- Archive



### International Masterclasses

10<sup>th</sup> International Masterclasses 2014

Each year about 10.000 high school students in [40 countries](#) come to one of about 200 nearby universities or research centres for one day in order to unravel the mysteries of particle physics. Lectures from active scientists give insight in topics and methods of basic research at the fundamentals of matter and forces, enabling the students to perform measurements on real data from particle physics experiments themselves. At the end of each day, like in an international research collaboration, the participants join in a video conference for discussion and combination of their results. See [here](#) for media coverage.

**International Masterclasses 2014** will take place from 12.3. - 12.4.2014, including **U.S. Masterclasses**.

- unravel the mysteries of particle physics
- **perform measurements on real data from particle physics experiments**
- join in a video conference for discussion

# Quello che ci vorrebbe



uniroma1 fisica

Web

Immagini

Notizie

Shopping

Video

Altro ▾

Strumenti di ricerca

Circa 590.000 risultati (0,28 secondi)

I cookie ci aiutano a fornire i nostri servizi. Utilizzando tali servizi, accetti l'utilizzo dei cookie da parte di Google.

OK

Informazioni

## Dipartimento di Fisica - Sapienza Università di Roma

[www.phys.uniroma1.it/](http://www.phys.uniroma1.it/) ▾

Giovedì 20 Marzo la lezione di Meccanica razionale prevista dalle 9 alle 11 in aula Careri non si terrà causa impegni imprevisti del docente. Idoneità lingua ...

### Dipartimento di Fisica

Benvenuti nel Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma ...

### Laurea magistrale in Fisica

Per l'accesso alla laurea magistrale in Fisica è richiesto il ...

### Corsi di laurea

Orario delle lezioni - Sedute di Laurea - Calendario esami - ...

### Dottorati

Dopo il conseguimento di una laurea specialistica è possibile ...

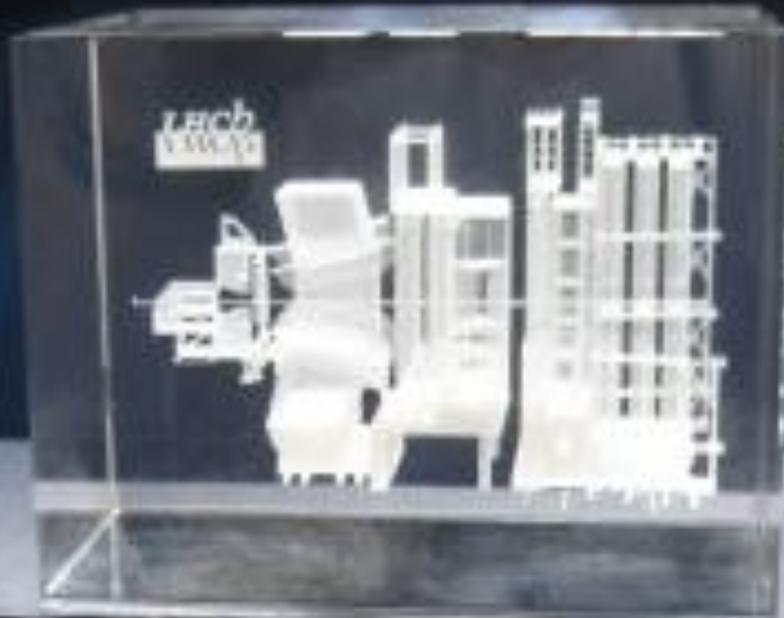
### Segreteria Didattica

Corsi di laurea - Offerta formativa - Calendario esami - ...

### Laurea triennale in Fisica aa ...

Laurea triennale in Fisica a.a. 2012/13. La Laurea triennale in ...

*Quello che  
faremo*



**Introduzione al Modello Standard delle particelle elementari**

dr.ssa Barbara Sciascia, Ph.D.

**Introduzione all'esperimento LHCb e alla misura della vita media del mesone D0**

dr. Angelo Carbone, Ph.D.

**Analisi dei dati e collegamento con gli altri gruppi**

dr. Angelo Carbone, dr.ssa Barbara Poli, dr.ssa Barbara Sciascia e dr.ssa Maria Zangoli  
(+ Ph.D. dove necessario)

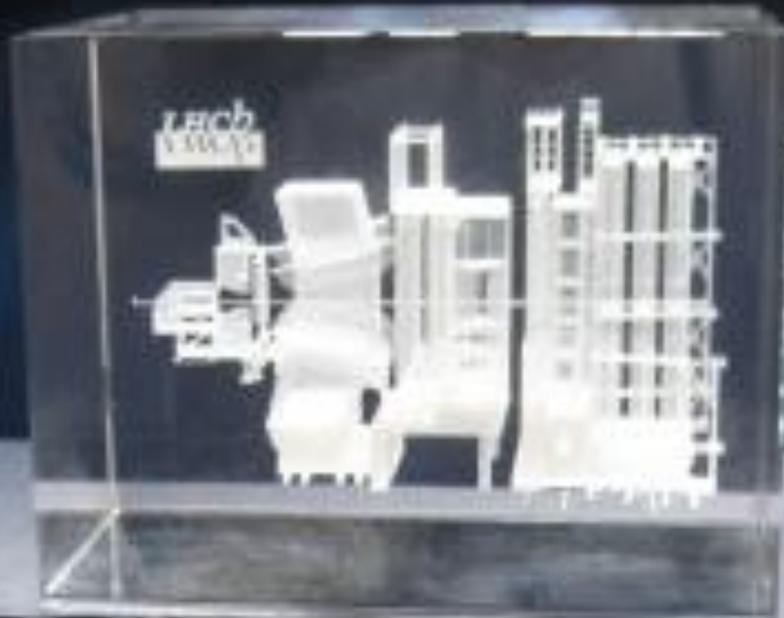


*Del tu o del lei?*

How people in science see each other

created by  
@biomatushiq  
<http://sotak.info/sci.jpg>

*Quello che  
faremo*



**Introduzione al Modello Standard delle particelle elementari**

Barbara

**Introduzione all'esperimento LHCb e alla misura della vita media del mesone  $D^0$**

Angelo

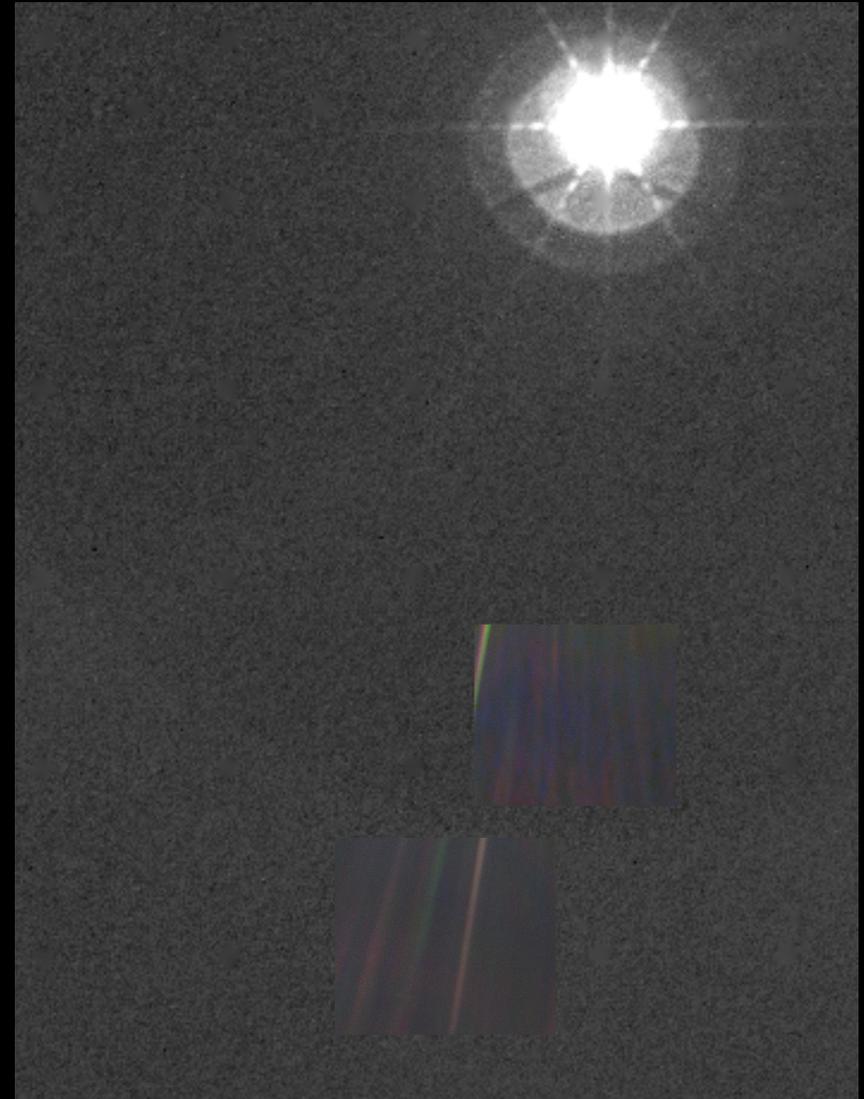
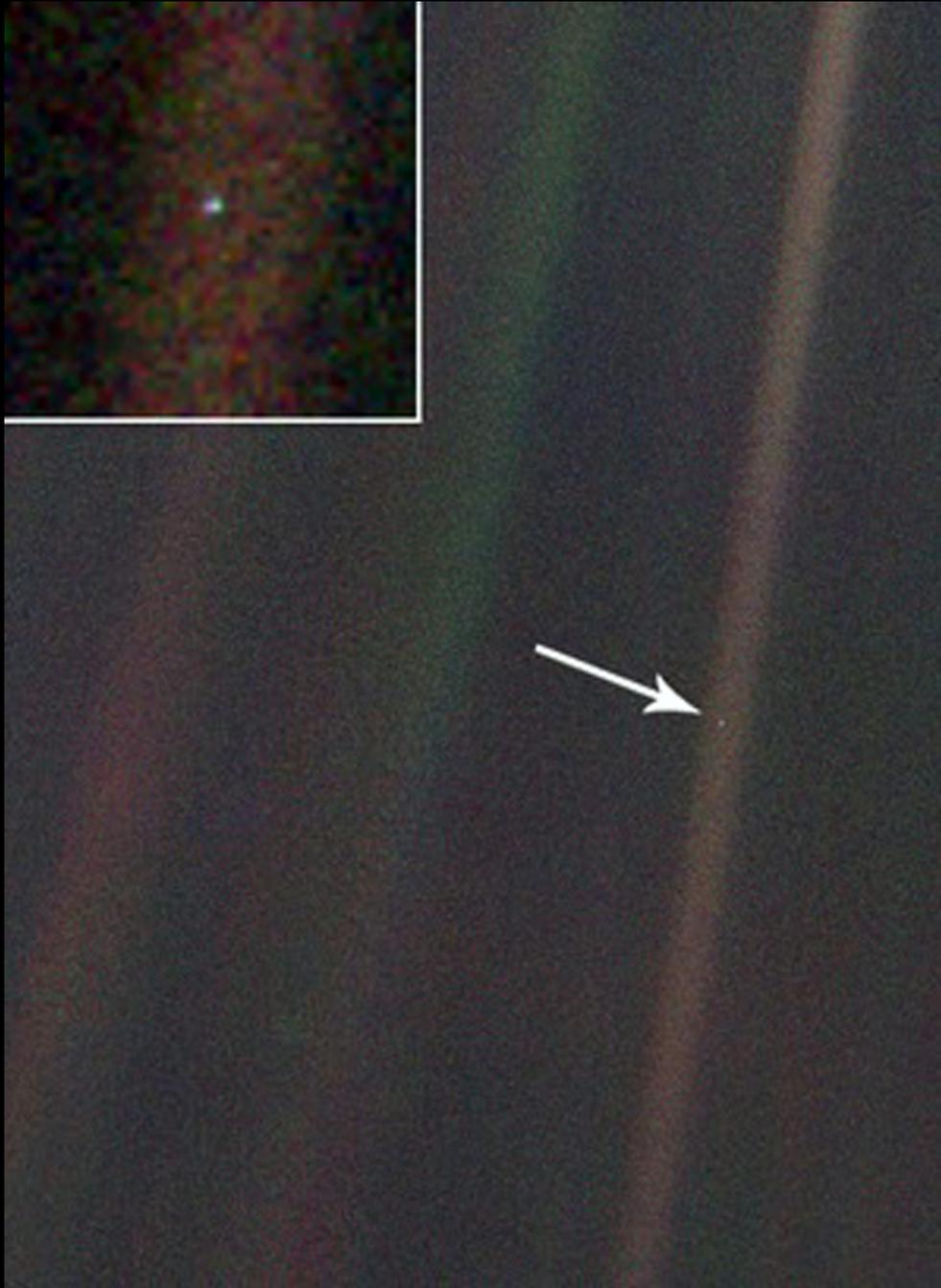
**Analisi dei dati e collegamento con gli altri gruppi**

Angelo, Barbara P., Barbara S. e Maria

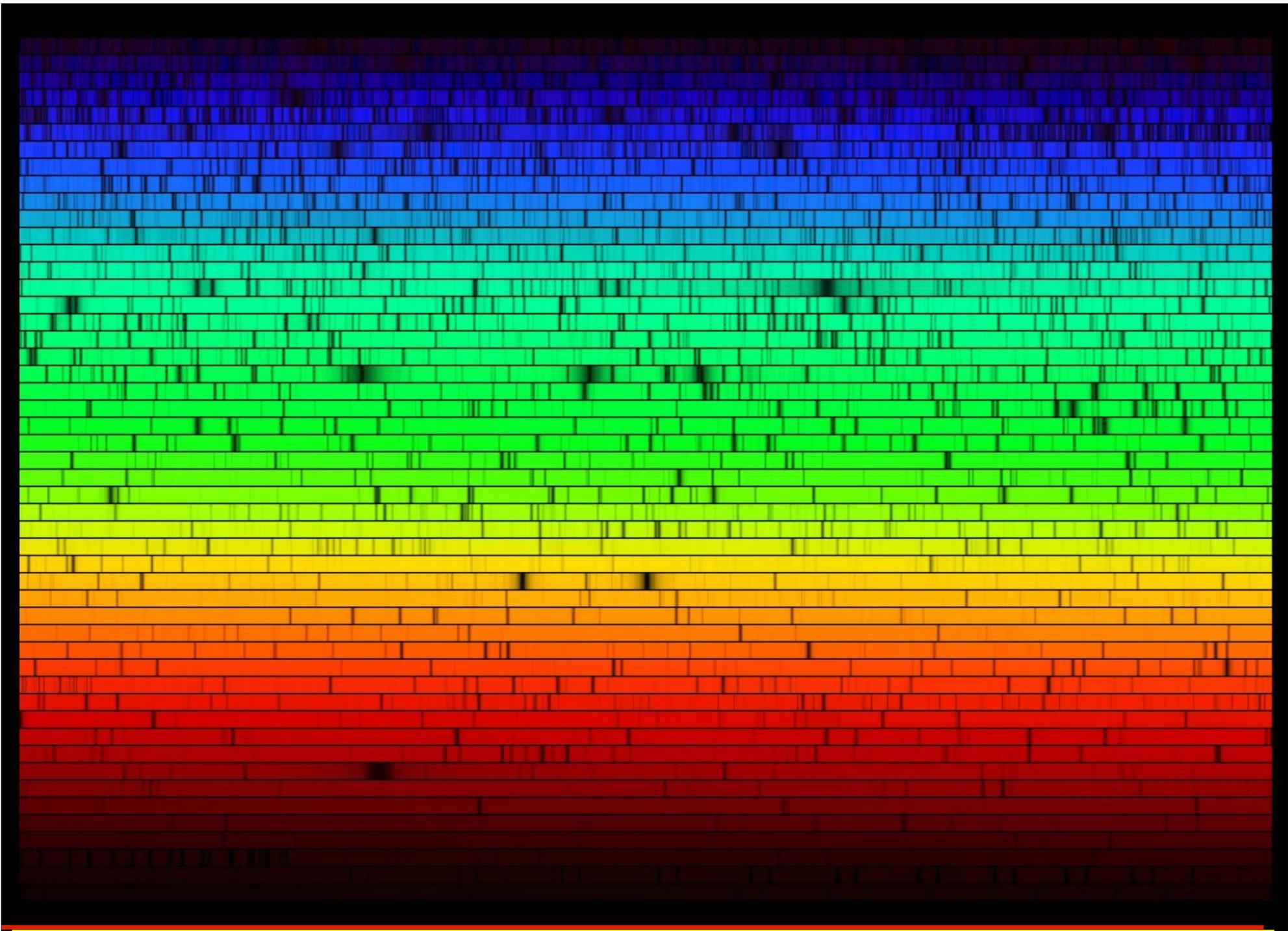


*Idee*  
*attorno al*  
*Modello Standard*  
*delle particelle elementari*











# *“Verità scientifica”: tra teoria ed esperimento*



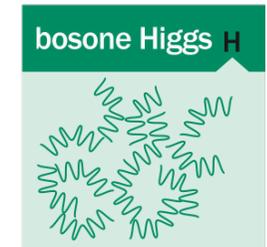


# Modello Standard: una nuova tavola

QUARK	up $u$	charm $c$	top $t$
carica elettrica $2/3$			
	down $d$	strange $s$	beauty $b$
carica elettrica $-1/3$			

LEPTONI	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$
carica elettrica $0$			
	$e$	$\mu$	$\tau$
carica elettrica $-1$			

MEDIATORI	gluone $g$
	fotone $\gamma$
	bosone W $W^\pm$
	bosone Z $Z$



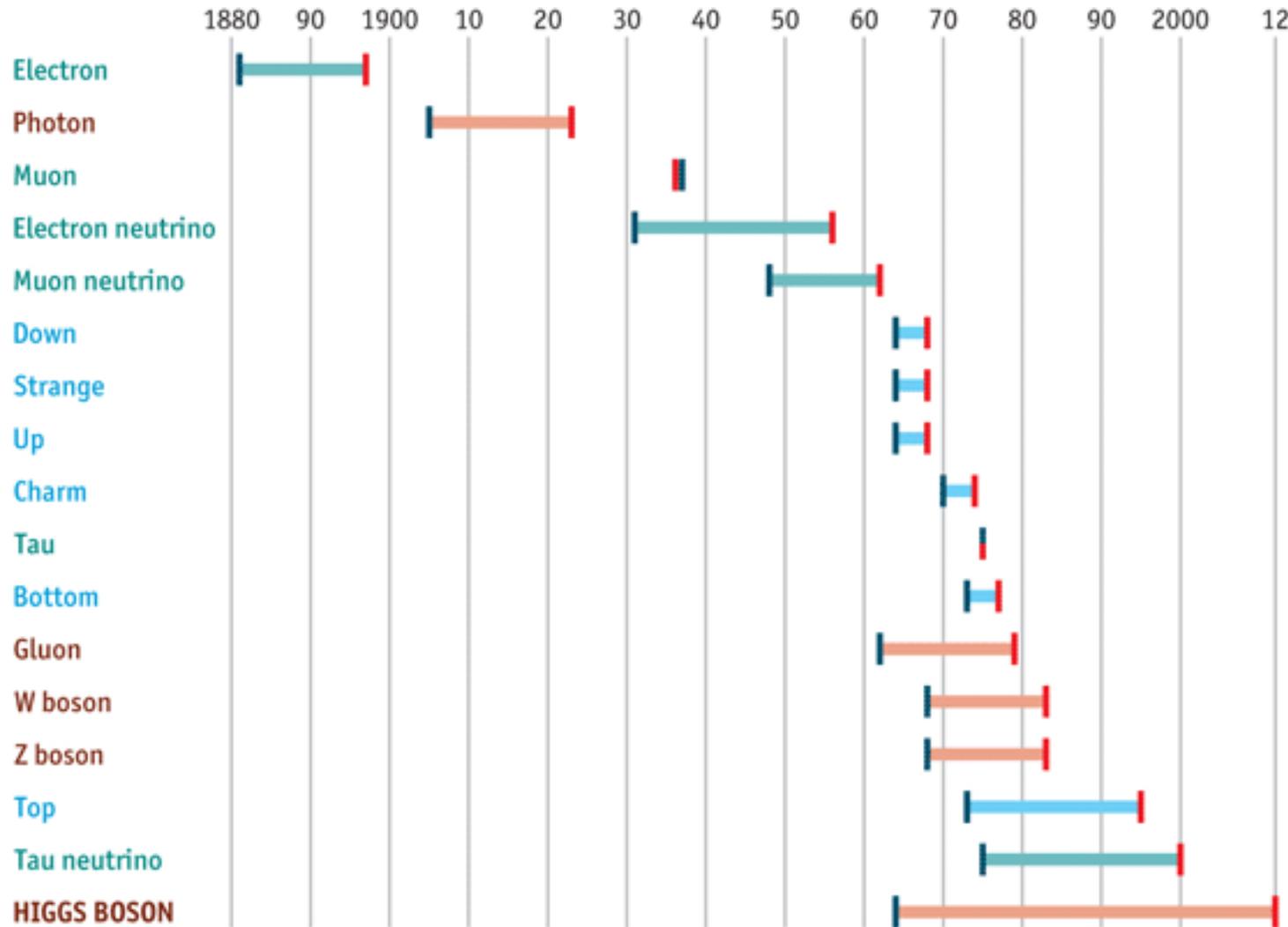
# Modello Standard: 130 anni di scoperte

## The Standard Model of particle physics

Years from concept to discovery

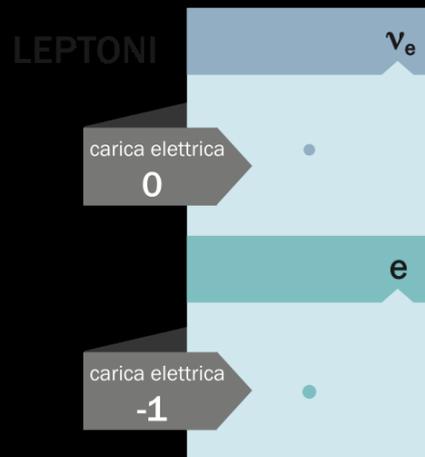
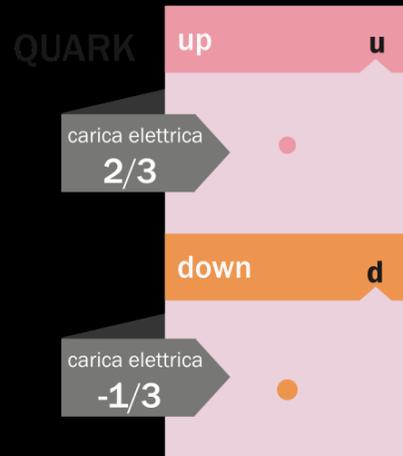
Leptons  
Bosons  
Quarks

Theorised/explained  
Discovered

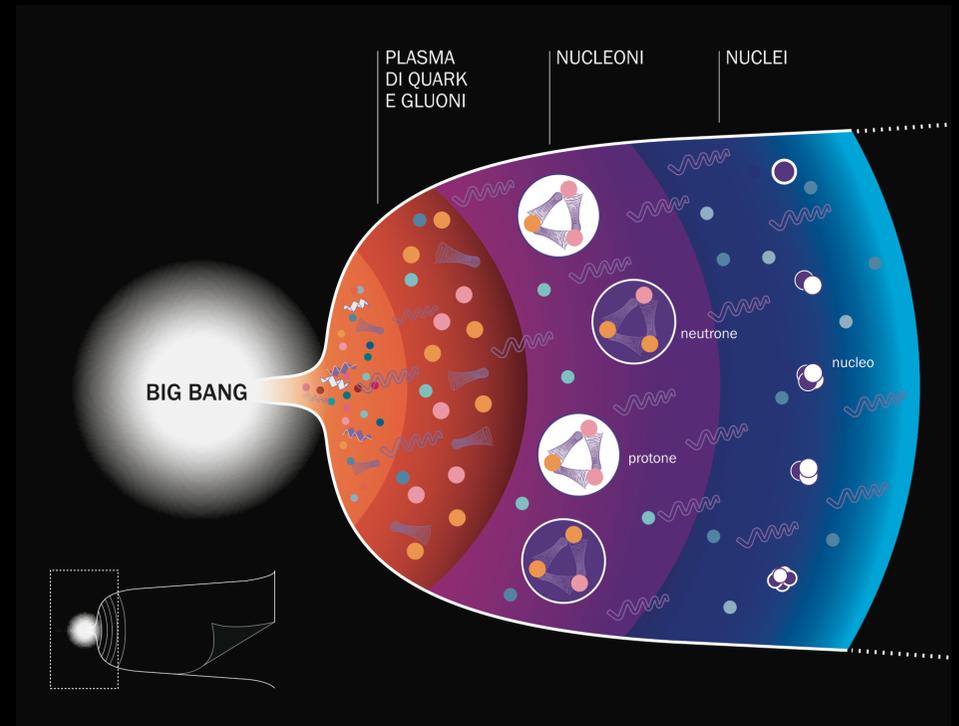
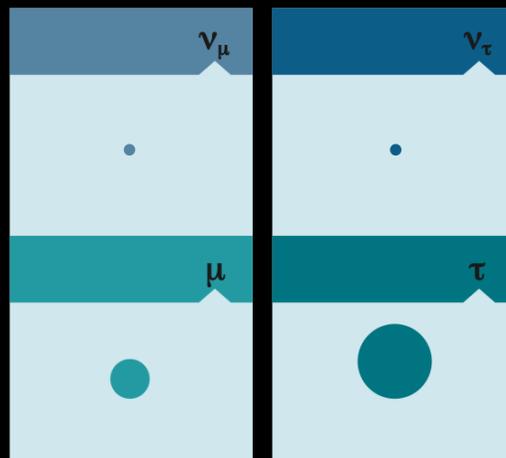
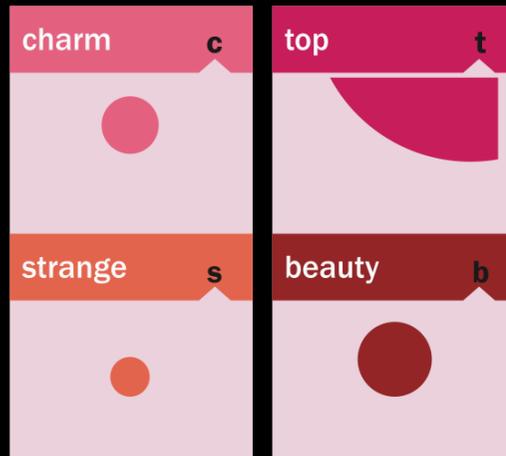


Source: *The Economist*

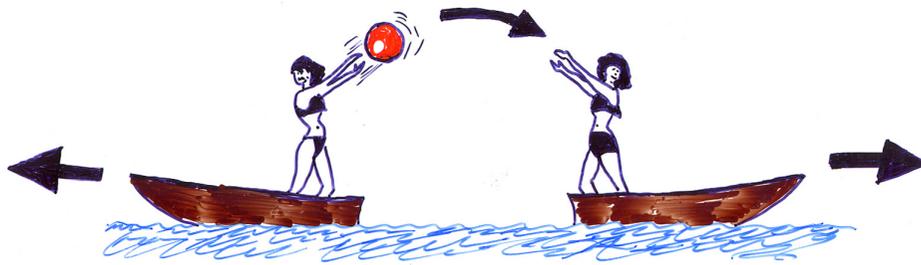
# Materia "ordinaria"



# “solo” più pesante (?)



# Mediatori delle forze



gluone	$g$
fotone	$\gamma$
bosone W	$W^\pm$
bosone Z	$Z$

	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and $W^+ W^-$	Quarks and Gluons

# *Il bosone di Higgs*

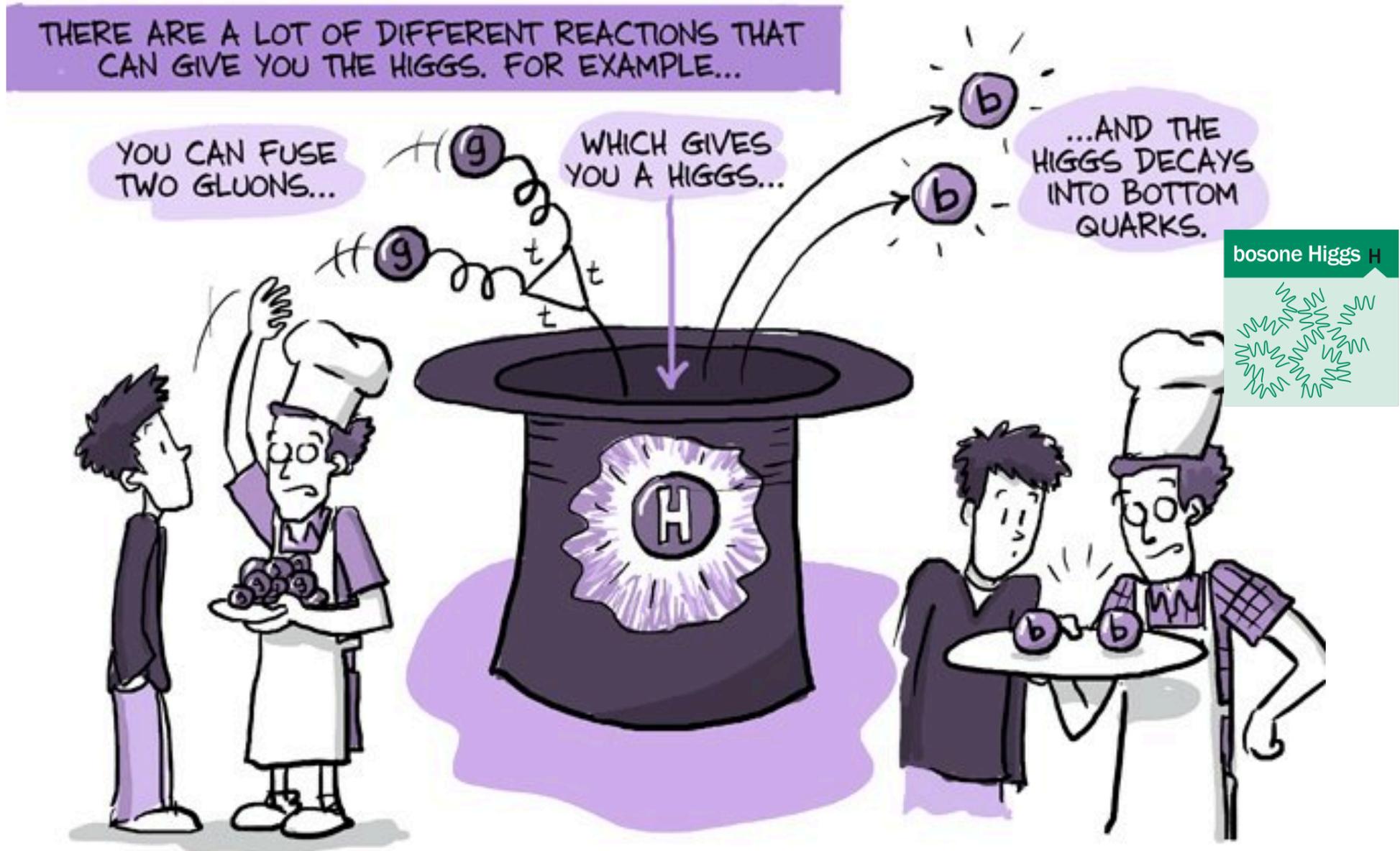


# *Il bosone di Higgs*

*(congettura di Brout Englert Higgs)*



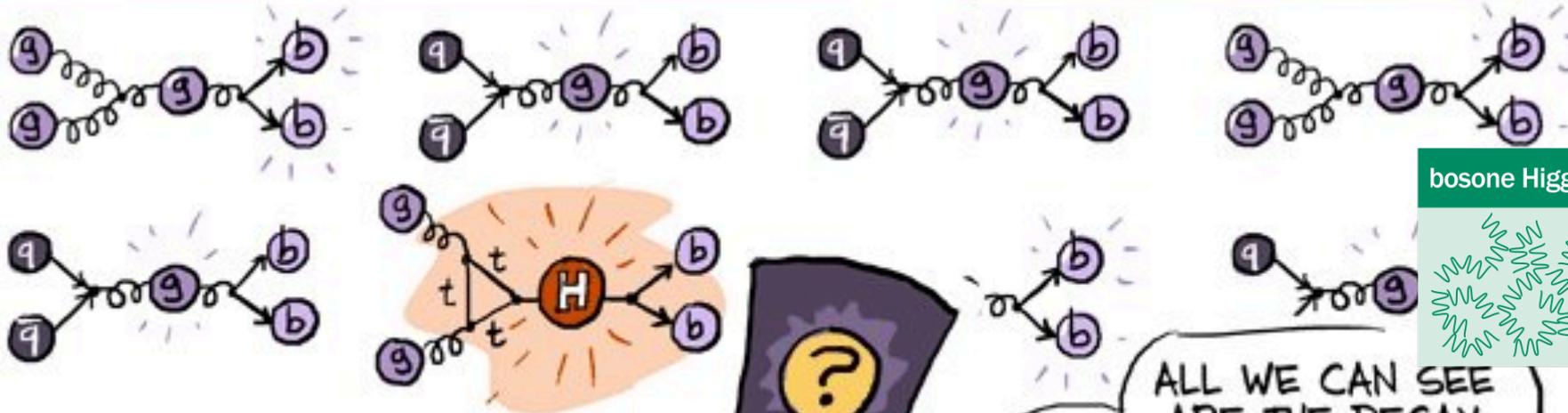
# Il bosone di Higgs



# Il bosone di Higgs

THE PROBLEM IS, THERE'S LOTS OF OTHER WAYS YOU CAN MAKE TWO BOTTOM QUARKS:

IT'S ONE OF THE MOST COMMON THINGS TO MAKE.



JORGE CHAM © 2012

THE THING IS, WE CAN'T SEE INSIDE THESE REACTIONS...

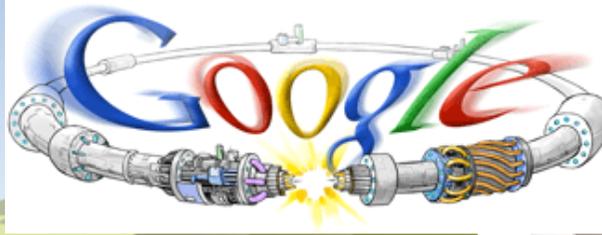
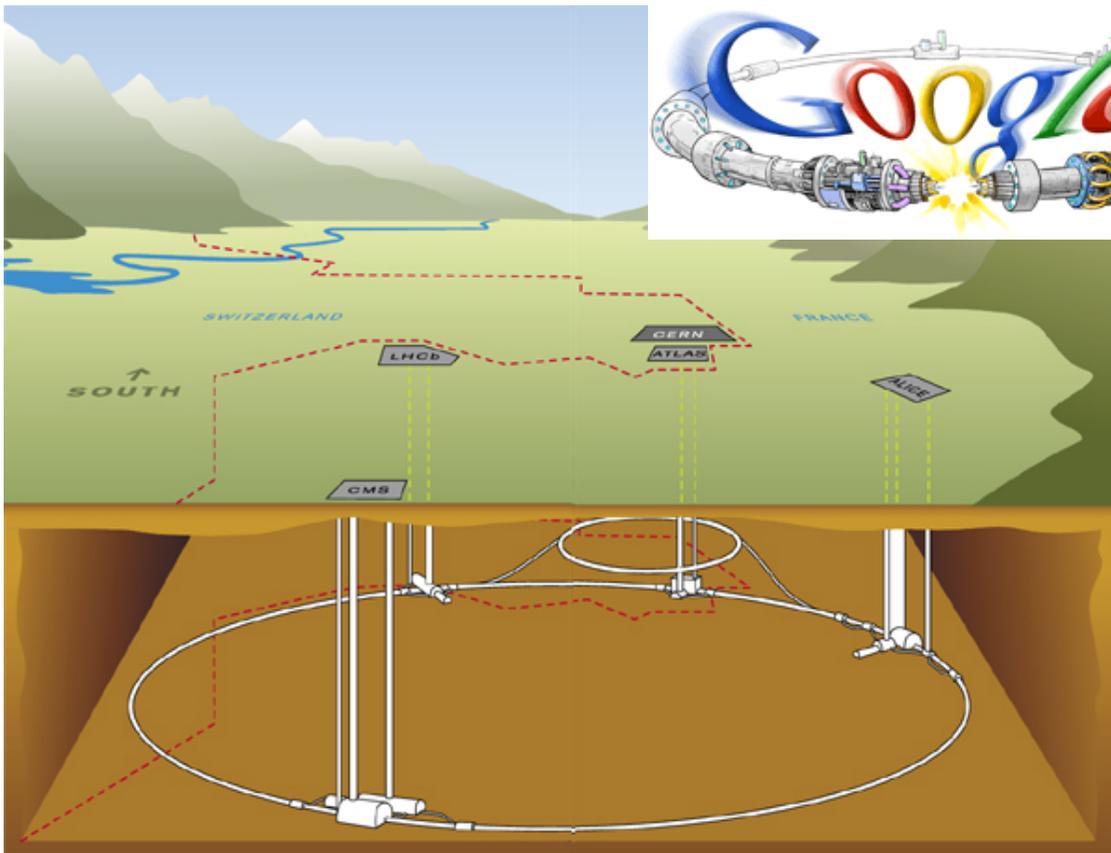
ALL WE CAN SEE ARE THE DECAY PRODUCTS.

AND WHAT YOU WANT TO KNOW IS...

DID THE HIGGS EXIST?

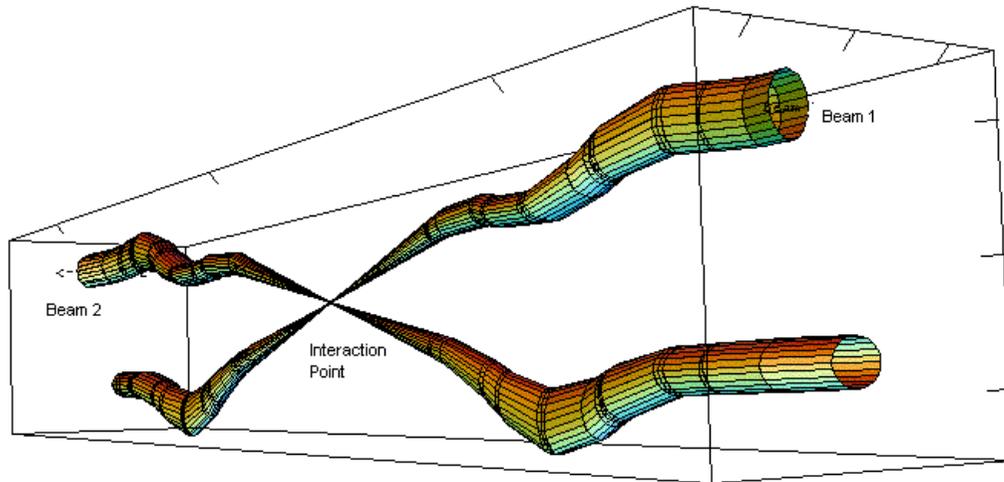
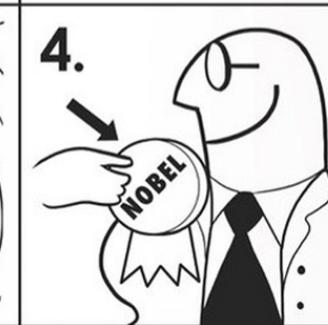
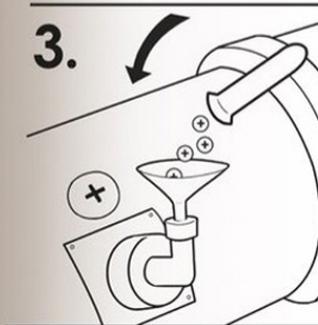
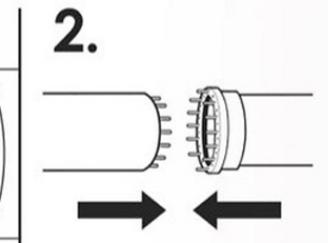
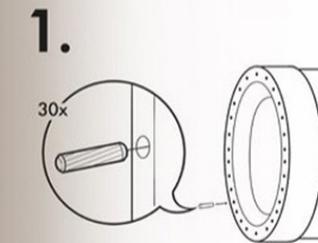
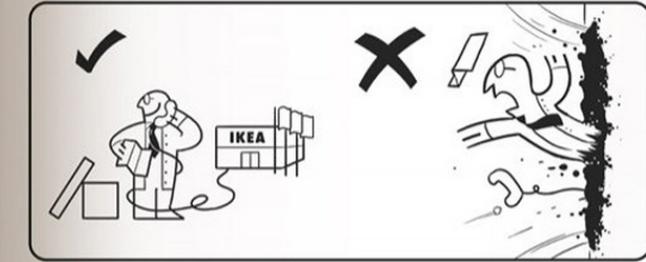
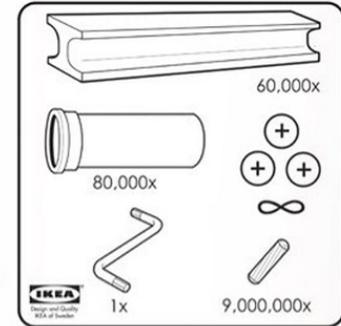
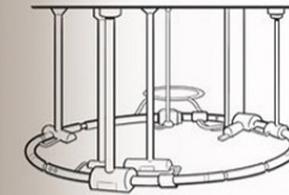
# *Large Hadron Collider (LHC)*





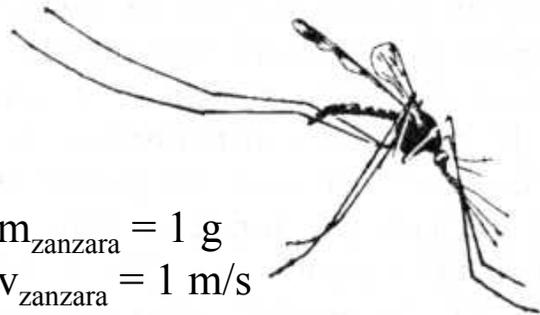
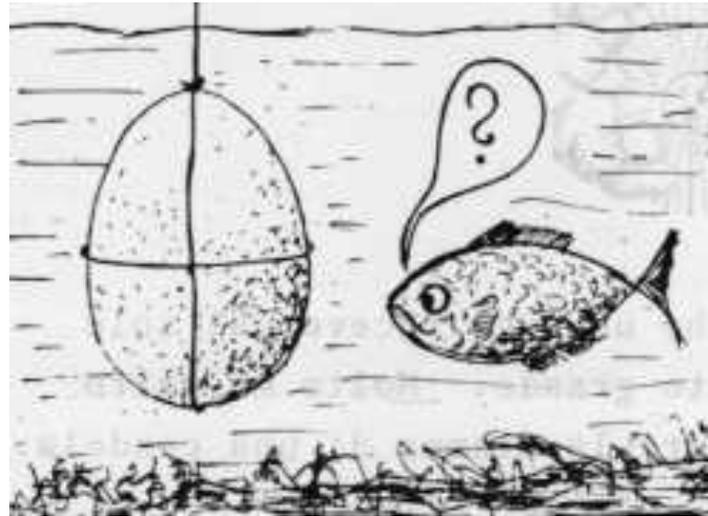
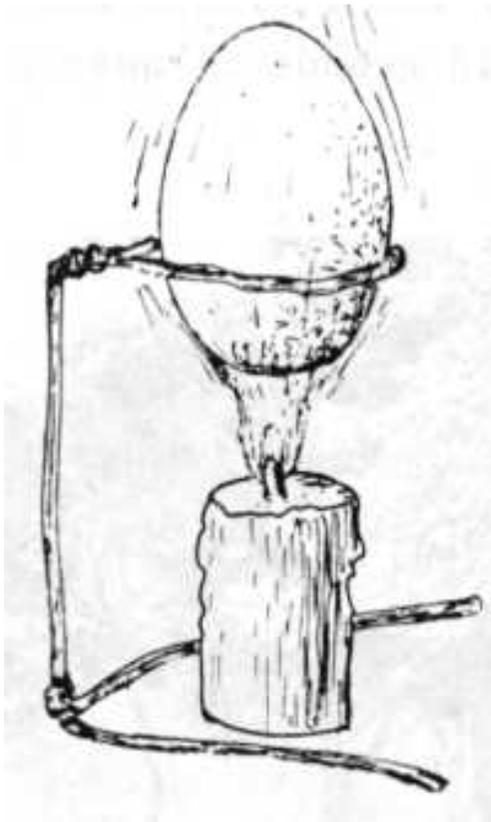
**LHC**

**HÄDRÖNN  
CJÖLIDDER**



Relative beam sizes around IP1 (Atlas) in collision

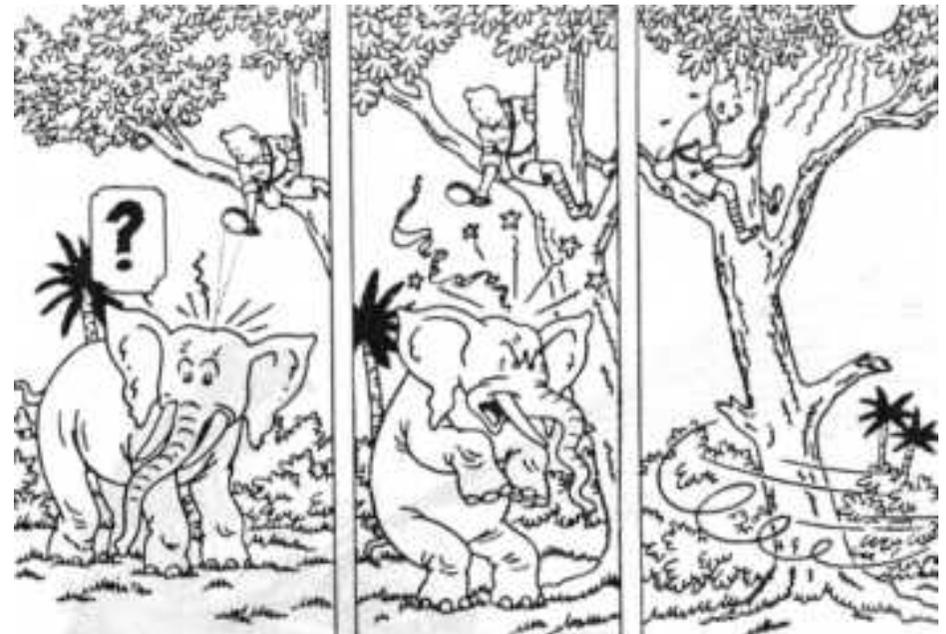
# Fisica delle “alte” energie



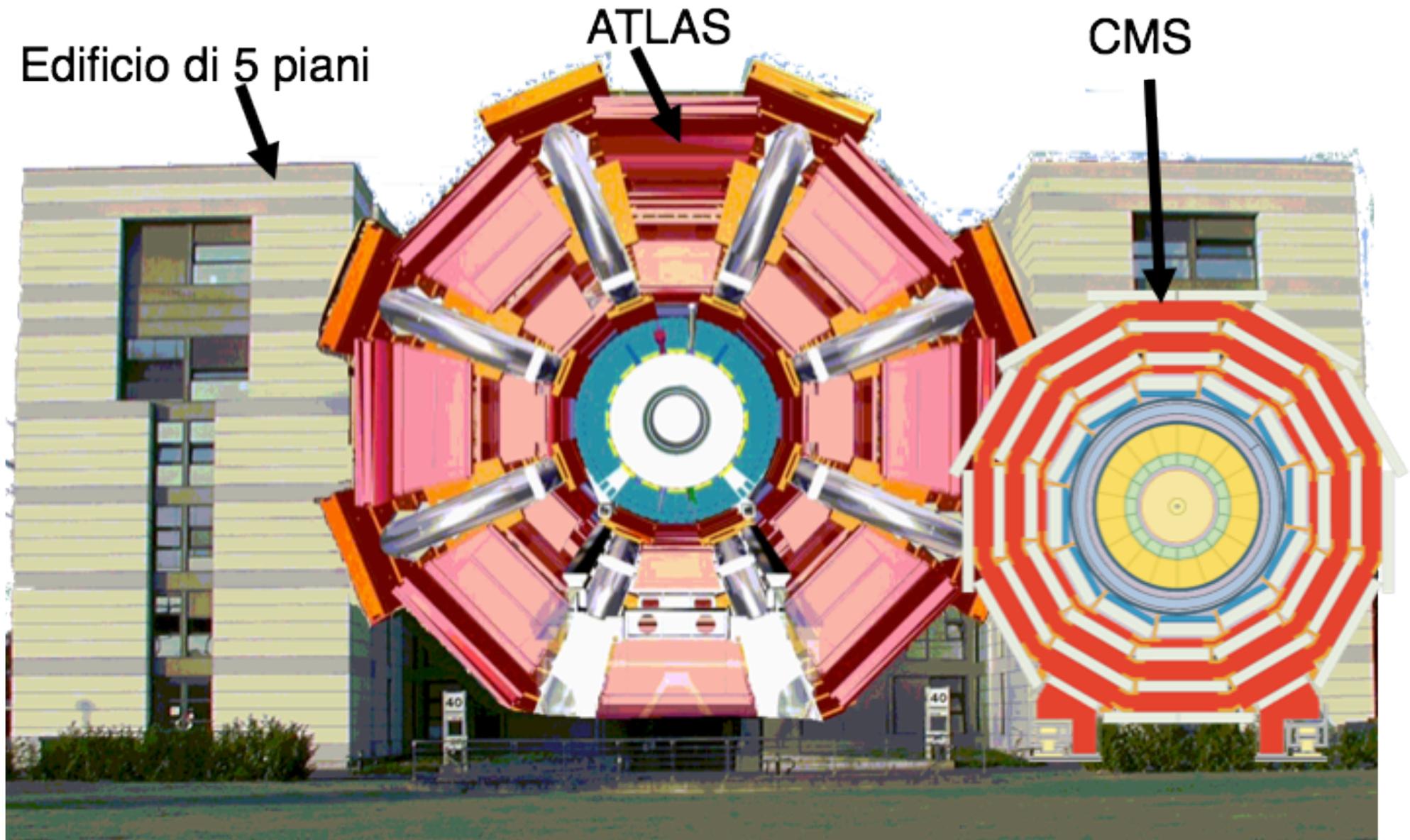
$$m_{\text{zanzara}} = 1 \text{ g}$$
$$v_{\text{zanzara}} = 1 \text{ m/s}$$

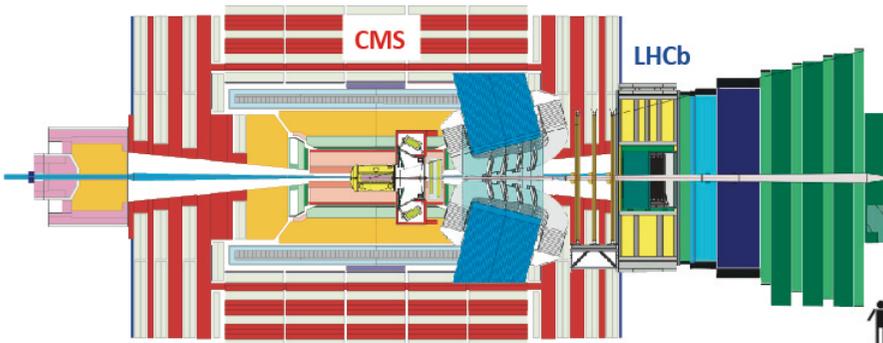
$$1 \text{ J} = 6.25 \times 10^{18} \text{ eV}$$

$$E_{\text{zanzara}} = 10^{-3} \text{ J} = 6.25 \times 10^{15} \text{ eV} = \mathbf{6.25 \times 10^3 \text{ TeV}}$$



# *Giganti a caccia di tracce*



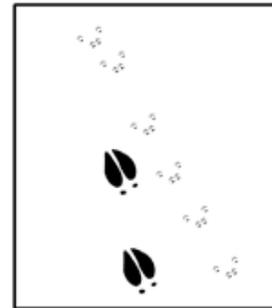


# Giganti a caccia di tracce

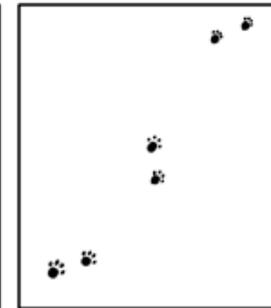
BACKYARD SNOW TRACKING GUIDE



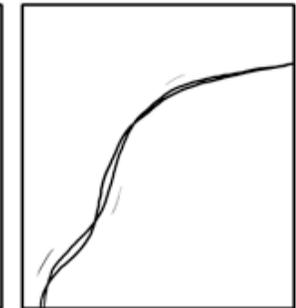
CAT



MOOSE AND SQUIRREL



LONGCAT



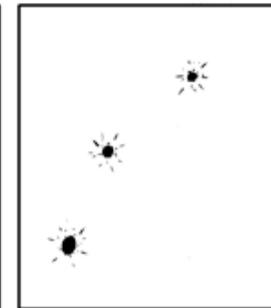
MOUSE RIDING BICYCLE



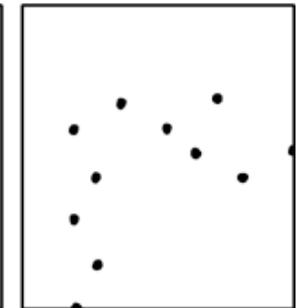
RABBIT STOPPING TO USE HAIR DRYER



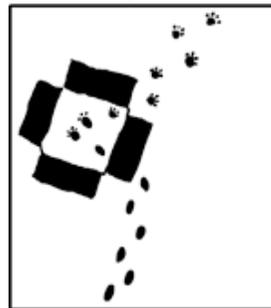
LEGOLAS



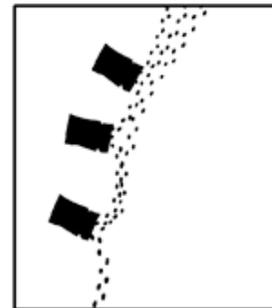
BOBCAT ON POGO STICK



KNIGHT



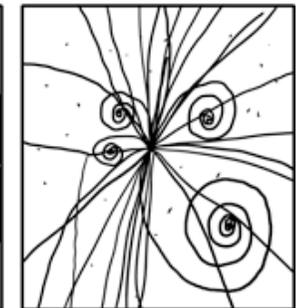
KID WITH TRANSDUFRIFIER



KID WITH DUPLICATOR



PRIUS



HIGGS BOSON

CON LA SCOPERTA  
DELL'HIGGS CI HANNO  
TAGLIATO DEL DIECI  
PER CENTO

SE PER CASO SCOPRIAMO  
LA SUPERSIMMETRIA CI  
CHIUDONO PER SEMPRE



[https://xkcd.com/702/]

## ► La teoria della relatività

La teoria della relatività ristretta [Einstein 1905, ma anche Lorentz, Poincare e Minkowski] nasce dall'esigenza di conciliare due principi molto semplici, apparentemente in contraddizione fra loro:

- Invarianza delle leggi fisiche per sistemi di riferimento in moto uniforme [relatività Galileiana]

- Non esiste un sistema di riferimento privilegiato
- La velocità  $v = \Delta x / \Delta t$  è una grandezza relativa (dipende dall'osservatore)

- Invarianza della velocità della luce nel vuoto [vari esperimenti ad inizio '900 + eq.<sup>ni</sup> di Maxwell]

Non c'è alcuna contraddizione !

- Anche le misure di spazio e tempo ( $\Delta x$  &  $\Delta t$ ) sono grandezze relative (dipendono dall'osservatore)
- La variazione delle misure di spazio e tempo è tale che tutti gli osservatori vedono la luce viaggiare alla stessa velocità ( $c$ )

## ► La teoria della relatività

Le tre coordinate spaziali ed il tempo costituiscono uno spazio vettoriale a quattro dimensioni [spazio-tempo]:



Nel caso classico queste trasformazioni conservano separatamente gli intervalli di spazio e tempo:  $\Delta t$  &  $(\Delta \vec{X})^2$ .

Nel caso relativistico si conserva solo la combinazione:

$$\Delta s^2 = c^2 (\Delta t)^2 - (\Delta \vec{X})^2$$

L'invarianza delle eq.<sup>ni</sup> del moto sotto tali trasformazioni implica:

- Conservazione impulso
- Conservazione energia
- Conservazione momento angolare

→ Equivalenza massa energia [ $E=mc^2$ ]

## ► La teoria della relatività

La quantità  $\Delta s^2$  che resta invariante sotto trasformazioni spazio-temporali definisce la *metrica* (o la geometria) dello spazio tempo

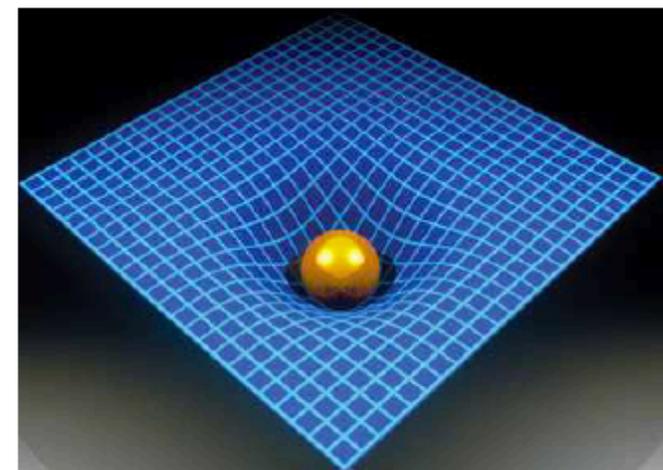
Il (grande!) salto logico necessario per passare dalla relatività ristretta alla **relatività generale** è abbandonare anche l'ipotesi che esista una geometria prestabilita. In questo modo è possibile interpretare la gravità non come una forza esterna, ma come una deformazione dello spazio tempo:

$$\Delta s^2 = c^2 (\Delta t)^2 - (\Delta \vec{x})^2 \quad \longrightarrow \quad \Delta s^2 = f(x,t)$$

sistema  
inerziale

$f$  = funzione che dipende dalla  
**distribuzione di energia**  
tramite **G**

La distribuzione di materia ed energia nello spazio non induce una forza, ma deforma lo spazio-tempo: i corpi (e la luce) si muovono sempre secondo le traiettorie di minima energia, che tuttavia in generale non sono più delle rette.



## ► Campi e Particelle

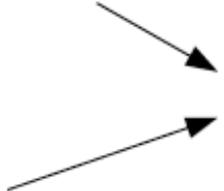
I due pilastri su cui si basa la *teoria quantistica dei campi* sono le due “rivoluzioni” rispetto alla fisica classica avvenute all'inizio del secolo scorso: la meccanica quantistica e la teoria della relatività ristretta

meccanica quantistica

[principio di indeterminazione  $\Delta E \Delta t > \hbar$  ]

relatività ristretta

[equivalenza massa energia  $E = m c^2$  ]

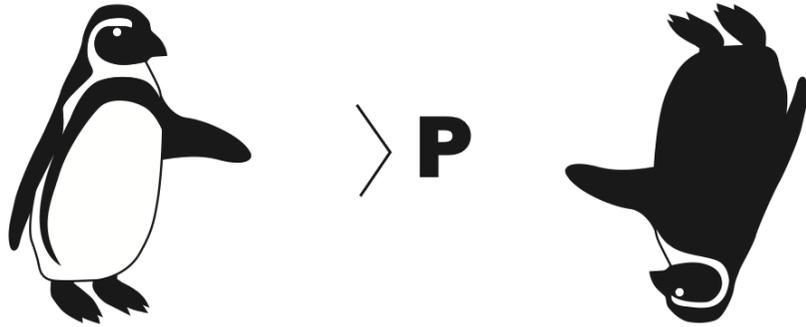


teoria quantistica dei campi

Per mettere insieme questi due pilastri, l'ultimo concetto classico che dobbiamo abbandonare è l'idea che esistano delle particelle indistruttibili (ovvero che il numero di costituenti elementari della materia si conservi).

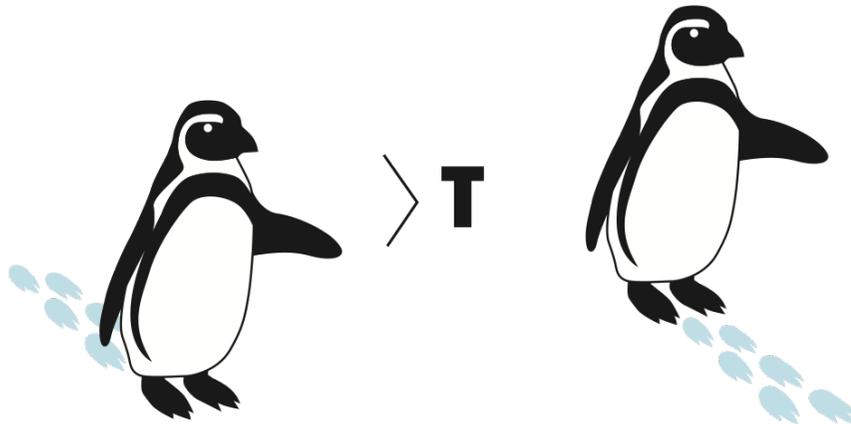
Le particelle elementari non sono altro che delle *eccitazioni* di particolari *campi* (un po' come le onde sono le eccitazioni della superficie del mare)

# *Simmetrie discrete*



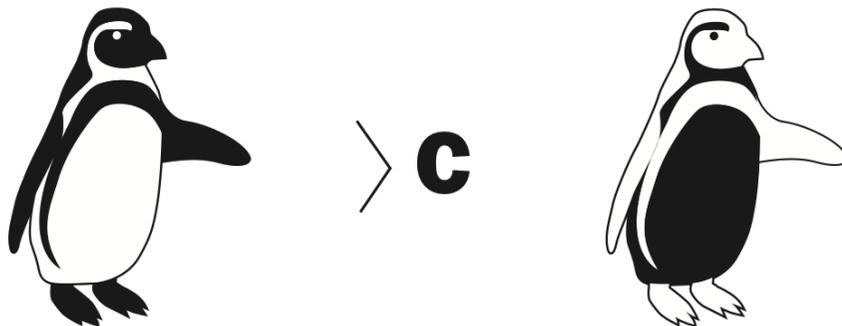
## **Trasformazione P**

Le tre direzioni spaziali sono tutte invertite contemporaneamente.



## **Trasformazione T**

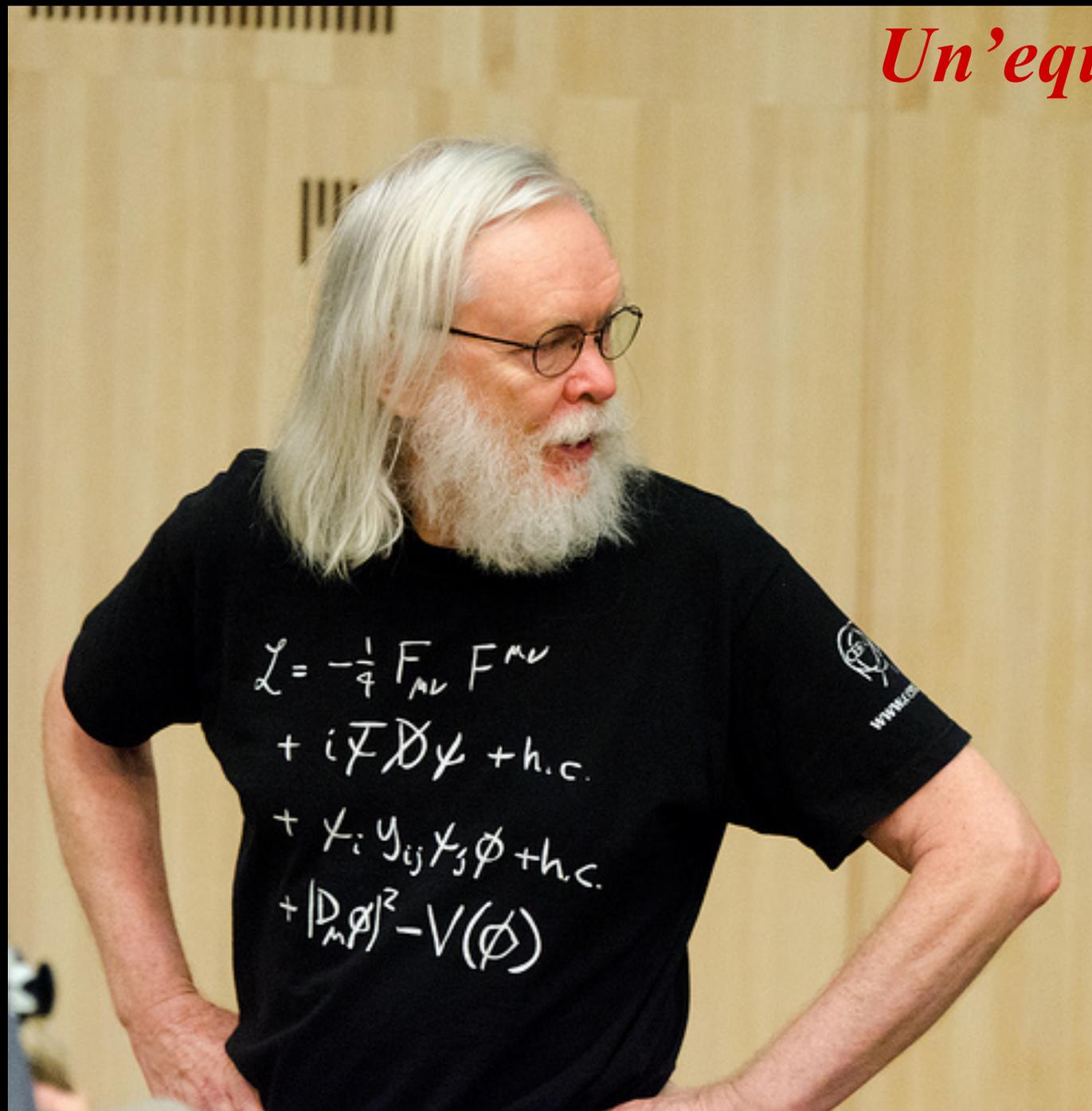
La direzione del tempo (e quindi del moto) è invertita.



## **Trasformazione C**

Tutte le particelle sono trasformate in antiparticelle e viceversa.

# *Un'equazione*

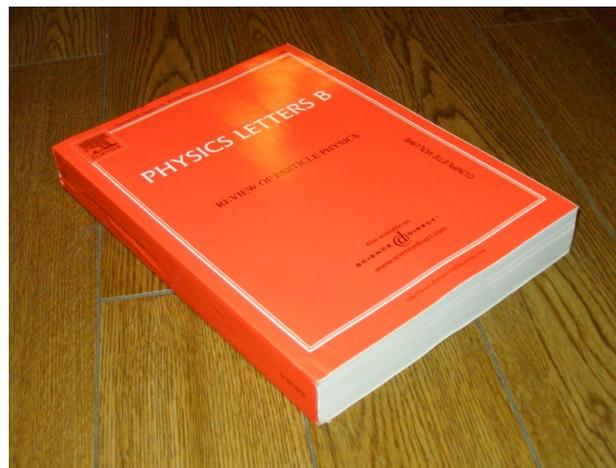


# STRING THEORY SUMMARIZED:

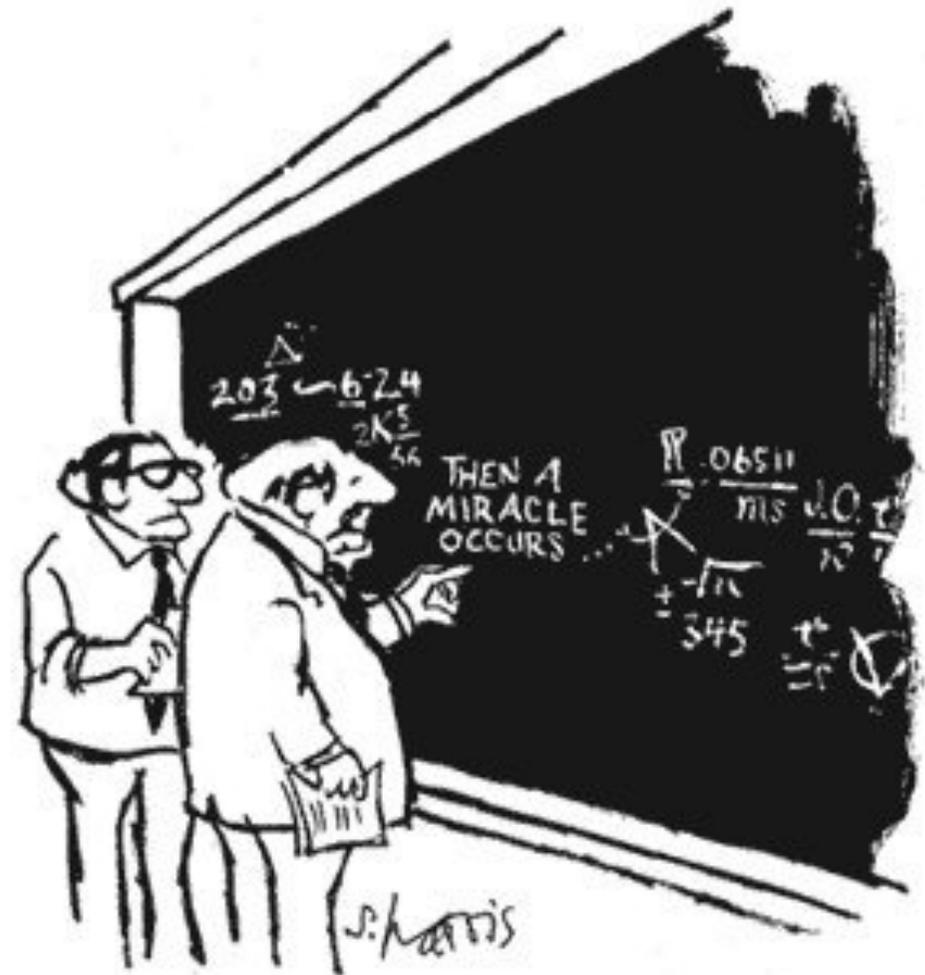
I JUST HAD AN AWESOME IDEA.  
SUPPOSE ALL MATTER AND ENERGY  
IS MADE OF TINY, VIBRATING "STRINGS."

OKAY. WHAT WOULD  
THAT IMPLY?

I DUNNO.



# Un'equazione

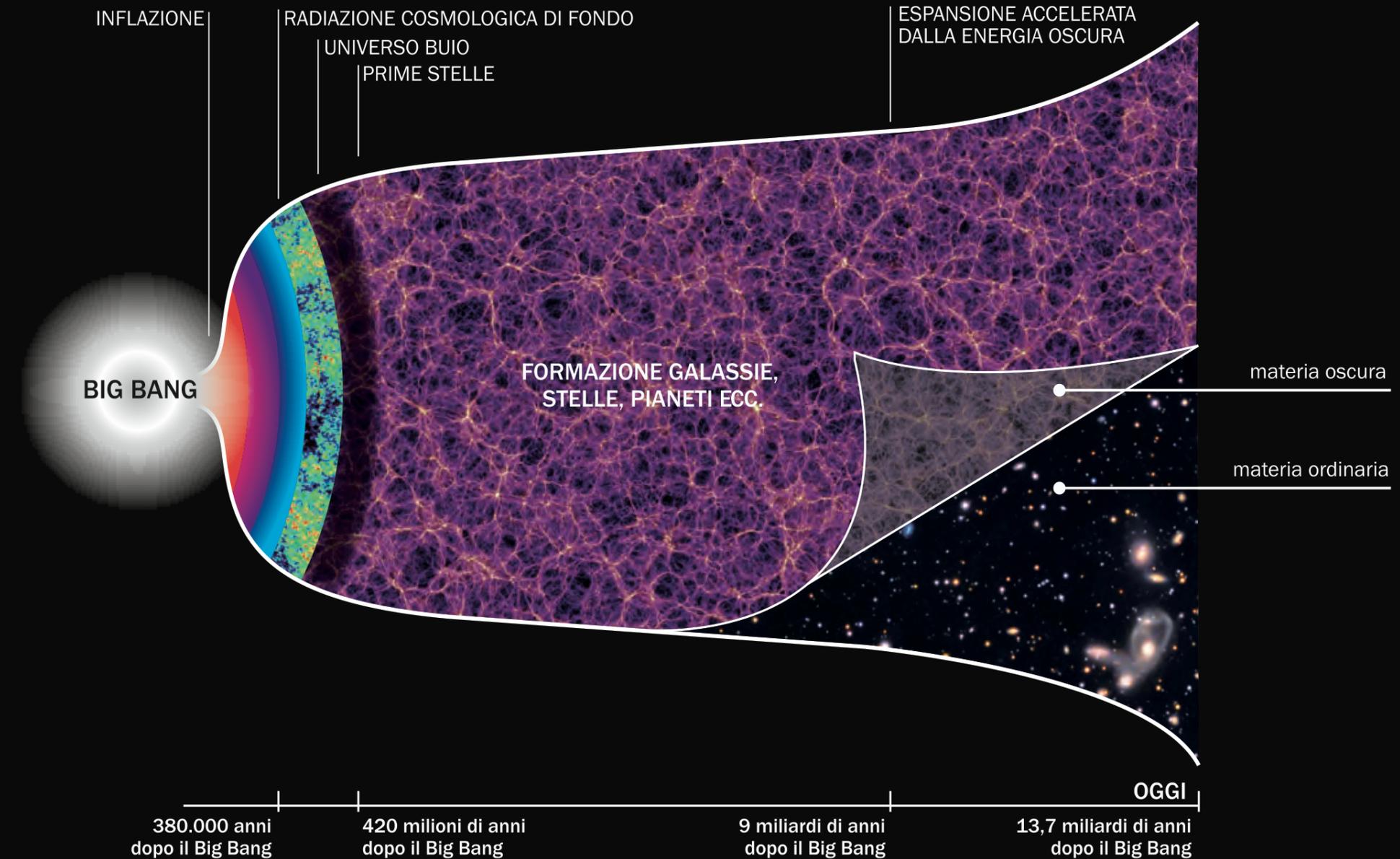


"I THINK YOU SHOULD BE MORE  
EXPLICIT HERE IN STEP TWO."

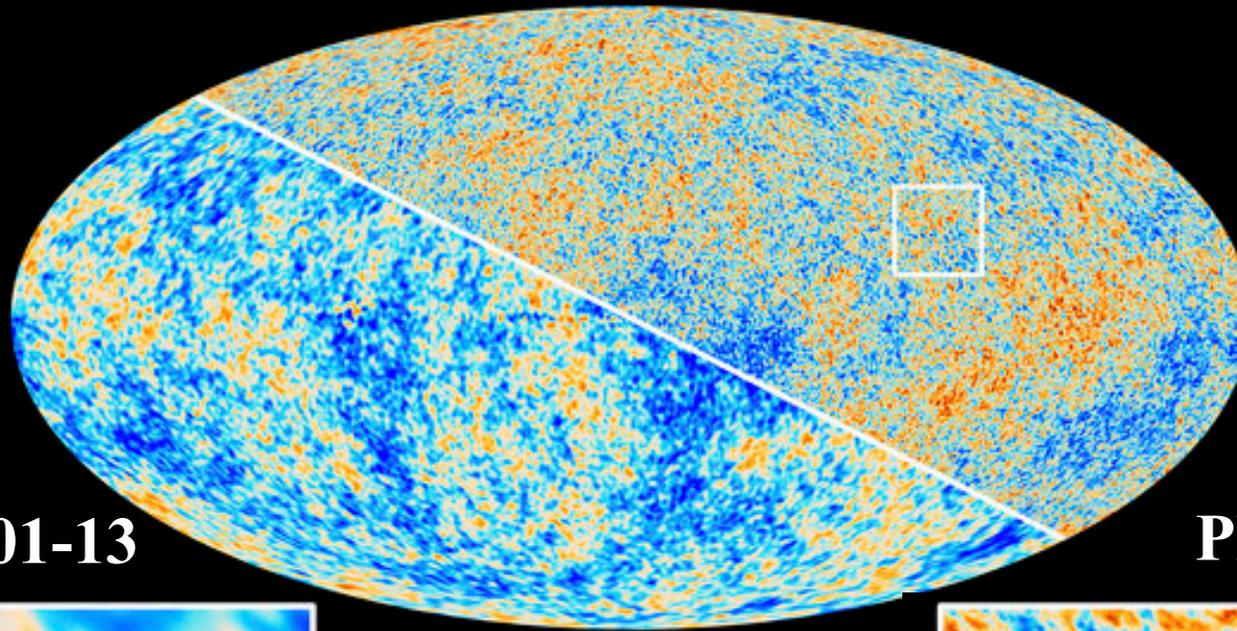
# Un'equazione



# Modello Standard Cosmologico

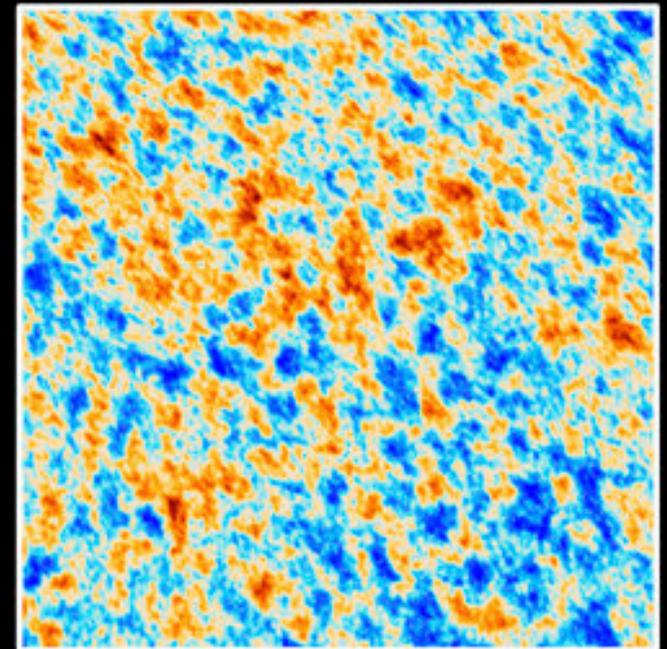
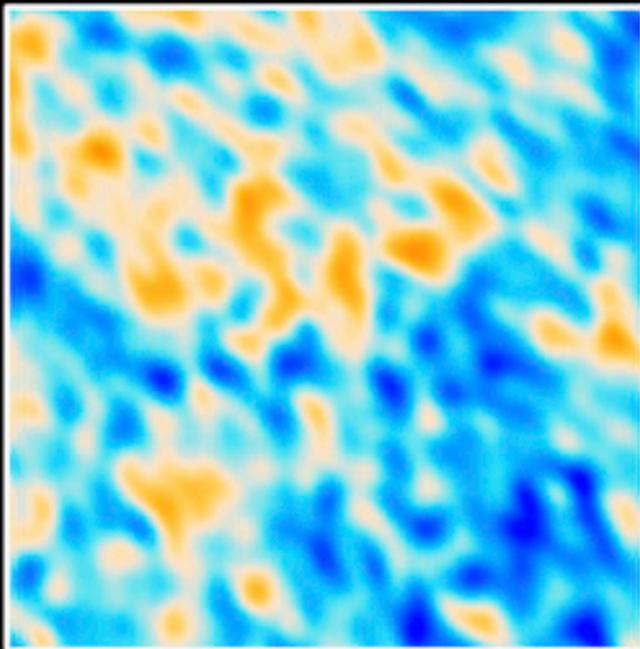


# *Radiazione cosmica di fondo*

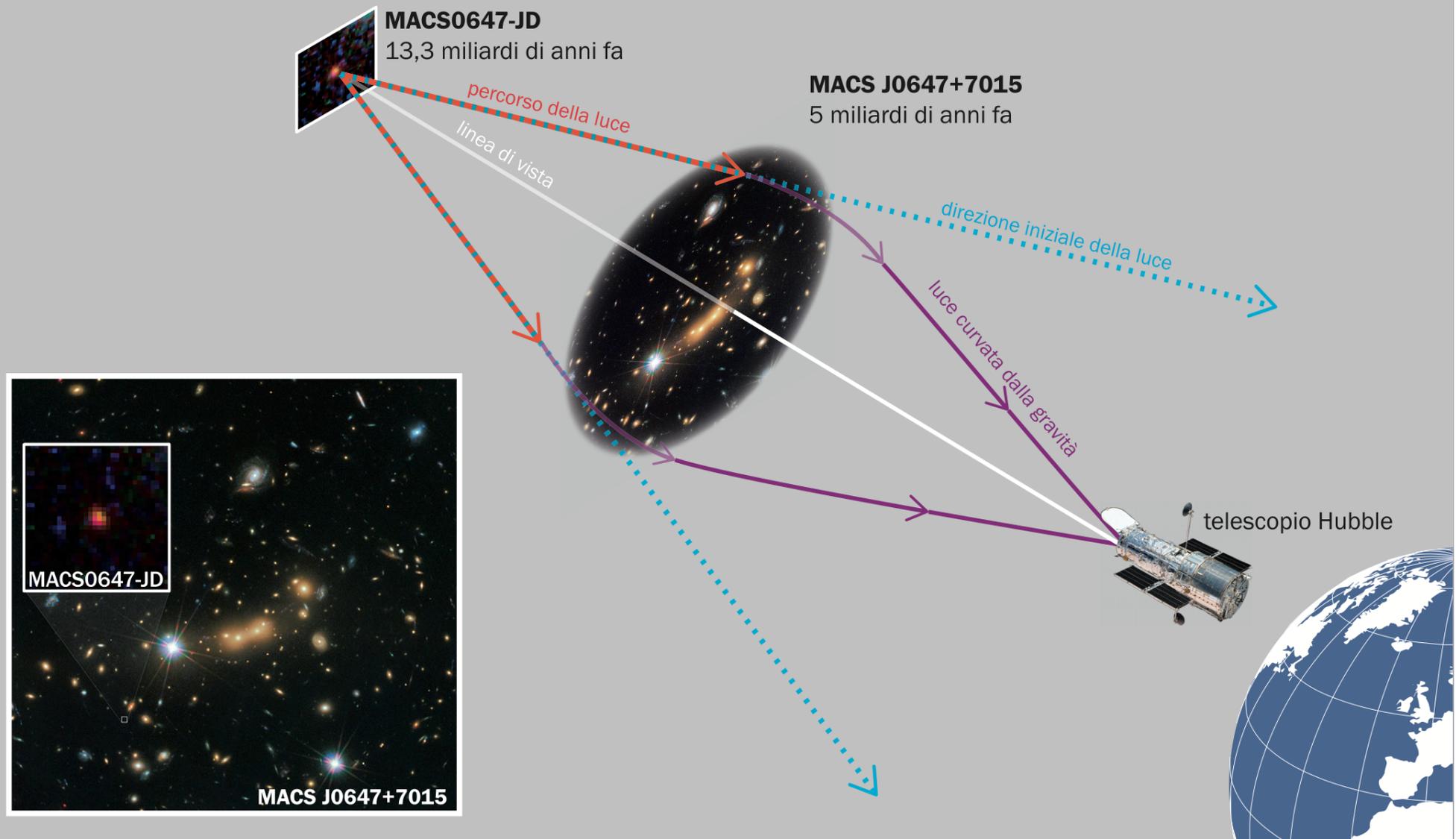


**WMAP, 2001-13**

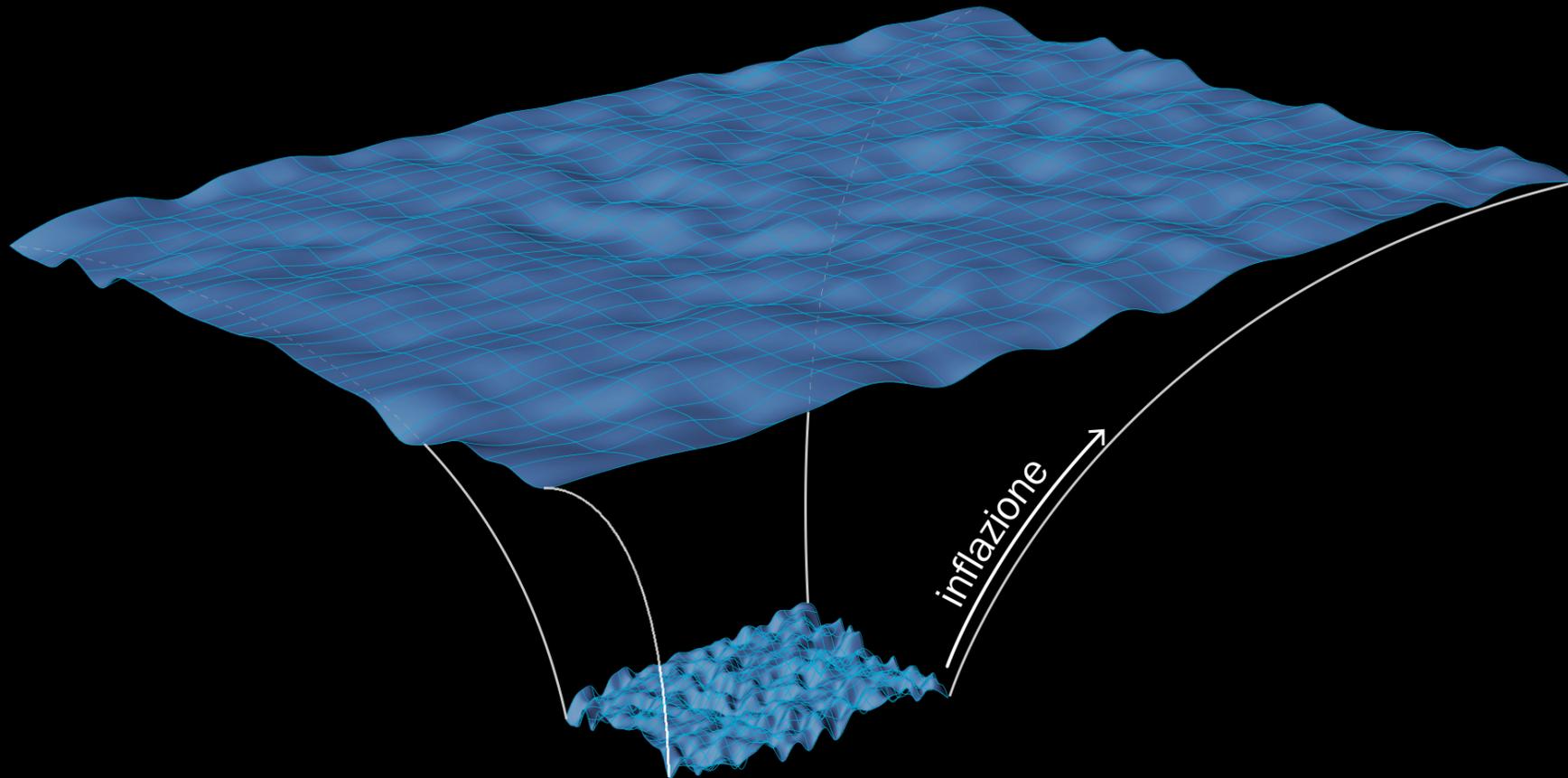
**Planck, 2013**



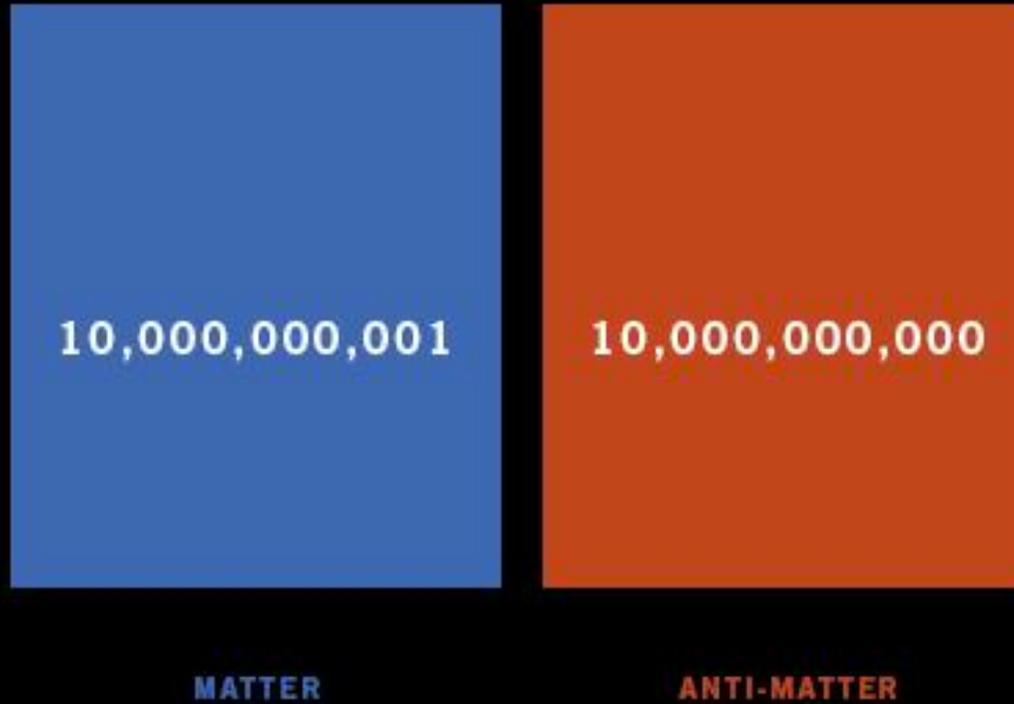
# Gravitational lensing



# *Inflazione*



# *Materia e Antimateria*



Credits: Hitoshi Murayama

# *Materia e Antimateria*

•  
US

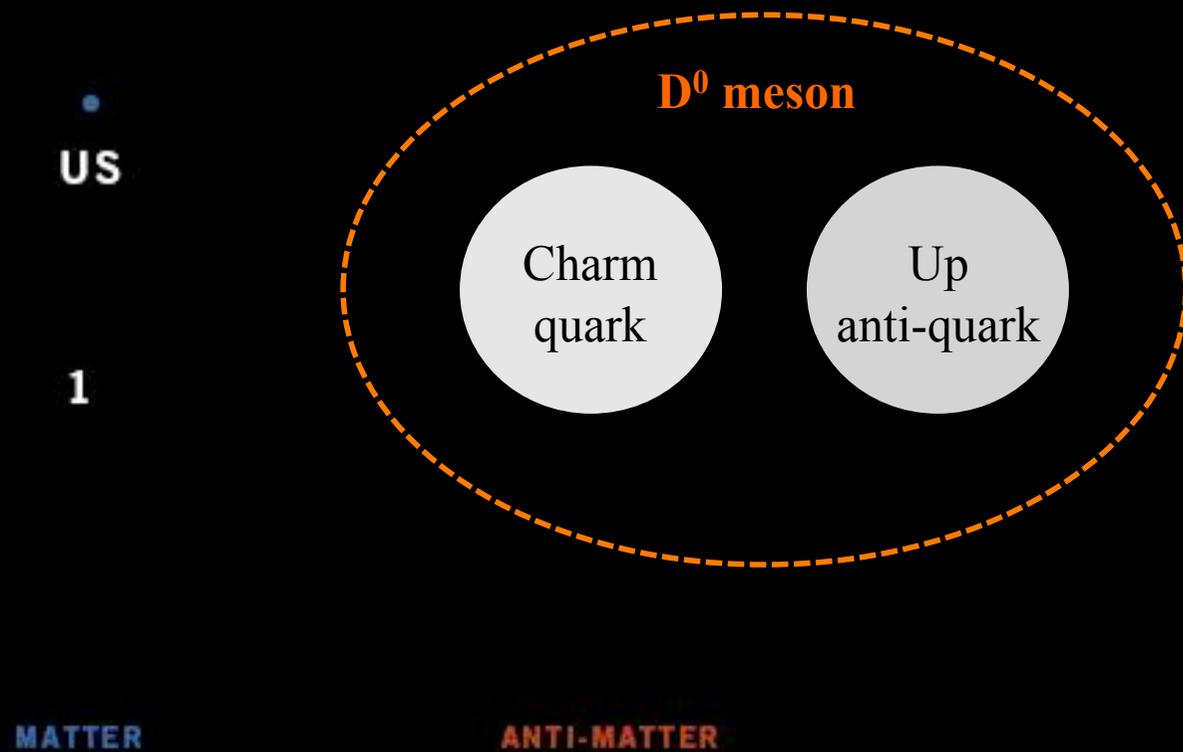
1

MATTER

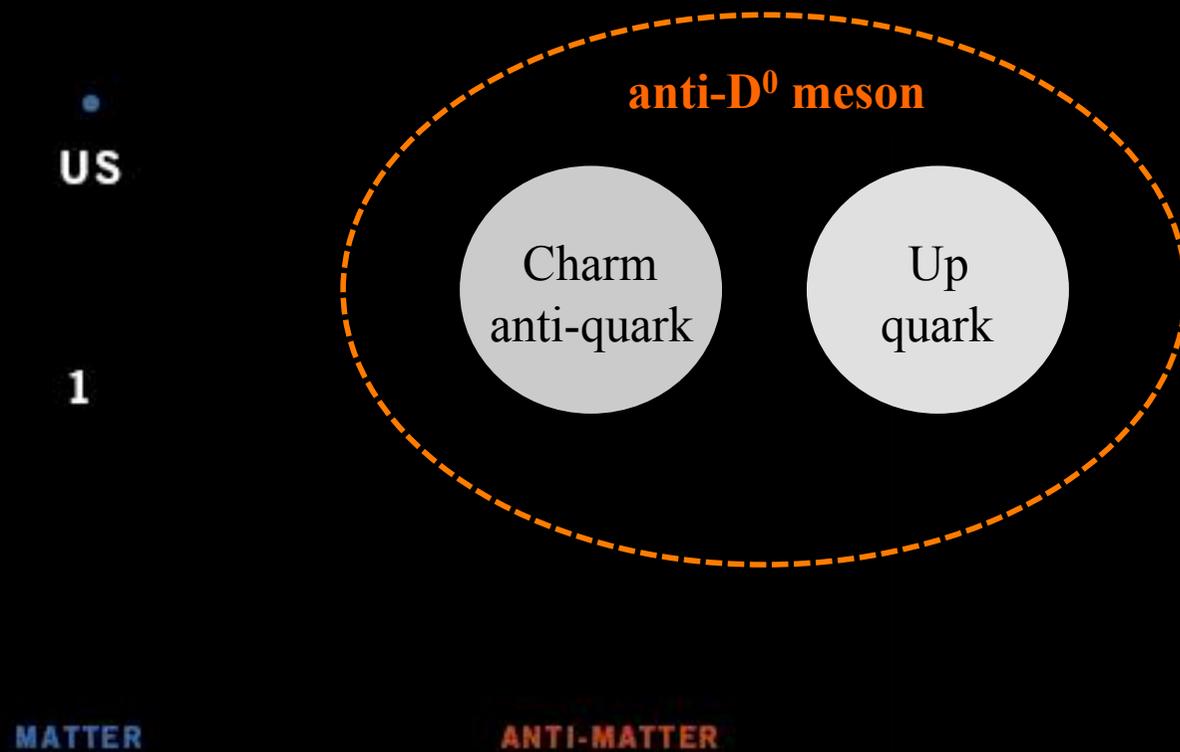
ANTI-MATTER

Credits: Hitoshi Murayama

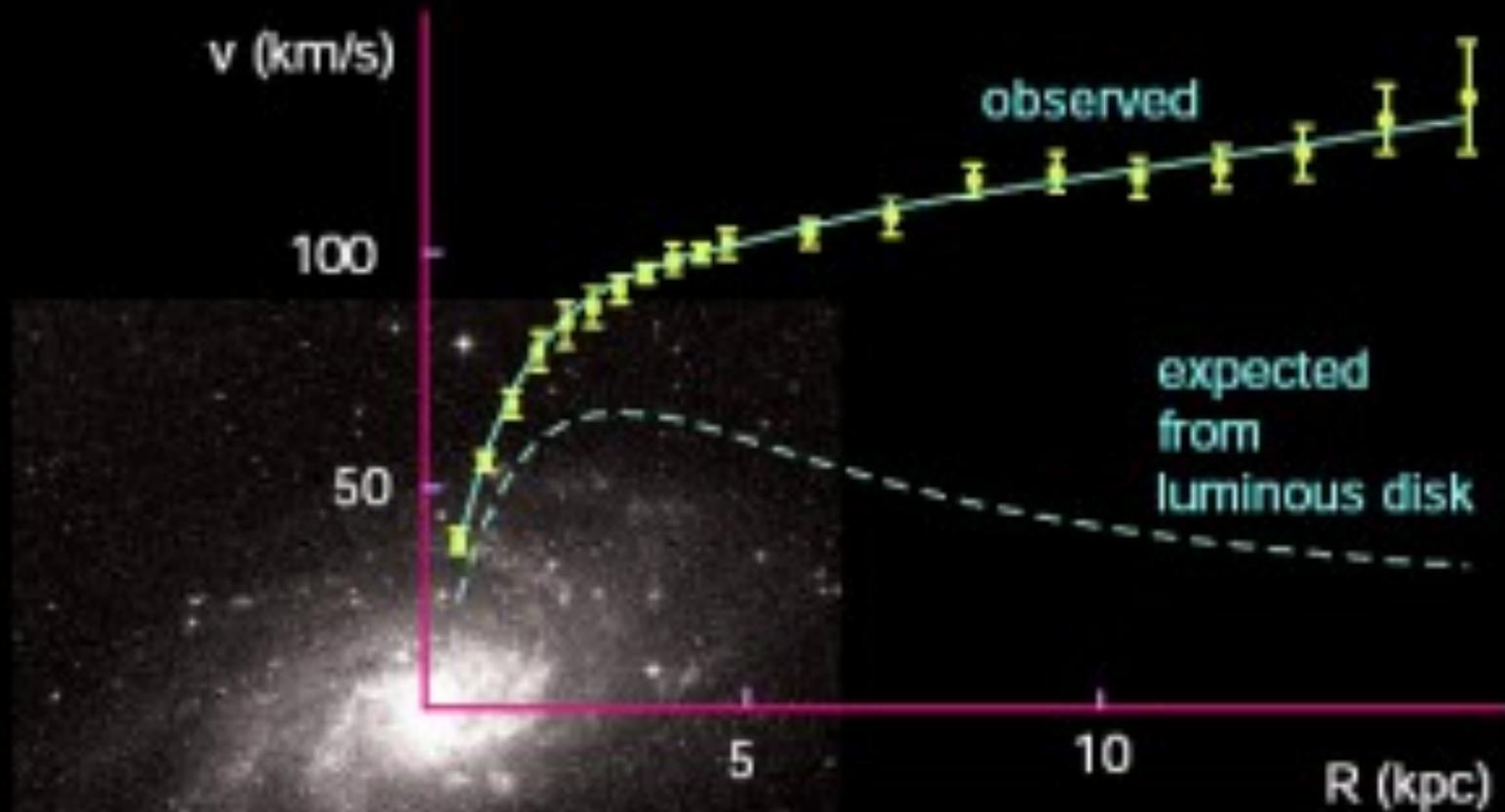
# *Materia e Antimateria*



# *Materia e Antimateria*

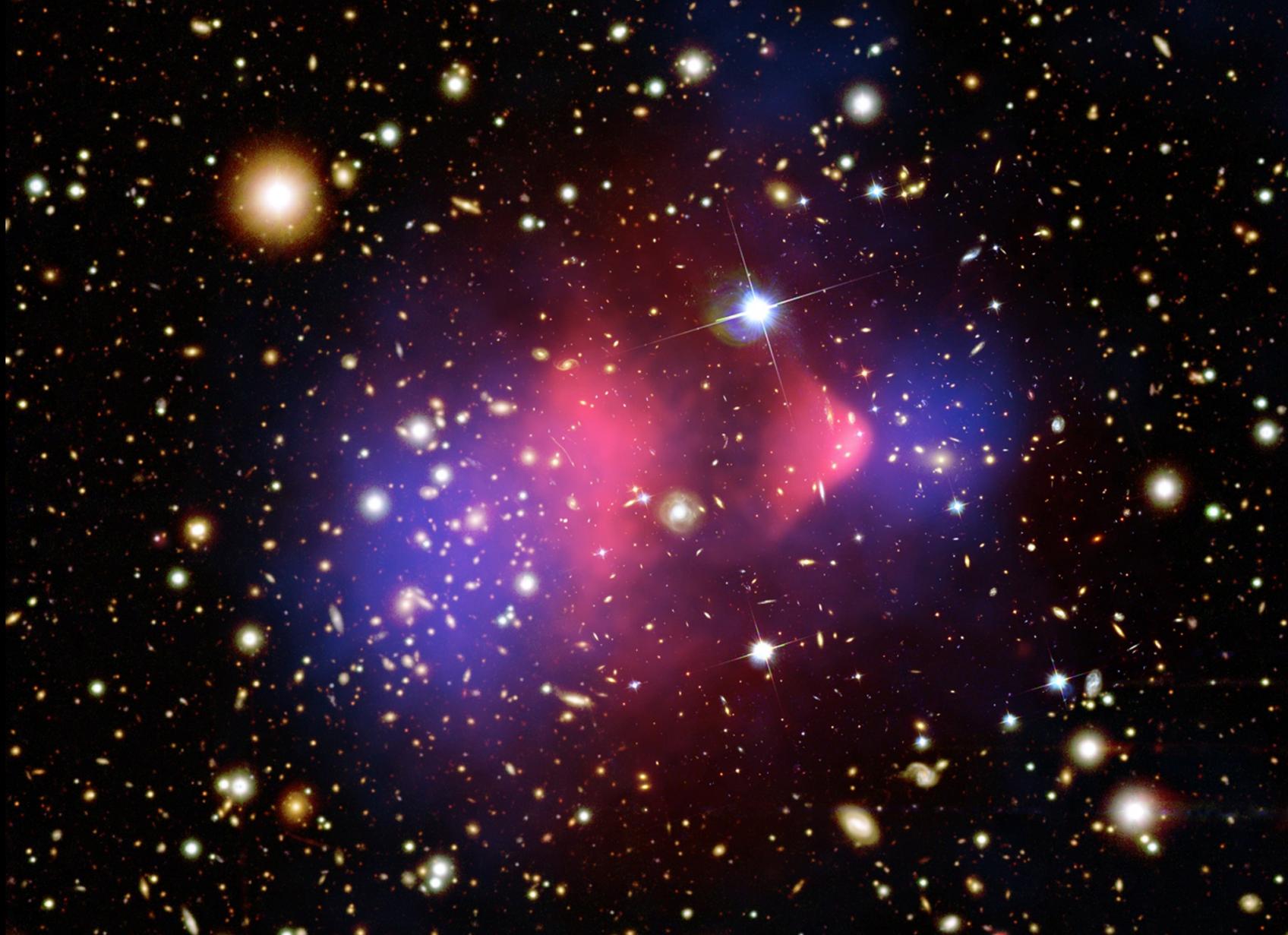


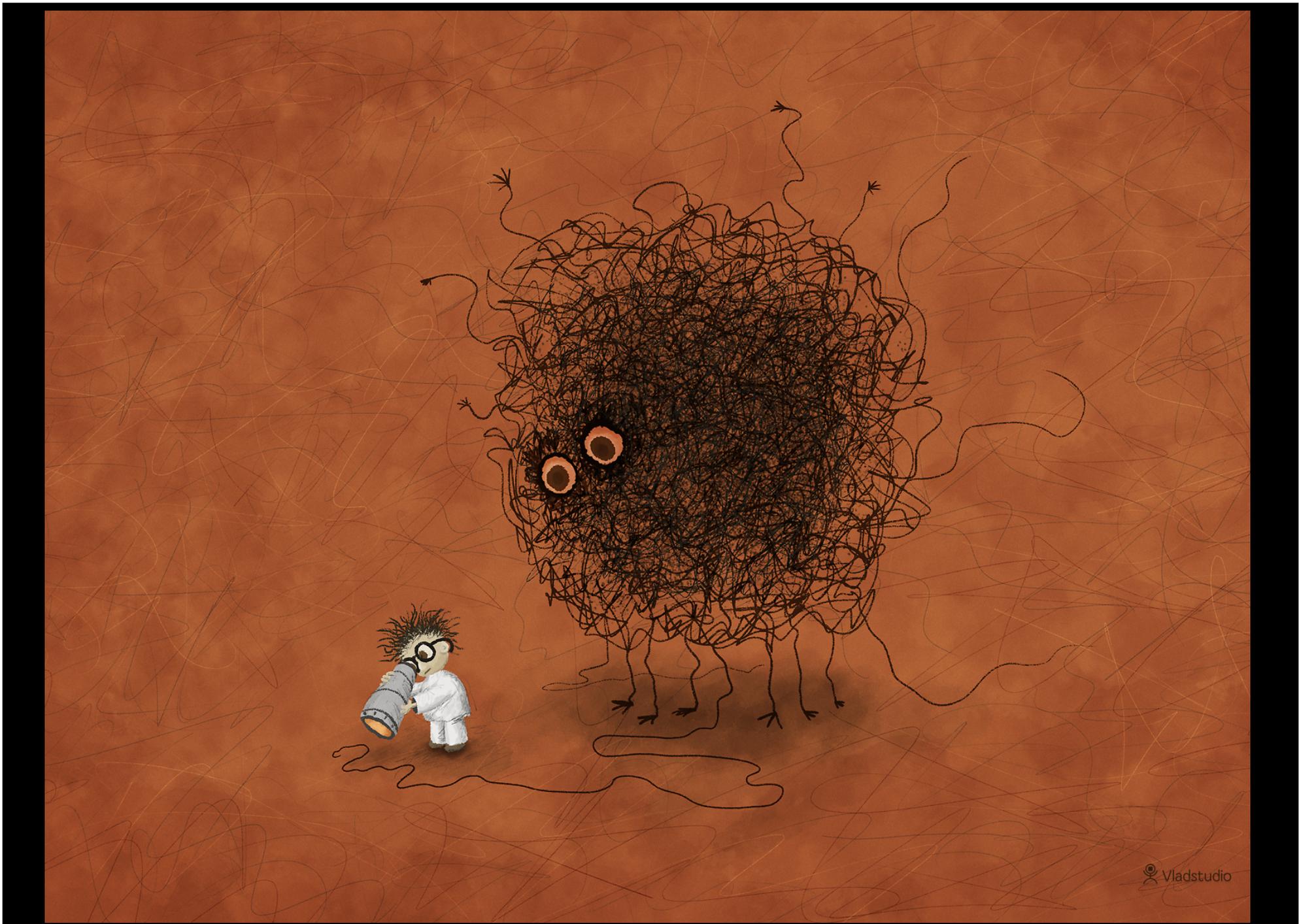
# Materia e Materia Oscura



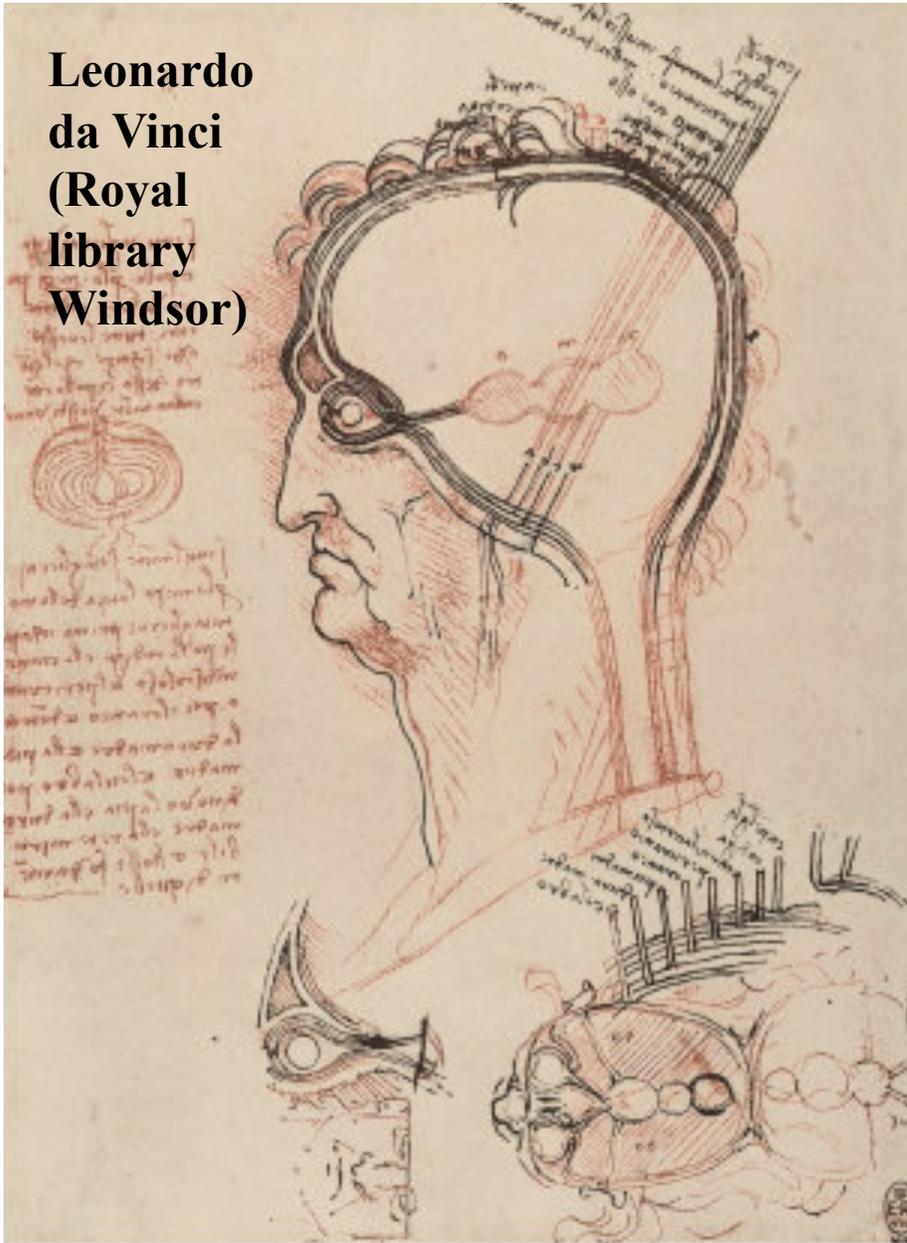
M33 rotation curve  
(fig. 1)

# *Materia e Materia Oscura*



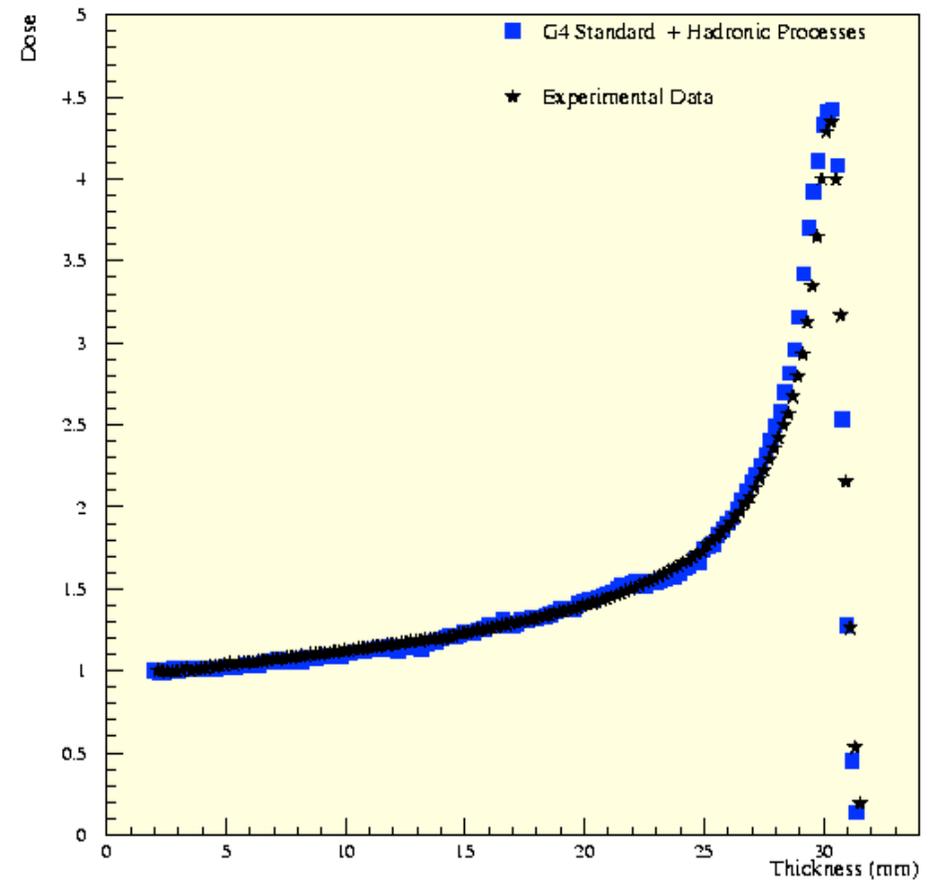


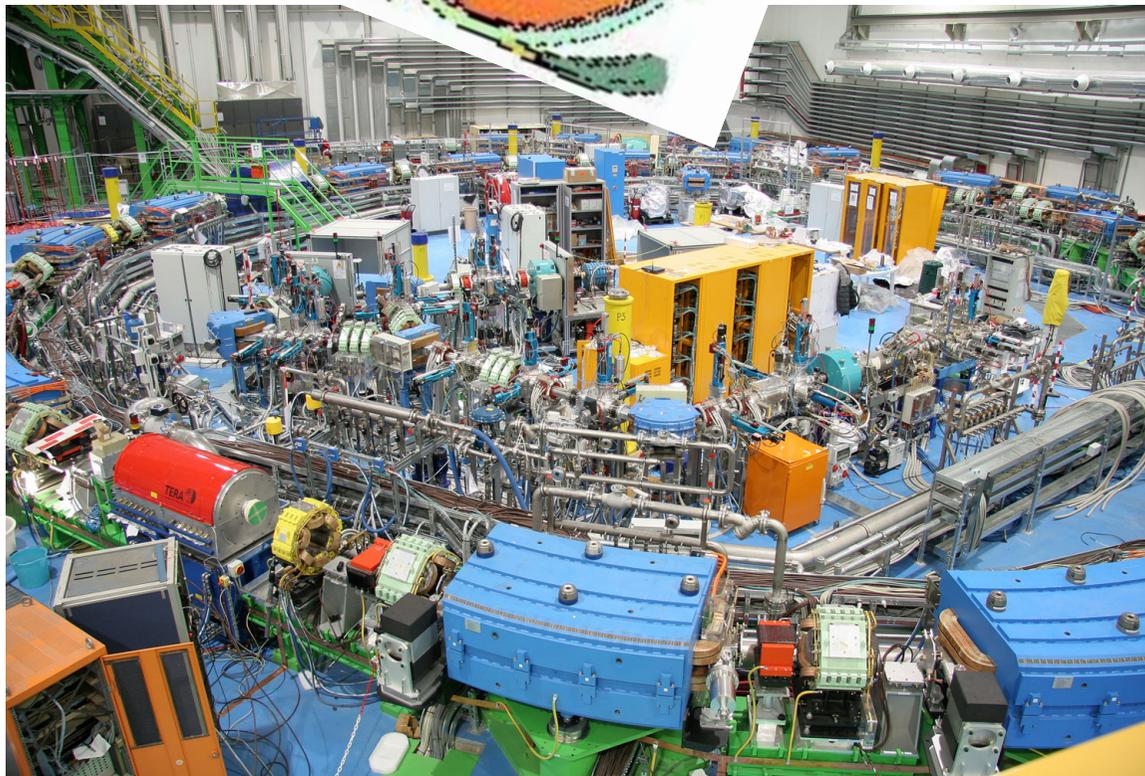
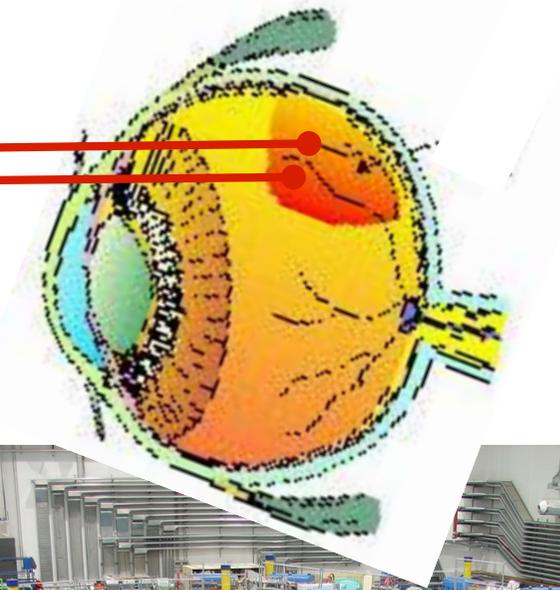
Leonardo  
da Vinci  
(Royal  
library  
Windsor)



# *Ostinatamente curiosi...*

Protons - Bragg Peak - Water





# Referenze e approfondimenti

D.Domenici (rivelatori) e G. Isidori (Modello Standard) Masterclasses2014@LNF  
(<http://www.lnf.infn.it/edu/stageInf/2014/masterclass/>)

“L’universo elegante” di B. Greene, Einaudi

“La legge fisica” di R.P.Feynman, Adelphi

“I primi tre minuti” di S. Weinberg, Mondadori.

“La particella di Dio” di L.Lederman, Mondadori

Asimmetrie, rivista semestrale dell’INFN

([www.asimmetrie.it](http://www.asimmetrie.it)) in particolare AS6 [acceleratori], AS7 [antimateria], AS8 [bosone di Higgs], AS11 [simmetrie], AS14 [massa]

TED talks (<https://www.ted.com>) cercate B. Cox, B. Greene

Supersymmetry:

<http://www.quantumdiaries.org/2014/03/14/the-standard-model-a-beautiful-but-flawed-theory/>

<http://www.quantumdiaries.org/2014/03/19/supersymmetry-a-tantalising-theory/>

